

# QMÉ

Québec Mines+Énergie

2023



RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES ET  
DES PHOTOPRÉSENTATIONS

DV 2023-07

2023

**Coordonnatrice**

Marie-Claude Bonneau

**Révision linguistique**

Claude Dion, ing.

**Traduction**

Catherine Tremblay

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.....	4
Résumés des photoprésentations.....	82
Acronymes .....	128

## RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES

# Table des matières

## SÉANCE 1

### OUVERTURE DU NORD PAR UN ACCÈS ACCRU À LA LOGISTIQUE ET LA TECHNOLOGIE

La Société du Plan Nord : agir au bénéfice des communautés nordiques.....18

Patrick Beauchesne (Société du Plan Nord)

La Société de développement de la Baie-James : il faut développer le plein potentiel de nos infrastructures de transport stratégiques.....18

Alain Coulombe (SDBJ)

## SÉANCE 2

### DE LA RESSOURCE À LA CONSOMMATION : LES NUANCES À SAISIR POUR UN USAGE OPTIMAL ET PRIORITAIRE DES RICHESSES ÉNERGÉTIQUES DU QUÉBEC

Modéliser des systèmes interconnectés.....18

Violette Berge (Artély Canada)

## SÉANCE 3

### DE L'INDICE À LA MINE DE LITHIUM : GÉOLOGIE, EXPLORATION ET DÉCOUVERTES

Les contrôles des pegmatites lithinifères en Australie-Occidentale .....19

John Grigson, Tony Kemp, Steffen Hagemann, Marcus Sweetapple (University of Western Australia) et Mike Grigson (Arc Minerals Consultants)

Caractérisation des pegmatites du secteur du Batholite de La Motte, Sous-province de l'Abitibi, et son implication pour l'exploration .....19

Sabrina Rajhi, Marc Legault (IRME-UQAT), Hubert Mvondo (MRNF) et Robin Potvin (Cégep A-T)

Le projet de mine de lithium James Bay : de la découverte au développement .....20

James Purchase (Allkem)

La pegmatite à spodumène CV5 : de la découverte initiale à un gisement de lithium de classe mondiale .....20

Darren L. Smith (Patriot Battery Metals)

## SÉANCE 4

### DES POINTS DE VUE INTERNATIONAUX SUR LES POLITIQUES VISANT À FAVORISER L'ESSOR D'UNE CHAÎNE DE VALEUR DURABLE DES MINÉRAUX CRITIQUES AU SERVICE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE — UNION EUROPÉENNE

Présentation de la Commission européenne .....21

Madalina Ivanica (Commission européenne)

Présentation de l'organisation *EIT Raw Materials* et de la *European Raw Materials Alliance* .....21

Massimo Gasparon (EIT Raw Materials)

Présentation de l'organisation *InfraVia Capital Partners* .....21

Romain Déchelette (InfraVia Capital Partners)

Présentation du ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF).....21

Nathalie Camden (MRNF)

Présentation de Ressources Québec .....21

Jean-François Béland (Ressources Québec)

Présentation de l'Association minière du Québec.. 21

Josée Méthot (Association minière du Québec)

## SÉANCE 5

### INTÉGRATION DES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX TOUT AU LONG DU PROCESSUS DE DÉVELOPPEMENT MINÉRAL

Les modèles géoenvironnementaux : des outils pour favoriser une gestion responsable des rejets miniers .....21

Isabelle Demers (IRME-UQAT)

**Combinaison de l'intelligence artificielle et de l'analyse automatisée des carottes pour prédire les paramètres géoenvironnementaux.....22**

Ehsan Vosoughi (UQAT, Mines Agnico Eagle),  
Raphaël Mermillod-Blondin (Mines Agnico Eagle),  
Benoît Plante, Isabelle Demers, Marc Legault (UQAT) et  
Aurélié Chopard (Mines Agnico Eagle)

**Le retraitement des rejets miniers :  
une solution pour maximiser l'exploitation  
des ressources minérales et diminuer les  
impacts environnementaux? .....22**

Lucie Coudert (IRME-UQAT)

## **SÉANCE 6**

### **4<sup>E</sup> COLLOQUE MMA-2030 : EN ROUTE VERS L'AUTONOMISATION!**

**Changements technologiques et compétences  
dans le secteur minier : études de cas .....23**

Drissa Ouattara (UQAT)

**Cartographie 4.0 pour la transformation  
numérique des processus miniers.....23**

Richard Tremblay (Cadence Consultants)

**Réconciliation des mesures de libération  
minérale par LIBS et MEB/SRX :  
allier fréquence rapide et haute résolution .....23**

David-Alexandre Desrosiers et Jocelyn Bouchard (ULaval)

**Obstacles et incitatifs à l'adoption de technologies  
innovantes dans le secteur minier québécois :  
le point sur le processus décisionnel des  
investisseurs dans un contexte ESG .....23**

Nathalie de Marcellis-Warin (Polytechnique Montréal —  
CIRANO), Ingrid Peignier et Thomas Gleize (CIRANO)

**Prédiction de temps de trajet des véhicules dans  
les mines souterraines .....24**

Victor Simon et Michel Gamache (Polytechnique Montréal)

**Valorisation des données d'analyse  
d'huile des équipements miniers.....24**

Daniel Ley et Michel Gamache (Polytechnique Montréal)

**Optimisation de la gestion des parcs d'actifs  
mobiles des sites miniers .....24**

Guillaume Poudrier (Géothentic)

## **SÉANCE 7**

### **TRAVAUX D'ACQUISITION DE CONNAISSANCES GÉOSCIENTIFIQUES DE GÉOLOGIE QUÉBEC ET DE SES PARTENAIRES — NUNAVIK ET ABITIBI**

**Géologie de la région du lac Serpentine,  
Orogène de l'Ungava, Nunavik, Québec, Canada .25**

Guillaume Mathieu, Marc-Antoine Vanier et  
Thomas Debruyne (MRNF)

**Géologie des dépôts de surface de la région  
des lacs Nuvilic, Nunavik, Québec, Canada .....25**

Simon Hébert, Marc-Antoine Lévesque (MRNF) et  
Alex Proulx (UQAM)

**Géologie de la région du lac la Trêve, Sous-province  
de l'Abitibi, Eeyou Istchee Baie-James,  
Québec, Canada .....26**

Mélanie Beaudette et Yannick Daoudene (MRNF)

**Caractérisation pétro-géochimique et rôle  
de la déformation dans la formation des gîtes  
de lithium de la région de La Motte-La Corne,  
Sous-province de l'Abitibi, Québec.....26**

Hubert Mvondo (MRNF)

**Regard historique sur la géologie et l'architecture  
des groupes de Malartic et de Louvicourt,  
Sous-province de l'Abitibi .....26**

Pierre Pilote, James Moorhead, Pierre Lacoste et  
Jean David (MRNF), Réal Daigneault (UQAC) et  
Pierre Bedeaux (Barrick Gold)

## **SÉANCE 8**

### **INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES AU SERVICE DE LA GESTION DE LA POINTE D'ÉLECTRICITÉ HIVERNALE**

**Solutions clients aux enjeux de gestion de  
la pointe.....27**

Sabrina Harbec (Hydro-Québec)

**Algorithmes de prédiction et d'optimisation au  
service de la gestion de la demande de pointe  
du réseau électrique.....27**

Hanane Dagdougui (Polytechnique Montréal)

**Occasions et défis en gestion de la demande électrique — secteurs industriel et du bâtiment ...28**

Thomas Caouette (BPA)

**L'intégration régionale des marchés de l'électricité comme instrument de gestion des pointes — occasions et défis.....28**

François Bouffard (Université McGill)

**Gestion de la pointe : revoir les responsabilités afin d'accélérer la décarbonation .....28**

Normand Mousseau (Université de Montréal et Institut de l'énergie Trottier, Polytechnique Montréal)

## **SÉANCE 9**

### **LA VALLÉE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE : UN ÉCOSYSTÈME D'INNOVATION COLLABORATIF**

**Un écosystème incontournable de recherche, d'innovation et de valorisation.....28**

Alain Lemieux (Vallée de la transition énergétique)

## **SÉANCE 10**

### **DES PARTENARIATS STRATÉGIQUES INTERNATIONAUX POUR SUBVENIR AUX BESOINS EN MINÉRAUX CRITIQUES DU SECTEUR EUROPÉEN DES HAUTES TECHNOLOGIES — UNION EUROPÉENNE**

**Présentation du Délégué interministériel aux approvisionnements en minerais et en métaux stratégiques.....29**

Benjamin Gallezot (Services de la première ministre, France)

**Présentation de l'organisation européenne EIT InnoEnergy et de l'Alliance européenne de la batterie .....29**

Kenya Shatani (EIT InnoEnergy)

**Présentation du Pôle Avenia .....29**

Jérôme Gouin (Avenia)

**Présentation d'Investissement Québec .....29**

Fabrice Consalvo (Investissement Québec)

**Présentation de la Chaire de recherche sur la production d'hydrogène vert .....29**

Bruno Pollet (UQTR)

## **SÉANCE 11**

### **UNE EXPERTISE SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE AU PROFIT DE L'INDUSTRIE MINIÈRE CANADIENNE : CONTRIBUTION DES MEMBRES DE L'ACIM**

**Mise à jour sur l'Accélérateur de commercialisation des innovations minières.....29**

Chamirai C. Nyabeze (ACIM)

**Soutenir l'innovation minière au Canada atlantique grâce aux applications de la technologie hyperspectrale et de la capture de réalité.....29**

Michael Long (College of the North Atlantic)

**Problèmes de fiabilité et durabilité des équipements dans l'exploitation minière des sables bitumineux .....30**

Gary Fisher (InnoTech Alberta)

**Programme VORTEX : masse critique d'objets connectés au cœur des exploitations minières...30**

Alain Beauséjour (Groupe MISA)

**L'avenir de la main-d'œuvre et l'entreprise intelligente.....30**

Ian Spence (MaRS)

**Occasions et défis techniques dans le secteur minier de la Colombie-Britannique.....31**

John Steen et Janice Fingler (UBC)

**Apprentissages d'un partenaire de l'ACIM. Première étape : hausser la barre en matière de mobilisation.....31**

Paul Labbe (ACIM)

## SÉANCE 12

### L'APRÈS-EXPLOITATION : LE SUIVI ET L'ENTRETIEN, UNE ÉTAPE À NE PAS NEGLIGER

Suivi et entretien des sites miniers restaurés  
sous la responsabilité de l'État —  
portrait et réalisations..... 31

Mathieu Lavoie et Cynthia Marchildon (MRNF)

Comportement post-restauration du  
site minier Aldermac ..... 31

Sophie Turcotte (MRNF) et  
Ann Lamontagne (Lamont expert-conseil)

La fermeture, la restauration et le suivi  
post-fermeture chez Agnico Eagle :  
une approche basée sur la gestion du risque .. 32

Josée Brazeau (Mines Agnico Eagle)

Restauration minière et économie circulaire au  
site de déposition de résidus de bauxite de Rio  
Tinto Aluminium, Saguenay–Lac-Saint-Jean... 32

Jean Lavoie et Simon Bergeron (RioTinto Aluminium)

## SÉANCE 13

### PROJETS MINIERS AU QUÉBEC : L'AVENIR EST LÀ!

First Phosphate : les grandes étapes  
réalisées et les étapes à venir  
(Lac à l'Original et Bégin-Lamarche) ..... 32

John Passalacqua (First Phosphate)

Les marchés du scandium et le projet  
Crater Lake d'Imperial ..... 32

Pierre Neatby (Groupe minier Impérial)

Focus Graphite, une compagnie axée sur le  
développement de projets de graphite en paillettes  
à haute teneur afin de fournir un graphite de  
qualité supérieure pour les batteries et  
contribuer directement à la révolution  
de l'énergie verte..... 33

Kimberly Darlington (Substance Raffinée)

Novador, le développement du  
prochain projet minier à Val-d'Or ..... 33

Yves Dessureault (Probe Gold)

Développement durable et responsable  
de l'exploration à l'exploitation minière ..... 33

Jean-Félix Lepage (Minière 03)

## SÉANCE 14

### PROVINCE DE GRENVILLE : UNE PROVINCE GÉOLOGIQUE À DÉCOUVRIR POUR SON POTENTIEL MINÉRAL EN MINÉRAUX CRITIQUES ET STRATÉGIQUES

Étude des minéralisations en éléments de  
terres rares ± Nb ± Ta de la partie centrale  
de la Province de Grenville, Québec, Canada ... 34

Abdelali Moukhsil et Mhamed El Bourki (MRNF)

Les pegmatites granitiques enrichies en terres  
rares légères des régions de la Haute-Mauricie  
et du nord du Lac-Saint-Jean : âges, sources  
et processus d'enrichissement ..... 34

Bertrand Rottier, Pedro Alves, Samuel Coulombe,  
Carl Guilmette, Antoine Godet, Théo Royet,  
Christian Dupuis (ULaval), Abdelali Moukhsil (MRNF),  
Joshua Davies, Morgann Perot (UQAM) et  
Jeffrey Marsh (U Laurentienne)

Histoire polyphasée du gisement de  
Nb - (ETR) de Saint-Honoré :  
étude de la chimie des apatites ..... 35

Hélène Legros (MRNF-UQAC), Sarah Dare et  
L. Paul Bédard (UQAC)

Graal, un gisement de nickel-cuivre-cobalt en  
développement au Saguenay–Lac-Saint-Jean. 35

Claude Duplessis (GoldMinds Geoservices)

Explorer pour les minéraux critiques et  
stratégiques : que nous apprennent les  
carbonatites du Saguenay–Lac-Saint-Jean? ... 36

L. Paul Bédard, Nils Van Weelderen, Renée-Luce Simard,  
Charles Saint-Laurent (UQAC), Anne-Aurélié Sappin  
(CGC-Québec) et Michel Grégoire (Université Toulouse III —  
Paul Sabatier)

Les minéralisations magmatiques associées aux  
suites anorthositiques au Québec..... 36

Sarah Dare, Pedro Miloski, Théo Hassen Ali,  
Renée-Luce Simard (UQAC) et Abdelali Moukhsil (MRNF)



**Géologie de la région du lac de la Fourche, Province de Grenville, régions de la Mauricie et du Saguenay–Lac-Saint-Jean, Québec, Canada ..... 37**

Francis Talla Takam et Abdelali Moukhsil (MRNF)

**Géologie et potentiel économique de la région de l'Île-du-Grand-Calumet (SNRC 31F10), Province de Grenville, région de l'Outaouais ... 37**

Carl Bilodeau (MRNF)

**Présentation des levés géophysiques publiés par le MRNF durant l'année 2023 ..... 37**

Rachid Intissar et Siham Benhamed (MRNF)

## **SÉANCE 15**

### **LES RESSOURCES NON CONVENTIONNELLES DE MCS**

**Gîtologie des révolutions industrielles ..... 38**

Michel Jébrak (UQAM)

**Les minéralisations de Ni-Co disséminées : la perspective canadienne ..... 38**

Michel Houlé (CGC-Québec)

**Lithium : enjeux et défis d'une transition énergétique réussie..... 39**

Blandine Gourcerol (BRGM)

**Le gisement à Au-Cu de Troilus : un gisement archéen atypique situé dans la ceinture de Frotet-Evans, Eeyou Istchee Baie-James, Québec ..... 39**

Pierre-Arthur Groulier, Nicolas Guest, Kyle Frank, Remy Klick et Tyler Beattie (Troilus Gold)

## **SÉANCE 16**

### **LES ÉCOSYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES RÉGIONAUX AU SERVICE DE L'AUTONOMIE ET DE LA RÉSILIENCE ÉNERGÉTIQUES**

**Optimiser la biomasse urbaine grâce aux centrales de cogénération à la biomasse : décarboner et réduire l'enfouissement des résidus ..... 40**

Maxime A Cossette (Énergie Kruger)

**Contexte et démarche gouvernementale pour la mise en place des écosystèmes énergétiques régionaux (EER) ..... 40**

Nicolas Laflamme (MEIE)

**La disponibilité des ressources en énergies renouvelables et en biomasse — comment favoriser la valorisation optimale de ces ressources limitées dans un contexte de transition énergétique? ..... 40**

Serge Bédard (Ressources naturelles Canada)

**Développer la filière de la biomasse forestière en tirant profit d'une meilleure intégration de la chaîne de valeurs au bénéfice de l'industrie forestière et des bioénergies..... 41**

Jean Hamel (FPInnovations)

**Comment tirer profit des approches d'économie circulaire, de valorisation des rejets thermiques (VRT) et de stockage énergétique pour répondre optimalement aux besoins énergétiques globaux du Québec..... 41**

Pascal Turcotte (Greenleaf Power — Société de cogénération de Saint-Félicien)

**La valorisation énergétique de la biomasse forestière — un outil pour aménager durablement les forêts dans un contexte de transition énergétique et climatique..... 41**

Nicolas-Pascal Côté et Jean-Pierre Bourque (MRNF)

**Le Plan de transition énergétique régionale — une approche pour développer le potentiel économique régional de la transition énergétique et favoriser l'acceptabilité sociale, la résilience et l'autonomie énergétique des régions ..... 42**

Benoit Delage (Conseil régional de l'environnement et du développement durable de l'Outaouais)

## SÉANCE 17

### L'USINE VERTE ET EFFICIENTE

**Le broyage : capitaliser sur des technologies existantes** ..... 42

Claude Gagnon (COREM)

**Des approches novatrices pour le broyage : la technologie CAHM** ..... 42

Gillian Holcroft (Conseil canadien de l'innovation minière)

**Biotechnologies minières : état des lieux** ..... 43

Nancy Perreault (Conseil national de recherches du Canada)

**Cibles d'amélioration du procédé de concentration et de récupération du lithium québécois** ..... 43

Faraji Fariborz (Centre technologique des résidus industriels) et Patrick Laflamme (COREM)

**Utilisation de l'optique pour l'exploitation minière verte : pionnier de l'extraction durable des ressources grâce aux innovations technologiques** ..... 43

François R. Doucet (ELEMISION)

**Un futur vert proche pour l'usine minéralurgique** ..... 44

Alex Thivierge et Sébastien de Blois (Jumine)

**Pilotage en temps réel d'une ligne de finition de bois d'œuvre et ses applications transversales dans l'industrie minière** ..... 44

François-Alexandre Tremblay (Baseline)

## SÉANCE 18

### MINES ACTIVES AU QUÉBEC : SURVOL DE QUELQUES JOYAUX

**La mine du futur** ..... 44

Nancy Guay (Mines Agnico Eagle)

**Le lithium d'ici pour changer l'avenir** ..... 44

Guy Belleau (Sayona Québec)

**Eldorado Gold Québec, perspectives d'avenir** . 44

Jessy Thelland (Eldorado Gold Québec)

**Raglan : 25 ans d'histoire et tout autant d'avenir** ..... 45

Tristan Plaisance (Mine Raglan, Glencore)

**De la mine à la batterie, de la matière première aux produits finis : la stratégie d'intégration de Northern Graphite dans les marchés traditionnels et émergents!** ..... 45

Serge Théberge (Northern Graphite)

**Le rôle d'ArcelorMittal Mines Canada dans la décarbonation mondiale** ..... 45

Julien Lampron (ArcelorMittal Exploitation minière Canada)

## SÉANCE 19

### LES LIMITES DES SOUS-PROVINCES DE LA GRANDE, D'OPATICA ET D'OPINACA ET LE POTENTIEL MINÉRAL DIVERSIFIÉ DU TERRITOIRE D'EYOU ISTCHEE BAIE-JAMES

**Le Laguiche et sa périphérie : aguichants dès 1975 et toujours aussi aguichants en 2023, mais pas pour les mêmes métaux (U→Au→Li)** ..... 45

Michel Gauthier (Gardin, professeur retraité de l'UQAM)

**Géologie de la région du lac Cadet, sous-provinces d'Opinaca et de La Grande, Eyou Istchee Baie-James, Québec, Canada**..... 45

Myriam Côté-Roberge et William Chartier-Montreuil (MRNF)

**Géologie de la région du lac de la Marée, sous-provinces de l'Opatica et de La Grande, Eyou Istchee Baie-James, Québec, Canada**.... 46

Daniel Bandyayera et Emmanuel Caron-Côté (MRNF)

**Synthèse métallogénique et géochronologique d'Eyou Istchee Baie-James**..... 46

Jérôme Lavoie (MRNF), Sylvain Trépanier (CONSOREM) et Jean Goutier (UQAT)

**Exploration pour le lithium : approches géochimiques** ..... 47

Réjean Girard (IOS Services Géoscientifiques)

**Récents levés de sédiment de fond de lac, Eyou Istchee Baie-James)**..... 47

Olivier Lamarche (MRNF)

**Nouvelle approche pour l'extraction de linéaments géophysiques par optimisation bayésienne : analyse en composantes principales par ondelettes et seuillage par hystérésis**..... 47

Bahman Abbassi et Li Zhen Cheng (UQAT)

## SÉANCE 20

### PRÉSENTATIONS DU DÉFI DE LA RECHERCHE EN GÉOSCIENCES

**Le contexte métamorphique lors de la mise en place d'intrusions alcalines dans la région de la Haute-Mauricie, Province de Grenville — résultats préliminaires..... 48**

Mohamed Ghazali et Renaud Soucy La Roche (INRS-ETE)

**Décoder la chronologie du métamorphisme polyphasé dans la région de la Mauricie, Province de Grenville centrale, Québec ..... 48**

Muhammad Zahoor Iqbal et Renaud Soucy La Roche (INRS-ETE)

**Géochimie des intrusions mafiques de la Zone tectonique du Front du Grenville près de Louvicourt, Québec ..... 49**

Jérémie Darveau, Carl Guilmette (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec, ULaval), Marine Jouvent (ULaval) et Myriam Côté-Roberge (MRNF)

**Caractérisation des minéralisations à Au-Mo du projet Falcon, Formation de Caopatina, Abitibi, Canada..... 49**

Foulques Guillet de Chatellus, Renée-Luce Simard, Dominique Genna (UQAC) et Rodney Barber (Northern Superior Resources)

**Les altérations stratoïdes à carbonates de fer du camp de Selbaie : pétrogenèse et vecteur d'exploration pour les SMV..... 50**

Rémi Naulot, Dominique Genna, Sarah Dare (UQAC) et Jean-Daniel Fortin-Rhéaume (SOQUEM)

**Caractérisation des pegmatites du secteur du Batholite de La Motte, Sous-province de l'Abitibi, et implications pour l'exploration..... 51**

Sabrine Rajhi, Marc Legault (IRME-UQAT), Hubert Mvondo (MRNF) et Robin Potvin (Cégep A-T)

**Considérations géothermiques et géochimiques dans les systèmes de pompes à chaleur en boucle ouverte dans les anciennes mines d'amiante à ciel ouvert, Thetford Mines, Québec..... 51**

Mariana Goldoni de Souza, Geneviève Bordeleau, Samuel Lacombe, Jasmin Raymond, Félix-Antoine Comeau et Charis Wong (INRS-ETE)

**Effets des propriétés physico-chimiques et minéralogiques des résidus miniers réactifs dans la stabilisation cimentaire..... 52**

Audrey Jalce, Isabelle Demers, Benoît Plante (IRME-UQAT) et Thomas Pabst (Polytechnique Montréal)

**Nouvelles stratégies de prévention du drainage neutre contaminé en As : séparation centrifuge et passivation des résidus désulfurés et filtrés ... 52**

Eléonore Lagae Capelle, Lucie Coudert, Isabelle Demers et Carmen M. Neculita (IRME-UQAT)

**Expériences cinétiques modifiées — une approche intégrative afin de déterminer le risque de drainage neutre contaminé des rejets miniers.... 53**

Vincent Marmier, Benoît Plante, Isabelle Demers, Mostafa Benzaazoua (IRME-UQAT)

**Réseau de neurones graphiques pour la prévision spatio-temporelle du niveau des eaux souterraines..... 53**

Xiao Xia Liang, Erwan Gloaguen (INRS-ETE), Maxime Claprood (UQAC) et Daniel Paradis (CGC-Québec)

**Réseau bayésien contraint spatialement pour la cartographie lithologique : une approche pour des prédictions contraintes par des données de terrain..... 54**

Victor Silva Dos Santos, Erwan Gloaguen (INRS-ETE) et Shiva Tirdad (CGC-Québec)

**Styles tectonométamorphiques dans l'arrière-pays de l'Orogène de l'Ungava (Nunavik, Québec, Canada) : résultats préliminaires ..... 54**

Mehdi Jouhari, Carl Guilmette (ULaval), Kyle Larson, Isabelle Therriault (UBC-Okanagan) et Marc-Antoine Vanier (MRNF)

**Téphrochronologie des bentonites ordoviciennes de la région de Montréal : la chimie du zircon et de l'apatite comme outil de corrélation stratigraphique ..... 55**

Héloïse Pinon (UQAM), Claire Musajo (Université McGill), Joshua H.L. Davies, Alain Tremblay, Morgann G. Perrot (UQAM) et Galen P. Halverson (Université McGill)

**Stratigraphie séquentielle et chimostratigraphie de la Plate-forme du Saint-Laurent dans la région de Montréal ..... 55**

Claire Musajo (Université McGill), Héloïse Pinon, Joshua H.L. Davies, Morgann G. Perrot (UQAM) et Galen P. Halverson (Université McGill)

**Mobilité des métaux au cours du métamorphisme prograde des ceintures métasédimentaires de la Province du Supérieur : implications pour les ressources en Au..... 56**

Diogo Ribeiro, Bertrand Rottier (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec, ULaval), Georges Beaudoin, Carl Guilmette (ULaval), Clifford Patten (Universität Innsbruck), Jochen Kolb (Karlsruher Institut für Technologie) et Iain Pitcairn (Stockholm Universitet)

**Minéralogie et géochimie du gîte de Moblan, un essaim de dykes de pegmatite LCT minéralisés en lithium (Eeyou Istchee Baie-James) ..... 57**

Antoine Vigne (Université McGill), Aurélien Eglinger (InnovExplo), Anthony Williams-Jones, Olga Vasyukova (Université McGill) et Carl Corriveau (Sayona Québec)

**Apatite, exploration minérale et études de provenance : identification de la signature des apatites dans les granites de type I, A et S..... 57**

Marie Kieffer, Sarah Dare (UQAC) et Marylou Gendron (UQAC, Explo-Logik)

**Deux événements temporellement distincts de formation de pegmatite granitique riche en ETR dans les régions de la Mauricie et du Lac-Saint-Jean, Province de Grenville centrale... 58**

Pedro Alves, Bertrand Rottier, Crystal LaFlamme (ULaval), Abdelali Moukhsil (MRNF), Joshua Davies et Morgann Perrot (UQAM)

**La pyroxénite à titanite d'Aligas : une minéralisation inhabituelle en éléments de terres rares dans la région du Lac-Saint-Jean (Grenville central)..... 58**

Federico Pingitore, Bertrand Rottier (ULaval), Abdelali Moukhsil (MRNF) et Marc Constantin (ULaval)

**La minéralisation en Nb dans les carbonatites du Saguenay : de l'origine à la mise en place... 59**

Nils Van Weelderden, L. Paul Bédard (UQAC), Anne-Auréliie Sappin (CGC-Québec) et Michel Grégoire (Université Toulouse III-Paul Sabatier)

## SÉANCE 21

### L'INDUSTRIE MINIÈRE À L'HEURE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

**Restauration des sites miniers dans un contexte de changements climatiques..... 59**

Bruno Bussière (UQAT)

**Agnico Eagle et les changements climatiques : flexibilité et collaboration ..... 59**

Josée Noël et Nicholas Allen (Mines Agnico Eagle)

**De la mine au matériel d'anode, en route vers le net zéro!..... 60**

Julie Paquet et Martine Paradis (Nouveau Monde Graphite)

**Planifier l'adaptation aux changements climatiques à partir d'une démarche d'adaptation ..... 60**

Sonia Hachem (Ouranos)

## SÉANCE 22

### MINÉRAUX INDICATEURS POUR LES GÎTES AURIFÈRES

**La Chaire de recherche industrielle CRSNG-Agnico Eagle en exploration minérale : retour sur 10 ans de travaux sur les minéraux indicateurs..... 61**

Georges Beaudoin (ULaval)

**La carte du Quaternaire du Québec : synthèses cartographiques des dépôts de surface et des formes de terrain glaciaires..... 61**

Etienne Brouard (CGC-Central), Martin Roy (UQAM) et Hugo Dubé-Loubert (MRNF)

**Évaluation des effets de la cryoturbation sur les minéraux indicateurs du gisement d'or d'Amaruq (Nunavut) ..... 61**

Juan Bello Rodriguez, Georges Beaudoin (ULaval) et Isabelle McMartin (CGC-Centre)

**Détection et caractérisation des minéraux indicateurs dans les fractions de minéraux lourds par  $\mu$ XRF ..... 62**

Léa Géring, Antoine Nadeau, Georges Beaudoin et Carl Guilmette (ULaval)

**Recyclage des grains d'or dans les sédiments glaciaires : un nouveau regard pour le nord de l'Abitibi** ..... 62

Réjean Girard (IOS Services Géoscientifiques)

**Composition en éléments en traces de la chalcopryrite : son potentiel comme minéral indicateur et les implications pour l'exploration minérale** ..... 62

Enzo Caraballo, Georges Beaudoin (ULaval) et Sarah Dare (UQAC)

**Photomicrographie des minéraux et méthodes de description mathématique** ..... 63

Arnaud Back, L. Paul Bédard, Cyril Kana Tepakbong, Julien Maitre, Kévin Bouchard (UQAC), Amadou Barry (Unité mixte de recherche en santé durable INRS-UQAC) et Réjean Girard (IOS Services géoscientifique)

## SÉANCE 23

**MINE DU FUTUR : À L'INTERSECTION DE LA FINANCE DURABLE ET DE L'IMPLICATION DES COMMUNAUTÉS**

**Début d'un nouveau super-cycle du marché des métaux en absence de la main-d'œuvre nécessaire pour profiter au maximum de l'occasion** ..... 64

Robert McEwen (McEwen Mining)

## SÉANCE 24

**PREMIÈRES NATIONS : DES INCONTOURNABLES DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE**

**Positionnement des Premières Nations en matière de transition énergétique** ..... 64

Ghislain Picard (Assemblée des Premières Nations Québec-Labrador)

**Des Premières Nations productrices d'énergie verte (Panel de discussion)**..... 64

Gilbert Dominique (Pekuakamiulnuatsh Takuhikan), Lance Haymond (Kebaowek First Nation) et Fred Vicaire (Mi'gmawei Mawiomi Business Corporation)

**Société d'énergie renouvelable Kuujjuaraapik-Whapmagoostu** ..... 64

Yves-André Bureau (YAB Management) et Jimmy Royer (Solener)

## SÉANCE 25

**HYDRO × 2? LA NOUVELLE PRIORITÉ ACCORDÉE AUX ÉCONOMIES D'ÉNERGIE PEUT-ELLE FOURNIR SUFFISAMMENT DE MÉGAWATTS ET ÉVITER LA CONSTRUCTION DE NOUVELLES INSTALLATIONS?**

**Perspectives de Dunsky Énergie + Climat**..... 64

Philippe Dunsky (Dunsky Énergie + Climat)

**Les tendances en efficacité énergétique en Europe : nouvelles réglementations et rythme de changements** ..... 64

Mariangiola Fabbri (Buildings Performance Institute Europe)

## SÉANCE 26

**LA PLACE DU GNR EN COMPLÉMENTARITÉ À L'ÉLECTRICITÉ POUR DÉCARBONER LES BESOINS ÉNERGÉTIQUES DE L'INDUSTRIE**

**Les défis et les perspectives du GNR pour répondre aux besoins industriels** ..... 65

Vincent Morales (Coalition for Renewable Natural Gas)

**Le potentiel du GNR dans la décarbonation industrielle** ..... 65

Renault Lortie (Énergir)

**Le GNR dans le transport lourd : vers une flexibilité opérationnelle décarbonée**..... 65

Philippe Caissy (Énergir)

**Prevost, en route vers la carboneutralité** ..... 65

Bernard Juneau (Prevost)

## SÉANCE 27

### TRANSITION ÉNERGÉTIQUE : À L’AFFICHE DANS UNE RÉGION PRÈS DE CHEZ VOUS

**Le Plan de transition énergétique pour l’Outaouais — la concertation régionale au service de la réalisation de la transition énergétique ... 65**

Mohamed Ait Bouzakri (Conseil régional de l’environnement et du développement durable de l’Outaouais)

**L’Union des municipalités du Québec : un catalyseur de la transition énergétique ..... 65**

Anne-Marie Bernier (Union des municipalités du Québec)

**Lac-Mégantic : une communauté résiliente devenue leader de la transition énergétique en milieu rural au Québec ..... 66**

Stéphane Vachon et Mathieu Pépin (Ville de Lac-Mégantic)

**Montréal, à l’avant-scène d’une révolution énergétique décarbonée..... 66**

Jonathan Théorêt (Ville de Montréal)

**Trajectoires de réduction de GES — quels modèles et pour quels résultats? ..... 66**

Érik Frenette (Sustainability Solutions Group)

**Transition énergétique et régions : modéliser pour informer, évaluer et expliquer .... 66**

Yves Richelle (Daméco)

## SÉANCE 28

### LE RÉSEAU SCIENTIFIQUE MCS : VUE SUR LES PRIORITÉS DES 5 THÉMATIQUES DE RECHERCHE

**Réseau scientifique MCS..... 67**

Jocelyn Douhétet (MRNF)

**Présentation du Réseau MCS et des activités réalisées à ce jour ..... 67**

Jean-Nicolas Beaudry (5N Plus)

**L’importance de la démarche ESG et de l’économie circulaire..... 67**

Armand Mackenzie (Sayona Québec)

**L’exploration, la géométallurgie et le géoenvironnement..... 67**

Michel Jébrak (UQAM)

**L’extraction et la concentration ..... 67**

Gervais Soucy (Université de Sherbrooke)

**Le recyclage, la production primaire et la valorisation..... 68**

Louis-César Pasquier (INRS-ETE)

**La première, deuxième et troisième transformation ..... 68**

Dominique Lascelles (SGS Canada)

## SÉANCE 29

### DÉFIS ET INNOVATIONS EN EXTRACTION MINIÈRE À CIEL OUVERT ET SOUTERRAINE

**Mine Kiena : les défis opérationnels d’une réouverture..... 68**

Pascal Turcotte (Wesdome - Mine Kiena)

**Transformation de l’industrie minière : 30 ans d’innovation vue par CMAC-Thyssen..... 68**

Guillaume Julien (CMAC-Thyssen)

**Les corps broyants de Reuleaux pour augmenter l’efficacité énergétique des broyeurs ..... 68**

Donald Leroux (1823 Consultants)

**Les drones dans l’exploitation minière..... 69**

Ashley-Rose Pastuch (Canadian Royalties) et Joël Venne (Exyn Technologies)

**Mine Odyssey : un projet d’envergure à la fine pointe de la technologie..... 69**

Pierre-Olivier Richard (Mines Agnico Eagle)

**Approche stratégique pour la reprise de l’exploitation des zones sismiques à la mine de Westwood..... 69**

Ali Jalbout (IAMGOLD)

## SÉANCE 30

### NOUVEAUX OUTILS POUR L'EXPLORATION EN PROFONDEUR

**Exploration intelligente : Recherche-Innovation-Action pour un accès durable aux matières premières critiques ..... 70**

Alireza Malehmir (Uppsala University)

**Dérivation de la densité à partir de la porosité mesurée lors des diagraphies géophysiques par résonance magnétique protonique (RMP)..... 70**

Ryan Gee (Orica Digital Solutions)

**Le forage directionnel, un outil fait sur mesure pour atteindre avec précision des cibles d'exploration en profondeur ..... 71**

Gervais Perron, R. Nicholls, R. Lindhjem et E. Brandslet (IMDEX)

**L'imagerie hyperspectrale comme outil d'exploration minérale ..... 71**

Philip Lypaczewski (LithologIQ)

**ECORE : une technologie optique de rupture pour l'exploration en profondeur..... 72**

François R. Doucet, Lütfü-Çelebi Özcan, Kheireddine Rifai, Ofure Onodenaloro et Florentine Zwillich (ELEMISION)

**Le laboratoire de forage d'Agnico Eagle ..... 72**

Geneviève Carignan et Marjorie Simard (Mines Agnico Eagle)

## SÉANCE 31

### LES ENJEUX DES PROJETS DE DÉVELOPPEMENT ÉOLIENS AU QUÉBEC

**L'action gouvernementale en matière de développement éolien..... 73**

Étienne Chabot (MEIE)

**Planification des approvisionnements en énergie éolienne dans un contexte de transition énergétique ..... 73**

Stéphanie Normand (Hydro-Québec)

**Comment redynamiser le secteur manufacturier éolien québécois? ..... 73**

Syndie Penberthy (NUVÉO)

**Les enjeux en milieu agricole ..... 73**

Charles-Félix Ross (Union des producteurs agricoles)

**L'implication des communautés et l'acceptabilité sociale des projets énergétiques ..... 73**

Jacques Demers (Fédération québécoise des municipalités)

**Enjeux d'un développeur de projets éoliens au Québec ..... 73**

Michel Letellier (Innergex)

## SÉANCE 32

### LES RÉSERVOIRS GÉOLOGIQUES : DES NOUVELLES FILIÈRES ÉCONOMIQUES À DÉVELOPPER DANS LE CADRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET POUR L'ATTEINTE LES OBJECTIFS DE CARBONEUTRALITÉ?

**Le stockage d'air comprimé ..... 74**

Antoine Bachand (Dunsky Expertise en énergie)

**Le stockage souterrain de gaz naturel dans  
les réservoirs géologiques : contexte actuel  
et perspectives d'avenir ..... 74**

Luc Massé (Intragaz)

**Le stockage d'hydrogène dans les  
réservoirs géologiques..... 74**

Julien Lang (Laboratoires nucléaires canadiens)

**Potentiel de réutilisation des anciens puits  
pétroliers à des fins géothermiques..... 74**

Jasmin Raymond, Félix-Antoine Comeau, Violaine Gascuel  
(INRS-ETE) et Stephan Séjourné (ENKI GeoSolutions)

**Une feuille de route pour un projet de  
stockage géologique de CO<sub>2</sub> au Québec..... 74**

Bernard Giroux (INRS-ETE)

**Réservoirs géologiques en surface : les défis et  
possibilités de la carbonatation minérale  
*ex situ* au Québec..... 74**

Olivier Dufresne (Exterra Solutions Carbone)

## SÉANCE 33

### BONNES PRATIQUES POUR FAVORISER ET ENTRETENIR DES RELATIONS DURABLES AVEC LES PREMIERS PEUPLES DANS LE SECTEUR MINIER

**Respect et confiance : matières premières  
pour un partenariat durable ..... 75**

Cindy Valence (Sayona)

**Professions du domaine minier et programmes  
de formation culturellement pertinents  
pour les Autochtones..... 75**

Joanie Caron et Danny Baril (UQAT)

**Projet de réhabilitation des sites d'exploration  
minières abandonnés au Nunavik..... 75**

Aglaé Boucher-Telmoss (Administration régionale Kativik)  
et Nancy Dea (Fonds Restor-Action-Nunavik)

**Minerai de fer Québec et les communautés innues :  
un partenariat mutuellement bénéfique et  
en croissance..... 76**

Angela Kourouklis (Minerai de fer Québec)



## SÉANCE 34

### MÉTALLOGENÈSE ET DÉFORMATION — LES VECTEURS STRUCTURAUX POUR L'EXPLORATION MINÉRALE

Tectonique superposée et minéralisations  
syngénétiques : l'importance de la géologie  
régionale et de la géochronologie..... 76

Alain Tremblay (UQAM)

Un nouveau modèle lithostructural tridimensionnel  
pour la découverte du prochain gisement dans le  
secteur de l'ancienne mine Selbaie ..... 77

Jean-Daniel Fortin-Rhéaume (SOQUEM)

Les gîtes d'or d'Eagle et de Douay dans le nord  
de l'Abitibi : la déformation peut jouer un rôle. 77

Michel Gauthier (UQAM)

Déformation et métamorphisme polyphasés  
du gisement d'or Amaruq et implications pour  
l'exploration des gisements d'or archéens au  
sein des cratons précambriens..... 77

Manon Valette, Stéphane De Souza (UQAM),  
Patrick Mercier-Langevin (CGC-Québec) et  
Olivier Côté-Mantha (Mines Agnico Eagle)

La géologie structurale du secteur  
d'Eeyou Istchee Baie-James et les  
minéralisations associées ..... 78

Jean Goutier (JGservices), Jérôme Lavoie (MRNF) et  
Sylvain Trépanier (CONSOREM)

## SÉANCE 35

### RÉSULTATS DU PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE DU SECTEUR MINIER

10 ans de recherche soutenue par le MRNF  
et le FRQNT... et ça continue ..... 78

Louis Bienvenu, Katrie Bergeron (MRNF) et  
Marie Vachon (FRQNT)

Optimisation des opérations minières  
en temps réel..... 79

Michel Gamache (Polytechnique Montréal)..... 79

La reconnaissance optique des  
minéraux et l'apprentissage machine :  
derniers développements..... 79

L. Paul Bédard, Arnaud Back, Julien Maitre,  
Kevin Bouchard (UQAC), Cyril Kana Tepakbong et  
Réjean Girard (IOS Services Géoscientifiques)

Minéralisation du carbone atmosphérique  
dans les résidus miniers..... 80

Georges Beaudoin (ULaval)

Stabilité des excavations minières souterraines  
par la modélisation des réseaux de fractures (DFN) :  
caractérisation, modélisation et conception .... 80

Martin Grenon, Efstratios Karampinos, Christopher Durham,  
Antoine Caron et Hassan Hamze (ULaval)

Valorisation d'un broyat noir (*Black mass*) pour  
en extraire les métaux de valeur (Li, Ni, Co, Mn)  
et fabriquer de nouveaux matériaux  
de cathode ..... 81

Jocelyn Veilleux, Valérie Charbonneau, David Nadeau,  
Maxime Goulet, Matthias Audren-Paul, Astou Diop,  
Gervais Soucy (Université de Sherbrooke),  
François Larouche et Kamyab Amouzegar (Hydro-Québec,  
Centre d'excellence en électrification des transports et en  
stockage d'énergie)

## SÉANCE 1

### OUVERTURE DU NORD PAR UN ACCÈS ACCRU À LA LOGISTIQUE ET LA TECHNOLOGIE

#### La Société du Plan Nord : agir au bénéfice des communautés nordiques

**Patrick Beauchesne (Société du Plan Nord)**

Créée en 2015, la Société du Plan Nord (SPN) a pour mission de contribuer au développement intégré et cohérent du territoire nordique du Québec dans une perspective de développement durable. Par sa connaissance et sa capacité à mettre en place des solutions, elle répond aux spécificités propres du territoire.

L'action de la SPN s'incarne à travers quatre axes d'intervention, soit :

- ▶ Faciliter l'accès au territoire;
- ▶ Soutenir les entreprises;
- ▶ Favoriser le mieux-être des communautés;
- ▶ Agir pour l'environnement.

Pour chacun de ces quatre axes, nous présenterons différents aspects visant à assurer la durabilité des projets. Nous exposerons notre processus décisionnel qui est basé sur une évaluation des bénéfices et des risques des projets en matière de développement durable. La présentation sera accompagnée d'exemples de réalisations concrètes issues des activités de mission ainsi que des deux plans d'action nordiques (2015-2020 et 2020-2023).

La notion d'acceptabilité sociale des projets sera aussi abordée. Nous traiterons de l'identification des risques associés aux projets ainsi que l'importance de doter tout projet de développement d'un plan de gestion des risques et de mesures de mitigation.

#### La Société de développement de la Baie-James : il faut développer le plein potentiel de nos infrastructures de transport stratégiques

**Alain Coulombe (SDBJ)**

Créée en 1971, la Société de développement de la Baie-James (SDBJ) a pour mission de favoriser, dans une perspective de développement durable, le développement économique, la mise en valeur et l'exploitation des ressources naturelles autres que les ressources hydroélectriques du territoire de la Baie-James. Elle peut notamment susciter, soutenir et participer à la réalisation de projets visant ces fins.

À titre de mandataire de l'État, la SDBJ exploite pour le compte de clients comme Hydro-Québec et le ministère du Transport et de la Mobilité durable (MTMD) une large portion du réseau routier du territoire de la Baie-James ainsi que plusieurs aéroports et aérodromes. Elle entrevoit sous peu d'élargir son champ d'action dans le secteur ferroviaire.

Nous vous proposons de découvrir comment la SDBJ, en partenariat avec les acteurs du milieu, utilise les infrastructures de transport dont elle a la responsabilité comme leviers de développement et de croissance économique. Nous vous démontrerons, en outre, de quelle façon les améliorations logistiques et technologiques permettront d'accroître de façon importante l'accès et le développement du territoire de la Baie-James.

## SÉANCE 2

### DE LA RESSOURCE À LA CONSOMMATION : LES NUANCES À SAISIR POUR UN USAGE OPTIMAL ET PRIORITAIRE DES RICHESSES ÉNERGÉTIQUES DU QUÉBEC

#### Modéliser des systèmes interconnectés

**Violette Berge (Artélys Canada)**

Les systèmes énergétiques sont interreliés, aussi bien les énergies elles-mêmes que les systèmes régionaux. Ces liens entraînent des synergies et des interdépendances dont la modélisation peut se montrer complexe. Quels sont les phénomènes à représenter et quelles sont les hypothèses, voire les simplifications, possibles afin de capter adéquatement les dynamiques du système énergétique tout en maintenant un modèle intelligible? C'est l'une des questions clés à se poser dans tout exercice de modélisation énergétique, et la réponse dépend bien souvent de l'objectif principal de l'étude.

Artélys développe depuis plus de 15 ans des modèles technico-économiques adaptés au contexte de la transition énergétique. Un enjeu particulièrement présent dans ses études est celui de la flexibilité des systèmes. Comprendre les besoins de flexibilité associés à un système donné et identifier de quels leviers celui-ci dispose pour y répondre permet de mieux concevoir un système décarboné et résilient. Artélys présentera ainsi des modélisations mises en place en Europe qui représentent conjointement les différents réseaux énergétiques (électricité, gaz naturel, hydrogène, biomasse et chaleur) dans un contexte fortement interconnecté. La présentation se conclura par une discussion sur l'applicabilité de tels modèles au système énergétique québécois.

## SÉANCE 3

# DE L'INDICE À LA MINE DE LITHIUM : GÉOLOGIE, EXPLORATION ET DÉCOUVERTES

## Les contrôles des pegmatites lithinifères en Australie-Occidentale

**John Grigson, Tony Kemp, Steffen Hagemann, Marcus Sweetapple (University of Western Australia) et Mike Grigson (Arc Minerals Consultants)**

Le lithium est un métal essentiel pour le stockage des énergies renouvelables dans les batteries et la décarbonation de l'économie. Environ la moitié de l'offre mondiale de lithium primaire provient de gisements de pegmatites, dont la délimitation et l'exploitation en Australie-Occidentale ont connu un essor considérable au cours de la dernière décennie. L'exploration actuelle pour les pegmatites à lithium repose essentiellement sur des découvertes en surface dans les camps miniers existants et sur l'application d'un modèle génétique démodé basé sur l'existence de « granites parents » et de « zones favorables de pegmatite ». Des découvertes en terrain vierge seront nécessaires pour répondre à la demande croissante de lithium et nécessiteront une compréhension plus sophistiquée des contrôles sur les pegmatites à lithium, au niveau des systèmes minéraux.

Les gisements de pegmatite à lithium d'Australie-Occidentale sont situés principalement dans des domaines en constriction fortement déformés et métamorphisés au faciès inférieur des amphibolites à l'intérieur de zones de cisaillement recoupant les ceintures de roches vertes des cratons archéens de Pilbara et de Yilgarn. Ils constituent des empilements d'intrusions individuelles de quelques centaines de mètres de long et de dizaines de mètres d'épaisseur qui présentent une géométrie en échelon et conjuguée, des formes lenticulaires, des contacts nets avec la roche encaissante et des terminaisons fuselées. Les intrusions syncinématiques se mettent en place à la suite d'une fracturation en extension durant des épisodes de surpression magmatique sous les transitions rhéologiques dans des zones de cisaillement où autrement les matières fondues circuleraient le long des limites de grains.

Les intrusions constituant ces gisements représentent généralement des termes intermédiaires entre deux types de magmas distincts riches en métaux et mis en place séquentiellement. Les premiers magmas, plus volumineux, étaient saturés en lithium et ont cristallisé sous la forme de pegmatites montrant l'assemblage typique spodumène-quartz-microcline-muscovite. Ces roches sont mégacristallines en l'absence de déformation à l'état solide. Les magmas tardifs étaient saturés en éléments à fort champ ionique et ont cristallisé sous la forme d'aplités caractérisées par l'assemblage typique albite-quartz associé à des traces de spessartine, d'apatite, de tantalite et de cassitérite. Ces magmas tardifs se sont généralement mis en place le long

des pegmatites préexistantes plutôt que dans les roches encaissantes en raison d'un seuil de résistance plus faible et ont formé des corps tabulaires concordants à discordants ou des infiltrations à l'échelle des grains.

Les gisements de pegmatites à lithium montrent des relations spatiales et isotopiques avec les suites de monzogranites et de pegmatites granitiques potassiques à deux micas d'origine crustale. Ces derniers constituent la source la plus probable des magmas riches en métaux. Cependant, la mise en place de ces suites granitiques n'est pas syncinématique et elles sont partout caractérisées par une déformation à l'état solide associée aux zones de cisaillement qui contrôlent les gisements de pegmatites à lithium. Il est important de noter que les pegmatites granitiques les moins déformées sont enrichies en lithium, alors que leurs équivalents déformés sont appauvris en lithium. Ces relations structurales et chimiques apparemment contradictoires sont réconciliées par un processus de fusion partielle sélective des roches granitiques, assistée par la déformation, qui a libéré des magmas riches en lithium dans des réseaux actifs de zones de cisaillement.

Les contrôles susmentionnés des gisements de pegmatites à lithium reconnus en Australie-Occidentale peuvent se traduire en critères d'exploration gradués, adaptés à l'échelle de travail et cartographiables qui peuvent être utilisés dans d'autres terrains dans le monde.

## Caractérisation des pegmatites du secteur du Batholite de La Motte, Sous-province de l'Abitibi, et son implication pour l'exploration

**Sabrine Rajhi, Marc Legault (IRME-UQAT),  
Hubert Mvondo (MRNF) et Robin Potvin (Cégep A-T)**

Ce projet porte sur l'étude des caractéristiques des pegmatites du secteur du Batholite de La Motte (BLM) en Abitibi. Ce secteur se situe au cœur du triangle Rouyn-Noranda-Amos-Val-d'Or, entre 20 et 40 km à l'ouest de la mine North American Lithium (101,9 Mt à 1,06 %  $\text{Li}_2\text{O}$ ; Sayona Québec). La région abrite plusieurs minéralisations en minéraux critiques et stratégiques (MCS), notamment le gisement Authier, qui sont associées à des pegmatites à Li-Cs-Ta. Une campagne de cartographie et d'échantillonnage a eu lieu à l'été 2022 dans le but de caractériser minéralogiquement et géochimiquement les pegmatites du secteur afin d'y mieux cibler l'exploration pour le lithium. Cette caractérisation a permis de distinguer différents types de pegmatites dans le secteur du BLM, des amas stériles aux dykes à spodumène. À l'intérieur du BLM, les faciès pegmatitiques de l'intrusion présentent des caractéristiques géochimiques comparables à celles des dykes de pegmatite qui la recoupent, ce qui semble indiquer un lien génétique entre ces deux faciès malgré des différences d'âge de quelques millions d'années (Ducharme *et al.*, 1997). Les résultats des analyses de roches totales confirment également que les valeurs des rapports élémentaires (K/Rb, K/Cs, Nb/Ta, Mg/Li et Zr/Hf) des dykes lithinifères sont plus faibles que ceux des dykes stériles, indépendamment de l'endroit où l'échantillonnage a

été effectué dans le dyke. L'utilisation de ces critères permet donc de cibler les dykes très fractionnés, mais où le spodumène n'a pas été identifié jusqu'à présent. L'étude a également examiné l'utilisation des analyses à la microsonde des feldspaths potassiques et des micas pour évaluer la fertilité des pegmatites. Ces travaux révèlent que les rapports K/Rb et K/Cs de ces minéraux sont semblables à ceux des analyses de roche totale, ce qui confirme le degré de fractionnement des pegmatites du BLM. Ces faibles rapports reflètent un fractionnement prononcé des pegmatites minéralisées, en accord avec les conclusions de Cerný (1989) et des autres recherches subséquentes. Ces observations soulignent la nécessité de poursuivre les travaux de décapage et de cartographie autour du BLM afin de mieux évaluer certaines occurrences prometteuses de Li dans ce secteur.

## Le projet de mine de lithium James Bay : de la découverte au développement

### James Purchase (Allkem)

Malgré sa découverte il y a plus de 50 ans, le projet de mine de lithium James Bay (également connu sous le nom de gisement Cyr) n'a été touché que par relativement peu de travaux d'exploration modernes et n'a pas fait l'objet d'étude ou de recherche universitaires d'envergure. Bien que partageant de nombreuses caractéristiques avec les pegmatites LCT typiques, le gisement présente une histoire structurale unique de mise en place et d'interaction avec les paragneiss hôtes. Cette présentation a pour but de résumer l'histoire de l'exploration sur la propriété, de présenter quelques hypothèses privilégiées touchant les modèles structuraux et de donner au public un aperçu des plans d'exploration pour l'hiver à venir.

## La pegmatite à spodumène CV5 : de la découverte initiale à un gisement de lithium de classe mondiale

### Darren L. Smith (Patriot Battery Metals)

Sur la propriété Corvette, la minéralisation en lithium est observée dans des pegmatites Li-Cs-Ta (LCT) à quartz-feldspath qui peuvent être exposées en surface sous la forme de reliefs en « dos de baleine » en raison de leur résistance à l'érosion. Cependant, les forages ont confirmé que les pegmatites LCT peuvent également occuper des dépressions topographiques, interprétées comme le résultat d'une fracturation préférentielle et d'un déplacement de grands blocs de pegmatite par les glaciers.

Les occurrences de pegmatite LCT forment plusieurs groupes distincts distribués le long d'un corridor d'environ 1 km de large et de plus de 25 km de long qui s'étend à travers la propriété (« l'alignement CV »). Cet alignement est mis en évidence par la pegmatite à spodumène CV5 dont les ressources minérales initiales<sup>1</sup> présumées sont estimées à 109,2 Mt à 1,42 % Li<sub>2</sub>O et 160 ppm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. À la suite du programme de forage d'avril 2023, la pegmatite CV5 a été tracée en forage sur une longueur de 3,7 km, trou de forage à trou de forage, et demeure ouverte latéralement aux deux extrémités et en profondeur sur la plus grande partie de sa longueur. Plus de 90 % du volume de la pegmatite CV5 se trouve dans un même grand dyke de pegmatite à spodumène qui est flanqué de part et d'autre de multiples dykes secondaires de même orientation. La largeur réelle de ce dyke principal varie de ~8 m à ~130 m et peut se pincer et se gonfler de manière importante latéralement et en profondeur. Il est plus épais près de la surface et à des profondeurs modérées (< 225 m), et montre une forme plus ou moins bulbeuse et allongée qui peut s'évaser vers la surface et en profondeur de manière variable. De plus, la pegmatite CV5 ne présente aucune indication apparente de déformation et montre une attitude discordante par rapport à la fabrique régionale, avec un fort pendage vers le nord.

La minéralisation en lithium à CV5 est constituée de cristaux de spodumène de taille typiquement décimétrique à métrique qui se libèrent facilement après un concassage grossier. Un premier test de séparation en milieu dense (DMS) sur le matériel de CV5 a donné un concentré de spodumène titrant 5,8 % Li<sub>2</sub>O avec un taux de récupération de 79 %, ce qui indique qu'un traitement par DMS seule est très possible. Des tests de variabilité par séparation par liquide dense (SLD) sur des échantillons de CV5 distribués dans tout le gisement et montrant divers assemblages minéralogiques et teneurs ont donné une récupération totale > 70 % à la teneur métallurgique cible de > 5,5 % Li<sub>2</sub>O et < 1,2 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pour la plupart des échantillons, appuyant la possibilité d'une concentration par DMS seule.

<sup>1</sup> Teneur de coupure de 0,40 % Li<sub>2</sub>O, en date du 25 juin 2023. Les ressources minérales ne sont pas des réserves minérales, car leur viabilité économique n'est pas démontrée.

## SÉANCE 4

### DES POINTS DE VUE INTERNATIONAUX SUR LES POLITIQUES VISANT À FAVORISER L'ESSOR D'UNE CHAÎNE DE VALEUR DURABLE DES MINÉRAUX CRITIQUES AU SERVICE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE — UNION EUROPÉENNE

#### Présentation de la Commission européenne

##### Madalina Ivanica (Commission européenne)

Mme Ivanica présentera la perspective de la Commission européenne quant à la manière d'inciter les acteurs des secteurs minier et énergétique à adopter les meilleurs standards en matière de critères environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG).

#### Présentation de l'organisation *EIT Raw Materials* et de la *European Raw Materials Alliance*

##### Massimo Gasparon (EIT Raw Materials)

M. Gasparon présentera brièvement l'organisation européenne *EIT Raw Materials* ainsi que l'Alliance européenne des matières premières (ERMA) pour laquelle il agit à titre de directeur.

#### Présentation de l'organisation *InfraVia Capital Partners*

##### Romain Déchelette (InfraVia Capital Partners)

M. Déchelette présentera la société française *InfraVia* et son rôle dans la gestion durable des minéraux et métaux critiques.

#### Présentation du ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF)

##### Nathalie Camden (MRNF)

Mme Camden présentera en quelques mots le secteur minier québécois, le potentiel minier au Québec, ainsi que le Plan québécois de valorisation des minéraux critiques et stratégiques (PQVMCS).

#### Présentation de Ressources Québec

##### Jean-François Béland (Ressources Québec)

M. Béland fera une courte présentation au sujet de la filière batterie et abordera l'implication du Québec dans la *Global Battery Alliance* (GBA).

#### Présentation de l'Association minière du Québec

##### Josée Méthot (Association minière du Québec)

Mme Méthot présentera en quelques mots le rôle de l'Association minière du Québec et démontrera de quelle manière les mines en activité au Québec répondent à des hauts standards environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG).

## SÉANCE 5

### INTÉGRATION DES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX TOUT AU LONG DU PROCESSUS DE DÉVELOPPEMENT MINÉRAL

#### Les modèles géoenvironnementaux : des outils pour favoriser une gestion responsable des rejets miniers

##### Isabelle Demers (IRME-UQAT)

Les rejets miniers représentent des risques environnementaux en raison des grands volumes produits et de leurs propriétés minéralogiques, chimiques et hydrogéologiques, et ce, durant l'exploitation de la mine jusqu'à la phase post-restauration. Le principal défi associé aux rejets miniers est le drainage minier acide (DMA), mais le drainage neutre contaminé en métaux dissous (DNC) est aussi problématique. Il existe des outils de prédiction de ces risques environnementaux, comme les essais statiques et cinétiques de détermination du potentiel de génération d'acide. Cependant, ces essais peuvent nécessiter des quantités notables de rejets miniers, de quelques centaines de grammes à plusieurs kilogrammes, qui ne sont souvent pas disponibles durant les premières étapes d'un projet minier. En effet, les évaluations environnementales doivent être réalisées avant la construction de la mine, lorsque les échantillons de stérile et de rejet de concentrateur sont encore rares. La modélisation géoenvironnementale a été récemment mise au point afin de servir de lien entre les données d'exploration et les évaluations environnementales, et peut aussi être utile dans l'examen des scénarios de gestion des rejets miniers. Cette présentation démontrera un protocole de caractérisation géoenvironnementale en 4 étapes développé par Vermette en 2018 qui identifie les informations que l'on peut obtenir à partir des données d'exploration et de mise en valeur et qui peuvent servir à prédire les risques de DMA et DNC provenant des rejets miniers. Pour chaque étape du protocole, des exemples tirés des travaux de recherche réalisés à l'IRME-UQAT seront fournis pour illustrer les applications et les informations obtenues. La première étape consiste en une évaluation préliminaire des risques environnementaux basée sur des observations et des essais rapides et non destructifs réalisés sur des carottes de forage. La deuxième étape implique la définition de domaines géoenvironnementaux et des essais typiques de prédiction du DMA requis lors des études de préféabilité. La troisième étape correspond à des évaluations plus détaillées du comportement géochimique qui permettront d'envisager les options de gestion des futurs rejets miniers. La dernière étape du protocole de caractérisation géoenvironnementale comprend la visualisation spatiale des propriétés environnementales du minerai et des informations hydrogéochimiques des stériles et des rejets de concentrateur qui seront produits en fonction des différents scénarios de gestion. Finalement, les avantages et les limites de la modélisation géoenvironnementale seront présentés.

## Combinaison de l'intelligence artificielle et de l'analyse automatisée des carottes pour prédire les paramètres géoenvironnementaux

**Ehsan Vosoughi (UQAT, Mines Agnico Eagle),  
Raphaël Mermillod-Blondin (Mines Agnico Eagle),  
Benoît Plante, Isabelle Demers, Marc Legault (UQAT) et  
Aurélié Chopard (Mines Agnico Eagle)**

Le processus de développement d'une mine est une entreprise de longue haleine qui s'étend sur un minimum de cinq à dix ans entre la découverte initiale et l'exploitation d'un gisement. Cependant, le délai de développement d'une mine dépend fortement de plusieurs facteurs, notamment de la complexité géologique, métallurgique et environnementale du site, ainsi que de l'acceptation sociale du projet. Au fur et à mesure que l'exploitation minière progresse, en particulier dans le domaine de la gestion des résidus miniers, les risques inhérents demeurent omniprésents, ce qui incite l'industrie minière à constamment travailler sur des stratégies d'atténuation des risques. Pour relever ces défis, il est nécessaire d'adopter des méthodes efficaces de gestion des déchets miniers, telles que la caractérisation géoenvironnementale globale tout au long du processus d'évaluation des gisements.

L'évaluation des paramètres géoenvironnementaux et la création de modèles de blocs géoenvironnementaux en 3D impliquent la réalisation de tests environnementaux en laboratoire. Cependant, la création de modèles détaillés et précis nécessite un volume substantiel de données qui ne peuvent pas être dérivées uniquement des résultats de laboratoire en raison de leur coût et des contraintes de temps. Ces dernières années, l'industrie minière tend de plus en plus à intégrer les données de carottage automatisées aux techniques d'intelligence artificielle (IA). Cette intégration vise à améliorer l'identification et la cartographie de la minéralogie et des textures rencontrées dans les carottes de forage et à les relier aux tests environnementaux en laboratoire. Cette fusion de différentes méthodes représente une nouvelle frontière dans le secteur minier permettant de caractériser le comportement géoenvironnemental des gisements avec une haute résolution spatiale tout en réduisant les contraintes liées aux approches traditionnelles associées à la création de modèles de blocs géoenvironnementaux en 3D.

En collaboration avec les partenaires Mines Agnico Eagle et le ministère des Ressources naturelles et des Forêts, ce projet a pour objectif de développer une méthode innovante pour prédire les caractéristiques géoenvironnementales des gisements. Cet objectif sera atteint en intégrant les données recueillies par les techniques de balayage de carottes, notamment l'imagerie hyperspectrale (HSI), la spectrométrie d'émission atomique de plasma induit par laser (LIBS) et la spectrométrie de fluorescence X (XRF) avec les méthodologies d'IA. Le résultat de ce projet sera un modèle prédictif 3D englobant divers paramètres géoenvironnementaux, avec un accent particulier sur le potentiel de production d'acide et de lixiviation de métaux. Ce modèle prédictif constituera un outil robuste qui permettra d'éva-

luer le comportement environnemental d'un gisement avant même le début des opérations minières, ce qui facilitera la sélection de l'approche optimale pour la gestion des déchets miniers. Ces évaluations permettront à l'industrie minière de répondre de manière proactive aux préoccupations environnementales potentielles qui peuvent découler de la production de déchets miniers.

## Le retraitement des rejets miniers : une solution pour maximiser l'exploitation des ressources minérales et diminuer les impacts environnementaux?

**Lucie Coudert (IRME-UQAT)**

L'industrie minière est un contributeur majeur de l'économie québécoise, produisant des matières premières essentielles à nos industries et à notre société. Toutefois, l'exploitation des ressources minérales génère des quantités importantes de rejets solides et liquides qui peuvent avoir un impact sur l'environnement. La gestion responsable des rejets solides est l'un des défis les plus importants de l'industrie minière en raison de risques géotechniques (rupture de digue) et géochimiques (génération de drainage minier). Par conséquent, la diminution des volumes de rejets potentiellement problématiques à disposer sur les sites miniers représente une priorité pour le gouvernement, l'industrie minière ainsi que les communautés avoisinantes.

Le retraitement des rejets miniers à l'aide de procédés métallurgiques (séparation gravimétrique, flottation, procédés [bio-]hydrométallurgiques) représente une solution prometteuse pour diminuer le volume de rejets problématiques à gérer sur site (séparation ou immobilisation des éléments problématiques), tout en maximisant l'exploitation des ressources minérales (potentiel de récupération d'éléments à valeur ajoutée). Des procédés de retraitement des rejets existent, notamment pour séparer les minéraux sulfurés problématiques (désulfuration environnementale) ou récupérer les métaux précieux (biohydrométallurgie), avec des performances souvent dépendantes du site à l'étude.

Dans le cadre de nos travaux de recherche, des procédés de retraitement des rejets miniers sont développés pour : 1) diminuer la mobilité de l'arsenic présent dans des rejets désulfurés et filtrés, et 2) favoriser la récupération des métaux précieux ou critiques et stratégiques présents dans des concentrés de sulfures issus de la désulfuration environnementale, des rejets miniers « âgés » ou des rejets métallurgiques. Les résultats de plusieurs études de cas seront présentés afin de mieux documenter les filières de retraitement envisageables en fonction du site à l'étude ainsi que les avantages et limites du retraitement des rejets.

## SÉANCE 6

### 4<sup>E</sup> COLLOQUE MMA-2030 : EN ROUTE VERS L'AUTONOMISATION!

#### Changements technologiques et compétences dans le secteur minier : études de cas

**Drissa Ouattara (UQAT)**

Les entreprises minières intègrent de plus en plus de nouvelles technologies numériques dans leurs opérations minières et à toutes les étapes du cycle minier. Mentionnons notamment l'Internet des objets (IoT) et l'intelligence artificielle. Ces changements ont une influence incontestable sur les compétences des ressources humaines chargées de piloter les exploitations de cette industrie. Pour une meilleure adéquation entre les emplois et les formations, il est essentiel d'analyser les compétences exigées par l'implantation de ces nouvelles technologies afin d'adapter les formations aux besoins du secteur. Cette présentation passe en revue les grandes familles de compétences nécessaires à l'industrie 4.0 avec un accent particulier sur celles requises dans les exploitations minières. Les résultats de deux études de cas réalisées dans le cadre de projet MMA 2030 seront présentés à titre d'exemples. Le premier cas touche à une technologie de l'Internet des objets qui vise à améliorer la surveillance intelligente d'un système de ventilation minière. La deuxième technologie analysée porte sur un système de gestion intégrée des données minières (Neuromine) permettant une prise de décision optimale. On note une certaine inter/multidisciplinarité pour la plupart des postes où les connaissances numériques sont de plus en plus nécessaires. Quelques recommandations issues de ces études concluront la présentation.

#### Cartographie 4.0 pour la transformation numérique des processus miniers

**Richard Tremblay (Cadence Consultants)**

Dans le cadre du projet MMA 2030, MISA a réalisé, en collaboration avec Cadence Consultants, la cartographie de plus de 125 processus liés à l'exploitation minière. Ces processus ont été modélisés à l'aide de l'application infonuagique Pix4. Il s'agit d'une première phase dans la mise en place de l'intelligence opérationnelle dans le domaine minier. En effet, la compréhension de ces processus est le point de départ à l'optimisation de ceux-ci.

#### Réconciliation des mesures de libération minérale par LIBS et MEB/SRX : allier fréquence rapide et haute résolution

**David-Alexandre Desrosiers et Jocelyn Bouchard (ULaval)**

La libération minérale représente un indicateur clé de l'efficacité du procédé de broyage et peut expliquer des problèmes de performance lors de la séparation. La littérature démontre que son utilisation dans un contexte de contrôle constitue un avantage financier. Le degré de libération se

détermine typiquement par microscopie électronique à balayage jumelée à la spectrométrie à rayon X (MEB/SRX). Les délais de préparation et de traitement des échantillons pour cette méthode limitent toutefois grandement l'application pour le suivi quotidien en usine. La mesure de libération par spectrométrie d'émission atomique de plasma induit par laser (LIBS) permet de pallier le problème de fréquence d'échantillonnage aux dépens toutefois de la résolution des analyses. La taille du faisceau ne permet pas en effet de distinguer les particules d'une taille inférieure à 50 µm. Le couplage de ces deux techniques d'analyse en combinaison avec la méthode de réconciliation des données permet d'obtenir le meilleur des deux mondes, soit d'estimer le degré de libération à une fréquence rapide et avec une haute résolution. Trois cas seront présentés. Le premier constitue le scénario de base utilisant les données brutes MEB/SRX et LIBS. Le deuxième tient compte des mesures MEB/SRX, LIBS et des résultats d'un modèle de libération basé sur une distribution bêta. Enfin, le dernier cas examine une application récursive utilisant des pondérations plus faibles pour les données MEB/SRX et le modèle de manière à éviter une dérive des estimations avec le temps.

#### Obstacles et incitatifs à l'adoption de technologies innovantes dans le secteur minier québécois : le point sur le processus décisionnel des investisseurs dans un contexte ESG

**Nathalie de Marcellis-Warin (Polytechnique Montréal — CIRANO), Ingrid Peignier et Thomas Gleize (CIRANO)**

Dans le cadre de l'industrie 4.0 et de la transformation numérique, l'industrie minière s'efforce d'accroître sa productivité pour répondre à la demande croissante en métaux, tout en faisant face à des défis tels que la pénurie de main-d'œuvre et les changements climatiques. Les avancées technologiques, tels la maintenance prédictive et les véhicules autonomes, transforment les méthodes d'exploitation minière, mais certains obstacles entravent leur adoption.

La présentation portera principalement sur les résultats d'un projet de recherche qui a permis de mettre en évidence les facteurs qui facilitent ou freinent l'adoption de technologies innovantes et durables lors de l'évaluation des projets privés d'investissements miniers. Elle abordera également l'impact de la finance responsable et de la transparence liées aux critères ESG sur les décisions d'investissement dans le secteur minier. Ce projet s'appuie sur une synthèse des connaissances actuelles concernant les bénéfices et les coûts liés à l'adoption de diverses technologies innovantes dans l'industrie minière, ainsi que sur une vingtaine d'entrevues au Québec auprès des acteurs qui jouent un rôle clé dans cet écosystème, à savoir les équipementiers, les minières, les investisseurs et le gouvernement.

## Prédiction de temps de trajet des véhicules dans les mines souterraines

**Victor Simon et Michel Gamache (Polytechnique Montréal)**

Dans le but de planifier avec une meilleure précision et d'améliorer l'efficacité des opérations minières à court et moyen terme dans les mines souterraines, il est crucial de posséder une connaissance fine de la durée des trajets des camions de transport de minerais, activité à forte intensité énergétique dont dépendent habituellement les autres tâches d'exploitation minière.

Or, malgré la criticité de cette opération de transport, il est difficile d'estimer les durées précises des trajets alors que l'accès au GPS n'est pas envisageable, que les conditions opérationnelles varient et que de nouveaux trajets voient le jour à mesure qu'une mine se développe.

Pour s'attaquer à ce problème, les industriels miniers ont investi dans l'installation de balises souterraines de détection de véhicules dont les données pourraient permettre de retracer et de chronométrer les trajets. Ainsi, l'exploitation de ces données, possiblement combinées à d'autres données de télémétrie, par des algorithmes d'apprentissage machine est une piste prometteuse.

Toutefois, la manière dont sont gérées ces balises et la façon dont sont recueillies ces données de détection font du nettoyage de ces données une tâche titanesque, pourtant nécessaire à leur exploitation.

Les prédictions obtenues après un nettoyage superficiel pourraient ainsi gagner grandement en précision si la gestion et la maintenance de ces balises étaient gérées plus sérieusement.

Nos travaux de recherche permettent de formuler des recommandations permettant la mise en œuvre d'une base de données de détection pouvant être exploitée par des algorithmes notablement plus simples et rapides afin de fournir des résultats de grande qualité.

## Valorisation des données des analyses d'huile des équipements miniers

**Daniel Ley et Michel Gamache (Polytechnique Montréal)**

L'analyse de l'huile est un outil pratique et utile qui permet aux mines de suivre la santé de leurs engins motorisés, la dégradation de l'huile ainsi que l'usure des différents composants. Cette méthode de surveillance peut être considérée comme un outil à court terme. Après des années d'utilisation, les mines ont acquis une quantité importante d'information. Même si ces bases de données présentent des erreurs d'entrée ou sont incomplètes, elles sont le reflet de l'usure et de la maintenance d'un équipement, voire d'un site minier. Ainsi, en analysant la qualité et la cohérence de ces bases de données, il est possible d'assurer une maintenance plus efficace des équipements.

Le premier objectif de cette recherche est d'explorer en profondeur la base de données des analyses d'huile d'une mine canadienne afin de mieux comprendre la dégradation de l'huile en fonction de l'équipement, du type d'huile et des composants. Comme l'huile ne se brise pas, le but est de développer un modèle de dégradation des équipements pour mieux prédire la durée entre les changements d'huile. Le résultat devra être présenté sous forme de fenêtre de temps permettant d'estimer les coûts supplémentaires engendrés par des changements d'huile réalisés en dehors de ces périodes.

Dans un second temps, cette recherche tentera d'implanter cette fenêtre de temps dans un nouveau logiciel d'optimisation des cycles de maintenance.

Cette recherche s'inscrit dans un projet de plus grande ampleur, soit la numérisation des outils de maintenance dans l'industrie minière.

## Optimisation de la gestion des parcs d'actifs mobiles des sites miniers

**Guillaume Poudrier (Géothentic)**

Au cours de cette présentation, les points suivants seront discutés :

- ▶ Outils connectés d'aide à la gestion des parcs de véhicules;
- ▶ Interconnexions entre les systèmes (accès contrôle/ERP/GMAO);
- ▶ Présentation d'une étude de cas (réduction des GES et de la consommation d'essence);
- ▶ Collaboration avec MISA : Auto-partage — Dimensionnement de parcs grâce à l'IA — Profil personnalisable et dynamique.



## SÉANCE 7

# TRAVAUX D'ACQUISITION DE CONNAISSANCES GÉOSCIENTIFIQUES DE GÉOLOGIE QUÉBEC ET DE SES PARTENAIRES — NUNAVIK ET ABITIBI

### Géologie de la région du lac Serpentine, Orogène de l'Ungava, Nunavik, Québec, Canada

Guillaume Mathieu, Marc-Antoine Vanier et Thomas Debruyne (MRNF)

La campagne de terrain de l'été 2022 a touché la région du lac Serpentine. Les parties ouest des feuillets SNRC 35G10 et 35G15 ont ainsi été cartographiées à une échelle hybride entre le 1/20 000 et le 1/50 000. Des vérifications ont également été effectuées dans la portion est du feuillet 35G15 afin d'améliorer la compréhension du secteur central.

La géologie de cette région est constituée de deux ensembles paléoprotérozoïques qui représentent chacun environ la moitié de la superficie cartographiée en 2022. Le premier est constitué de roches supracrustales (Formation d'Iqittavialuk, groupes de Spartan et de Parent) coupées par des intrusions concordantes à l'empilement volcano-sédimentaire (suites de Saniualuk et de Saniuapik). Le second ensemble, au nord, est formé de la Suite de Vanasse. La jonction de ces deux ensembles est caractérisée par un schéma de plissement polyphasé complexe, la présence de zones de cisaillement mineures et discontinues et par une augmentation abrupte du gradient métamorphique vers le nord. Deux suites tardives (suites d'Ililuinaqtuut et de Niqituraaqiaruk) recourent toutes les unités du secteur.

Le schéma structural complexe, déjà mis en évidence lors des travaux antérieurs, a été mieux défini. Il résulte de l'interférence de trois familles de plis désignés P1, P2 et P3. La famille P1 est composée de plis à plans axiaux droits orientés E-W et à charnière subhorizontale plongeant vers l'ouest. La famille P2, la plus évidente, forme des plis serrés à isoclinaux à plans axiaux déversés et à charnières plongeant modérément en direction NW à NNE. Cette famille est synchrone à l'activité de la Faille de chevauchement d'Ombilic. Les plis P1 et P2 s'inscrivent dans un même continuum de déformation. La famille de plis P3 est constituée de plis à plan axial droit ou déversé orientés principalement N-S et à charnière plongeant faiblement vers le nord.

### Géologie des dépôts de surface de la région des lacs Nuvilic, Nunavik, Québec, Canada

Simon Hébert, Marc-Antoine Lévesque (MRNF) et Alex Proulx (UQAM)

Au nord de la péninsule d'Ungava, les grandes glaciations du Quaternaire ont façonné la morphologie d'une grande partie du territoire en y déposant une couverture sédimentaire d'épaisseur variable, limitant ainsi l'accès au socle rocheux. Pour cette raison, l'utilisation d'outils de prospection glaciocédimentaire s'avère d'une grande aide pour broser un portrait plus global du potentiel minéral de la région du Nunavik, déjà reconnue pour son potentiel nickélicifère (2 mines en activité). Cette présentation traite de la géologie du Quaternaire d'un secteur couvrant un peu plus de 4500 km<sup>2</sup> dans le secteur central de la péninsule d'Ungava, au sud de Salluit et de la baie Déception. Une nouvelle carte des formations de surface à l'échelle 1/50 000 ainsi qu'un échantillonnage de sédiments d'origine glaciaire (till) et fluvioglaciaire (esker) ont été effectués lors de la campagne de terrain de l'été 2021. Le territoire à l'étude est bordé au sud par la Ceinture de Cape Smith, un domaine lithotectonique appartenant à l'Orogène de l'Ungava. Les dépôts de surface sont dominés par des sédiments glaciaires (till) qui ont par endroit été remaniés et entaillés par l'eau de fonte lors de la déglaciation. Des dépôts fluvioglaciaires juxtaglaciaires (eskers) de composition principalement sablo-graveleux, ainsi que des épandages proglaciaires surmontent localement les dépôts glaciaires. Plusieurs évidences démontrent l'existence de lacs glaciaires de durées et d'ampleurs variables qui ont remanié ou recouvert les sédiments glaciaires et fluvioglaciaires dans les vallées des rivières Foucault et Gatin. On distingue également la présence de terrasses et de deltas glaciomarins permettant de délimiter l'extension maximale de l'invasion marine dans la vallée des lacs François-Malherbe et Watts. Le terrain à l'étude est situé au cœur de la péninsule d'Ungava et montre peu d'évidences macroscopiques d'écoulement glaciaire (formes de terrain fuselées), malgré les nombreuses stries perceptibles sur le roc affleurant. Le socle rocheux est peu exposé sur le terrain d'étude, est généralement gélifracté et caractérisé par endroits par des felsenmeer matures, notamment sur les monts de Puvirnituk.

## Géologie de la région du lac la Trêve, Sous-province de l'Abitibi, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada

Mélanie Beaudette et Yannick Daoudene (MRNF)

Une nouvelle carte géologique résultant d'un levé réalisé à l'été 2022 a été produite à l'échelle 1/20 000 dans la région du ruisseau aux Alouettes (feuille 32G13-SE), localisée à ~60 km à l'ouest de la ville de Chapais. Nos observations permettent une subdivision inédite des roches volcaniques de la moitié sud de la région qui étaient auparavant indifféremment regroupées dans la Formation de Blondeau (sommet du second cycle volcanique du Groupe de Roy). Nous proposons de diviser ces roches en neuf sous-unités variablement composées de roches volcaniques, soit des laves mafiques à felsiques massives ou coussinées, de roches volcanoclastiques intermédiaires et de roches sédimentaires détritiques. Au sud, le Blondeau est en contact stratigraphique avec les roches volcaniques mafiques de la Formation de Bruneau (base du second cycle volcanique du Groupe de Roy). Le Bruneau est en contact tectonique au sud avec la Suite intrusive de Lapparent formée de différentes unités de roches intrusives intermédiaires à felsiques. Au nord, les roches sédimentaires détritiques de la Formation de Daubrée et du Groupe d'Opémisca sont en contact tectonique avec le Blondeau. Celui-ci est coupé par les gabbros et les roches intrusives ultramafiques du Filon-couche d'Esturgeon, désormais assignés à la Suite intrusive de Cummings, ainsi que par le Pluton tarditectonique ou post-tectonique de La Ribourde. La Formation de Daubrée est coupée par trois intrusions appartenant à la Suite intrusive de Daine : les plutons de Rita, d'Amibe et de Saussure. La plupart des critères de polarité observés dans le Blondeau et le Daubrée démontrent un sommet stratigraphique vers le NE. Quelques polarités vers le sud indiquent toutefois que la séquence volcano-sédimentaire de la région est affectée par des plis généralement serrés, aux axes à plongement faible et aux traces de plan axial parallèles au grain structural régional. En plus des zones minéralisées en métaux usuels et précieux déjà rapportés dans la région, nos travaux mettent en évidence quatre secteurs promoteurs associés à la présence de : 1) zones d'altération volcanogène et de sulfures massifs dans des roches volcaniques intermédiaires coussinées du Blondeau (nAbl2b); 2) fragments de sulfures massifs dans des roches volcanoclastiques intermédiaires à cristaux de quartz bleuté du Blondeau (nAbl2f); 3) valeurs anormales en vanadium et en titane dans un gabbro quartzifère riche en fer du Complexe d'Esturgeon (nAest2b); et 4) zones d'altération à épidote ± sulfures dans des unités volcaniques à la périphérie du Pluton de La Ribourde qui montrent des similitudes avec un contexte métallogénique de type skarn.

## Caractérisation pétro-géochimique et rôle de la déformation dans la formation des gîtes de lithium de la région de La Motte-La Corne, Sous-province de l'Abitibi, Québec

Hubert Mvondo (MRNF)

Les pegmatites lithinifères et les faciès associés de la région de La Motte-La Corne forment des dômes et des dykes felsiques injectés le long des failles en bordure des plutons de granodiorites et de monzogranites. Ils sont principalement constitués de quartz-albite-feldspaths potassiques-spodumène et, accessoirement, de spessartine, muscovite et béryl et montrent des textures aplitiques, porphyriques ou équigranulaires. Ces textures résultent d'au moins 4 phases de cristallisation magmatiques ou magmatique-hydrothermales avec formation de 2 générations de spodumène qui constitue le principal minéral lithinifère.

Les dykes felsiques ont une composition variant de syénite à granite alcalin avec des teneurs diverses en  $\text{SiO}_2$  (64,65 à 79,64 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10,61 à 24,88 %),  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (4,39 à 11,74 %), Li (12 à 22 500 ppm), Cs (0 à 431 ppm), Ta (8 à 366 ppm), Rb (5 à 3130 ppm), Sr (5 à 285 ppm), Be (5 à 428 ppm), Ba (2 à 404 ppm), P (2 à 742 ppm), F (0,01 à 0,22 ppm) et en  $\Sigma\text{REE}$  (2 à 83 ppm). Ces roches hyperalumineuses ( $\text{Al}/[\text{Ca} + \text{Na} + \text{K}] = 1,51 \text{ à } 3,59$ ) sont le résultat de plusieurs injections d'un magma source issu de la fusion partielle de métapélites à la base de la croûte et dont la différenciation lors de l'ascension vers la surface s'est faite jusqu'au stade magmatique-hydrothermal. Des monzogranites présentent des caractéristiques géochimiques comparables et constituent des intrusions primitives provenant du même magma source.

Les pegmatites lithinifères, issues des faciès les plus différenciés du magma source riches en éléments fluxants ( $\text{H}_2\text{O}$ , F, P, etc.), se sont mises en place à la faveur de failles et de zones de dommages associées en bordure des plutons de granodiorite et de monzogranite. Ainsi, les plutons hyperalumineux et les failles majeures localisées près de ces plutons peuvent être utilisés comme indicateurs pour l'exploration des pegmatites lithinifères.

## Regard historique sur la géologie et l'architecture des groupes de Malartic et de Louvicourt, Sous-province de l'Abitibi

Pierre Pilote, James Moorhead, Pierre Lacoste et Jean David (MRNF), Réal Daigneault (UQAC) et Pierre Bedeaux (Barrick Gold)

Le cadre stratigraphique et structural des groupes de Malartic et de Louvicourt, des unités bien exposées dans la région de Val-d'Or-Malartic, a grandement évolué depuis les travaux pionniers de James et Mawdsley (1925), Gunning et Ambrose (1939 et 1940) et Norman (1941, 1942 et 1944). Du côté québécois, les travaux de Latulippe (1966), Sharpe (1968), Imreh et collaborateurs (qui se sont étendus sur plus d'une décennie entre 1974 à 1984) et de Rocheleau et collaborateurs (1997) ont permis de peaufiner ce schéma.

Cette présentation porte plus particulièrement sur l'architecture et la compréhension des groupes de Louvicourt et de Malartic et des unités géologiques adjacentes (volcaniques, sédimentaires et intrusives). À l'occasion de cette conférence, des constats et des interprétations seront proposés à la lumière des campagnes de cartographie du MRNF réalisées au cours des 35 dernières années appuyées par une sélection d'affleurements clés, de nombreuses datations U-Pb sur zircons, d'études universitaires réalisées et/ou commanditées dans plusieurs cas par le Ministère, ainsi de travaux miniers qui nous apparaissent d'un intérêt déterminant et des levés aéromagnétiques à haute résolution.

Les groupes de Malartic et de Louvicourt, situés dans la partie SE de la Sous-province archéenne de l'Abitibi, montrent une orientation WNW-ESE et occupent une superficie globale d'environ 125 sur 18 km. Ces ensembles lithostratigraphiques montrent un rajeunissement vers le sud globalement cohérent avec les polarités observées. Le Groupe de Malartic se compose, de la base vers le sommet, des formations de La Motte-Vassan (nAmv; 2714 ±2 Ma), de Dubuisson (nAdu; 2708 ±2 Ma) et de Jacola (nAja; 2703 ±2 Ma). La base du Groupe de Louvicourt est formée de la Formation de Val-d'Or (nAvd; 2704 ±2 Ma) surmontée par la Formation d'Héva (nAhe; 2702 à 2698 ±2 Ma). Des niveaux repères ont permis d'établir des corrélations stratigraphiques et démontrer que la cartographie par faciès peut être utilisée avec succès, bien que ces deux groupes représentent une séquence volcano-sédimentaire complexe du point de vue stratigraphique, géochimique et géochronologique.

Le Groupe de Malartic constitue l'équivalent d'un plancher océanique produit vraisemblablement à grande profondeur par un panache mantellique. Située stratigraphiquement au-dessus du Groupe de Malartic, la nAvd représente le résultat de la construction d'un arc volcanique formé de nombreux centres effusifs qui se superposent. Le contact entre la nAja et la nAvd est graduel, reflétant le passage d'un volcanisme ultramafique/mafique vers un type intermédiaire à felsique. Le sommet du Groupe de Louvicourt est caractérisé par les coulées basaltiques et les roches volcanoclastiques de la nAhe. La séquence stratigraphique établie à la suite des divers travaux de cartographie, de volcanologie, de sédimentologie et de géochronologie suggère que cette région constitue une succession volcano-sédimentaire cohérente et solidaire, mais évidemment sévèrement faillée, déformée et métamorphisée, plutôt qu'un collage de domaines allochtones sans lien entre eux. La contrepartie ontarienne de ces lithologies correspond en partie à l'épisode (assemblage) Kidd-Munro. Des différences notables existent toutefois entre ces deux ensembles.

## SÉANCE 8

# INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES AU SERVICE DE LA GESTION DE LA POINTE D'ÉLECTRICITÉ HIVERNALE

## Solutions clients aux enjeux de gestion de la pointe

**Sabrina Harbec (Hydro-Québec)**

Le Québec bénéficie d'une position enviable avec une énergie propre et de bas tarifs, mais doit saisir l'occasion de se décarboner et créer de la richesse tout en répondant aux attentes des clients et clientes. La transition énergétique intensifiera les enjeux de gestion de la pointe pour Hydro-Québec. Les innovations technologiques et la diversification des offres commerciales pour engager la clientèle à moins consommer et à consommer au bon moment seront au cœur des stratégies d'Hydro-Québec. Ces innovations technologiques et commerciales nous propulseront vers un Québec décarboné et prospère pour répondre à la demande d'électricité et d'offrir à la clientèle un service fiable, simple et abordable.

## Algorithmes de prédiction et d'optimisation au service de la gestion de la demande de pointe du réseau électrique

**Hanane Dagdougui (Polytechnique Montréal)**

La gestion de la demande de puissance est une préoccupation urgente dans le paysage énergétique actuel en constante évolution. La venue de nouvelles technologies de l'information et de la communication a provoqué l'émergence de nouveaux fournisseurs de flexibilité, pilotés par des ressources énergétiques distribuées, qui sont capables de mettre à profit la puissance de leurs technologies pour le réseau électrique. Ce déploiement rend nécessaire la distribution du contrôle et de prédiction sur de nouvelles plates-formes numériques axées sur l'agrégation. En plus de permettre une participation active des consommateurs à la gestion de la charge, cette distribution offrira une analyse de données à une échelle distribuée pour l'exploration massive des données multisources du réseau. Les défis seront donc liés à l'hétérogénéité des données, des actions et de leurs intérêts divergents. Pour pouvoir exploiter efficacement de tels systèmes complexes à grande échelle, il convient de mettre au point et d'intégrer de nouveaux outils de prédiction et d'optimisation capables d'intégrer les consommateurs en tant que participants actifs aux activités du réseau.

## Occasions et défis en gestion de la demande électrique — secteurs industriel et du bâtiment

**Thomas Caouette (BPA)**

Le conférencier se penchera sur divers aspects cruciaux liés à la gestion efficace de la demande électrique dans les secteurs industriel et du bâtiment. Les sujets abordés engloberont les défis actuels, les solutions envisageables et les considérations stratégiques pour optimiser la demande électrique. De quelle manière jongler avec les exigences de confort, de logistique et de productivité, tout en délestant le réseau de distribution électrique?

## L'intégration régionale des marchés de l'électricité comme instrument de gestion des pointes — occasions et défis

**François Bouffard (Université McGill)**

Historiquement, le Québec a bénéficié de la non-coïncidence de ses pointes de consommation avec celles de ses voisins immédiats. Alors que nos voisins s'affairent à décarboner leurs propres systèmes énergétiques, par exemple par la conversion des systèmes de chauffage au gaz vers l'électricité, les avantages découlant de cette situation risquent de s'effacer assez rapidement. Du même coup, tout le nord-est de l'Amérique du Nord aurait intérêt à mieux mutualiser ses ressources énergétiques afin de réduire les coûts d'exploitation et les investissements requis à l'échelle régionale. Dans cette présentation, nous verrons comment les interconnexions et des innovations dans les mécanismes de marché sont éminemment nécessaires à une décarbonation et à une gestion des pointes à moindre coût.

## Gestion de la pointe : revoir les responsabilités afin d'accélérer la décarbonation

**Normand Mousseau (Université de Montréal et Institut de l'énergie Trottier, Polytechnique Montréal)**

En 2023, la pointe de demande hivernale au Québec, qui représente plus de 85 % de la puissance disponible au Québec, n'a duré que quelques dizaines d'heures. Maintenir une réserve de puissance pour moins de 0,5 % de l'année impose pourtant de fortes contraintes à Hydro-Québec, ce qui limite l'électrification du chauffage et justifie le maintien du gaz naturel dans le secteur du bâtiment. La forte augmentation de la production d'électricité essentielle à l'atteinte des objectifs climatiques permet de se pencher de nouveau sur la question de la pointe de demande et de développer des approches innovantes. L'une de ces approches, étudiée présentement par l'Institut de l'énergie Trottier [1], consisterait à laisser aux nouveaux clients l'entière responsabilité de la gestion de la pointe, dégageant les distributeurs de l'obligation de service dans certaines conditions. Monsieur Mousseau présentera les arguments en faveur de cette proposition et précisera les prochaines étapes de cette analyse.

[1] Éloïse EDOM, Louis Beaumier et Normand Mousseau, 2023. Gestion de la demande de pointe d'électricité au Québec dans un contexte de décarbonation. Document de travail, Institut de l'énergie Trottier.

## SÉANCE 9

# LA VALLÉE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE : UN ÉCOSYSTÈME D'INNOVATION COLLABORATIF

## Un écosystème incontournable de recherche, d'innovation et de valorisation

**Alain Lemieux (Vallée de la transition énergétique)**

Cette séance portera sur la mise sur pied d'un écosystème dynamique regroupant des acteurs qui travaillent de concert pour accélérer le développement (approvisionnement, fabrication, durabilité, efficacité, recyclage) et l'adoption de technologies de batterie avancées et respectueuses de l'environnement.

Cet écosystème favorise l'entrepreneuriat et l'innovation en offrant un soutien financier, des infrastructures de laboratoire, des bancs de test (usine-pilote), des programmes d'incubation et des occasions de collaboration pour les jeunes pousses et les innovateurs. Il joue un rôle clé dans la création de marchés pour les technologies, la standardisation des normes industrielles et la promotion de pratiques durables tout au long du cycle de vie des batteries.

## SÉANCE 10

### DES PARTENARIATS STRATÉGIQUES INTERNATIONAUX POUR SUBVENIR AUX BESOINS EN MINÉRAUX CRITIQUES DU SECTEUR EUROPÉEN DES HAUTES TECHNOLOGIES — UNION EUROPÉENNE

#### Présentation du Délégué interministériel aux approvisionnements en minerais et en métaux stratégiques

**Benjamin Gallezot (Services de la première ministre, France)**

M. Gallezot présentera son rôle en tant que Délégué interministériel pour les approvisionnements en minerais et métaux stratégiques qu'il occupe aux Services de la première ministre française. Il partagera également sa vision de l'industrie minière en ce qui a trait aux approvisionnements en minerais stratégiques des secteurs des hautes technologies.

#### Présentation de l'organisation européenne EIT InnoEnergy et de l'Alliance européenne de la batterie

**Kenya Shatani (EIT InnoEnergy)**

M. Shatani présentera en quelques mots le rôle que tient l'organisation européenne EIT InnoEnergy dans la transition énergétique ainsi que l'initiative « Bâtir une Alliance européenne de la batterie ».

#### Présentation du Pôle Avenia

**Jérôme Gouin (Avenia)**

M. Gouin présentera le rôle du Pôle AVENIA en tant que pôle français de compétitivité des industries du sous-sol.

#### Présentation d'Investissement Québec

**Fabrice Consalvo (Investissement Québec)**

M. Consalvo présentera en quelques mots le rôle de sa direction dans le renforcement de la compétitivité du Québec sur la scène internationale dans le contexte de la transition énergétique mondiale.

#### Présentation de la Chaire de recherche sur la production d'hydrogène vert

**Bruno Pollet (UQTR)**

M. Pollet présentera sa vision en ce qui concerne la production d'hydrogène vert et les liens que celle-ci peut avoir avec la transition énergétique mondiale.

## SÉANCE 11

### UNE EXPERTISE SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE AU PROFIT DE L'INDUSTRIE MINIÈRE CANADIENNE : CONTRIBUTION DES MEMBRES DE L'ACIM

#### Mise à jour sur l'Accélérateur de commercialisation des innovations minières

**Chamirai C. Nyabeze (ACIM)**

Au cours de cette présentation, de nombreux points seront abordés :

- ▶ Une vue d'ensemble du réseau de l'ACIM.
- ▶ Les projets financés par l'ACIM.
- ▶ Les activités de l'ACIM et les services que nous offrons à nos membres.
- ▶ Nos efforts de sensibilisation à l'échelle mondiale et leurs impacts.
- ▶ L'influence des principaux partenaires de l'ACIM sur les écosystèmes locaux.
- ▶ Les principales tendances mondiales en matière d'exploitation minière dont le suivi est essentiel pour nous.

#### Soutenir l'innovation minière au Canada atlantique grâce aux applications de la technologie hyperspectrale et de la capture de réalité

**Michael Long (College of the North Atlantic)**

Cette présentation présente les travaux du Bureau de la recherche appliquée et de l'innovation du *College of the North Atlantic* (CNA), effectués en collaboration avec l'industrie minière, le réseau ACIM et les organismes gouvernementaux, portant sur deux initiatives majeures qui visent à appuyer le secteur minier au Canada :

- ▶ Imagerie hyperspectrale de carottes de forage. Le CNA, en partenariat avec Rio Tinto, Mines Agnico Eagle, l'APECA et le gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador, a entrepris le plus grand projet d'acquisition d'images hyperspectrales de matériaux géologiques de l'histoire du Canada. Terre-Neuve-et-Labrador abrite l'une des plus grandes bibliothèques publiques de carottes de forage du Canada, avec plus de 1,7 million de mètres de carottes stockées. À l'aide de capteurs VNIR, IRCL, MWIR et LWIR et de profilers laser intégrés dans une unité mobile de balayage hyperspectral (HSU), le CNA a créé une base de données hyperspectrale des carottes de forage de la province afin d'appuyer les activités d'exploration et les investissements de la communauté minière par le biais de la géoscience publique.
- ▶ Centre d'accès aux technologies de capture de la réalité et de numérisation (RCD TAC). Le Centre d'accès aux technologies de capture de la réalité et de numérisation (RCD-TAC) est spécialisé dans la collecte, le traitement

et la visualisation de données provenant d'une suite de technologies avancées de capture de réalité et de numérisation afin d'accélérer l'innovation commerciale et la prise de décision fondée sur les données. Le RCD TAC déploie ses technologies de capture de réalité, de télédétection, de photogrammétrie, de géomatique et de numérisation pour cartographier les sites et les actifs miniers ainsi que les terrains d'exploration afin de créer des modèles 3D très précis utilisés par les sociétés minières et d'exploration pour décrire leurs activités. Les exemples seront présentés, notamment des cas d'utilisation de drones LiDAR et/ou hyperspectraux autonomes, de drones LiDAR topo-bathymétriques, de balayages métrologiques et de technologies mobiles de cartographie en 3D.

## Problèmes de fiabilité et durabilité des équipements dans l'exploitation minière des sables bitumineux

**Gary Fisher (InnoTech Alberta)**

Le consortium MARIOS est le principal fournisseur de solutions aux problèmes de durabilité et de fiabilité des équipements dans le secteur de l'exploitation des sables bitumineux. Le consortium identifie, valide et aide à l'adoption de solutions technologiques avancées afin d'accroître l'efficacité et la productivité des mines.

L'industrie des sables bitumineux dépense environ 3 milliards de dollars par an pour des problèmes liés à la maintenance, auxquels s'ajoutent 5 à 7 milliards de dollars en pertes de production. Ces coûts sont largement attribués aux problèmes de durabilité et de fiabilité des équipements associés aux contraintes d'usure sévères subies par ces équipements. Créé en 2008, le consortium *Materials and Reliability in Oil Sands* (MARIOS), une initiative de l'industrie gérée par InnoTech Alberta, s'intéresse aux questions des matériaux et de la fiabilité dans l'industrie minière des sables bitumineux afin d'améliorer la fiabilité et la durabilité de l'équipement dans les opérations critiques. MARIOS regroupe quatre exploitants miniers de sables bitumineux à ciel ouvert et plus de 45 entreprises de la chaîne d'approvisionnement. Il se concentre sur la fourniture rapide de solutions prêtes à être commercialisées pour répondre aux besoins les plus urgents de l'industrie. Cette présentation offrira un aperçu des progrès réalisés pour améliorer la longévité et la fiabilité des équipements destinés à l'exploitation et au traitement des sables bitumineux et donnera quelques exemples de l'impact considérable que peut avoir l'utilisation de matériaux et de procédés de fabrication avancés.

## Programme VORTEX : masse critique d'objets connectés au cœur des exploitations minières

**Alain Beauséjour (Groupe MISA)**

La transition numérique gagne progressivement les exploitations minières. Les technologies numériques, l'intelligence artificielle, l'optique, la science des données, pour n'en nommer que quelques-unes, sont l'objet de preuves de concept ou sont en cours de mise en œuvre. La voie vers l'autonomisation des exploitations minières se profile à l'horizon 2030. Au cœur de cette effervescence technologique, l'Internet des Objets (IoT) se positionne comme une technologie de rupture qui aura un profond impact sur la façon d'exploiter une mine. Le Parcours VORTEX de MISA vise à accélérer le déploiement de l'IoT au cœur des exploitations minières et à déployer une offre québécoise d'objets connectés pour les marchés miniers du Québec et de l'international. Cette conférence présentera des cas concrets d'applications IoT portées par les PME innovantes de la filière minérale du Québec.

## L'avenir de la main-d'œuvre et l'entreprise intelligente

**Ian Spence (MaRS)**

Les jeunes pousses et les jeunes entreprises en croissance font converger le lieu de travail d'hier et l'entreprise renouvelée de demain.

- ▶ L'Industrie 4.0 est l'évolution active du secteur industriel.
- ▶ L'Industrie 4.0 est définie par la convergence.
- ▶ L'Industrie 4.0 est la transformation de la main-d'œuvre.
- ▶ L'Industrie 4.0 est électrifiée et durable.

MaRS est le plus grand pôle d'innovation urbaine d'Amérique du Nord. Organisme à but non lucratif enregistré, MaRS soutient les jeunes pousses et les entreprises à forte croissance qui s'attaquent à des problèmes clés dans les domaines de la santé, des technologies climatiques, de la productivité, de la chaîne d'approvisionnement et de nombreux autres secteurs. De plus, MaRS rassemble tous les membres de l'écosystème technologique pour mener des découvertes révolutionnaires, faire croître l'économie et avoir un impact en résolvant de vrais problèmes pour de vraies personnes — au Canada et dans le monde entier.

## Occasions et défis techniques dans le secteur minier de la Colombie-Britannique

John Steen et Janice Fingler (UBC)

La Colombie-Britannique offre de nombreuses possibilités dans le domaine de l'exploitation minière, mais elle doit aussi relever plusieurs défis. Les émissions de sélénium provenant de l'extraction du charbon sidérurgique ont été réduites, mais doivent l'être encore davantage pour permettre à l'industrie de se développer et de répondre à la demande. La baisse des teneurs en minerai dans les mines à ciel ouvert se traduit par une augmentation du volume de résidus qui nécessite de meilleures solutions que celles dont nous disposons actuellement. La découverte de nouveaux gisements est également souvent entravée par la présence de dépôts glaciaires, ce qui exige de nouvelles méthodes d'exploration. D'autre part, la Colombie-Britannique dispose d'excellentes capacités de recherche dans les domaines du traitement des minerais, de la biotechnologie et de l'exploration avec un potentiel de premier plan à l'échelle mondiale.

## Apprentissages d'un partenaire de l'ACIM. Première étape : hausser la barre en matière de mobilisation

Paul Labbe (ACIM)

Cette présentation fournira un aperçu et une mise à jour du milieu de l'exploitation et de l'innovation minières en Saskatchewan. De constantes avancées technologiques émanent des organismes d'innovation, d'ingénierie et de recherche du monde entier. Les progrès récents dans les domaines des technologies de l'information, des ordinateurs, de la puissance informatique, des capteurs et des technologies électriques et électroniques peuvent parfois sembler très attrayants pour les entreprises minières d'envergure actives en Saskatchewan, au Manitoba et dans les Territoires du Nord-Ouest. Des perturbations récentes comme la guerre en Ukraine et des facteurs mondiaux comme l'augmentation de la population, l'automatisation et d'autres encore ont entraîné une hausse de la production minière en Saskatchewan dont la valeur a atteint plus d'un milliard de dollars au cours de la dernière année seulement. Nous discuterons de la manière dont cette situation peut se traduire dans le lancement de nouvelles recherches, ainsi que la meilleure façon de faire passer certaines de ces innovations du laboratoire à la mine ou à l'usine, en particulier dans le cas des matières premières clés comme la potasse, l'uranium et les autres minéraux essentiels nécessaires pour favoriser l'électrification et la décarbonation de nos sociétés, pour mieux nourrir la population mondiale croissante, pour ralentir ou arrêter le changement climatique et pour poursuivre le déploiement du sans-fil dans le monde entier.

## SÉANCE 12

### L'APRÈS-EXPLOITATION : LE SUIVI ET L'ENTRETIEN, UNE ÉTAPE À NE PAS NÉGLIGER

#### Suivi et entretien des sites miniers restaurés sous la responsabilité de l'État — portrait et réalisations

Mathieu Lavoie et Cynthia Marchildon (MRNF)

La mise en place d'un programme de suivi et d'entretien post-restauration d'un site minier est importante à tous égards. Elle permet de valider l'atteinte des objectifs de restauration, d'assurer l'intégrité des ouvrages en place, de suivre l'évolution des performances des ouvrages d'ingénierie et d'éviter la dégradation générale du site. Au Québec, plusieurs sites miniers restaurés sont sous la responsabilité de l'État et l'équipe du Service de gestion des sites miniers abandonnés (SGSMA) de la Direction de la restauration des sites miniers (DRSM) est responsable d'en faire le suivi et l'entretien. Cette conférence présentera notre équipe et fera un survol de ses réalisations et des principaux enjeux auxquels elle doit faire face.

#### Comportement post-restauration du site minier Aldermac

Sophie Turcotte (MRNF) et Ann Lamontagne (Lamont expert-conseil)

Le site Aldermac est une ancienne mine de cuivre et de zinc exploitée de 1932 à 1943 qui a produit 1,5 Mt de résidus miniers fortement générateurs d'acidité qui n'avaient fait l'objet d'aucune mesure de confinement. De 2008 à 2010, le MRNF a réalisé des travaux de restauration sur ce site comprenant l'ajout d'un recouvrement étanche (géomembrane) d'une cellule de confinement mise en place à la suite de l'excavation et du chaulage des résidus dans le secteur sud ainsi que la mise en place d'un recouvrement monocouche et d'une nappe surélevée dans le secteur nord.

Une analyse de la performance des méthodes de restauration des sites miniers restaurés par le MRNF réalisée en 2020 par l'IRME-UQAT a soulevé plusieurs enjeux quant à la performance environnementale des travaux de restauration au site Aldermac.

Le MRNF a donc décidé de mettre sur pied un comité formé d'experts du milieu universitaire et de l'industrie afin d'apporter un éclairage nouveau sur la situation environnementale de l'ancien site minier Aldermac. L'objectif principal du comité d'experts était d'analyser et de comprendre, dans la mesure du possible, le comportement post-restauration de ce site minier afin de proposer un programme de travail visant à trouver des solutions pérennes qui permettront de contrôler la contamination environnementale du site.

Cette présentation décrira les principales conclusions de ces travaux.

## La fermeture, la restauration et le suivi post-fermeture chez Agnico Eagle : une approche basée sur la gestion du risque

**Josée Brazeau (Mines Agnico Eagle)**

Mines Agnico Eagle est le plus grand producteur d'or au Canada et le 3<sup>e</sup> plus important au monde avec 11 mines en exploitation dans 4 pays. Dans l'ombre des chevalements de ses mines, Agnico Eagle possède également plusieurs propriétés historiques, inactives ou encore en suspension temporaire d'activité. La gestion de ces propriétés, dont plus de 250 se trouvent dans les camps miniers de Cobalt et de Kirkland Lake en Ontario, nécessite une réflexion et une vision qui va bien au-delà de la réglementation applicable.

Agnico Eagle a mis en place en 2014 une équipe d'entreprise dédiée à la restauration minière. Bien que chaque exploitation soit responsable de l'élaboration et des mises à jour de son plan de restauration, qui inclut le suivi post-fermeture et post-restauration, l'équipe de restauration minière appuie ces efforts et révisé les plans au besoin afin d'assurer une certaine uniformité des travaux à l'échelle de la compagnie. À la fin de l'exploitation d'une mine, l'équipe de restauration minière se joint au groupe local dédié à cette tâche pour prendre en charge le démantèlement du site. L'équipe d'entreprise a également la responsabilité des sites historiques ou inactifs et en fait le suivi et la réhabilitation.

Comment s'effectue le transfert de responsabilités entre l'exploitation et l'équipe de restauration d'entreprise lors de la cessation de l'exploitation? Quels sont les intervenants impliqués dans le suivi post-fermeture et post-restauration? Quel est le rôle de l'ingénieur désigné? Comment sont abordées les différences de législation ou même l'absence de législation en matière de fermeture et de restauration dans les différentes autorités où œuvre Agnico Eagle? L'élaboration d'un standard interne, d'une grille d'analyse et de lignes directrices (actuellement en rédaction) permettront de mieux éclairer et d'uniformiser les façons de faire à l'intérieur de la compagnie.

## Restauration minière et économie circulaire au site de déposition de résidus de bauxite de Rio Tinto Aluminium, Saguenay-Lac-Saint-Jean

**Jean Lavoie et Simon Bergeron (RioTinto Aluminium)**

Cette conférence portera sur la vision et la culture de Rio Tinto Aluminium (RTA) concernant la fermeture et la restauration de ses sites d'exploitation incluant le site de déposition de résidus de bauxite (SDRB). Nous verrons l'approche globale de RTA et comment celle-ci se traduit dans les opérations du SDRB pour l'exploitation des cellules actives et la restauration progressive des aires d'accumulation devenues inactives. Dans un deuxième volet, la présentation présentera le porte-folio de projets en recherche et de développement touchant la valorisation des résidus de bauxite et les éléments clés des différentes technologies à l'étude. Celles-ci pourraient jouer un rôle important dans la restauration des sites miniers tant pour les aspects

techniques des projets que pour la communauté. Ces technologies à divers stades de développement ou de maturité permettent à RTA d'augmenter la circularité de ses activités industrielles en transformant des résidus provenant des activités passées et actuelles en ressources et produits manufacturés pour d'autres usages.

## SÉANCE 13

### PROJETS MINIERES AU QUÉBEC : L'AVENIR EST LÀ!

#### First Phosphate : les grandes étapes réalisées et les étapes à venir (Lac à l'Original et Bégin-Lamarche)

**John Passalacqua (First Phosphate)**

First Phosphate est une société de développement de minéraux entièrement dédiée à l'extraction et à la purification de phosphate pour la production de matériau actif de cathode destiné à l'industrie des batteries au lithium-fer-phosphate (« batteries LFP »). Elle s'engage à produire un matériau de haute pureté de manière responsable et avec une faible empreinte carbone.

First Phosphate prévoit une intégration verticale à partir de la mine jusqu'aux chaînes d'approvisionnement des principaux producteurs de batteries LFP qui recherchent un matériau actif de cathode de qualité « batterie » provenant d'une source d'approvisionnement constante et fiable.

La compagnie détient plus de 1500 km<sup>2</sup> de claims libres de redevances qu'elle développe activement au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Le phosphate issu d'unité d'anorthosite est généralement de grande pureté et pauvre en éléments nuisibles.

#### Les marchés du scandium et le projet Crater Lake d'Imperial

**Pierre Neatby (Groupe minier Impérial)**

Cette présentation donnera un aperçu des marchés du scandium et présentera le projet minier Crater Lake de la compagnie Imperial dans le NE du Québec.



## **Focus Graphite, une compagnie axée sur le développement de projets de graphite en paillettes à haute teneur afin de fournir un graphite de qualité supérieure pour les batteries et contribuer directement à la révolution de l'énergie verte**

**Kimberly Darlington (Substance Raffinée)**

Le monde est à l'aube d'une révolution énergétique verte où les sources d'énergie renouvelables remplaceront les sources d'énergie traditionnelles, comme le pétrole, le charbon et le gaz. L'un des principaux changements en cours est le remplacement des véhicules à carburant par des véhicules électriques (VE) à zéro émission. Ces VE nécessitent des batteries puissantes composées de matériaux essentiels tels que le lithium, le cobalt, le nickel, le manganèse et le graphite. Alors que plus des deux tiers du graphite de qualité batterie disponible aujourd'hui proviennent de Chine et qu'aucune mine de graphite n'est en exploitation aux États-Unis, l'Amérique du Nord a besoin d'une source sûre de graphite de haute pureté. Focus Graphite prévoit de jouer ce rôle par la mise en valeur de certaines des propriétés de graphite en paillettes de la plus haute qualité au monde situées au Québec.

## **Novador, le développement du prochain projet minier à Val-d'Or**

**Yves Dessureault (Probe Gold)**

Le projet aurifère Novador est un important projet de développement aurifère avancé situé dans le camp minier de Val-d'Or, au Québec, Canada. Le projet est détenu et exploité par Probe Gold, une société canadienne d'exploration et de développement. Le projet couvre une superficie de 175 km<sup>2</sup> et abrite trois mines anciennement en production, Béliveau, Bussière et Monique, localisées le long de trois structures aurifères.

Après la publication de l'évaluation économique préliminaire (EEP) réalisée en 2021, le projet a fait l'objet d'un vaste programme de forages en 2021 et 2022 afin d'étendre et d'améliorer la classification des ressources à Novador. Le succès de cette campagne est mis en évidence dans le dernier rapport technique 43-101 qui démontre que le projet Novador comporte des ressources minérales de 3 793 900 onces mesurées et indiquées et 1 179 400 onces inférées dans les gisements des structures aurifères Monique, Pascal et Courvan. Cela représente une augmentation de 30 % des ressources minérales et de 111 % des onces mesurées et indiquées par rapport à l'estimation de 2021.

Parallèlement à cette vaste campagne de forages, d'importants travaux techniques et d'ingénierie ont été réalisés pour faire avancer le projet vers la phase de développement. Un programme d'essais métallurgiques, de mécanique des roches, de forages géotechniques, d'essais géotechniques, de caractérisation hydrogéologique et de géochimie a été exécuté, tandis que la première année d'une vaste étude environnementale de base a été achevée. Le projet progresse avec la publication d'une EEP actualisée prévue pour le premier trimestre 2024 qui s'appuiera sur l'importante collecte de données et l'augmentation des ressources minérales depuis 2021. Dans le cadre de ces travaux de développement, les activités de consultation et d'engagement des parties prenantes se sont intensifiées depuis la fin de 2022. Ainsi, la description initiale du projet a été soumise à l'Agence d'évaluation d'impact du Canada (ACEI) dans le cadre du processus d'évaluation d'impact le 16 octobre 2023.

Le projet aurifère Novador représente l'un des projets aurifères les plus prometteurs au Canada. Dans l'EEP de 2021, il était prévu que le projet produise en moyenne 207 000 onces d'or par an sur une durée de vie de la mine de 12,5 ans. Cette estimation de la production devrait encore augmenter avec la mise à jour de l'EEP du premier trimestre 2024. De plus, le projet Novador devrait entrer en production au moment où les autres mines d'or de la région auront épuisé leurs réserves, ce qui contribuera à l'essor de la grappe industrielle et de la communauté de l'Abitibi au cours des prochaines décennies.

## **Développement durable et responsable de l'exploration à l'exploitation minière**

**Jean-Félix Lepage (Minière 03)**

Déoulant de la politique de développement durable de Minière 03 et en accord avec la certification ECOLOGO®, nous présenterons les bases du développement responsable de notre projet minier Marban Alliance. Cette démarche se traduit par une intégration constante des bonnes pratiques ESG qui vont au-delà des standards de l'industrie afin d'assurer une intégration harmonieusement de notre projet tout en maximisant les retombées positives pour la communauté d'accueil et en minimisant les effets sur l'environnement.

## SÉANCE 14

# PROVINCE DE GRENVILLE : UNE PROVINCE GÉOLOGIQUE À DÉCOUVRIR POUR SON POTENTIEL MINÉRAL EN MINÉRAUX CRITIQUES ET STRATÉGIQUES

## Étude des minéralisations en éléments de terres rares $\pm$ Nb $\pm$ Ta de la partie centrale de la Province de Grenville, Québec, Canada

Abdelali Moukhsil et Mhamed El Bourki (MRNF)

À l'été 2023, trois secteurs de la Province de Grenville ont fait l'objet d'une étude portant sur plusieurs indices en éléments de terres rares (ETR)  $\pm$  Nb + Th  $\pm$  Y  $\pm$  Zr. Le secteur I se trouve dans la région du réservoir Manicouagan sur la Moyenne-Côte-Nord (feuillet SNRC 22K06, 22K07, 22K10, 22K11 et 22K15), le secteur II est localisé au nord et au NW de la région du Lac-Saint-Jean (feuillet 32A15, 32H01, 32H02, 32H07 et 32H08), alors que le secteur III se situe au NW de la ville de La Tuque (feuillet 31P11, 31P14, 32A03, 32A04 et 32B01).

La première étape de cette étude a consisté en une compilation des minéralisations de ce type touchant l'ensemble de la portion québécoise de la Province de Grenville. Cette compilation traite des caractéristiques de chaque indice, particulièrement la minéralogie (minéraux porteurs de la minéralisation, minéraux associés), les roches hôtes, l'âge de la minéralisation, le mode de mise en place, etc. Dans une seconde étape entamée à l'été 2023, plusieurs indices ont fait l'objet d'une étude plus poussée impliquant une cartographie détaillée, l'analyse par microXRF et à la microsonde d'échantillons minéralisés, des études géochronologiques (U-Pb) et isotopiques (isotopes Hf-Lu). Les objectifs de ces travaux visent à bien caractériser ces minéralisations afin de les situer dans les différentes classifications existantes et de définir les environnements métallogéniques de mise en place. En effet, les indices de ETR  $\pm$  Nb + Th  $\pm$  Y  $\pm$  Zr des trois secteurs étudiés et de la Province de Grenville en général sont associés à des roches hôtes particulières (dykes de pegmatite granitique, dykes de syénite pegmatitique ou à grain grossier avec ou sans néphéline, plutons granitiques ou syénitiques, dykes de carbonatite). Elles se distinguent par une dominance de l'allanite ou de la monazite et par la présence de carbonates de terres rares (parisite, bastnäsite), thorite, apatite et xénotime. Ces caractéristiques varient d'un secteur à l'autre indépendamment de l'âge des roches hôtes ou de la nature des roches encaissantes traversées par les dykes minéralisés (intrusions et/ou paragneiss). Ainsi, dans le secteur I, les datations de ces dykes coïncident avec la période grenvillienne tardive (1005 à 960 Ma), alors que dans le secteur II et III, les âges de mise en place correspondent au Grenville moyen et tardif (entre 1090 et 1020 Ma).

## Les pegmatites granitiques enrichies en terres rares légères des régions de la Haute-Mauricie et du nord du Lac-Saint-Jean : âges, sources et processus d'enrichissement

Bertrand Rottier, Pedro Alves, Samuel Coulombe, Carl Guilmette, Antoine Godet, Théo Royet, Christian Dupuis (ULaval), Abdelali Moukhsil (MRNF), Joshua Davies, Morgann Perot (UQAM) et Jeffrey Marsh (U Laurentienne)

Les dykes de pegmatites granitiques post-tectoniques non déformés à peu déformés sont communs dans les ceintures orogéniques de haut grade métamorphique (amphibolite à granulite). Certains de ces dykes présentent des enrichissements notables en terres rares (ETR) légères, Nb, Ta, Th et U lesquels ne présentent généralement pas de relations temporelle et/ou spatiale avec des intrusions granitiques. Cette absence de lien génétique nous amène à nous interroger sur la source des magmas minéralisateurs et les processus d'enrichissement en métaux critiques de ces magmas granitiques. La Province géologique de Grenville représente un laboratoire parfait pour mieux comprendre la genèse de ces pegmatites riches en ETR en raison du nombre important de dykes minéralisés localisés au sein de la ceinture allochtone de pression moyenne (« Mid-P belt »). Pour cette étude, 9 pegmatites granitiques riches en ETR légères (entre 0,3 et 2,8 % poids ETR) présentent dans la région de la Haute-Mauricie et du nord du Lac-Saint-Jean ont été datées (U-Pb sur zircon) et caractérisées minéralogiquement et chimiquement. Ces intrusions forment des dykes métriques isolés ou sous la forme de champs filoniens pouvant avoir une étendue kilométrique. Elles recoupent sans distinction l'ensemble des lithologies de la région (gneiss granitique, paragneiss et gabbronrite) sans que ces dernières aient un impact sur la composition chimique des pegmatites. De plus, les pegmatites riches en ETR ne présentent aucune relation spatiale avec les intrusions alcalines syngrenvilliennes à tardigrenvilliennes présentes dans la région. Les données géochronologiques indiquent que ces pegmatites se sont mises en place lors de deux épisodes distincts, un premier entre ~1060 et ~1045 Ma et un second entre ~1010 et ~990 Ma, actuellement interprétés comme représentant deux événements de production de magmas par anatexie des roches pré-grenvilliennes. Une étude détaillée de la signature isotopique en Hf des zircons provenant de la pegmatite riche en ETR de Blanchette-1 indique que la source du magma minéralisateur provient de la fusion partielle des gneiss granitiques du Complexe de Vermillon. Ces résultats diffèrent de la source métasédimentaire proposée pour les pegmatites riches en ETR du Lac Okaopéo, ce qui suggère que la nature des roches sources partiellement fondues n'est pas un facteur déterminant dans la formation des pegmatites granitiques riches en ETR. Au sein des pegmatites, la minéralisation est portée par l'allanite, localement accompagnée de monazite et de pyrochlore. L'enrichissement en ETR de ces pegmatites est fortement zoné au sein des dykes et découplé de la zonation en éléments majeurs.

## Histoire polyphasée du gisement de Nb - (ETR) de Saint-Honoré : étude de la chimie des apatites

Hélène Legros (MRNF-UQAC), Sarah Dare et L. Paul Bédard (UQAC)

Les ressources en niobium sont critiques tant à l'échelle mondiale qu'au Québec. Ce métal est principalement utilisé pour la fabrication d'alliages dans l'industrie aérospatiale. Les principales lithologies exploitées pour leur contenu en niobium sont les carbonatites et les produits de leur altération. Le gisement de niobium de Saint-Honoré (Saguenay, Québec), exploité par Niobec, est également encaissé dans une carbonatite (560 à 575 Ma) et représente 9 % de la production mondiale. À Saint-Honoré, le principal minéral d'intérêt est le pyrochlore  $[(Ca,Na)_2(Nb,Ti)_2O_6(O,OH,F)]$ . À ce jour, aucune méthode ne permet de dater ce minéral. Néanmoins, le pyrochlore montre une association avec l'apatite qui représente un excellent traceur des processus magmatiques ou hydrothermaux, mais également un minéral qui peut être daté par la méthode U-Pb. Le but de cette étude est d'utiliser la chimie des apatites pour définir les processus magmatiques-hydrothermaux à l'œuvre à Saint-Honoré, comprendre leurs liens avec la minéralisation et de dater les divers événements responsables de la mise en place de cette dernière.

Nous avons décrit à Saint-Honoré trois générations d'apatite, dont deux qui se trouvent dans la carbonatite minéralisée. Ces deux apatites se distinguent par leurs couleurs blanche et rouge. L'apatite blanche est une apatite ignée associée à la cristallisation du principal minéral de niobium. L'apatite rouge est d'origine hydrothermale et forme des veines qui recoupent les roches minéralisées. Cet épisode hydrothermal serait aussi responsable de l'altération du pyrochlore en columbite. Les analyses chimiques des apatites ont permis de déterminer les processus liés à la mise en place des phases ignée et hydrothermale. D'autre part, la datation des deux types d'apatite par LA-QQQ-ICP-MS (LabMaTer, UQAC) a montré des âges de mise en place distincts, avec près de 35 Ma d'écart. La cristallisation de l'apatite magmatique est associée à la mise en place de la Carbonatite de Saint-Honoré et de la minéralisation en niobium, alors que l'épisode hydrothermal est relié à la circulation de fluides externes issus d'une autre source.

## Graal, un gisement de nickel-cuivre-cobalt en développement au Saguenay-Lac-Saint-Jean

Claude Duplessis (GoldMinds Geoservices)

La propriété Graal est située au nord de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Elle est constituée de 110 claims couvrant 6113 hectares. La propriété est située à 160 km au NNE de la ville de Saguenay et à 272 km à l'est de Chibougamau, dans les feuillets SNRC 22E15 et 22E10.

Certaines parties de la propriété appartenait auparavant à Virginia Gold Mines, à Soquem et à Globex Mining. Les travaux d'exploration et de cartographie sur la propriété ont été entrepris dans les années 1970 par le NQN Mines et le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. Canada Silver Cobalt Works (CCW) est propriétaire à 100 % de la propriété depuis 2022.

La propriété est située dans la Province de Grenville. Le socle de la propriété Graal est principalement formé d'un ensemble de roches magmatiques ultramafiques à mafiques appartenant à la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (SALSJ) d'âge protérozoïque. Les deux principaux types de minéralisation trouvés sur la propriété sont des gisements de Fe-Ti-P et les sulfures massifs de Ni-Cu-EGP. La formation de ces deux types de gisement implique l'immiscibilité des substances concernées à partir du magma primaire à la suite de divers processus géologiques.

Un levé gravimétrique aéroporté a été entrepris en 2021, suivi de deux phases de forage au diamant totalisant 23 830,85 m qui se sont déroulées entre 2021 et l'été 2022. Un levé électromagnétique SQUID sur la zone MHY a confirmé les résultats prometteurs du levé TDEM de surface obtenus plus tôt en 2022 qui couvrait également la zone MHY au-dessus de la zone Gravi. La combinaison des résultats et de l'interprétation de ces levés géophysiques a contribué à l'élaboration des campagnes de forage en cours et à venir.

La première phase du programme de forage de 2021-2022 comprenait 32 trous (NRC-21-01 à NRC-22-29), dont 3 trous obliques. Le premier forage (NRC 21-01) et les trois cointages associés visaient à recouper le centre de l'anomalie de Bouguer (~1500 m de diamètre). Ces trous n'ont pas atteint la cible en raison d'une faille en profondeur. Une seconde phase de 32 forages (GRL-22-30 à GRL-22-61) a commencé au printemps 2022 et s'est terminée à l'été 2022.

CCW a découvert une nouvelle zone de sulfures massifs (Zone Discovery) à 2500 m au NW de la minéralisation connue historiquement (indice MHY Nord). La campagne de forage de 2021-2022 a également permis d'étendre les minéralisations de Ni-Cu des indices MHY Nord (Zone MHY) et MHY AP (Zone Gravi). Les meilleures teneurs obtenues à cette occasion sont de 0,84 % Ni, 0,59 % Cu et 0,09 % Co sur 5,7 m dans le forage NRC-21-03 (Zone Discovery), 0,32 % Ni, 0,45 % Cu et 0,04 % Co sur 33,6 m dans NRC-22-24 (Zone Gravi) et 0,73 % Ni, 0,41 % Cu et 0,09 % Co sur 5,7 m dans GRL-22-60 (Zone MHY).

## Explorer pour les minéraux critiques et stratégiques : que nous apprennent les carbonatites du Saguenay–Lac-Saint-Jean?

L. Paul Bédard, Nils Van Weelder, Renée-Luce Simard, Charles Saint-Laurent (UQAC), Anne-Aurélié Sappin (CGC-Québec) et Michel Grégoire (Université Toulouse III — Paul Sabatier)

La plupart des grandes économies fournissent des efforts importants pour améliorer l'accès aux minéraux critiques et stratégiques en vue de la transition énergétique. Cette évolution vers une économie propre entraîne une forte demande pour plusieurs éléments tels que les terres rares (ETR), le niobium, le phosphore, etc. Les carbonatites sont riches en ces substances, ce qui en font des cibles de choix pour l'exploration minérale. Les carbonatites sont des roches d'origine mantelliques peu abondantes qui forment des intrusions de faible volume présentes notamment dans la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean (Saint-Honoré, Shipshaw, Crevier et Girardville). Les intrusions de Saint-Honoré et de Crevier présentent des teneurs économiques en Nb, Ta et ETR. Deux épisodes de magmatisme carbonatitique ont été reconnus dans le secteur : ~950 Ma (Crevier et Girardville) et ~580 à 550 Ma (Saint-Honoré et Shipshaw). Les carbonatites montrant des teneurs économiques en minéraux critiques sont associées à des complexes alcalins de grande dimension (expression de surface de plus de 20 km<sup>2</sup>), tandis que les carbonatites de Shipshaw et Girardville se présentent sous la forme de dykes de petite taille (< 100 m<sup>2</sup>). La plupart des carbonatites sont associées à des unités de syénites. Leur composition varie de Ca-carbonatite, Mg-carbonatite à Fe-carbonatite, les plus grandes intrusions présentant plus de variétés. Le pyrochlore (au sens large) et son produit d'altération, la columbite-Fe, sont les principaux minéraux de Nb, tandis que la bastnaésite - (Ce) et la parisite - (Ce) sont les principaux minéraux porteurs de terres rares.

Les dykes de carbonatites de faible volume représentent des contextes plus simples que les complexes alcalins. Ils sont utiles pour déterminer et mieux comprendre les phénomènes minéralisateurs. Par la suite, les hypothèses tirées de ces études peuvent être testées sur des carbonatites plus importantes associées à des minéralisations économiques. Les travaux de recherche récents ont permis de mettre en évidence deux tendances dans les systèmes carbonatitiques minéralisés. Premièrement, les carbonatites contenant des teneurs économiques en Nb se trouvent à proximité ou au contact de roches silicatées (p. ex. des syénites). Les zones de contact entre ces deux types lithologiques semblent présenter des conditions favorables à la cristallisation abondante de pyrochlore. Deuxièmement, les teneurs économiques en ETR se trouvent dans des unités de carbonatites riches en Fe et en Ba (jusqu'à 14 % BaO). Ces deux observations pourraient constituer des critères très utiles pour l'exploration de ces substances.

## Les minéralisations magmatiques associées aux suites anorthositiques au Québec

Sarah Dare, Pedro Miloski, Théo Hassen Ali, Renée-Luce Simard (UQAC) et Abdelali Moukhsil (MRNF)

Les massifs d'anorthosite-mangérite-charnockite-granite (AMCG) protérozoïques sont communs dans la Province de Grenville au Québec. Ces massifs sont les hôtes des minéralisations orthomagmatiques de Fe-Ti-V-P (associées à l'ilménite, l'hémo-ilménite, la magnétite et l'apatite) et Ni-Cu-Co (associées aux sulfures magmatiques), toutes des sources potentielles de métaux critiques et stratégiques. Le type de minéralisation semble être associé à l'âge de la suite d'anorthosite hôte. Les anorthosites plus anciennes (Géon 11), comme la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (1,16 à 1,14 Ga), contiennent des minéralisations en Ni-Cu-Co et de Fe-Ti-V-P dominées par la magnétite. Les anorthosites plus jeunes (Géon 10), comme Vanel, Mattawa et Labrieville, contiennent plus des minéralisations en Fe-Ti-P dominés par l'hémo-ilménite.

La Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean dans le Grenville central est l'un des plus grands massifs anorthositiques au monde. Elle a probablement été mise en place sous la forme de lobes/intrusions multiples. La minéralogie de ces lobes est variable (plagioclase de composition labradorite à andésine; orthopyroxène ou olivine comme minéral ferromagnésien) et leur distribution spatiale est encore très mal connue. Les travaux en cours à l'UQAC, en collaboration avec le MRNF, visent à mieux identifier les relations entre la minéralisation et les roches encaissantes grâce à une cartographie détaillée des faciès anorthositiques et la cartographie chimique des plagioclases à l'aide de la fluorescence X (XRF) portable. Une meilleure compréhension de la relation entre ces minéralisations et leurs roches hôtes permettra d'améliorer les modèles d'exploration pour les gisements orthomagmatiques dans les suites AMCG au Québec.

## Géologie de la région du lac de la Fourche, Province de Grenville, régions de la Mauricie et du Saguenay–Lac-Saint-Jean, Québec, Canada

Francis Talla Takam et Abdelali Moukhsil (MRNF)

Le secteur du lac de la Fourche (feuillelet SNRC 32A03) est situé au NW de La Tuque, dans les régions de la Haute-Mauricie et du Lac-Saint-Jean. Les roches de ce secteur font partie de l'Allochtone de la Province de Grenville et sont d'âge mésoprotérozoïque. Le socle cristallin, constitué par les roches intrusives intermédiaires à felsiques d'aspect gneissique de la Suite plutonique de Bardeau (1364 ±9 Ma), affleure à l'extrême est du feuillelet. Cette unité est en contact cisailé avec la Suite plutonique de Pope (1350 ±4 Ma) qui couvre la plus grande superficie du feuillelet et sur laquelle repose l'unité supracrustale du Complexe de Wabash (< 1204 ±4 Ma). Ces différentes unités lithodémiques sont injectées par des intrusions définies à la suite de nos travaux de l'été 2022 : les Intrusions de Windigo, le Pluton de Wenache et le Batholite de Cristal. D'autres intrusions, dont la Suite plutonique de Bonhomme (1030 ±19 Ma), la Suite intrusive de Rhéaume (1019 ±2 Ma) et la Suite de Roc (> 1012 ±1 Ma), affleurent également dans la région. Toutes ces roches sont coupées par des dykes de pegmatite granitique à syénitique.

Ces unités lithologiques sont généralement déformées, surtout dans les zones de contact entre les intrusions et dans les couloirs et zones de cisaillement. Le grain structural régional est principalement orienté NE-SW, mais les roches de la région ont subi plusieurs phases de déformation et sont coupées par des failles majeures et des zones de décrochement. Quatre domaines structuraux, dont trois nouveaux, ont été définis : le Domaine structural de Ministic à l'est caractérisé par une fabrique planaire moyenne ENE-WSW avec un pendage modéré à fort, des linéations à composante horizontale et des plis déversés vers le NW; le Domaine structural de Cristal, au centre nord, qui montre une fabrique planaire à disposition radiale; le Domaine structural de Wenache, limité au pluton du même nom, dont les structures planaires portent une linéation de plan axial et définissent un pli vertical à axe subvertical E-W; et le Domaine structural de Windigo qui se caractérise par une foliation tectonométamorphique, une foliation ou un rubanement mylonitique et une gneissosité d'orientation moyenne N-S à fort pendage vers l'est. Ce domaine est coupé par un couloir de déformation majeur, la Zone de cisaillement de Windigo orientée N-S avec un mouvement senestre.

Le métamorphisme régional varie du faciès des granulites à celui supérieur des amphibolites. Le long de la Zone de cisaillement de Windigo, on observe un métamorphisme rétrograde marqué par l'ouralitisé de l'orthopyroxène qui est localement coronitique avec des bordures de clinopyroxène ± amphibole ± grenat, auquel se superpose un phénomène d'altération hydrothermale.

Plusieurs zones minéralisées et favorables à l'exploration ont été mises au jour dans ce couloir d'altération hydrothermale et dans le Batholite de Cristal :

- ▶ la zone FT-1057 minéralisée en ETR lourdes, Nb et Ta dans un dyke métrique de pegmatite granitique en contact avec une faille majeure. La minéralisation est portée par l'allanite.
- ▶ la zone FT-1065 minéralisée en ETR ± Th dans un dyke syénitique décimétrique à apatite.
- ▶ la zone favorable du Lac Benès, avec une minéralisation en graphite ± zinc dans des roches métasédimentaires du Complexe de Wabash.
- ▶ la minéralisation de Fe-Ti ± P ± V dans les gabbro-norites du Batholite de Cristal.

## Géologie et potentiel économique de la région de l'Île-du-Grand-Calumet (SNRC 31F10), Province de Grenville, région de l'Outaouais

Carl Bilodeau (MRNF)

Un nouveau levé géologique à l'échelle 1/20 000 a été réalisé à l'été 2021 dans la région de l'Île-du-Grand-Calumet (moitié est du feuillelet 31F10), située à environ 90 km au NW de la ville de Gatineau. Le projet avait pour objectif l'acquisition de nouvelles connaissances géologiques dans cette partie de la Province de Grenville reconnue pour son potentiel en minéraux critiques et stratégiques (MCS). La nouvelle carte géologique intègre également les résultats des travaux de cartographie et d'exploration minière réalisés depuis près d'un siècle dans cette région.

La majeure partie du socle rocheux de la région cartographiée est composée de la Séquence supracrustale des Outaouais, essentiellement composée de marbre et de paragneiss. La partie sud de l'île du Grand-Calumet est formée principalement d'amphibolites dérivées de basaltes et des métagabbros du Complexe de Grand-Calumet (1232 Ma) et des intrusions mafiques associées. Les roches métasédimentaires sont recoupées par les intrusions mafiques de la Suite de Chenaux (1231 Ma), ainsi que par les suites intrusives intermédiaires à felsiques de Schwartz (1254 Ma), de Litchfield (1222 Ma) et de Rocher-Fendu (1195 Ma). Les roches ont subi une évolution structurale complexe; elles sont affectées par au moins deux phases de déformation et par un métamorphisme régional de grade modéré à élevé. La région se subdivise en différents domaines structuraux, tous délimités par des failles ou des zones de cisaillement.

La région est reconnue pour abriter plusieurs sites minéralisés en MCS, notamment les anciennes exploitations de New Calumet, gisement polymétallique exploité pour

ses ressources en zinc, ainsi que la mine de nickel Cowan. D'autres indices et gisements de zinc et de minéraux industriels ont été découverts dans les roches métasédimentaires carbonatées et ont depuis fait l'objet de travaux d'exploitation ou de mise en valeur. Ce nouvel inventaire géologique a permis la découverte de nouveaux indices et de bonifier le potentiel déjà reconnu pour différents types de minéralisations :

- ▶ minéralisations polymétalliques dans les roches métasédimentaires;
- ▶ filons cuprifères;
- ▶ potentiel pour des minéralisations en terres rares dans les roches potassiques
- ▶ potentiel pour des minéralisations de Cu-Ni et de Fe-Ti-V dans les intrusions mafiques.

## Présentation des levés géophysiques publiés par le MRNF durant l'année 2023

### Rachid Intissar et Siham Benhamed (MRNF)

Poursuivant sa mission d'acquisition et traitement des données géoscientifiques, Géologie Québec publie les résultats de trois nouveaux levés géophysiques réalisés cette dernière année. Le but ultime des levés réalisés par Géologie Québec est de fournir un outil de soutien à la cartographie géologique utile autant pour les projets exécutés dans le cadre de son mandat que pour ceux des compagnies privées. Ces données permettent également de stimuler l'investissement privé en générant de nouvelles zones favorables à l'exploration minérale. Les résultats de ces levés avec quelques éléments d'interprétation qualitative préliminaire seront présentés. Les données numériques ainsi que les rapports techniques des fournisseurs seront disponibles dans Examine dans les documents suivants :

- ▶ DP 2023-01 : Levé magnétique et spectrométrie aéroporté dans le secteur du lac Simard, sud de Rouyn-Noranda (publié au PDAC 2023).
- ▶ DP 2023-02 : Levé aéromagnétique dans le secteur de la rivière Aguanish, Côte-Nord (publié à Québec Mines+Énergie 2023).
- ▶ DP 2023-04 : Levé magnétique et spectrométrie aéroporté dans le secteur du lac Qalluviartuuq, Province du Supérieur (publié à Québec Mines+Énergie 2023).

## SÉANCE 15

# LES RESSOURCES NON CONVENTIONNELLES DE MCS

## Gîtologie des révolutions industrielles

### Michel Jébrak (UQAM)

Les révolutions industrielles se succèdent en vagues depuis la fin du 18<sup>e</sup> siècle. Chacune mobilise un régime énergétique, des technologies, des organisations sociales et des métaux. Pour répondre à la croissance de la demande, de nouveaux types de gisements sont mis en production, caractérisés par des couples tonnage-teneur différents. L'augmentation des tonnages se traduit par une baisse des teneurs, avec des ruptures de pente entre chaque type de gisement (loi de Lasky). On passe ainsi de gîtes à fortes teneurs lors des innovations initiales à des gisements disséminés à plus faibles teneurs : le cuivre passe des amas aux porphyres, l'aluminium des bauxites karstiques aux bauxites sédimentaires et l'uranium des filons à pechblende aux grès. Cette migration connaît des variantes en fonction de paramètres métallogéniques, économiques et géopolitiques. Les métaux technologiques de la sixième vague connaissent ou vont connaître cette migration, tant pour les terres rares, le cobalt que le lithium.

## Les minéralisations de Ni-Co disséminées : la perspective canadienne

### Michel Houlé (CGC-Québec)

Le nickel et le cobalt sont des éléments stratégiques essentiels qui, avec plusieurs autres éléments figurant sur la liste canadienne des « minéraux » critiques et stratégiques (p ex. Cr, Cu, EGP, Mg, Sc, Te, Ti, V), sont extraits de systèmes minéralisés mafiques à ultramafiques. Le Canada est l'un des principaux producteurs mondiaux de nickel et de cobalt, la majeure partie de la production passée et actuelle provenant de gisements de nickel à haute teneur et riches en sulfures, tels ceux des districts de Thompson et de Lynn Lake au Manitoba, de Sudbury en Ontario, de Cape Smith au Québec et de Voisey's Bay au Labrador. Néanmoins, les gisements à faible teneur et pauvres en sulfures représentent une part croissante de l'ensemble des ressources en nickel du Canada. Les gisements de Dumont au Québec, de Crawford en Ontario et de Baptiste en Colombie-Britannique sont des exemples de ce type de minéralisations. En revanche, ces gisements à faible teneur posent plusieurs défis, le plus important étant de reconnaître les phases minérales qui sont les hôtes principaux du nickel. Il peut s'agir de sulfures (p. ex. pentlandite, heazlewoodite) ou d'alliages de nickel (p. ex. awaruite), qui sont récupérables métallurgiquement, et/ou de la matrice silicatée (p. ex. olivine) où le nickel est irrécupérable (ou très difficile à récupérer).

La teneur de la minéralisation (contenu métal à 100 % sulfures ± alliages) est déterminée par la composition du magma (teneurs plus élevées dans les systèmes komatiitiques

de haute température, plus faibles dans les systèmes basaltiques de plus basse température), la présence ou l'absence de sulfures primaires et le degré d'altération (p. ex. la serpentinitisation d'un protolite riche en olivine qui permet la redistribution d'une partie du nickel associé aux silicates pour former des sulfures secondaires riches en nickel et/ou des alliages de nickel).

Malgré les nombreux défis associés à l'exploration et à l'exploitation des gisements disséminés de Ni-Co à faible teneur, les gisements de ce type ont le potentiel de changer les perspectives pour le nickel au Canada, tant du point de vue de la production future que des stratégies d'exploration pour la découverte de nouvelles ressources afin d'appuyer la transition vers une économie plus verte.

## Lithium : enjeux et défis d'une transition énergétique réussie

**Blandine Gourcerol (BRGM)**

Au cours de la dernière décennie, le lithium est devenu un métal d'une importance cruciale pour certaines filières industrielles à l'échelle mondiale en raison de son utilisation généralisée dans le domaine de l'électromobilité et du développement des technologies essentielles à la transition énergétique. Cette tendance, amplifiée par les perturbations et les incertitudes engendrées par les récentes crises mondiales, a entraîné une augmentation significative et constante de la demande mondiale en lithium. Cette hausse s'accompagne d'une prise de conscience collective des vulnérabilités des chaînes d'approvisionnement industrielles en ressources minérales stratégiques et critiques.

D'un point de vue géologique, le lithium n'est pas rare sur la planète, mais sa répartition, son degré d'enrichissement (teneur/tonnage) et sa disponibilité suscitent des préoccupations politiques majeures. Diverses typologies de gisements, tels que les « salars », les pegmatites, les coupoles granitiques ou encore les saumures géothermales, contribuent à la complexité de l'exploration. Par ailleurs, la diversité des minéraux lithinifères représente un défi notable en vue d'une extraction optimale du point de vue technique et environnemental.

En Europe, de nombreux inventaires et des études métallogéniques systématiques des gîtes lithinifères ont été entrepris sur les gisements de type « roches dures » et les saumures géothermales afin de sécuriser l'approvisionnement de la filière lithinifère. Cette démarche a également ouvert la voie au démarrage de projets miniers, tels que EMILI sur la coupole granitique de Beauvoir dans le Massif central ainsi qu'à l'exploration active de saumures géothermales dans le Fossé rhénan (partagé entre la France et l'Allemagne).

Cette conférence exposera les enjeux du marché du lithium actuel et futur; elle présentera les différentes occasions et défis auxquels sont confrontées l'Europe et la France pour répondre aux problématiques d'approvisionnement en lithium.

Le lithium demeure un maillon critique de la chaîne d'approvisionnement du secteur énergétique et de la mobilité électrique à l'échelle mondiale. Comprendre les complexités

géologiques, géopolitiques, sociétales et environnementales est essentiel pour assurer un avenir énergétique durable et responsable. Cette étape est également indispensable pour gérer les enjeux éthiques et de souveraineté associés à une relocalisation de la production sur le territoire européen.

## Le gisement à Au-Cu de Troilus : un gisement archéen atypique situé dans la ceinture de Frotet-Evans, Eeyou Istchee Baie-James, Québec

**Pierre-Arthur Groulier, Nicolas Guest, Kyle Frank, Remy Klick et Tyler Beattie (Troilus Gold)**

Le gisement archéen à Au-Cu de Troilus est situé dans la partie orientale de la ceinture de roches vertes de Frotet-Evans (région d'Eeyou Istchee Baie-James, Québec). Découvert en 1987 à la suite de travaux de prospection, plus de 2 millions d'onces d'or et 70 000 t de cuivre ont été produites entre 1996 et 2010. Le gisement possède actuellement des ressources de 6,2 Moz d'Or indiquées et 2,2 Moz inférées et une nouvelle estimation des ressources est prévue pour bientôt. En raison de ses caractéristiques inhabituelles (gîte à Au-Cu à basse teneur et fort tonnage avec altération propylitique, potassique et phyllique), la classification du gîte de Troilus a été et reste toujours sujette à controverse (gîte de type porphyrique vs type orogénique). Une étude lithogéochimique démontre la complexité de la séquence géologique du gisement avec une séquence volcanique bimodale qui contient des roches mafiques tholéitiques à transitionnelles comprenant des boninites associées à des roches volcaniques intermédiaires à felsiques calco-alcalines à signature adakitique. L'empilement volcanique est injecté par une suite complexe d'intrusions synvolcaniques, qui comprend l'intrusion hypabyssale dioritique à tonalitique de Troilus, à syntectonique à tardi-tectoniques. La stratigraphie des roches synvolcaniques ainsi que leurs signatures géochimiques suggèrent un environnement tectonique complexe montrant des similitudes avec un environnement d'avant-arc. Cette phase synvolcanique est associée à la mise en place d'altérations et de minéralisations précoces de type magmato-hydrothermale et VMS/exhalative. La séquence a par la suite été plissée et métamorphisée au faciès supérieur des schistes verts et des amphibolites lors de la phase de déformation ductile D1. Les roches sont marquées d'une forte foliation pénétrative S1 parallèle au litage primaire, indiquant une forte transposition, ainsi que d'une linéation d'étirement L1 à pendage moyen à fort vers le NE. Des failles F1 NE-SW à faible angle par rapport à S1 recoupent l'ensemble de la zone; elles sont recoupées par des failles F2 orientées E-W. Les facteurs contrôlant la minéralisation sont principalement de nature lithologique et structurale. La modélisation 3D des analyses en Au-Cu et Mo montre une zonation métallique importante probablement héritée de l'épisode minéralisateur synvolcanique. Cependant, il est clair que le gisement est fortement contrôlé par la structure, notamment par les failles D1 NE-SW, avec des lentilles minéralisées orientées parallèlement à la linéation d'étirement et à l'intersection des failles F1 et F2. Cette histoire riche et complexe rend difficile toute classification et de nombreuses questions restent en suspens, notamment l'apport en métaux des différents événements.

## SÉANCE 16

# LES ÉCOSYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES RÉGIONAUX AU SERVICE DE L'AUTONOMIE ET DE LA RÉSILIENCE ÉNERGÉTIQUES

## Optimiser la biomasse urbaine grâce aux centrales de cogénération à la biomasse : décarboner et réduire l'enfouissement des résidus

**Maxime A Cossette (Énergie Kruger)**

Dans le contexte actuel marqué par une préoccupation croissante pour la réduction des émissions de carbone et la gestion responsable des déchets, les centrales de cogénération, en particulier celles situées à proximité des grands centres urbains au Québec, se présentent comme des acteurs essentiels de l'économie circulaire de la province.

Les dernières données publiées par Recyc-Québec révèlent une inquiétante détérioration de la valorisation des résidus de bois issus de la construction, de la rénovation et de la démolition (CRD), tant du point de vue du recyclage que de la valorisation énergétique. Entre 2018 et 2021, les taux de recyclage sont passés de 55 % à 46 %, tandis que la valorisation énergétique a décliné de 44 % à 41 %. Cette situation nous pousse à explorer de nouvelles approches pour encourager la gestion responsable de ces matériaux, notamment en les utilisant comme une source de combustible propre.

Cependant, les redevances actuelles pour l'élimination des déchets ne sont pas suffisamment incitatives pour encourager les générateurs de CRD à améliorer le tri et à promouvoir le recyclage. De plus, les difficultés liées à la pénurie de main-d'œuvre et aux opérations manuelles complexes compliquent davantage le processus de tri dans les centres de recyclage.

Pour relever ces défis, diverses solutions sont envisageables. Parmi celles-ci, l'adoption d'un modèle de rémunération équivalente aux redevances pour l'élimination, destiné aux centrales de cogénération, pourrait stimuler la valorisation énergétique de la biomasse urbaine.

Kruger et sa filiale, Kruger Énergie, ont consacré de nombreuses années au développement de solutions visant à valoriser davantage la biomasse urbaine au Québec, notamment par le biais de leur centrale de cogénération de Brompton. Cette conférence vise à discuter du rôle central que les centrales de cogénération peuvent jouer pour un avenir plus durable et respectueux de l'environnement dans l'ensemble de la province.

## Contexte et démarche gouvernementale pour la mise en place des écosystèmes énergétiques régionaux (EER)

**Nicolas Laflamme (MEIE)**

Les écosystèmes énergétiques régionaux (EER) s'inscrivent dans la volonté du gouvernement de favoriser la production et la consommation à l'échelle locale et régionale d'hydrogène vert et de bioénergies afin de réduire notre dépendance aux énergies fossiles, sécuriser nos approvisionnements en augmentant notre autonomie énergétique, améliorer notre balance commerciale et rehausser la compétitivité de nos entreprises.

Cette conférence présentera la démarche gouvernementale et les actions entreprises pour déployer le concept des EER au Québec.

## La disponibilité des ressources en énergies renouvelables et en biomasse — comment favoriser la valorisation optimale de ces ressources limitées dans un contexte de transition énergétique?

**Serge Bédard (Ressources naturelles Canada)**

Alors que le monde est confronté à des défis croissants liés à la sécurité énergétique et au changement climatique, la recherche de solutions énergétiques durables et résilientes a pris une grande importance. Le Québec dispose d'une importante quantité de ressources en biomasse et offre un contexte politique prometteur pour le développement d'écosystèmes énergétiques régionaux axés sur la bioénergie. En associant la production de bioénergie au développement économique régional, le Québec peut tirer parti de ses bioressources pour stimuler la croissance économique et réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES).

Compte tenu de la nature limitée des ressources en biomasse, leur utilisation doit privilégier les utilisations qui permettent une réduction substantielle des émissions de GES pour des applications pour lesquelles il n'existe pas une meilleure alternative techniquement et économiquement disponible. En outre, les activités économiques régionales associées à l'exploitation de la biomasse doivent être maximisées afin d'assurer la durabilité à long terme des solutions implantées.

Dans ce travail, une approche multicritère a été développée pour identifier et prioriser les utilisations les plus prometteuses de la biomasse en tenant compte de plusieurs critères tels que le potentiel de réduction des émissions de GES, la complexité technique des projets, la disponibilité régionale de la biomasse, le rendement de conversion et d'utilisation de la bioénergie, l'absence d'alternative techniquement ou économiquement préférable (par ex. l'électrification directe), la possibilité de générer des crédits d'émissions négatives, s'ils sont éventuellement reconnus, et les bénéfices économiques régionaux.



La méthodologie développée peut s'appliquer directement dans une situation de développement d'écosystèmes régionaux et permettre l'identification des meilleures utilisations de la bioénergie dans un contexte de ressources limitées et de concurrence accrue entre les différentes parties prenantes d'un écosystème régional. Les résultats de cette étude montrent que la décarbonation du secteur industriel du Québec pourrait nécessiter jusqu'à trois fois plus de biomasse que la quantité de résidus de coupe disponible pour des applications bioénergétiques. Un arbitrage des ressources pourrait être requis pour maximiser le potentiel de décarbonation d'un écosystème régional et du Québec dans son ensemble.

## **Développer la filière de la biomasse forestière en tirant profit d'une meilleure intégration de la chaîne de valeurs au bénéfice de l'industrie forestière et des bioénergies**

**Jean Hamel (FPInnovations)**

La biomasse suscite de plus en plus d'intérêt dans de nombreux secteurs visant la décarbonation pour sa valeur énergétique et sa valeur chimique intrinsèque. Chacun de ces secteurs a des besoins particuliers par rapport aux volumes, au prix, à certaines qualités et à la stabilité d'approvisionnement à long terme. Contrairement à d'autres sources d'énergie, la biomasse forestière est dispersée sur de grands territoires et sa disponibilité est intimement liée à la valorisation des autres produits provenant de la forêt et de l'arbre, tel que le bois d'œuvre et les copeaux pour les produits papetiers. De plus, la valorisation de la biomasse dans les bioproduits dépend aussi de la valeur des bioproduits, des caractéristiques et de la complexité de la chaîne de valeurs de chaque produit. Afin de mieux tirer profit de la biomasse, nous devons considérer d'autres facteurs aussi importants, tels que les volumes requis pour satisfaire les besoins et la rentabilité de l'utilisation de la biomasse. De même, il est maintenant évident que les changements climatiques vont non seulement créer de nouveaux besoins, mais aussi affecter les approvisionnements. Il est donc clair que le développement de la filière de la biomasse doit prendre en compte un grand nombre de facteurs. L'intégration optimale de cette filière va dépendre de la situation régionale et de l'écosystème économique actuel et des synergies possibles des secteurs industriels intéressés par cette biomasse. Cette présentation mettra en lumière les différents facteurs et des pistes de solutions pour maximiser la valeur de la forêt pour tous les acteurs actuels et futurs.

## **Comment tirer profit des approches d'économie circulaire, de valorisation des rejets thermiques (VRT) et de stockage énergétique pour répondre optimalement aux besoins énergétiques globaux du Québec**

**Pascal Turcotte (Greenleaf Power — Société de cogénération de Saint-Félicien)**

Cette présentation mettra l'accent sur l'historique et le contexte actuel d'exploitation de la Société de cogénération de Saint-Félicien et exposera les projets de développement en cours et le potentiel d'un procédé de centrale thermique de production d'énergie à partir de biomasse résiduelle.

Nous exposerons les enjeux de la chaîne d'approvisionnement de la biomasse forestière, nos expériences dans le domaine et les conclusions de nos analyses visant à rendre fonctionnelle la chaîne d'approvisionnement des projets de bioéconomie susceptible d'utiliser cette ressource disponible, mais pas aussi facilement qu'il paraît!

Enfin, nous présenterons notre vision d'avenir à travers nos projets en cours qui devraient permettre d'optimiser la chaîne d'approvisionnement de biomasse forestière afin de produire divers types de bioproduits (biochar) et de bioénergie (hydrogène vert), tout en maximisant l'utilisation de nos rejets thermiques par l'entremise d'un réseau de distribution de chaleur.

## **La valorisation énergétique de la biomasse forestière — un outil pour aménager durablement les forêts dans un contexte de transition énergétique et climatique**

**Nicolas-Pascal Côté et Jean-Pierre Bourque (MRNF)**

La forêt québécoise couvre un vaste territoire et est mise en valeur pour une multitude d'usages. Ces usages incluent la valorisation des ressources par différentes industries, notamment celle de la transformation du bois, afin de répondre aux besoins de la société. Par ailleurs, les objectifs du Québec en matière de lutte et d'adaptation aux changements climatiques accentuent l'importance d'une valorisation judicieuse de la forêt et du bois. Entre autres, la valorisation de la biomasse forestière pour la production de bioénergie, en complémentarité à la production de produits du bois de longue durée, constitue un outil d'aménagement pertinent dans le contexte actuel. Cette présentation dressera l'état de situation de la bioénergie au Québec, présentera les grandes orientations et mesures du MRNF en la matière et offrira un aperçu de son potentiel, notamment à l'égard de la récupération de la biomasse forestière issue de la récolte régulière ou de perturbations naturelles (tordeuse des bourgeons de l'épinette, feux).

## Le Plan de transition énergétique régionale — une approche pour développer le potentiel économique régional de la transition énergétique et favoriser l'acceptabilité sociale, la résilience et l'autonomie énergétique des régions

**Benoit Delage (Conseil régional de l'environnement et du développement durable de l'Outaouais)**

Considérant l'importance d'atteindre la carboneutralité d'ici 2050, les acteurs sociaux, politiques et économiques de l'Outaouais se voient confrontés à plusieurs enjeux : l'acceptabilité sociale de la transition énergétique, la priorisation des actions de décarbonisation, ainsi que la capacité d'assurer la transition énergétique. Le milieu municipal est aussi interpellé par la transition énergétique, le développement des communautés y étant intimement lié.

Depuis 2 ans, les élus régionaux ont été menés à s'intéresser à plusieurs projets d'énergie renouvelable tels que la production solaire, la valorisation de rejets thermiques, la production de GNR, de biochar et de biocarburant, la valorisation du méthane issu des sites d'enfouissement, l'électrification des transports... D'un autre côté, les discussions sur la réduction et l'optimisation des besoins énergétiques sont plus timides. Comment prioriser ces projets pour les élus?

Pour répondre à ces enjeux, le Conseil régional de l'environnement et du développement durable de l'Outaouais (CREDDO) propose de mener une étude devant mener à un plan de transition énergétique pour l'Outaouais afin d'identifier les besoins actuels et futurs de la région et d'explorer son potentiel de développement. Ce plan présentera une analyse chiffrée et concrète des besoins énergétiques projetés de la région.

Les objectifs du projet sont de :

- ▶ Dresser un état des lieux de la question énergétique dans la région;
- ▶ Tracer des scénarios de transition énergétique en concertation avec les parties prenantes;
- ▶ Identifier les moyens de réussite de la transition énergétique;
- ▶ Documenter le processus de réalisation du projet pour permettre de le répliquer dans d'autres régions du Québec;
- ▶ Doter la région et, par conséquent, les gouvernements locaux d'un plan d'action avec une priorisation en regard des forces du milieu.

Le projet est basé sur une structure de gouvernance novatrice et allie les plus récentes technologies de modélisation climatique à un exercice régional de consultation des parties prenantes. Pour y arriver, le CREDDO compte sur le soutien du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs et du ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie.

## SÉANCE 17

### L'USINE VERTE ET EFFICIENTE

#### Le broyage : capitaliser sur des technologies existantes

**Claude Gagnon (COREM)**

Dans l'industrie minière, le broyage à boulets est la technologie privilégiée pour amener le minerai à la taille de libération en préparation aux procédés de concentration. Cette étape consomme environ la moitié de l'énergie nécessaire au broyage dans l'industrie minière. Corem, en collaboration avec l'Université de Colombie-Britannique (UBC), Weir Minerals, Koppern Equipment, Thyssenkrupp, Derrick Corporation, Newmont, Minerai de fer Québec, Copper Mountain et Detour Gold, a conduit un projet visant à remplacer les broyeurs à boulets par un HPGR (broyeur à rouleaux à haute pression). Bien que la compression lente soit reconnue comme l'approche de broyage la plus efficace sur le plan énergétique, l'utilisation du HPGR au lieu des broyeurs à boulets, doit être démontrée.

Les travaux à l'échelle semi-industrielle de Corem et de l'UBC sur deux cas ont démontré que l'énergie de broyage était réduite de plus de 60 % en remplaçant le broyeur à boulets par un broyeur HPGR. En tenant compte de la consommation totale du circuit de broyage à boulets, l'économie d'énergie se chiffre à plus de 50 %.

#### Des approches novatrices pour le broyage : la technologie CAHM

**Gillian Holcroft (Conseil canadien de l'innovation minière)**

La plate-forme technologique CAHM de broyage hautement efficace a le potentiel de réduire considérablement les GES.

Que feriez-vous si votre exploitation disposait d'une alimentation de base supplémentaire dont elle n'a pas besoin? Accroître la production ou intégrer des initiatives d'électrification supplémentaires? La plate-forme technologie CAHM a le potentiel de réduire la consommation d'énergie de 65 % dans le circuit de broyage.

## Biotechnologies minières : état des lieux

**Nancy Perreault (Conseil national de recherches du Canada)**

Les biotechnologies ont démontré leur potentiel à transformer des réserves minérales non rentables en des ressources économiquement exploitables. Parmi celles-ci, la biolixiviation et la bio-oxydation catalysées par des bactéries acidophiles sont des technologies éprouvées, écologiques et rentables qui sont notamment utilisées pour l'extraction du cuivre à partir de minéraux sulfurés et la libération de l'or des minerais sulfurés réfractaires. Au cours des dernières années cependant, l'urgence climatique a mené à la mise au point de nouvelles approches biotechnologiques visant principalement à réduire la production de gaz à effet de serre et la consommation d'énergie par rapport aux techniques d'extraction traditionnelles, ainsi qu'à bâtir ou solidifier la chaîne d'approvisionnement en minéraux critiques pour appuyer la transition énergétique au Canada. En parallèle, la carbonatation minérale du CO<sub>2</sub> dans les résidus miniers et métallurgiques catalysée par les microorganismes s'avère une stratégie prometteuse pour atténuer les impacts du réchauffement climatique et réduire l'empreinte en CO<sub>2</sub> de l'industrie. Certaines de ces biotechnologies, contrairement aux premières mentionnées, doivent être adaptées à une matrice minérale alcaline où la cascade d'acidité provoquée par les microorganismes acidophiles (production de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ne peut avoir lieu. Ces technologies reposent sur des microorganismes hétérotrophes qui produisent des acides organiques afin de réduire le pH et solubiliser les métaux.

Cette présentation s'attardera donc aux récents développements en biotechnologies minières et associées. Dans un premier temps, des avancées dans le domaine de l'extraction de l'or par des bactéries productrices de cyanure (biocyanuration) seront présentées, et les possibilités d'extraction *in situ* seront discutées. Le deuxième point portera sur l'extraction biologique de minéraux critiques à partir de ressources secondaires, telles que les résidus miniers et métallurgiques, et dans le recyclage des batteries au lithium, toutes des façons plus rapides et économiques d'obtenir des minéraux critiques que l'option d'ouvrir de nouvelles mines. Finalement, une revue des moyens pour optimiser les bioprocédés miniers et les rendre plus stables et robustes sera présentée, incluant la micro-encapsulation des bactéries pour les protéger des conditions adverses, l'immobilisation des enzymes et l'amélioration des souches microbiennes par des technologies de mutagenèse accélérée.

## Cibles d'amélioration du procédé de concentration et de récupération du lithium québécois

**Faraji Fariborz (Centre technologique des résidus industriels) et Patrick Laflamme (COREM)**

Cette présentation traitera des cibles d'amélioration visées par un programme de partenariat entre Corem et le CITRI au sein d'Élément 08 en association avec des partenaires industriels. Le programme couvre la géométallurgie des sites, la valorisation des minéraux autres que les minéraux porteurs de lithium, les méthodes de concentration du spodumène et les approches de purification afin de récupérer le lithium.

## Utilisation de l'optique pour l'exploitation minière verte : pionnier de l'extraction durable des ressources grâce aux innovations technologiques

**François R. Doucet (ELEMISION)**

L'extraction des ressources naturelles a longtemps été associée à des impacts environnementaux néfastes et à des pratiques non durables. Cependant, ces dernières années, le concept d'exploitation minière verte est apparu comme une solution prometteuse pour atténuer ces effets négatifs et promouvoir l'extraction durable des ressources. Cette présentation explore l'intersection de l'exploitation minière verte et de l'optique, soulignant le potentiel de transformation des technologies optiques dans la promotion d'opérations minières respectueuses de l'environnement ainsi que de nouveaux outils pour évaluer les performances de la séquestration du carbone.

L'optique, en tant que branche de la physique traitant de la lumière et de ses propriétés, offre de nombreuses applications et avantages dans le cadre de l'exploitation minière verte à l'aide de la spectroscopie. Les technologies optiques peuvent être utiles dans divers aspects de l'exploitation minière, y compris l'exploration, la production et la récupération des ressources. Les techniques de spectroscopie optique permettent une exploration plus précise, plus exacte, plus fidèle, non invasive et en temps réel. Elles mènent à une meilleure identification des minéraux et à une réduction des perturbations environnementales, sans parler du fait qu'elles permettent de réaliser des économies notables depuis l'étape de prospection jusqu'à la restauration de la mine.

L'intégration de l'optique dans les processus de récupération des ressources est très prometteuse dans la mise en œuvre de pratiques minières plus écologiques. Les technologies de tri optique permettent la séparation et la récupération sélective des minéraux précieux, réduisant ainsi le besoin de méthodes d'extraction à forte consommation énergétique et nocives pour l'environnement. De plus, des méthodes optiques peuvent être utilisées pour détecter et extraire des traces d'éléments précieux des flux de déchets, contribuant ainsi au concept d'économie circulaire, tout en minimisant le gaspillage des ressources.

Cette conférence met l'accent sur le rôle transformateur de l'optique dans l'avancement des principes de l'exploitation minière verte. En tirant parti des technologies optiques, les exploitations minières peuvent atteindre une plus grande efficacité, tout en minimisant les impacts environnementaux et favorisant la gestion durable des ressources. L'adoption de ces pratiques innovantes profite non seulement à l'industrie minière, mais contribue également à la conservation des écosystèmes naturels et au bien-être à long terme des communautés locales.

## Un futur vert proche pour l'usine minéralurgique

Alex Thivierge et Sébastien de Blois (Jumine)

Cette présentation explorera le futur proche des usines minéralurgiques. En prenant conscience du portrait de la consommation énergétique planétaire de ces usines, nous réaliserons l'impact potentiel du contrôle de procédés et des innovations numériques sur notre empreinte environnementale. Nous présenterons des cas concrets de nouvelles technologies comme la commande prédictive économique. Nous proposerons par la suite notre vision des usines du futur.

## Pilotage en temps réel d'une ligne de finition de bois d'œuvre et ses applications transversales dans l'industrie minière

François-Alexandre Tremblay (Baseline)

À l'aube de ce que plusieurs qualifient de quatrième révolution industrielle, la prise de décision doit maintenant s'effectuer en temps réel, de manière automatisée, tout en s'adaptant aux perturbations et imprévus qui surviennent fréquemment en contexte industriel. Plusieurs secteurs d'activités doivent ainsi devenir plus agiles, intelligents et interconnectés dans toutes les sphères de la chaîne de production, en partant de l'acquisition de la matière première jusqu'à la vente au client. Cette conférence vise à présenter une technologie émergente basée sur l'intelligence artificielle qui permet d'optimiser en temps réel la productivité d'une ligne de finition de bois d'œuvre et propose des applications transversales de cette technologie dans l'industrie minière.

## SÉANCE 18

### MINES ACTIVES AU QUÉBEC : SURVOL DE QUELQUES JOYAUX

#### La mine du futur

Nancy Guay (Mines Agnico Eagle)

Quelles sont les technologies émergentes dans l'industrie minière et qu'est-ce qui se profile à l'horizon? Comment la technologie peut-elle soutenir nos objectifs dans la santé-sécurité, le développement durable et l'acceptabilité sociale?

#### Le lithium d'ici pour changer l'avenir

Guy Belleau (Sayona Québec)

Avec un important portefeuille de projets d'exploration et d'exploitation de lithium dans les régions de l'Abitibi-Témiscamingue et d'Eeyou Istchee Baie-James, Sayona se positionne comme une solution dans la valorisation des métaux critiques et stratégiques pour contribuer à l'électrification des transports et à la lutte contre les changements climatiques.

Sayona souhaite avant tout accélérer le développement de la chaîne de fabrication de batterie au Québec grâce notamment à des projets forts tels que le Complexe Lithium Amérique du Nord (LAN), qui a démarré sa production au printemps 2023, et le projet Moblan qui constitue l'un des gisements de lithium les plus prometteurs en Amérique du Nord!

Cette conférence portera sur la mise à jour des étapes importantes des derniers mois chez Sayona, comme le démarrage du Complexe Lithium Amérique du Nord, la première cargaison de concentré de spodumène de lithium, la production en cours, la campagne de forage et l'actualisation des ressources de Moblan.

#### Eldorado Gold Québec, perspectives d'avenir

Jessy Thelland (Eldorado Gold Québec)

Eldorado Gold Québec, filiale d'Eldorado Gold Corp., poursuit sa croissance en Abitibi-Témiscamingue. Depuis les débuts de l'exploitation commerciale de la mine Lamaque, située à Val-d'Or, en 2019, la société minière s'est engagée à bâtir une entreprise sécuritaire, durable et de haute qualité dans le secteur minier aurifère au Québec. En plus d'un positionnement avantageux sur le territoire de Val-d'Or, la société a franchi plusieurs étapes clés au fil des ans et démontre un potentiel intéressant de développement. Dans cette présentation, nous nous intéresserons aux perspectives d'Eldorado Gold Québec dans un contexte de croissance, toujours dans le but de créer des occasions et des avantages durables pour ses communautés d'accueil.

## Raglan : 25 ans d'histoire et tout autant d'avenir

Tristan Plaisance (Mine Raglan, Glencore)

Construite dans un milieu isolé de toute ressource externe et fondée sur la première entente sur les répercussions et les avantages (ERA) avec un groupe autochtone au Canada, Mine Raglan a fait preuve de vision et de sens des responsabilités dès ses débuts. Aujourd'hui, Mine Raglan est une entreprise bien établie et vouée à un avenir brillant. Alors même qu'elle souligne son 25<sup>e</sup> anniversaire d'exploitation, un nouveau projet minier lui permettra de poursuivre ses activités bien au-delà de la durée de vie initialement prévue. La collaboration étroite avec les partenaires inuits et les innovations constantes au niveau de l'exploitation, de la logistique et de l'approvisionnement énergétique sont au cœur du succès de cette grande aventure qu'est la Mine Raglan.

## De la mine à la batterie, de la matière première aux produits finis : la stratégie d'intégration de Northern Graphite dans les marchés traditionnels et émergents!

Serge Théberge (Northern Graphite)

Cette présentation de Northern Graphite Corporation (NGC) traitera de sa filiale québécoise Graphite Nordique, de ses ramifications hors Québec et de sa stratégie globale dans le marché du graphite. Il sera question de l'exploitation de graphite de NGC localisée à Saint-Aimé-du-Lac-des-Îles, du projet de matériau d'anodes pour batterie (MAB) à Baie-Comeau, de la mine en Namibie et des projets de la compagnie en général.

## Le rôle d'ArcelorMittal Mines Canada dans la décarbonation mondiale

Julien Lampron (ArcelorMittal Exploitation minière Canada)

Les innovations dans le domaine de l'acier ont été au cœur des révolutions industrielles des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles. Les avancées technologiques qui ont permis de mieux maîtriser la fonte d'un alliage composé de fer et de carbone auront transformé tous les secteurs économiques, notamment l'agriculture, l'industrie et le transport.

Le défi du siècle actuel est celui de la lutte contre les changements climatiques et, encore une fois, l'acier sera au cœur de la révolution qui doit s'opérer. Cependant, les aciéristes doivent trouver un moyen de décarboner leurs procédés, notamment en convertissant leurs hauts-fourneaux vers des fours à arc électrique. Découvrez comment ArcelorMittal Mines Canada a la possibilité de jouer un rôle de premier plan dans la décarbonation mondiale et comment la plus grande mine à ciel ouvert du Québec a entamé sa propre transition énergétique.

## SÉANCE 19

### LES LIMITES DES SOUS-PROVINCES DE LA GRANDE, D'OPATICA ET D'OPINACA ET LE POTENTIEL MINÉRAL DIVERSIFIÉ DU TERRITOIRE D'EYYOU ISTCHEE BAIE-JAMES

#### Le Laguiche et sa périphérie : aguichants dès 1975 et toujours aussi aguichants en 2023, mais pas pour les mêmes métaux (U→Au→Li)

Michel Gauthier (Gardin, professeur retraité de l'UQAM)

Grâce aux efforts continus du MRNFQ depuis 1995, la connaissance géologique du Laguiche a fait un bond de géant. Encore en 2023, le Laguiche et son pourtour suscitent toujours d'importantes questions. Au fur et à mesure des vagues d'exploration successives, la fertilité minière du Laguiche se confirme toujours davantage. En conséquence, il devient de plus en plus important d'examiner plus avant la nature de ce complexe « aguichant » fort prometteur pour le Québec, et tout particulièrement, pour le territoire d'Eeyou Istchee Baie-James.

#### Géologie de la région du lac Cadet, sous-provinces d'Opinaca et de La Grande, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada

Myriam Côté-Roberge et William Chartier-Montreuil (MRNF)

Un levé réalisé au cours de l'été 2022 a mené à la production d'une nouvelle carte géologique à l'échelle 1/50 000 de la région du lac Cadet (feuillet SNRC 33B06, 33B10 et 33B11) à environ 60 km à l'est de la mine Éléonore. Il correspond à la suite du projet entamé dans la région du lac Conviac à l'été 2021. La cartographie avait comme objectif de préciser la limite entre les sous-provinces d'Opinaca et de La Grande, un métallotecte aurifère important située dans le secteur le long d'une grande zone de cisaillement NNE-SSW, la Zone de cisaillement de Prosper (CSpro).

Au nord de la CSpro, les paragneiss et les migmatites du Complexe de Laguiche composent la majeure partie de la Sous-province d'Opinaca du secteur d'étude. Des intrusions de granite pegmatitique associées à la Suite de Janin et à la Suite de Gladman le parcourent, particulièrement à l'ouest. Le Laguiche est traversé par la monzodiorite quartzifère du Pluton de Cadet, une nouvelle unité de taille importante, homogène et bien déformée.

Au sud de la CSpro, les formations de Low et de Prosper correspondent à des unités métasédimentaires transitionnelles entre les roches de la Sous-province de La Grande et les paragneiss de l'Opinaca. Les paragneiss sont caractérisés par la présence locale d'aluminosilicates et par un faciès métamorphique moins élevé que dans le Laguiche. Ces roches sédimentaires sont fortement injectées par les roches plutoniques de composition felsique à intermédiaire du Pluton d'Uskawasis.

Toute cette séquence est affectée par au moins quatre épisodes de déformation marqués par la présence à l'échelle régionale de nombreux plis, zones de cisaillement et failles cassantes.

La difficulté à établir l'emplacement de la CSpro soulève de nombreuses questions quant à la nature de celle-ci et vient ébranler la définition des limites de la Sous-province d'Opinaca dans tout le secteur de la Baie-James.

Du point de vue métallogénique, la découverte dans le feuillet 33B06 d'une diorite étroitement associée à des conglomérats de la Formation de Low rappelle l'Intrusion du Lac Ell et le contexte du gîte Roberto. Une grande zone propice aux veines de quartz aurifères associées à une altération proximale à hornblende-grenat se dessine dans la partie ouest de la Sous-province d'Opinaca. Des indices cuprifères et des pegmatites granitiques de type S sont aussi présents dans le secteur à l'étude.

## Géologie de la région du lac de la Marée, sous-provinces de l'Opatica et de La Grande, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada

Daniel Bandyayera et Emmanuel Caron-Côté (MRNF)

Une nouvelle carte géologique de la région du lac de la Marée (feuilles SNRC 32009 et 32016) à l'échelle 1/50 000 a été produite à la suite d'un levé géologique réalisé au cours de l'été 2022. Elle couvre un secteur situé à ~220 km au nord de Chibougamau. Ces travaux modifient significativement la limite entre les sous-provinces de La Grande et d'Opatica et confirment le prolongement vers l'est de la ceinture du Lac des Montagnes. Cette dernière est désormais interprétée comme faisant partie de la Sous-province de La Grande en raison des similitudes stratigraphiques et métamorphiques avec la ceinture de la Moyenne et de la Basse-Eastmain.

Avant ces travaux, la partie nord de la région à l'étude était assignée à la Sous-province d'Opinaca et était considérée comme formée essentiellement de migmatites dérivées de paragneiss. Les résultats du présent levé révèlent que cet ensemble rocheux constitue plutôt la poursuite vers l'est de la ceinture du Lac des Montagnes (Sous-province de La Grande) qui repose stratigraphiquement sur le socle tonalitique du Complexe de la Hutte. À la base, la ceinture du Lac des Montagnes est formée d'une séquence de roches volcaniques amphibolisées (Groupe du Lac des Montagnes). Celle-ci est surmontée d'un ensemble métasédimentaire (wacke à cordiérite-sillimanite-grenat, arénite, quartzite, formation de fer) localement migmatitisé (Formation de Voirdye) coupé par d'importantes injections de pegmatite blanche à muscovite ± grenat (Suite de Senay). Des intrusions mafiques-ultramafiques (Suite mafique-ultramafique de Nasacauso; périclote, pyroxénite et gabbro) de longueur kilométrique sont observées à la base et au sein des séquences volcaniques et sédimentaires.

La partie sud de la région d'étude se trouve dans la Sous-province d'Opatica. Celle-ci est limitée au nord par la Zone de cisaillement de Poste Albanel. Dans ce secteur, l'Opatica est constitué de roches plutono-gneissiques de

composition intermédiaire à felsique assignées au Complexe de Théodat. Une unité désignée comme la Suite migmatitique de Le Vilin a également été reconnue au sein du Complexe de Théodat. Celle-ci se compose de migmatites dérivées de la fusion de gneiss tonalitiques.

Nos travaux montrent que le contact La Grande-Opatica constitue un métallogénique d'importance régionale qui s'étend sur des centaines de kilomètres. Des zones favorables pour différents types de minéralisations ont été identifiées :

- ▶ minéralisations polymétalliques de type SMV associées au Groupe du Lac des Montagnes;
- ▶ minéralisations aurifères associées aux formations de fer rubanées;
- ▶ minéralisations en Ni-Cu-EGP associées aux intrusions mafiques-ultramafiques de Nasacauso;
- ▶ potentiel en lithium-tantale-césium associé aux pegmatites blanches de la Suite de Senay;
- ▶ minéralisations aurifères de type orogénique associées à des zones de déformation.

## Synthèse métallogénique et géochronologique d'Eeyou Istchee Baie-James

Jérôme Lavoie (MRNF), Sylvain Trépanier (CONSOREM) et Jean Goutier (UQAT)

Ce projet du CONSOREM visait à produire une synthèse métallogénique, géochronologique, métamorphique et structurale d'une zone d'étude couvrant une superficie d'environ 355 000 km<sup>2</sup> localisée dans la partie NE de la Province géologique du Supérieur. La zone couvre en totalité ou en partie la Sous-province à dominance volcano-plutonique de La Grande et les deux sous-provinces métasédimentaires d'Opinaca et de Nemiscau. Ce vaste territoire d'Eeyou Istchee Baie-James constitue, encore aujourd'hui, une nouvelle frontière pour l'exploration minérale.

L'importante compilation géochronologique découlant de cette étude comprend 723 âges U-Pb (zircons, monazites, titanites et grenats). Elle a permis d'identifier plusieurs épisodes magmatiques ou de sédimentation dans la zone d'étude, soit trois (3) épisodes mésoarchéens (M1 à M3) et sept (7) épisodes néoarchéens (N1 à N7). De plus, à partir des zircons hérités ou détritiques et des âges de cristallisation des intrusions plus vieilles que 2800 Ma, ces travaux ont permis d'interpréter et de délimiter d'hypothétiques paléocratons archéens. Ces observations permettent de supposer l'existence dans ce secteur de la Province du Supérieur d'un socle ancien paléoarchéen qui évolue vers un socle paléoarchéen-mésarchéen formé de plusieurs petits cratons sur lesquels les séquences supracrustales mésoarchéennes à néoarchéennes vont se développer.

Cette étude a également permis de définir au moins sept (7) époques métallogéniques distinctes qui définissent plusieurs provinces métallogéniques qui se chevauchent par endroits. Chaque province se caractérise par des contenus en métaux distincts, par des signatures métalliques particulières et par une variété de types de gisement. La synthèse met en lumière l'influence des minéralisations interprétées

comme prémétamorphiques et syngénétiques dans la formation de plusieurs gisements de la zone d'étude. De plus, malgré l'importance des minéralisations interprétées comme épigénétiques, la synthèse démontre que plusieurs gisements, gîtes et indices sont d'origine magmato-hydrothermale. Ainsi, de nombreuses intrusions associées à des époques métallogéniques définies dans le cadre de ce projet sont largement sous-explorées avec un potentiel de minéralisation élevé pour de nombreuses substances, dont plusieurs minéraux critiques et stratégiques.

Les nombreux apports de ce projet mènent à une meilleure compréhension de la métallogénie et de la géochronologie du territoire d'Eeyou Istchee Baie-James. Ces nouvelles connaissances de la distribution spatio-temporelle des principaux gisements en métaux précieux et usuels du secteur rehaussent le potentiel de nouvelles découvertes par :

1) la définition de nouveaux métallotectes; 2) le développement de nouvelles stratégies d'exploration; et 3) le ciblage de nouveaux secteurs historiquement négligés ou de secteurs déjà explorés, mais avec une nouvelle vision.

## **Exploration pour le lithium : approches géochimiques**

### **Réjean Girard (IOS Services Géoscientifiques)**

Les pegmatites LCT, cibles principales des efforts d'exploration pour le lithium au Québec, sont notoirement difficiles à détecter autrement que par l'observation directe de minéraux lithinifères (principalement le spodumène) en affleurement ou en forage. La signature géophysique de ces intrusions est peu contrastée par rapport à celle de la roche encaissante et elles ne sont pratiquement jamais associées à un halo d'altération distinctif. Leur mise en place ne semble pas dictée par les types de roches ou les structures encaissantes. Ces pegmatites étant composées de minéraux réfractaires, elles ne sont pas susceptibles de générer des halos de dispersion hydromorphiques dans l'environnement secondaire. Toutefois, elles sont caractérisées par un assemblage minéral particulier, ce qui entraîne que leur érosion s'accompagne d'une dispersion de ces minéraux dans les sédiments meubles, glaciaires ou alluvionnaires. Une revue de la signature de ces dispersions dans le cadre de levés de géochimie ou de minéraux lourds sera présentée.

## **Récents levés de sédiment de fond de lac, Eeyou Istchee Baie-James)**

### **Olivier Lamarche (MRNF)**

Le ministère des Ressources naturelles et des Forêts a réalisé pendant les étés 2021 et 2022, 4 levés géochimiques de sédiments de fond de lac de haute densité (1,5 éch./km<sup>2</sup>) dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James. Ces levés totalisent une superficie d'environ 11 700 km<sup>2</sup> et ont permis la collecte de 8403 échantillons de sédiment de lac. Ces projets s'inscrivent dans la lignée d'un levé effectué dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James (Solgadi, 2022) visant à fournir des données géochimiques de haute densité. Ces travaux devraient permettre d'identifier plus précisément les zones favorables à la présence de minéralisations que ne le permettaient les anciens levés de plus faible résolution couvrant ce secteur (densité d'échantillonnage d'un échantillon par 6 km<sup>2</sup>) effectués par la Société de développement de la Baie-James dans les années 1970. Les résultats d'analyse devraient également être plus fiables, notamment pour l'or. La présentation fera le survol des levés effectués, du traitement et des anomalies élémentaires mises en lumière par ceux-ci (Ag, Cu, Li, Mo, Ni, EGP, ETR, W).

Les données et les rapports associés à 2 de ces 4 levés feront l'objet d'un dévoilement dans le cadre de Québec Mines 2023.

## **Nouvelle approche pour l'extraction de linéaments géophysiques par optimisation bayésienne : analyse en composantes principales par ondelettes et seuillage par hystérésis**

### **Bahman Abbassi et Li Zhen Cheng (UQAT)**

Cette étude présente de nouvelles techniques de cartographie géologique automatisée axées sur l'extraction détaillée des contacts et des linéaments géologiques. Deux approches principales sont mises de l'avant. La première combine l'analyse en composantes indépendantes (ACI) avec une analyse en grappes par « k-means » pour traiter les données colorimétriques, fournissant des solutions aux problèmes de superposition géologique. La seconde approche intègre la transformée en ondelettes et l'optimisation bayésienne pour la détection des failles. En se basant sur les composantes principales issues des transformées en ondelettes, cette stratégie permet de raffiner l'analyse d'image. La détection des linéaments est renforcée par l'examen de la pente et de l'orientation des ondelettes, mettant l'accent sur la caractérisation des failles. Avec l'aide de l'analyse en composantes principales (ACP), cette méthode permet de distinguer les composantes clés de la transformée en ondelettes, assurant une détection optimale. Un nouvel algorithme s'appuyant sur l'optimisation bayésienne des hyperparamètres (OBH) est également présenté, exploitant une gamme d'images pour améliorer l'extraction des anomalies. Testée sur des images issues du Québec, cette méthode a démontré son aptitude à modéliser avec précision les linéaments. Ces avancées plus performantes que les méthodes traditionnelles ajoutent à notre compréhension des structures géologiques.

## SÉANCE 20

# PRÉSENTATIONS DU DÉFI DE LA RECHERCHE EN GÉOSCIENCES

### Le contexte métamorphique lors de la mise en place d'intrusions alcalines dans la région de la Haute-Mauricie, Province de Grenville — résultats préliminaires

Mohamed Ghazali et Renaud Soucy La Roche (INRS-ETE)

Une compilation des âges métamorphiques des unités au faciès supérieur des amphibolites à celui des granulites de la Province de Grenville indique l'existence d'une importante phase de collision continent-continent entre 1080 et 980 Ma. Toutefois, d'importantes unités magmatiques de la Haute-Mauricie, dont certaines sont riches en éléments des terres rares (ETR), sont interprétées comme s'étant mises en place dans un contexte d'arc volcanique entre 1045 et 1020 Ma ou dans un contexte intraplaque entre 1020 et 1005 Ma. La signature intraplaque est interprétée comme le témoin d'une période d'extension qui est difficilement réconciliable avec l'épaississement crustal interprété dans la Province de Grenville. Le but de cette étude est d'évaluer les conditions et l'âge du métamorphisme en Haute-Mauricie afin de déterminer la position crustale des roches encaissantes lors de la mise en place des intrusions alcalines riches en ETR.

La zone d'étude se situe autour de La Tuque et de Parent, dans la ceinture Allochtone de la Province de Grenville. Elle est composée de plusieurs unités magmatiques et métasédimentaires datant du Paléoprotérozoïque au Néoprotérozoïque précoce. Le Complexe métasédimentaire de Wabash constitue un site d'étude prioritaire puisqu'il contient des lithologies propices à la datation du métamorphisme et au calcul des conditions de pression-température (P-T). Ce complexe est formé de paragneiss à graphite, de paragneiss rouillé, de paragneiss migmatitisés, de granite d'anatexie, de quartzite, d'amphibolite et de gneiss quartzofeldspathique.

Les paragneiss sont caractérisés par l'association minérale Grt-Sil-Bt-Kfs-Pl-Qz ± Gr, tandis que les amphibolites présentent l'assemblage Hbl-Pl-Grt-Bt-Qz-Cpx ± Opx. Les microstructures, telles que des veinules de quartz et de feldspaths et des inclusions polyminéraliques (Qz-Fsp) dans les grenats, attestent que les paragneiss ont atteint le stade de la fusion partielle. Ces associations minérales indiquent des conditions P-T du faciès supérieur des amphibolites au faciès des granulites.

Ces résultats préliminaires seront complétés par d'autres observations pétrographiques, la pétrochronologie sur monazite et grenat et la modélisation des équilibres de phases. La datation des différents épisodes métamorphiques (prograde, pic, rétrograde) fournira un cadre temporel pour interpréter les conditions P-T dans le contexte de mise en place des intrusions riches en ETR. Les conditions

P-T devraient nous renseigner sur la position crustale des roches encaissantes lors de la mise en place des intrusions. Nous évaluerons ensuite si le contexte tectonique intraplaque basé sur les données géochimiques et isotopiques des roches magmatiques est compatible avec les contraintes P-T-t obtenues à partir des roches métamorphiques.

### Décoder la chronologie du métamorphisme polyphasé dans la région de la Mauricie, Province de Grenville centrale, Québec

Muhammad Zahoor Iqbal et Renaud Soucy La Roche (INRS-ETE)

La Province de Grenville est composée de roches métamorphiques de haut grade qui ont enregistré les effets d'une croissance crustale de longue durée associée à plusieurs épisodes d'accrétion pré-grenvilliens entre environ 1665 et 1140 Ma suivis d'une collision finale grenvillienne continent-continent qui a marqué l'accrétion du supercontinent Rodinia entre environ 1090 et 980 Ma. La région de Mauricie-Portneuf comprend plusieurs domaines lithotectoniques métamorphisés et déformés exposant divers niveaux structuraux qui ont été juxtaposés tectoniquement au cours de la phase ottavienne de l'Orogenèse grenvillienne. La signature métamorphique plus ou moins importante de l'Ottavien offre la possibilité de caractériser les événements d'accrétion pré-grenvilliens. Du niveau structural le plus bas au plus élevé, les domaines de Mékinac-Taureau, Shawinigan et Portneuf-St-Maurice enregistrent collectivement des preuves géochronologiques limitées du métamorphisme associé à l'accrétion de l'arc de Montauban à la marge sud-est de la Laurentia autour de 1390 Ma, à l'Orogenèse shawiniganaise à environ 1190-1140 Ma et à l'Orogenèse ottavienne à environ 1090-1020 Ma. Cependant, l'étendue spatiale et le degré de métamorphisme associés à chacun de ces événements sont mal définis. Il est donc essentiel de mieux définir la chronologie et les conditions métamorphiques des accrétions pré-grenvilliennes et de la collision finale pour décrypter l'assemblage crustal de la partie centrale de la Province de Grenville.

L'assemblage minéral associé au pic métamorphique dans les paragneiss des domaines Mékinac-Taureau et Shawinigan comprend le grenat, la biotite, la sillimanite prismatique et le feldspath potassique, ce qui indique des conditions du faciès supérieur des amphibolites à granulites. Le grenat du domaine de Shawinigan est caractérisé par des cœurs et des bordures respectivement riches et pauvres en inclusions séparés par des limites idiomorphes à hypidiomorphes nettes, ce qui peut indiquer une croissance du grenat au cours de deux événements métamorphiques distincts. En revanche, les paragneiss du domaine de Portneuf-St-Maurice sont caractérisés par l'assemblage grenat-biotite-cordiérite-sillimanite qui indique des conditions de température et de pression plus basses. La pétrochronologie par la méthode d'ablation laser et spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (LA-ICP-MS) *in situ* sur la monazite sera utilisée pour déterminer la chronologie des événements métamorphiques. Ses caractéristiques texturales permet-



tront de déterminer la période de la croissance des minéraux métamorphique. Ainsi, les inclusions de monazite dans le grenat et la cordiérite devraient fournir un âge maximal de cristallisation des porphyroblastes. Les teneurs en éléments en traces de la monazite seront mesurées simultanément avec les rapports isotopiques et utilisés pour établir les relations entre la croissance de cette phase et les réactions métamorphiques susceptibles de libérer ou de séquestrer l'yttrium et les ETR. Ces nouveaux résultats sur la chronologie des épisodes métamorphiques fourniront des contraintes robustes sur l'évolution tectonométamorphique de la région de la Mauricie dans la Province de Grenville centrale au Mésoprotérozoïque.

## Géochimie des intrusions mafiques de la Zone tectonique du Front du Grenville près de Louvicourt, Québec

Jérémy Darveau, Carl Guilmette (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec, ULaval), Marine Jouvent (ULaval) et Myriam Côté-Roberge (MRNF)

La Zone tectonique du Front du Grenville (ZTFG) près de Louvicourt expose des unités crustales archéennes parautochtones variablement métamorphisées et exhumées durant l'Orogenèse grenvillienne. La chronologie et les conditions du métamorphisme dans ce secteur ainsi que ses relations avec les unités autochtones adjacentes de la Sous-province du Pontiac sont peu connues. En effet, il n'est pas clair si les roches parautochtones de la ZTFG ont été métamorphisées au faciès des granulites à l'Archéen ou lors de l'Orogenèse grenvillienne. Ainsi, la ZTFG contient des unités mafiques fortement métamorphisées au faciès des granulites de haute pression (croûte inférieure) dont l'âge présumé est paléoprotérozoïque. Or les relations de terrain et les datations isotopiques historiques suggèrent plutôt que certaines de ces occurrences pourraient être beaucoup plus anciennes et avoir été métamorphisées à l'Archéen. Afin de vérifier l'hypothèse qu'il existe bien deux familles d'intrusions mafiques, potentiellement archéennes ou paléoprotérozoïques, nous présentons ici les résultats de nouvelles observations de terrain couplées à des descriptions pétrographiques et des analyses géochimiques de roche totale pour 48 échantillons de metabasites de la ZTFG. Deux groupes de roches metabasiques se distinguent par leurs assemblages minéralogiques et leur contenu en éléments en traces. Le premier groupe comprend des roches massives à microstructure ignée subophitique montrant l'assemblage plagioclase-clinopyroxène partiellement remplacé par un assemblage métamorphique à grenat-hornblende ± clinopyroxène. La distribution géographique de ces unités est linéaire. Ces roches sont caractérisées par l'absence d'anomalie négative en Nb-Ta, des rapports Nb/Yb (13,1) et Th/Yb (1,7) typiques des OIB et un rapport  $TiO_2/Yb$  (1,2) élevé indiquant une source mantellique profonde. Ce premier groupe est interprété comme des dykes mafiques protérozoïques métamorphisés durant l'Orogenèse grenvillienne. Le second groupe est représenté par des roches granoblastiques à grenat-clinopyroxène-orthopyroxène, fortement foliées et plissées isoclinale

qui contiennent de 2 à 10 % de leucosome. Ces unités forment des niveaux décamétriques dans les roches métasédimentaires. Ces roches sont caractérisées par une anomalie négative en Nb-Ta, des rapports Nb/Yb (2,1) et Th/Yb (0,7) similaires aux MORB affectés par de la contamination crustale et un rapport  $TiO_2/Yb$  (0,5) faible indiquant une source mantellique peu profonde. Ce second groupe est interprété comme des unités de granulites mafiques archéennes. Ces résultats suggèrent l'existence de deux épisodes métamorphiques de haut grade distincts, avec un premier épisode d'âge kénoréen qui se manifeste par les granulites mafiques et un second épisode grenvillien principalement enregistré dans les dykes mafiques protérozoïques. La quantification de l'évolution pression-température-temps et l'analyse géochronologique de ces unités sont en cours.

## Caractérisation des minéralisations à Au-Mo du projet Falcon, Formation de Caopatina, Abitibi, Canada

Foulques Guillet de Chatellus, Renée-Luce Simard, Dominique Genna (UQAC) et Rodney Barber (Northern Superior Resources)

Le projet aurifère de Falcon est situé à 5 km à l'ouest du projet de Nelligan (ressources de 73,5 Mt à 0,84 g/t Au), à 45 km au sud de la ville de Chapais au Québec. La minéralisation est encaissée dans les roches sédimentaires de la Formation de Caopatina, au NE de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi. Falcon présente des minéralisations atypiques à Au-Mo sans cuivre (1,02 g/t Au sur 35,5 m avec jusqu'à 3400 ppm Mo sur 0,7 m), sous la forme de disséminations, de veines et de veinules de quartz-carbonates ± anhydrite associés à de la pyrite-molybdénite-or. Le but de ce projet de maîtrise, une collaboration entre Northern Superior Resources et l'UQAC, vise la caractérisation de ce style géologique singulier. La zone d'étude est dominée par des unités volcano-sédimentaires métamorphisées au faciès des amphibolites. Deux unités majeures se distinguent visuellement : une unité de composition mafique et une unité sédimentaire arkosique. Géochimiquement, la séquence se divise en unités cohérentes, dont l'une porte la majeure partie de la minéralisation. La séquence est recoupée par plusieurs dykes mafiques à felsiques d'affinité calco-alcaline. Des dykes porphyriques de composition tonalitique présentent une association spatiale avec les minéralisations, mais ne sont pas minéralisés. Cependant, on trouve dans la portion ouest de la propriété un dyke porphyrique de composition granodioritique contenant jusqu'à 347 ppm Au.

La minéralisation se présente sous la forme de pyrite disséminée et alignée parallèlement à la foliation, de veinules plissées de quartz-carbonate ± anhydrite, de pyrite-molybdénite, de quartz-orthose ou uniquement de pyrite. Elle est principalement associée à un halo d'altération potassique de 50 à 100 m d'épaisseur caractérisé par la présence de biotite, de microcline et de séricite ainsi que géochimiquement par une augmentation de l'indice de saturation en muscovite (3K/Al) sur 30 à 70 m autour la zone

minéralisée. L'or se trouve sous forme libre ou en inclusions dans la pyrite. L'analyse de la pyrite par LA-ICP-MS au LabMaTer (UQAC) permet d'identifier une signature polymétallique (Au-Te-As-Ag-Tl-Pb-Sb-Mo) comparable à celle des systèmes hydrothermaux-magmatiques précoces par rapport à l'événement de déformation régional, tels que les minéralisations de Côté Gold (Ontario) et de La Grande Sud (Baie-James, Québec). Des cartographies géochimiques mettent en évidence une zonation du contenu en Au-Te-As-Ag-Tl-Pb-Sn-Mo-Zn-Cu en bordure des grains de pyrite, suggérant une recristallisation métamorphique. Finalement, une datation par la méthode Re-Os sur la molybdénite associée à l'or à Falcon a donné un âge de  $2709,7 \pm 11,9$  Ma, confirmant une mise en place précoce de la minéralisation. Ces résultats préliminaires suggèrent que le système aurifère de Falcon est lié à un système hydrothermal-magmatique mis en place entre la fin du volcanisme et le début de la déformation régionale.

## Les altérations stratoïdes à carbonates de fer du camp de Selbaie : pétrogenèse et vecteur d'exploration pour les SMV

Rémi Naulot, Dominique Genna, Sarah Dare (UQAC) et Jean-Daniel Fortin-Rhéaume (SOQUEM)

Les sulfures massifs volcanogènes (SMV) représentent des gisements polymétalliques d'importance majeure au Québec, notamment dans les ceintures de roches vertes archéennes. Ces minéralisations montrent un large halo d'altération souvent utile pour l'exploration, avec un assemblage classique à chlorite-séricite et, dans le cas des SMV de type Mattabi, une carbonatation superposée à cette altération. Cette étude a pour but de comprendre la formation des niveaux carbonatés du camp minier de Selbaie, au nord de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, afin de déterminer leur utilité pour l'exploration des SMV. Une approche multidisciplinaire combinant les observations microstructurales, la lithogéochimie et la chimie minérale (LA-ICP-MS du LabMaTer sur les carbonates et la pyrite) a été utilisée pour caractériser le gisement de Cu-Zn-Ag-Au de B26, propriété de SOQUEM. Les minéralisations de type remplacement sont contenues dans des unités volcanoclastiques felsiques métamorphosées au faciès des schistes verts. La carbonatation y est intense, particulièrement le long des unités poreuses felsiques situées dans le toit de la minéralisation, et continue sur environ 10 km. Un échantillonnage systématique réalisé le long de ce niveau a permis d'établir son lien avec les minéralisations et de décrire les variations spatiales de la signature géochimique.

L'étude lithogéochimique a permis de raffiner la distribution des altérations. Le mur des zones minéralisées, dont la minéralogie est dominée par la séricite et la chlorite, est intensément lessivé, alors que le toit présente une importante carbonatation. Les carbonates montrent une zonation à l'échelle du gisement, avec la sidérite proximale, suivi de l'ankérite en position intermédiaire et de la calcite dans les zones plus distales. La distribution des ETR dans ces carbonates, notamment l'anomalie en Eu, permet de différencier les zones minéralisées intensément lessivées du halo d'altération carbonaté. Les analyses de pyrite, quant à elles, ont permis de caractériser la signature SMV de B26 et de son halo d'altération. La signature volcanogène de la pyrite est reconnaissable dans l'ensemble du transect, appuyant la thèse d'une origine volcanogène des niveaux carbonatés à Selbaie. De plus, le contenu en éléments volatils (Ag, Se, Bi) dans les pyrites diminue progressivement avec la distance par rapport aux minéralisations, que ce soit verticalement ou latéralement. Cette diminution du contenu en volatils d'origine magmatique souligne un fractionnement géochimique progressif des fluides hydrothermaux le long des niveaux carbonatés et peut être utilisée comme un vecteur efficace pour cibler les minéralisations à B26. Ainsi, la combinaison des analyses lithogéochimiques et de la chimie minérale a permis de confirmer l'origine volcanogène des carbonates de Selbaie, mais aussi de valider leur potentiel pour l'exploration des SMV.

## Caractérisation des pegmatites du secteur du Batholite de La Motte, Sous-province de l'Abitibi, et implications pour l'exploration

Sabrina Rajhi, Marc Legault (IRME-UQAT),  
Hubert Mvondo (MRNF) et Robin Potvin (Cégep A-T)

Ce projet touche l'étude des caractéristiques des pegmatites du secteur du Batholite de La Motte (BLM) en Abitibi localisé au cœur du triangle Rouyn-Noranda-Amos-Val d'Or et à 20-40 km à l'ouest de la mine North American Lithium (101,9 Mt à 1,06 %  $\text{Li}_2\text{O}$ ; Sayona Québec). La région abrite des minéralisations de minéraux critiques et stratégiques (MCS), notamment le gisement Authier, qui sont exclusivement associées à des pegmatites de type Li-Cs-Ta. Une campagne de cartographie et d'échantillonnage réalisée à l'été 2022 visait à caractériser minéralogiquement et géochimiquement les pegmatites du secteur afin de mieux orienter l'exploration pour le lithium. Cette caractérisation a permis de distinguer différents types de pegmatites dans le secteur du BLM, des amas stériles aux dykes à spodumène. À l'intérieur du BLM, les faciès pegmatitiques associés à l'intrusion montrent des caractéristiques chimiques comparables à celles des dykes de pegmatite qui le recoupent, suggérant ainsi un lien génétique malgré une différence d'âge de quelques millions d'années (Ducharme *et al.*, 1997). Ces résultats confirment également que les rapports élémentaires des analyses de roche totale (K/Rb, K/Cs, Nb/Ta, Mg/Li et Zr/Hf) au sein des dykes lithinifères montrent de plus faibles valeurs comparées aux dykes stériles, indépendamment de l'endroit où l'échantillonnage a été effectué au sein d'un même dyke. Ces rapports devraient donc permettre de cibler des secteurs hôtes de dykes très fractionnés, mais où le spodumène n'avait pas été identifié. L'étude a également exploré l'utilisation des analyses à la microsonde des feldspaths potassiques et des micas pour identifier les pegmatites fertiles. Ces travaux révèlent que les rapports K/Rb et K/Cs de ces minéraux sont similaires à ceux obtenus à partir des analyses de roche totale, renforçant ainsi l'évaluation du degré de fractionnement des pegmatites du BLM. Ces faibles rapports reflètent un fractionnement prononcé, ce qui est en accord avec les conclusions antérieures de Cerný (1989) et des recherches subséquentes. Ces conclusions soulignent la nécessité d'approfondir les travaux de décapage et de cartographie pour évaluer certaines occurrences prometteuses de Li autour du BLM.

## Considérations géothermiques et géochimiques dans les systèmes de pompes à chaleur en boucle ouverte dans les anciennes mines d'amiante à ciel ouvert, Thetford Mines, Québec

Mariana Goldoni de Souza, Geneviève Bordeleau,  
Samuel Lacombe, Jasmin Raymond, Félix-Antoine Comeau  
et Charis Wong (INRS-ETE)

Les systèmes de pompes à chaleur (PAC) à eau de surface représentent une approche prometteuse pour réduire l'impact environnemental lié à la consommation d'énergie des infrastructures immobilières construites à proximité d'anciennes mines à ciel ouvert. Les systèmes en boucle ouverte présentent des avantages clairs pour la climatisation des bâtiments. Cependant, ils doivent être soigneusement conçus, car les risques d'obstruction du système sont particulièrement prononcés lorsque des eaux présentant différents états de rédox (c'est-à-dire des eaux plus profondes et moins oxygénées et des eaux plus superficielles et plus oxygénées) sont mélangées. Nous avons évalué la limnchimie et la qualité de l'eau du lac de fosse Carey Canadian, situé dans le sud-ouest du Québec, pour déterminer si la chimie et le régime limnologique du lac pourraient présenter des risques pour d'éventuels systèmes PAC en boucle ouverte. Des prélèvements ont été effectués saisonnièrement sur deux profils d'eau distincts et les échantillons d'eau ont été analysés pour les paramètres physico-chimiques, les cations, les anions, le carbone organique et inorganique dissous (COD, CID) et la composition isotopique de l'eau ( $\delta 2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$  et  $\delta 18\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ). Les résultats indiquent que la qualité de l'eau est bonne et une limite de rédox a été identifiée à une profondeur de 60 m. Les couches d'eau sous ce seuil présentent des conditions plus réductrices, avec des niveaux d'oxygène plus faibles et des concentrations plus élevées en métaux dissous (par ex. Fe, Mg, Mn, S),  $\text{SO}_4$  et CID. En revanche, les couches d'eau supérieures présentent des conditions plus oxydantes, avec des concentrations d'oxygène dissous plus élevées et des concentrations plus faibles en métaux dissous et en CID. Les isotopes stables ont permis d'identifier deux épisodes possibles de mélange de la colonne d'eau chaque année (au printemps et à l'automne), ce qui signifie que l'équilibre chimique est naturellement rétabli dans chaque couche deux fois par an. Cette étude a pour but de savoir si le processus de mélange artificiel créé par le pompage/injection de l'eau dans un système PAC en boucle ouverte pourrait induire un déséquilibre hydrogéochimique qui pourrait éventuellement entraîner l'obstruction du système. En menant une modélisation hydrogéochimique, nous visons à acquérir une compréhension plus complète des interactions et des processus complexes se déroulant dans le système aquatique. Cela nous permettra de prendre des décisions éclairées concernant l'exploitation et la maintenance du système.

## Effets des propriétés physico-chimiques et minéralogiques des résidus miniers réactifs dans la stabilisation cimentaire

Audrey Jalce, Isabelle Demers, Benoît Plante (IRME-UQAT) et Thomas Pabst (Polytechnique Montréal)

Les sites miniers générateurs de drainage minier acide (DMA) doivent être restaurés pour limiter les impacts environnementaux à long terme. Les méthodes de restauration consistent à construire des systèmes de recouvrement limitant les flux d'oxygène et l'infiltration de l'eau au sein de ces sites, deux éléments essentiels à la formation de DMA. Cependant, ces constructions nécessitent une quantité importante de matériaux aux propriétés hydrogéotechniques précises. De plus, si ces matériaux ne sont pas disponibles à proximité du site, leur extraction et leur transport génèrent des coûts environnementaux et économiques supplémentaires. Par ailleurs, dans le cas des sites miniers abandonnés, ces techniques de restauration ne sont pas toujours efficaces. En effet, durant les années suivant l'exploitation, les résidus exposés sont oxydés, générant une contamination de l'eau (pH acide, concentrations importantes en métaux et sulfates). La restauration de ces sites devra prévenir une nouvelle contamination, mais également traiter la contamination antérieure. Pour limiter les coûts environnementaux et financiers, les résidus, s'ils ne sont pas réactifs, peuvent être valorisés comme matériaux de recouvrement. Dans le cas contraire, il peut être possible de les amender afin d'améliorer leurs propriétés hydrogéotechniques et réduire leur potentiel de contamination.

Ce projet étudie l'efficacité des amendements cimentaires dans la stabilisation des résidus miniers réactifs afin de créer une couche superficielle peu perméable à l'eau et à l'oxygène dans un parc à résidus existant. Par ce traitement, les contaminants sont immobilisés dans la matrice cimentaire selon divers mécanismes physico-chimiques (précipitation, sorption, etc.). Des essais en laboratoire comprenant des essais hydrogéotechniques et de consommation d'oxygène seront réalisés sur des échantillons de résidus cimentés de formulations différentes. Au total, cinq types de résidus (réactifs et oxydés) seront utilisés. Le ciment Portland et un ciment composé à base de laitier seront testés. Ces essais permettront de déterminer les formulations les plus efficaces selon les caractéristiques des résidus. À partir des résultats obtenus, des modèles de prédiction semi-empiriques des propriétés hydrogéotechniques des résidus cimentés seront développés. Des essais de lixiviation seront ensuite réalisés sur des échantillons préparés selon les formulations les plus efficaces. Ces essais permettront d'évaluer le potentiel de relargage des contaminants. Des analyses au microscope électronique à balayage seront effectuées pour identifier les mécanismes de stabilisation des contaminants dans la matrice cimentaire. Finalement, ce projet permettra de proposer une nouvelle approche de restauration des sites miniers par valorisation et cimentation des résidus réactifs et oxydés.

## Nouvelles stratégies de prévention du drainage neutre contaminé en As : séparation centrifuge et passivation des résidus désulfurés et filtrés

Eléonore Lagae Capelle, Lucie Coudert, Isabelle Demers et Carmen M. Neculita (IRME-UQAT)

L'industrie minière fait face à une problématique de contamination en arsenic due à la co-occurrence de l'or et des minéraux arsénifères. Malgré le développement de méthodes de gestion intégrée des rejets miniers limitant les risques géochimiques liés à leur entreposage, comme la désulfuration, la génération de drainage neutre contaminé (DNC) est de plus en plus reconnue comme un enjeu environnemental d'importance auquel l'industrie minière doit faire face. Le développement de stratégies de prévention du drainage minier, dont le DNC, est un pas nécessaire vers la minimisation de l'empreinte environnementale des mines, tout particulièrement dans un cadre législatif et sociétal de plus en plus exigeant. Cette étude a pour objectif d'évaluer les performances de procédés métallurgiques et de passivation pour limiter la génération de DNC-As à partir de résidus désulfurés et filtrés (0,06 % S et 0,1 % As, principalement présents dans la fraction ultrafine < 20 µm). Pour ce faire, les résidus ont été soumis à des essais de séparation centrifuge (60 à 120 g) à l'aide d'un séparateur Knelson. Des essais préliminaires de passivation par voie inorganique ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) et organométallique (complexe Fe-catéchol) ont également été réalisés afin d'évaluer leur potentiel à limiter la mobilité de l'arsenic. Les effets de la granulométrie, du temps de contact et de la concentration en réactifs sur les performances de la passivation ont été étudiés. La stabilité géochimique des résidus bruts et retraités a été évaluée à l'aide d'un test statique de lixiviation du type *Field Leaching Test*. Les performances de ces deux approches seront mesurées en fonction des critères environnementaux (consommation énergétique, hydrique et chimique), opérationnels (efficacité, durée, nombre d'étapes) et économiques (coûts d'investissement et d'exploitation). Les premiers résultats des essais combinant la séparation centrifuge et de la passivation indiquent qu'il s'agit d'une stratégie prometteuse pour diminuer la mobilité de l'arsenic dans les résidus désulfurés et filtrés. Des essais supplémentaires sont requis pour évaluer la stabilité géochimique et la toxicité des résidus passivés à long terme, ainsi que les performances à échelle du pilotage.

## Expériences cinétiques modifiées — une approche intégrative afin de déterminer le risque de drainage neutre contaminé des rejets miniers

Vincent Marmier, Benoît Plante, Isabelle Demers, Mostafa Benzaazoua (IRME-UQAT)

Les outils pour prédire le drainage minier acide (DMA) ont été largement développés au cours des dernières années, mais ne sont pas adaptés pour prédire le drainage neutre contaminé (DNC). En 2015, Plante *et al.* ont proposé une nouvelle approche de lixiviation modifiée avec agents chélateurs afin de déterminer le potentiel de génération d'un matériau déjà connu pour sa génération de DNC en nickel. Cette approche a été réutilisée dans une étude subséquente (Lévesque Michaud, 2017) pour explorer le potentiel de différents agents chélateurs à des fins de prédiction du DNC dans d'autres géomatériaux. Dans le cadre de ce projet, une méthode intégrative a été mise au point afin d'utiliser les agents chélateurs dans des tests géochimiques cinétiques à l'échelle de colonnes de laboratoire et de coupler ces résultats à des essais de sorption et de caractérisations géochimiques (composition chimique et minéralogique) afin de déterminer le risque de lixiviation de contaminants. Les hypothèses appuyant cette approche sont : 1) le mécanisme de contrôle des contaminants dans ces lithologies à pH neutre est principalement gouverné par le relargage combiné à une capacité de sorption, et 2) connaissant la capacité de sorption du matériel par rapport au contaminant d'intérêt, il est possible d'évaluer le risque de lixiviation. Au total, six matériaux provenant de trois exploitations minières (un rejet de concentrateur et cinq lithologies stériles) ont été soumis à des rinçages cinétiques modifiés pendant une durée allant de six mois pour les roches stériles à un an pour le rejet de concentrateur. L'un des matériaux testés est connu pour sa génération de DNC sur le terrain et a été conséquemment utilisé comme témoin pour la validation de la méthode. Un autre matériau présente une problématique associée aux oxyanions et permet donc de valider la méthode pour d'autres éléments que les cations métalliques bivalents. Finalement, la méthode développée a été appliquée aux quatre autres matériaux dont le potentiel de génération de contaminants était incertain. Finalement, la méthode intégrative proposée constitue une avancée permettant de faire face aux défis de la prédiction du DNC, contribuant ainsi au contrôle des risques environnementaux reliés à la gestion de l'eau contaminée par l'industrie minière.

## Réseau de neurones graphiques pour la prévision spatio-temporelle du niveau des eaux souterraines

Xiao Xia Liang, Erwan Gloaguen (INRS-ETE), Maxime Claprod (UQAC) et Daniel Paradis (CGC-Québec)

Les eaux souterraines sont une ressource vitale qui a un impact sur la santé humaine, l'environnement, la survie des espèces et le développement économique des communautés. Face aux pressions anthropiques et climatiques croissantes exercées sur les eaux souterraines, il est nécessaire de disposer d'outils de prévision plus précis et plus rapides afin d'assurer une gestion et une répartition durables de cette ressource. Dans la pratique actuelle, on utilise souvent des relations empiriques simples ou des modèles numériques complexes pour effectuer ces prévisions. Bien que l'application de telles approches ait connu certains succès, la capacité d'intégration de nouvelles informations pour affiner ou maintenir la qualité des prévisions peut parfois faire défaut. Dans cette perspective, nous avons développé un modèle de prévision des ressources en eau souterraine basé sur l'apprentissage machine. Le principal défi de cette approche réside dans la capacité à prendre en compte à la fois les aspects spatiaux et temporels des variables d'intérêt, telles que la variation du niveau d'eau en un endroit précis. Les techniques existantes dans ce domaine se limitent généralement à des variables statiques. Pour relever ce défi, nous avons adapté des réseaux de neurones graphiques (RNG) couramment utilisés par les algorithmes des médias sociaux et de prévisions de trafic. Le développement et l'entraînement de ce RNG ont été réalisés à partir d'un modèle hydrogéologique numérique existant utilisé dans le cadre d'un projet de restauration d'un aquifère régional par un système de pompage intensif. Tous les puits de pompage et d'observation du système sont intégrés dans le RNG sous la forme de neurones, permettant ainsi de définir les caractéristiques spatio-temporelles des niveaux d'eau en fonction de l'emplacement et de la profondeur des puits, de l'intensité du pompage, ainsi que de la distribution spatiale des conductivités hydrauliques de l'aquifère. L'application de ce modèle RNG montre que la qualité des prédictions est comparable à celle du modèle numérique. Cependant, le temps de calcul nécessaire à la prévision et à l'intégration du modèle représente une fraction de celui requis par le modèle numérique. Cette étude démontre que les modèles basés sur les RNG peuvent être complémentaires aux approches existantes de prévision des ressources en eaux souterraines.

## Réseau bayésien contraint spatialement pour la cartographie lithologique : une approche pour des prédictions contraintes par des données de terrain

Victor Silva Dos Santos, Erwan Gloaguen (INRS-ETE) et Shiva Tirdad (CGC-Québec)

Les cartes géologiques représentent une source essentielle d'informations pour l'exploration minérale, l'évaluation des eaux souterraines, les études de vulnérabilité aux risques naturels, etc. Ces cartes sont construites en utilisant des modèles numériques ou conceptuels qui extrapolent des données à partir d'observations géologiques limitées. Les techniques géostatistiques ont traditionnellement été utilisées pour générer des prévisions fiables qui tiennent compte des schémas spatiaux inhérents aux données. Une de ces méthodes est la cokrigage par indicateurs qui estime la probabilité de la présence des unités lithologiques à des emplacements non échantillonnés en analysant leur corrélation spatiale avec des variables auxiliaires continues, telles que des images de télédétection. Cependant, ces approches sont intensives en main-d'œuvre et présentent des limitations par rapport aux réseaux neuronaux profonds, notamment en ce qui concerne l'apprentissage des caractéristiques. Dans cette étude, nous proposons une architecture basée sur des réseaux en forme de U (*U-Nets*), un type de réseau neuronal convolutif conçu pour la segmentation d'images qui exploite efficacement les informations contenues dans les variables secondaires tout en produisant des prévisions contraintes spatialement. Notre architecture comprend deux U-Nets : le premier se concentre sur l'apprentissage des motifs sous-jacents dans les données secondaires, le second intègre les données de référence ainsi que la sortie du premier réseau pour générer des prédictions contraintes. La méthode proposée utilise une fonction de perte qui combine l'entropie croisée et un opérateur de dilatation. De plus, pour évaluer l'incertitude des prédictions, nous avons utilisé la technique *Monte Carlo dropout* comme une approximation bayésienne dans le modèle. La zone d'étude est localisée dans l'est du Québec, au Canada, plus précisément entre les provinces géologiques du Supérieur et de Churchill. Seize unités lithologiques distinctes ont été sélectionnées. Les variables secondaires comprenaient des données multispectrales et radar, le modèle d'élévation et le champ magnétique résiduel total, le tout interpolé à une taille de pixel de 300 m. Pour minimiser l'effet d'autocorrélation spatiale lors de la validation, nous avons divisé la zone d'étude en blocs spatiaux de 10 sur 10 pixels. En utilisant ce réseau bayésien contraint spatialement (RBCS), nous démontrons son potentiel pour générer des cartes lithologiques précises et contraintes par les données de terrain avec une précision dépassant 0,7 pour les lithologies les plus abondantes. Cette étude met en lumière les avancées prometteuses des réseaux neuronaux profonds en géostatistique, en particulier pour la gestion de tâches complexes d'apprentissage des caractéristiques spatiales et l'amélioration des prédictions en cartographie prédictive.

## Styles tectonométamorphiques dans l'arrière-pays de l'Orogène de l'Ungava (Nunavik, Québec, Canada) : résultats préliminaires

Mehdi Jouhari, Carl Guilmette (ULaval), Kyle Larson, Isabelle Therriault (UBC-Okanagan) et Marc-Antoine Vanier (MRNF)

L'Orogène paléoprotérozoïque transhudsonien (OTH) s'est formé à la suite de la collision du craton du Supérieur et de la Province de Churchill lors de l'assemblage du super-continent Nuna/Columbia. L'OTH représente le plus ancien témoignage de l'évolution complète du cycle de Wilson. L'Orogène de l'Ungava (OU) est un segment de l'OTH situé dans la partie la plus septentrionale du Québec (Nunavik) et est caractérisé par une convergence orthogonale et une cinématique associée à un chevauchement. Il expose une ceinture de chevauchement-plissement d'avant-pays remarquablement bien préservé qui abrite des gisements minéraux de classe mondiale. Ce domaine d'avant-pays est lié par une zone de suture à un arrière-pays peu connu. Cet arrière-pays comprend deux fenêtres de roches du craton du Supérieur (Domaine de Kovik) chevauchées par les unités du Domaine de Narsajuaq d'âge archéen à paléoprotérozoïque. L'étude de l'évolution tectonométamorphique de cet arrière-pays vise à évaluer les modèles géodynamiques envisageables et représente le but principal de ce projet de doctorat.

La présence d'une éclogite paléoprotérozoïque rétrogradée dans la fenêtre tectonique ouest du Domaine de Kovik indique un métamorphisme d'ultra-haute pression lors du développement de l'OU. Des roches du même type n'ont pas été identifiées dans la fenêtre orientale qui expose des granulites archéennes polymétamorphiques remobilisées par un métamorphisme au grade des amphibolites durant le Paléoprotérozoïque. Le Domaine de Narsajuaq enregistre un métamorphisme prograde généralisé au faciès des granulites au Paléoprotérozoïque, suivi par une phase rétrograde au faciès des amphibolites. Cependant, l'absence de données géochronologiques et le peu d'informations sur l'évolution du métamorphisme des unités de l'OU entravent la compréhension de l'évolution polymétamorphique de ce territoire et ne permettent pas de bien différencier les métamorphismes archéens et paléoprotérozoïques. Le projet actuel vise à mener une étude détaillée de l'étendue et de la chronologie du métamorphisme dans l'arrière-pays de l'OU et comprend notamment une étude de la superposition des épisodes métamorphiques archéens-paléoprotérozoïques. Ce travail combinera la modélisation de l'équilibre des phases, la thermobarométrie et la pétrochronologie du grenat, du zircon, de la monazite et des micas.

Dans cette communication scientifique, nous discuterons de nos premières conclusions, notamment la découverte de granulites de haute pression paléoprotérozoïques dans la fenêtre orientale du Domaine de Kovik qui pourraient représenter une nouvelle unité géologique. De plus, de nouvelles données géochronologiques indiquent que 1) les gabbros coronitiques du Kovik, autrefois considérés comme paléoprotérozoïques, sont en réalité de l'Archéen, et 2) les granulites

de moyenne pression et haute température du Domaine de Narsajuaq sont d'âge paléoprotérozoïque et contemporaines de l'Orogenèse de l'Ungava. Nos résultats préliminaires suggèrent également l'absence de métamorphisme d'ultra-haute pression dans la portion orientale du Kovik.

### **Téphrochronologie des bentonites ordoviciennes de la région de Montréal : la chimie du zircon et de l'apatite comme outil de corrélation stratigraphique**

**Héloïse Pinon (UQAM), Claire Musajo (Université McGill), Joshua H.L. Davies, Alain Tremblay, Morgann G. Perrot (UQAM) et Galen P. Halverson (Université McGill)**

Les successions sédimentaires ordoviciennes de la région de Montréal, au sud du Québec, contiennent des lits de cendres volcaniques altérées connues sous le nom de K-bentonites observables dans tout l'est de l'Amérique du Nord. Les âges U-Pb, combinés aux caractéristiques chimiques et isotopiques du zircon et de l'apatite contenus dans ces bentonites, fournissent des âges de formation et des signatures chimiques particulières qui peuvent être utilisés pour corréler ces bentonites à travers les bassins sédimentaires. Dans la région de Montréal, la séquence stratigraphique de la Plate-forme du Saint-Laurent comporte, à la base, les grès cambriens du Groupe de Potsdam. Ils sont recouverts par les groupes ordoviciens de Beekmantown, Chazy, Black River et Trenton, lesquels représentent une série de calcaires, de shales et de dolomies en alternance évoluant vers des rythmites et des turbidites des groupes d'Utica et de Lorraine.

Les travaux effectués à ce jour dans la région de Montréal ont permis d'identifier des lits argileux centimétriques de K-bentonite dans le Groupe de Trenton. Des lits complémentaires ont été collectés en Ontario et en Nouvelle-Angleterre dans des formations équivalentes. Les zircons de ces bentonites peuvent être altérés par des phénomènes hydrothermaux, mais une procédure d'abrasion chimique (similaire à celle utilisée pour les datations U-Pb de haute précision) permet d'éliminer les domaines altérés et de ne laisser que du matériel frais. La composition en éléments volatils (Cl, F, OH), majeurs, mineurs et en traces des apatites et des zircons séparés de ces lits a été mesurée à la microsonde électronique et par LA-ICP-MS.

Ces résultats permettent d'établir l'empreinte chimique des différents lits de bentonite et de comprendre leur formation. Les apatites montrent des compositions particulières à chaque lit de bentonite. Ainsi, l'utilisation de ce minéral comme outil de corrélation stratigraphique permet de relier précisément les unités sédimentaires à travers la région de Montréal. De plus, il est ainsi possible de corréler ces lits avec les bentonites de l'Ontario et des États-Unis, d'évaluer l'étendue des dépôts de cendres et d'estimer l'impact des éruptions volcaniques ordoviciennes ainsi que leur origine. L'utilisation de la chimie du zircon et de l'apatite comme indicateur de provenance permet de mieux comprendre le contexte général de formation de ces roches. La chimie minérale permet également la caractérisation des sources

volcaniques grâce à l'estimation des différents paramètres physico-chimiques du ou des magmas parents. Connaître l'étendue et l'origine de ces téphras contribue à mieux contraindre la contribution de ces multiples éruptions volcaniques ainsi que l'évolution géodynamique de la Laurentia au début du Paléozoïque.

### **Stratigraphie séquentielle et chiostratigraphie de la Plate-forme du Saint-Laurent dans la région de Montréal**

**Claire Musajo (Université McGill), Héloïse Pinon, Joshua H.L. Davies, Morgann G. Perrot (UQAM) et Galen P. Halverson (Université McGill)**

La séquence sédimentaire de la Plate-forme du Saint-Laurent (PSL) de la région de Montréal s'est déposée durant une période allant du Cambrien moyen à l'Ordovicien tardif. Cette période est marquée par d'importants événements tectoniques, tels que l'ouverture de l'océan Iapetus et sa fermeture partielle. Cet intervalle de temps enregistre les nombreux changements environnementaux, notamment la transition du climat chaud de l'Ordovicien précoce à l'ère glaciaire Hirnantienne de la fin de l'Ordovicien, ainsi que la Grande Diversification Ordovicienne (GOBE). Cependant, mis à part l'aspect lithostratigraphique, cette séquence sédimentaire est relativement peu étudiée et aucune étude chiostratigraphique ou d'analyse de séquences détaillée n'a été effectuée.

La stratigraphie isotopique (C, O, Sr) sera l'outil principal de corrélation qui devrait permettre de relier la séquence de Montréal avec le reste de la PSL et les autres séquences ordoviciennes. L'identification d'excursions positives et/ou négatives dans les courbes isotopiques permettra de localiser ces unités dans la chronostratigraphie de l'Ordovicien. Il sera ainsi possible de proposer de nouvelles corrélations en se basant sur des données indépendantes des lithologies. La définition de séquences au sein de la PSL permettra de reconstruire les dynamiques eustatiques et d'étudier le rôle de la tectonique locale sur les environnements de dépôts. L'analyse des données de  $\delta^{13}\text{C}$  révélera les perturbations du cycle du carbone, les données du  $\delta^{18}\text{O}$  indiqueront l'évolution des paléotempératures, tandis que les isotopes de Sr caractériseront l'intensité de l'altération, de l'activité volcanique et des rides océaniques. Ces outils nous permettront de replacer la séquence sédimentaire de Montréal dans un contexte plus global pour mieux comprendre les causes et les effets des changements climatiques et paléogéographiques du début du Paléozoïque.

Nous présenterons les résultats préliminaires des analyses de  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  d'une coupe de la partie supérieure du Groupe de Trenton (Ordovicien supérieur) localisée à Montréal-Est. La base de la coupe est caractérisée par des lits ondulés allant du mudstone au wackestone, avec quelques bancs de grainstone. Ces niveaux sont riches en fossiles (brachiopodes, bryozoaires et bioturbations horizontales). Un peu au-dessus de la partie médiane de la coupe, les faciès passent graduellement à des bancs planaires de mudstone et wackestone intercalés avec des niveaux de

shale; quelques lentilles de grainstone bioclastique sont également présentes. Ces dépôts sont interprétés comme la transition entre un environnement de sédimentation peu profond de rampe externe vers un environnement relativement profond de plate-forme externe qui témoigne d'un épisode de transgression du niveau marin.

### **Mobilité des métaux au cours du métamorphisme prograde des ceintures métasédimentaires de la Province du Supérieur : implications pour les ressources en Au**

**Diogo Ribeiro, Bertrand Rottier (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec, ULaval), Georges Beaudoin, Carl Guilmette (ULaval), Clifford Patten (Universität Innsbruck), Jochen Kolb (Karlsruher Institut für Technologie) et Iain Pitcairn (Stockholm Universitet)**

Cette étude porte sur les sous-provinces de Pontiac et de Quetico, deux ceintures métasédimentaires de la Province du Supérieur chevauchées respectivement par les ceintures de roches vertes de l'Abitibi et de Wabigoon. Ce contexte tectonométamorphique suggère que la dévolatilisation des ceintures métasédimentaires pourrait avoir fourni des volumes importants de métaux aux roches vertes sus-jacentes. Pour tracer la mobilité des métaux au cours du métamorphisme prograde, des analyses géochimiques des roches entières combinées à des dosages d'or à très faible limite de détection ont été réalisés sur des roches métasédimentaires métamorphisées représentatives de différents grades métamorphiques, du faciès des schistes verts au faciès des granulites, échantillonnées le long de trois traverses présentant des contenus en Au contrastées : traverses riches (Rouyn-Noranda, Pontiac), moyennement riches (Geraldton, Quetico) et pauvres en or (Thunder Bay, Quetico).

Les résultats montrent une diminution systématique des concentrations d'arsenic et d'antimoine avec l'augmentation du degré de métamorphisme dans les trois traverses, suggérant une mobilisation de ces éléments au cours du métamorphisme prograde. Cependant, la diminution des concentrations en or avec l'augmentation du métamorphisme, qui serait une indication d'une mobilisation de l'or, n'a été détectée que dans les traverses riches en or (de 1,03 à 0,16 ppb à Rouyn-Noranda et de 1,04 à 0,25 ppb à Geraldton), alors qu'aucun appauvrissement n'a été reconnu dans les zones pauvres en or (moyenne de 0,86 ppb à Thunder Bay).

Cette différence apparente de la mobilité de l'Au dans les différentes traverses a été évaluée en suivant l'évolution texturale et chimique (méthode LA-ICP-MS) des sulfures dans les différents grades métamorphiques. Les textures des sulfures révèlent une évolution générale comprenant deux réactions principales : (1) transition pyrite I — pyrrhotite aux grades métamorphiques inférieurs, suivie par (2) transition pyrrhotite — pyrite II aux grades métamorphiques supérieurs.

La pyrite I est l'hôte principal de l'or, de l'arsenic et l'antimoine (jusqu'à 918 ppb, 1967 ppm et 750 ppm, respectivement). Dans les traverses riches en or, la pyrite I s'appauvrit progressivement en ces éléments avec l'augmentation du degré de métamorphisme. Dans les zones pauvres en or, cette tendance est observée pour l'As et le Sb, mais les teneurs en Au restent stables. La transition pyrite I — pyrrhotite est la principale réaction contrôlant la libération de l'Au, de l'As et du Sb. Cette réaction a été efficace dans les zones riches en or et s'est déroulée brusquement à Rouyn-Noranda (autour de la zone de la biotite) et graduellement à Geraldton (de la zone de la biotite à la zone de la cordiérite), entraînant une faible abondance ou l'absence de pyrite I dans les secteurs de grades métamorphiques élevés. À Thunder Bay cependant, la dégradation de la pyrite I est incomplète, ce qui a entraîné une plus grande abondance de pyrite I riche en Au, particulièrement à des grades élevés, expliquant l'absence d'appauvrissement en Au dans cette traverse.

Cette corrélation entre la mobilité de l'or dans les ceintures métasédimentaires et la richesse en Au dans les roches vertes sus-jacentes suggère que la dévolatilisation des roches métasédimentaires pourrait être un facteur clé de la richesse en Au des ceintures de roches vertes.



## Minéralogie et géochimie du gîte de Moblan, un essaim de dykes de pegmatite LCT minéralisés en lithium (Eeyou Istchee Baie-James)

Antoine Vigne (Université McGill), Aurélien Eglinger (InnovExplo), Anthony Williams-Jones, Olga Vasyukova (Université McGill) et Carl Corriveau (Sayona Québec)

Le regain d'intérêt pour le lithium causé par la transition énergétique a entraîné un fort développement de l'exploration des pegmatites de la famille Lithium-Césium-Tantale (LCT) au Québec et à l'international. Cette exploration est cependant difficile, car les questions de la source, de l'association ou non avec un granite, ainsi que des conditions de formation de ces roches restent sujettes à discussion. Les modèles géologiques peuvent cependant être améliorés grâce à des observations texturales et minéralogiques, car elles apportent des informations cruciales sur les conditions de mise en place des pegmatites.

Moblan est une minéralisation de lithium formée principalement de deux groupes de dykes : un premier groupe orienté E-W et un second N-S. Les dykes E-W présentent un faible pendage vers le nord et une géométrie sigmoïdale. Ils sont encaissés dans des gabbros amphibolisés. Le groupe N-S montre un pendage plus fort et des contacts plus francs avec la roche encaissante. Ces dykes de générations et d'orientations différentes reflètent une mise en place pulsatile, débutant par les dykes E-W suivis des dykes N-S, dans un continuum de déformation essentiellement transversale en régime ductile-fragile (événement de déformation régional D3). La géochimie de la roche totale indique que les pegmatites N-S, plus tardives, sont plus évoluées que les pegmatites précoces E-W.

L'une des particularités de la minéralisation à Moblan est la microstructure du spodumène, le principal minéral porteur du lithium. En effet, ce minéral comporte couramment de nombreuses inclusions de quartz. Cette particularité est fréquemment rapportée dans la littérature comme le résultat d'une réaction rétrograde de la pétalite, un aluminosilicate de lithium de plus basse pression et plus haute température que le spodumène. Le rapport spodumène-quartz, les variations de la quantité d'inclusions au sein d'un même cristal, ainsi que les différences de teneur en éléments en traces entre les cristaux de spodumène avec ou sans inclusions de quartz sont des arguments en faveur de la rétrogenèse de la pétalite. Cependant, étant donné que d'autres minéraux de ce gisement présentent également des inclusions de quartz, cette microstructure pourrait également représenter une structure squelettique primaire résultant d'une cristallisation dans des conditions de refroidissement rapide (*undercooling*). Ces observations ont de fortes implications pour déterminer le chemin pression-température de la roche.

Enfin, des phénomènes de remplacement du spodumène, ainsi que la présence de lépidolite en remplissage de fractures sont couramment observés à Moblan. Ces observations semblent indiquer que des processus métasomatiques tardifs sont responsables de la formation de certaines phases minérales lors de la cristallisation de ces pegmatites.

## Apatite, exploration minérale et études de provenance : identification de la signature des apatites dans les granites de type I, A et S

Marie Kieffer, Sarah Dare (UQAC) et Marylou Gendron (UQAC, Explo-Logik)

La chimie de l'apatite est communément employée afin de tracer les environnements géologiques de formation. Il y a donc un intérêt croissant pour développer l'utilisation des apatites détritiques comme minéral indicateur pour l'exploration minérale et les études de provenance dans l'environnement secondaire, notamment les terrains recouverts par des sédiments glaciaires. En revanche, les études existantes touchant la signature des apatites portent généralement sur les caractéristiques de ce minéral dans différents types de gisements (p. ex., porphyre, skarn) et sur la fertilité des intrusions hôtes. Or, avant d'identifier un type de gisement, il est primordial d'identifier la nature de l'intrusion hôte (p. ex., mafique ou felsique) et son environnement tectonique, car cela permet d'orienter l'exploration et d'évaluer la prospectivité d'un secteur à grande échelle. Ainsi, les intrusions mafiques peuvent être associées à des ressources en Fe-Ti-V-P et/ou Ni-Cu-EGP-Cr, tandis que plusieurs types de gisements et substances (p. ex., Cu, Mo, W, Sn) peuvent être associés à différents types d'intrusions felsiques en fonction du type de granite (I, S ou A).

Cette étude originale vise à créer une base de données d'analyses d'apatite provenant de granites de type I, S et A à l'échelle mondiale. Cette base de données rassemble de nouvelles analyses réalisées par LA-ICP-MS (LabMaTer, UQAC; n = 273), qui incluent des granites de type A du Saguenay-Lac-Saint-Jean, et les résultats d'une compilation provenant de la littérature (n = 2146). Elle permet d'élaborer un nouveau schéma de classification dans le but de différencier les apatites issues de différents types de granites (I, S et A) de celles provenant d'autres roches (p. ex., mafiques, carbonatites). Cette classification est conçue en suivant une approche pétrogénétique en 4 étapes : 1) les apatites des intrusions mafiques et felsiques sont d'abord isolées de celles provenant d'autres intrusions en utilisant leurs rapports Sr/Y et les ETR légers; 2) les apatites des intrusions mafiques sont exclues en fonction de leur contenu en ETR+Y, Sr/Y et Eu/Eu\* et, au besoin, As,  $(Gd/Yb)_N$  et  $(Pb + Th + U)$ ; 3) les apatites post-archéennes sont séparées des archéennes à l'aide du diagramme  $\log([La/Yb]_N)$  vs.  $Yb_N$ ; et enfin, 4) parmi les apatites provenant des intrusions felsiques post-archéennes, le contenu en Mn, V et  $(La/Nd)_N$  permet d'identifier les apatites provenant des granites de type I, S ou A, auxquels peuvent être associés différents types de minéralisations. Cette étude démontre que l'apatite possède toutes les qualités requises pour être utilisée comme minéral indicateur pour l'exploration et les études de provenance sédimentaires afin d'évaluer la prospectivité d'un terrain recouvert par des sédiments glaciaires, particulièrement au Québec.

## Deux événements temporellement distincts de formation de pegmatites granitiques riches en ETR dans les régions de la Mauricie et du Lac-Saint-Jean, Province de Grenville centrale

Pedro Alves, Bertrand Rottier, Crystal LaFlamme (ULaval), Abdelali Moukhsil (MRNF), Joshua Davies et Morgann Perrot (UQAM)

Des essais de dykes de pegmatite granitique riche en terres rares (TR) légères sont de plus en plus reconnus dans l'arrière-pays de l'Orogène grenvillien. Ces essais de dykes sont pour la plupart intrusifs dans la ceinture Allochtone de moyenne pression (ceinture AMP), qui comprend des terrains métamorphisés dans les conditions du faciès amphibolite à granulite. Cette étude porte sur les relations de terrain, les assemblages minéraux, les données géochimiques et géochronologiques de neuf pegmatites riches en éléments de terres rares (ETR) et en U dans les régions de la Mauricie et du Lac-Saint-Jean (ceinture AMP centrale). Les dykes de pegmatite décimétriques à métriques (jusqu'à 10 m d'épaisseur) sont faiblement déformés à non déformés et recourent une large gamme de types de roches (roches méta-ignées mafiques à felsiques et métasédimentaires). La plupart de ces roches hôtes ont connu des conditions suprasolidus et présentent des leucosomes *in situ* parallèles à la foliation tectonique. Les dykes de pegmatite granitique (de composition monzogranitique et syénogranitique à feldspath alcalin) sont principalement composés de quartz, de feldspath potassique et de plagioclase, avec un peu de biotite, d'amphibole, de magnétite et, localement, de grenat. Les phases accessoires sont l'allanite, le zircon, l'apatite, la monazite, le xénotime, le pyrochlore, l'ilménite, la pyrite et la thorite. Dans tous les dykes de pegmatite étudiés, l'allanite est le principal minéral hôte des ETR et est généralement à grain moyen à très grossier (cristaux jusqu'à 7 cm). Ces pegmatites sont principalement faiblement hyperalumineuses (ASI=1,0 à 1,1), magnésiennes à principalement ferrifères et calco-alkalines à alcalines à forte teneur en K. Les teneurs totales en ETR + Y des échantillons enrichis en ETR varient de ~3000 à ~28 000 ppm, particulièrement associées aux TR légères. Quelques échantillons affichent également des teneurs élevées en Nb, Zr et Th qui atteignent ~ 2100 ppm, ~ 6800 ppm et ~ 1800 ppm respectivement. Presque tous les échantillons affichent de faibles teneurs en Be, Cs et Rb. Les données U-Pb sur zircons (LA-ICP-MS) de neuf dykes de pegmatite nous permettent de distinguer deux groupes d'intrusions : le groupe le plus ancien donne des âges compris entre  $1061 \pm 6$  et  $1044 \pm 9$  Ma (âges ottaviens) et ceux du groupe plus jeune sont compris entre  $1009 \pm 4$  et  $990 \pm 9$  Ma (âges Rigolet), tous interprétés comme des âges de cristallisation. Ces deux groupes présentent des assemblages minéraux similaires et ne montrent pas de différences chimiques notables. Aucune évidence de terrain ne permet d'identifier sans équivoque des intrusions parentales qui pourraient être génétiquement liées à ces dykes de pegmatite. Un débat est en cours quant à savoir s'ils représentent des produits de fusion résiduels d'intrusions granitiques différenciées ou des résultats

directs de l'anatexie. Dans le cas d'une origine anatectique, les deux générations de pegmatites identifiées dans la zone étudiée indiqueraient l'existence d'au moins deux événements minéralisateurs en ETR liés à l'anatexie dans la Province du Grenville centrale séparés l'un de l'autre par un intervalle d'environ 50 Ma et associés aux phases ottavienne et Rigolet.

## La pyroxénite à titanite d'Aligas : une minéralisation inhabituelle en éléments de terres rares dans la région du Lac-Saint-Jean (Grenville central)

Federico Pingitore, Bertrand Rottier (ULaval), Abdelali Moukhsil (MRNF) et Marc Constantin (ULaval)

Au cours des 25 dernières années, la demande pour les éléments de terres rares (ETR) a considérablement augmenté en raison de leur importance dans les applications de haute technologie. Ces substances sont donc devenues des matières premières fondamentales au développement économique. La compréhension des processus conduisant à la formation des suites magmatiques enrichies en ETR constitue une action importante pour améliorer les modèles d'exploration minérale et assurer l'approvisionnement en ETR de notre société.

Les processus pétrogénétiques à l'origine de la mise en place des intrusions alcalines riches en ETR sont mal connus, notamment la source des magmas et les facteurs géologiques conduisant à l'enrichissement en ces éléments. Plusieurs intrusions alcalines riches en ETR ont été identifiées dans l'ouest et le centre de la Province de Grenville. La plupart de ces intrusions se sont mises en place pendant et après l'Orogenèse grenvillienne (environ 1090 à 980 Ma), définie comme une collision continent-continent le long de la marge SE de la Laurentia. Ces intrusions forment plusieurs plutons kilométriques dans la ceinture Allochtone de la Province de Grenville.

La suite intrusive de la Rivière Noire (SIRN), objet de cette étude, représente une suite intrusive alcaline (pyroxénite-monzonite-syérite-granite) qui affleure au nord de la région du Lac-Saint-Jean (Québec). Cette unité regroupe trois faciès principaux. Les pyroxénites contiennent jusqu'à 90 % de pyroxène et sont riches en titanite (jusqu'à 10 %). Elles montrent localement des zones gabbroïques comprenant jusqu'à 40 % de plagioclase. Le deuxième faciès est constitué de monzonites et de syénites. Les monzonites sont plus riches en pyroxène (jusqu'à 20 %) que les syénites et se présentent sous la forme d'injections métriques dans la pyroxénite, tandis que les syénites forment principalement des dykes minces (< 1 m) ou bréchifient les autres faciès. Les pegmatites granitiques alcalines comportent des proportions variables de quartz (jusqu'à 25 %) et sont exposées sous la forme de dykes métriques recoupant tous les autres faciès. Des études préliminaires ont montré un enrichissement notable en ETR (jusqu'à 0,25 % poids) dans la SIRN, principalement dans la pyroxénite où les ETR seraient contenus dans la titanite ou, éventuellement, l'apatite.

Dans le cadre de cette étude, l'âge et la source du magma ayant formé la SIRN seront déterminés par datation U-Pb

des zircons (accompagnée d'analyses Lu-Hf) et des titanites présents dans les différents faciès. L'évolution et les processus ayant conduit à l'enrichissement en ETR seront également déterminés en combinant la chimie des minéraux, divers oxythermomètres et l'analyse des inclusions de liquide silicaté.

## La minéralisation en Nb dans les carbonatites du Saguenay : de l'origine à la mise en place

**Nils Van Weelderden, L. Paul Bédard (UQAC),  
Anne-Aurélien Sappin (CGC-Québec) et Michel Grégoire  
(Université Toulouse III-Paul Sabatier)**

Le niobium (Nb) est reconnu comme un élément critique et stratégique par le Canada; il est donc important de comprendre la formation des gisements contenant ce métal pour bien orienter les travaux d'exploration. Comme les carbonatites sont les hôtes presque exclusifs des gisements de Nb, déterminer les processus associés à la formation et à la mise en place de ces systèmes magmatiques est nécessaire pour expliquer la genèse de ces minéralisations. Dans ce but, quatre intrusions de carbonatite de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean (Saint-Honoré, Shipshaw, Girardville et Crevier) seront étudiées afin d'identifier 1) les phénomènes crustaux et les processus de mise en place de ces carbonatites, 2) la source des magmas carbonatitiques, et 3) l'origine de la minéralisation en Nb. Comme ces quatre carbonatites présentent des différences notables (âge, taille, forme, assemblage minéral, etc.), cette comparaison permettra de cibler les différences entre les carbonatites présentant un intérêt économique pour le Nb (p. ex., Saint-Honoré), les carbonatites et les pegmatites subéconomiques (p. ex., Crevier) et les carbonatites peu ou pas minéralisées (p. ex., Shipshaw et Girardville) afin de mettre en évidence des indicateurs de fertilité.

Dans un premier temps, le mode de mise en place dans la croûte de ces intrusions de carbonatite sera étudié. Deux modèles ont dernièrement été proposés pour expliquer la remontée des magmas carbonatitiques. Le modèle le plus accepté propose que les faibles densité et viscosité des magmas carbonatitiques permettraient à ces derniers de remonter rapidement le long de failles crustales. Le second modèle suggère plutôt une lente ascension des magmas dans la croûte facilitée par des réactions magma-encaissant. Ces modèles seront testés ainsi que les effets possibles des mécanismes de filtre-pressé et/ou d'assimilation crustale. Les compositions isotopiques en Sm-Nd et Rb-Sr d'échantillons de Saint-Honoré et de Shipshaw seront comparées à celles des carbonatites de Girardville et de Crevier pour tester le degré de contamination des carbonatites. De plus, l'étude de la chimie des minéraux et des roches nous informera sur l'évolution des magmas. Pour mieux contraindre les contextes de mise en place de ces intrusions, de nouvelles datations U-Pb sur apatites ont été réalisées sur les carbonatites de Shipshaw et de Saint-Honoré. Deux âges avec 13 Ma d'écart, compris entre 550 et 530 Ma, ont été obtenus pour la carbonatite de Shipshaw, ce qui est similaire aux âges récents obtenus sur des apatites de la carbonatite de Saint-Honoré (~550 Ma).

## SÉANCE 21

# L'INDUSTRIE MINIÈRE À L'HEURE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

## Restauration des sites miniers dans un contexte de changements climatiques

**Bruno Bussière (UQAT)**

*Le Guide de préparation du plan de réaménagement et de restauration des sites miniers au Québec* (MERN, 2017) indique que « le requérant doit choisir la technique de restauration et concevoir les ouvrages qui resteront sur place après la fermeture de l'exploitation minière en tenant compte des changements climatiques ». Afin de tenir compte des changements climatiques (CC), il faut d'abord identifier les éléments climatiques ayant un impact sur le comportement des ouvrages de restauration utilisés. Il faut ensuite évaluer l'influence de l'évolution causée par les CC sur la capacité de ces ouvrages à contrôler la contamination provenant des rejets miniers. Dans la pratique, il est essentiel d'intégrer les CC à toutes les étapes de conception soit : 1) la caractérisation; 2) la connaissance du site; 3) le design; 4) la construction et l'instrumentation; 5) l'auscultation et le suivi et 6) l'analyse et les ajustements. Il faut évidemment tenir compte des modifications apportées par les changements climatiques par rapport aux conditions climatiques dites normales et évaluer ces changements sur les performances de la méthode de restauration. Mais le concepteur doit également identifier les conditions réalistes en contexte de CC auxquelles seront soumises les infrastructures à long terme, tant du point de vue des précipitations extrêmes, d'années humides, de sécheresses extrêmes ou de périodes chaudes. Il doit s'assurer que, même dans ces conditions, la méthode de restauration utilisée est en mesure d'éviter une contamination importante de l'environnement.

Cette présentation discutera de ces aspects en illustrant le tout avec des cas concrets. Des approches visant à déterminer les conditions normales et extrêmes en contexte de CC seront discutées. Enfin, les travaux en cours visant à mieux comprendre et intégrer les changements climatiques dans la restauration des sites miniers seront abordés.

## Agnico Eagle et les changements climatiques : flexibilité et collaboration

**Josée Noël et Nicholas Allen (Mines Agnico Eagle)**

La stratégie d'affaires d'Agnico Eagle lui fournit les bases nécessaires pour réagir aux divers risques et occasions. C'est sur ces bases qu'elle appuie son approche face aux changements climatiques. La stratégie d'Agnico Eagle face aux changements climatiques sera détaillée, puis des exemples concrets de projets seront présentés pour mettre en lumière l'importance de la flexibilité et de la collaboration pour favoriser la résilience et la durabilité.

## De la mine au matériel d'anode, en route vers le net zéro!

**Julie Paquet et Martine Paradis (Nouveau Monde Graphite)**

Nouveau Monde Graphite (NMG) aspire à soutenir la transition vers un monde décarboné grâce à son matériel d'anode actif pour les batteries. Son modèle d'affaires est axé sur les occasions offertes par les changements climatiques en desservant le marché de la révolution énergétique et intègre des principes ESG élevés afin d'assurer une production responsable de produits de graphite écologiques, de la mine aux matériaux avancés.

La conception du projet minier repose sur des choix environnementaux où la vulnérabilité aux changements climatiques des infrastructures minières a été considérée dès la conception du projet. Par la gestion des résidus miniers sans ouvrage de retenue, la restauration progressive, le déploiement d'un parc de véhicules minières entièrement électrique ou la mise en place de technologies propres pour la transformation du graphite en matériel d'anode, NMG met de l'avant des initiatives pour développer des infrastructures durables et des stratégies de résilience et d'adaptation aux changements climatiques.

Déjà carboneutre, nous travaillons à assurer une transition complète vers le Net Zéro d'ici 2030. NMG s'est engagée à maintenir une empreinte carboneutre à chaque étape de son développement. Sa transition vers le Net Zéro est guidée par le suivi, la réduction et la compensation de son impact carbone à tous les niveaux. Notamment, NMG a cerné diverses stratégies pour favoriser l'utilisation des énergies renouvelables, la transition des produits à base de pétrole vers les bioproduits et l'intégration de mesures qui maximisent l'efficacité énergétique dans ses installations et ses procédés.

Afin de compenser les émissions qu'elle ne peut éliminer à la source, NMG déploie une stratégie de compensation progressive s'appuyant sur le développement d'un portefeuille de projets compensatoires et l'achat de crédits carbone crédibles et vérifiables, issus de projets qui contribuent réellement à la réduction et/ou la séquestration du carbone dans l'atmosphère.

## Planifier l'adaptation aux changements climatiques à partir d'une démarche d'adaptation

**Sonia Hachem (Ouranos)**

Les changements climatiques auront des impacts importants sur l'ensemble du territoire et dans tous les secteurs d'activités au Québec et à l'international, y compris les activités du secteur minier. L'industrie prend déjà acte de l'importance de limiter les émissions de gaz à effet de serre et pose de nombreuses actions concrètes. Cette réduction des émissions de GES est l'une des deux facettes de la lutte contre le dérèglement climatique. La seconde, soit l'adaptation aux conséquences des changements climatiques déjà en cours et qui s'intensifieront, devient aussi inévitable pour le secteur minier. Pour les exploitations minières, l'adaptation se concrétise par la mise en place d'actions visant à limiter les impacts, notamment ceux sur les infrastructures, sur les retombées économiques de l'entreprise ou encore sur la réputation de celle-ci. Afin de parvenir à mettre en place des mesures d'adaptation, la présentation fera un survol d'une démarche structurée qui intègre une analyse de l'évolution du climat, une appréciation des risques et une analyse des mesures à mettre en place, tout en intégrant les principes du développement durable et de l'acceptabilité sociale. Une telle démarche permet d'intégrer les risques climatiques dans une stratégie d'affaires et de saisir les occasions liées à cette nouvelle réalité climatique.

## SÉANCE 22

# MINÉRAUX INDICATEURS POUR LES GÎTES AURIFÈRES

### La Chaire de recherche industrielle CRSNG-Agnico Eagle en exploration minérale : retour sur 10 ans de travaux sur les minéraux indicateurs

**Georges Beaudoin (ULaval)**

La Chaire de recherche industrielle CRSNG-Agnico Eagle en exploration minérale est le fruit d'un partenariat entre Mines Agnico Eagle, le ministère des Ressources naturelles et de la Faune, le CRSNG et l'Université Laval. Durant les 10 années de ses 2 mandats, elle s'est bâtie une réputation internationale comme l'un des pôles d'excellence dans l'utilisation des minéraux indicateurs en exploration minérale. L'équipe a développé des méthodes utilisant une série de minéraux (scheelite, tourmaline, rutile, or, chalcopryrite) pour reconnaître la source de minéraux indicateurs dans les dépôts de surface. La conférence fera un bref survol des principaux résultats obtenus par l'équipe de la chaire.

### La carte du Quaternaire du Québec : synthèses cartographiques des dépôts de surface et des formes de terrain glaciaires

**Etienne Brouard (CGC-Central), Martin Roy (UQAM) et Hugo Dubé-Loubert (MRNF)**

Le territoire du Québec a été affecté par les grandes glaciations du Quaternaire et a été l'hôte de l'un des secteurs (dômes) les plus dynamiques des inlandsis nord-américains. Cela se reflète par des enregistrements géomorphologiques et sédimentaires riches et variés. Cette couverture de dépôts glaciaires masque le socle rocheux d'une grande partie la province, ce qui peut nuire à l'exploration minérale.

Malgré l'importance de ces enregistrements géologiques, l'état des connaissances sur l'architecture des dépôts de surface et la géomorphologie glaciaire demeure encore fragmentaire. Le niveau de cartographie est aussi très variable à l'échelle du Québec.

Une grande quantité de données et de connaissances sur la géologie du Quaternaire au Québec a été produite au cours des dernières décennies, à l'occasion de nombreuses campagnes de cartographie et de divers travaux de recherche scientifique. Cependant, ces données ont été colligées à diverses échelles (locales, régionales), ce qui complique l'uniformisation et la mise à l'échelle des différents travaux, en plus de limiter la réalisation de synthèses cartographiques qui permettraient d'offrir une vision globale des différents processus glaciaires ayant façonné le territoire. À cet égard, la carte glaciaire du Canada de la Commission géologique du Canada représente encore aujourd'hui le seul outil de référence, mais cet ouvrage synthèse date de plus de 50 ans.

Dans ce contexte, des travaux de compilation de données géologiques et cartographiques de Quaternaire ont été entrepris dans le but de produire une carte glaciaire du Québec et ainsi permettre une mise à jour l'état des connaissances, tant au point de vue des grands ensembles sédimentaires de surface que des différentes formes de terrain glaciaires.

La compilation des informations nécessaires à la réalisation de ces cartes a aussi permis de produire des synthèses géologiques régionales mettant en relief les principales caractéristiques quaternaires inhérentes à chacune de ces régions, notamment sur la nature et la couverture spatiale des différents dépôts et écoulements glaciaires. Ces travaux synthèses et ces cartes permettront d'identifier les secteurs montrant un déficit de connaissance et pourront ainsi aider à élaborer de projets d'acquisition, en plus de servir de guides pour l'exploration minérale ou encore comme outils de recherche. [Numéro de contribution de RNCAN : 20230294].

### Évaluation des effets de la cryoturbation sur les minéraux indicateurs du gisement d'or d'Amaruq (Nunavut)

**Juan Bello Rodriguez, Georges Beaudoin (ULaval) et Isabelle McMartin (CGC-Centre)**

Dans les zones de pergélisol, les marmites de boue (ventres-de-bœuf) sont des éléments géomorphologiques communs causés par la cryoturbation dans les sédiments glaciaires, d'où leur importance dans les études touchant les minéraux indicateurs (MI). Notre étude cherche à déterminer si la dynamique du mouvement interne dans ces marmites de boue pouvait conduire à un tri vertical des MI dans la couche active. L'étude a été effectuée sur le gisement aurifère orogénique d'Amaruq, dans le nord du Canada (Nunavut). Nous avons échantillonné le till le long de profils verticaux jusqu'à une profondeur d'environ 1,3 m dans deux tranchées situées à environ 1,5 km en aval glaciaire du gisement. Ces profils exposaient la partie centrale de deux marmites bien définies, dont l'une atteignait la surface du pergélisol (à 1,30 m de profondeur). La fraction < 2 mm des concentrés de minéraux lourds de tous les échantillons prélevés dans ces profils contenait de l'or et de la scheelite. Cependant, l'abondance de ces MI dans ces différents profils présentait des variations verticales qui n'étaient pas cohérentes, alors que la taille et la morphologie des grains d'or ne montraient pas de tendances claires. Les MI étaient plus abondants dans le till à l'intérieur du pergélisol que dans la couche active sus-jacente. Une marmite localisée à environ 30 cm de profondeur montrait un nombre plus élevé de grains d'or et de scheelite dans la partie centrale de la marmite. La composition chimique de l'or (< 400 µm), de la scheelite et de la chalcopryrite (0,25 à 2 mm) analysée à la microsonde électronique et par LA-ICP-MS démontre que la plupart de ces minéraux proviendraient du gisement d'or d'Amaruq. Cependant, aucun d'entre eux ne montrait de variations de composition systématiques en fonction de la profondeur. En conclusion, les propriétés des MI (abondance,

morphologie, taille et chimie des minéraux) dans les marmites de boue ne présentent pas de variation systématique en fonction de la profondeur. Cette étude suggère que les processus de cryoturbation ne conduisent pas à un fractionnement vertical uniforme des minéraux indicateurs dans les marmites de boue en raison de l'implication de multiples variables dans le processus de congélation-décongélation.

### Détection et caractérisation des minéraux indicateurs dans les fractions de minéraux lourds par $\mu$ XRF

Léa Géring, Antoine Nadeau, Georges Beaudoin et Carl Guillemette (ULaval)

Les minéraux indicateurs sont dispersés dans les dépôts superficiels sous la forme de grains clastiques. Ils sont très utiles en exploration minérale pour le traçage des minéralisations ou des altérations hydrothermales présentes dans le substrat rocheux. Leur nombre, leur composition, leur forme et leur proportion (relative) dans les fractions de minéraux lourds doivent être étudiés afin d'évaluer la nature et la distance de la source minéralisée. Ce projet vise à automatiser la collecte de ces quatre types d'informations afin d'améliorer la fiabilité et la rapidité de la méthode. Notre approche automatisée repose sur la cartographie des intensités élémentaires en fluorescence X combinée aux photographies des échantillons. Les données de fluorescence sont acquises à l'aide d'un appareil Tornado M4 (Bruker) avec un temps d'acquisition de 3 ms par pixel afin d'optimiser la précision des mesures. Le traitement commence par la réalisation d'une carte des grains en utilisant des méthodes de seuillage sur les données de fluorescence, puis un filtre médian est appliqué pour lisser les bordures des grains avant l'étape de segmentation par la méthode de ligne de partage des eaux (*watershed segmentation* — logiciel PyImageJ). Une opération intermédiaire a pour but de détecter les grains polyminéraliques et de définir les bordures des différents minéraux composant ces grains. Le traitement des données de fluorescence proprement dites consiste à additionner le signal enregistré par les 9 pixels centraux de chaque grain. Cette information sert d'entrée dans un algorithme de type arbre décisionnel qui sert à identifier le minéral qui compose le grain. Les paramètres de forme sont calculés à partir de l'image optique (photographie) de l'échantillon, car les images générées par  $\mu$ XRF comportent une déformation en raison de l'inclinaison du faisceau primaire. L'image optique doit être co-enregistrée avec les données  $\mu$ XRF afin d'utiliser les centroïdes de la carte des grains comme données d'entrée afin de guider un modèle d'intelligence artificielle (*Segment Anything* de Meta). Ce dernier permet de détecter avec précision les contours de grains et d'y associer un masque binaire à partir duquel sont calculés la circularité, l'arrondi et l'allongement.

### Recyclage des grains d'or dans les sédiments glaciaires : un nouveau regard pour le nord de l'Abitibi

Réjean Girard (IOS Services Géoscientifiques)

Suivre la dispersion des grains d'or dans l'environnement secondaire dans le but de trouver la source de la minéralisation est une méthode qui a fait ses preuves... mais pas partout! Certains secteurs, tel le nord de l'Abitibi, présentent des traînées avec des comptes de grains d'or anomaux dont les sources sont encore inconnues. Les nouvelles technologies de caractérisation des grains permettent de décrire les modifications de la signature de ceux-ci dans l'environnement secondaire, ce qui a mené à l'élaboration d'un modèle de dispersion tenant compte du recyclage des sédiments glaciaires. Cette approche permet notamment de discriminer les anomalies significatives de celles associées à la nature stochastique du bruit de fond. Divers exemples provenant du Québec et d'ailleurs seront présentés lors de cette conférence.

### Composition en éléments en traces de la chalcopryrite : son potentiel comme minéral indicateur et les implications pour l'exploration minérale

Enzo Caraballo, Georges Beaudoin (ULaval) et Sarah Dare (UQAC)

La chalcopryrite est un sulfure de cuivre et de fer que l'on trouve dans une grande variété de gîtes minéraux. Sa composition en éléments en traces est très variable. Plusieurs études ont proposé que la chalcopryrite pouvait constituer un minéral indicateur pour l'exploration. Afin de déterminer les critères géochimiques permettant son utilisation dans ce contexte, des chalcopryrites provenant de 8 types de dépôts distribués à l'échelle mondiale (2 magmatiques et 6 hydrothermaux) ont été analysées par microsonde électronique (EPMA) et par ablation laser et spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (LA-ICP-MS). La composition en éléments en traces de la chalcopryrite a été examinée à l'aide de méthodes statistiques pour caractériser les variations dans les différents types de dépôts, lesquelles, combinées à l'apprentissage automatique, ont permis le développement de modèles de discrimination.

Les différences les plus importantes se situent au niveau des compositions des chalcopryrites provenant des systèmes magmatiques et hydrothermaux. Cette différence est marquée par le contenu en nickel, enrichi dans la chalcopryrite magmatique par rapport à celle d'origine hydrothermale. Dans les systèmes magmatiques, la composition en éléments en traces dans la chalcopryrite reflète deux principaux processus : 1) l'interaction magma/liquide sulfuré (facteur-R) pendant la cristallisation, et 2) la cristallisation fractionnée du liquide sulfuré dans les dépôts de sulfures de Ni-Cu. Cet élément est à la base des modèles de classification supervisée utilisant l'analyse discriminante par les moindres carrés partiels (PLS-DA) développés dans cette étude. Ces modèles permettent de discriminer les deux

types de dépôts magmatiques étudiés (EGP dans intrusions stratiformes ou sulfures à Ni-Cu) et le type riche en Cu et en Fe. De même, la concentration des éléments en traces dans la chalcopirite dans les dépôts de SMV varie en fonction de la composition de la roche encaissante, la température et de la nature du fluide hydrothermal. La méthode PLS-DA indique que la composition en éléments en traces dans ces dépôts varie également en fonction des sous-types lithostratigraphiques. Ainsi, trois modèles de prédiction *Random Forest* (RF) permettent de discriminer les chalcopirites des 6 contextes lithostratigraphiques reconnus pour les SMV (bimodal mafique, bimodal felsique, etc.). Finalement, trois modèles RF ont été développés afin de classifier la chalcopirite parmi les 8 types de dépôts. Ces modèles ont été testés sur des données compilées de la littérature et sur des grains de chalcopirite récupérés de sédiments de till et d'eskers de la Province de Churchill au Québec afin d'illustrer l'utilisation de la chimie de la chalcopirite pour déterminer sa provenance aux fins d'exploration minérale.

Les éléments en traces dans la chalcopirite montrent d'importantes variations pour un même type de dépôt; néanmoins, cette signature est particulière à chaque contexte de formation. Cela démontre le fort potentiel de cette méthode pour déterminer la source des minéralisations. Cette étude démontre que la chalcopirite peut être utilisée comme un minéral indicateur dans les sédiments glaciaires et offre la possibilité d'appliquer cette méthode en exploration minérale.

## Photomicrographie des minéraux et méthodes de description mathématique

**Arnaud Back, L. Paul Bédard, Cyril Kana Tepakbong, Julien Maitre, Kévin Bouchard (UQAC), Amadou Barry (Unité mixte de recherche en santé durable INRS-UQAC) et Réjean Girard (IOS Services géoscientifique)**

En exploration minérale, l'identification et le comptage des minéraux sont essentiels à l'étude des sédiments glaciaires. L'apprentissage automatisé basé sur des photographies ou des photomicrographies pourrait être un moyen rapide et efficace d'identification et de quantification des minéraux. Malgré l'augmentation rapide du nombre d'articles traitant de la reconnaissance des minéraux à l'aide d'algorithmes d'apprentissage automatisé, peu de recherches ont porté sur les effets du processus d'acquisition d'images. L'identification de minéraux à partir d'images ou la description mathématique des grains sont des tâches complexes nécessitant une réduction de la variabilité à la source, soit lors de l'acquisition des images. Pour répondre à cette exigence, nous avons développé un protocole d'acquisition d'images pour les microscopes optiques. Notre protocole se concentre sur deux objectifs principaux : 1) assurer la reproductibilité et 2) réduire les effets parasites des images de minéraux. En ce qui concerne la reproductibilité, le protocole détaille la gestion des incertitudes associées à la caméra et au système optique, l'utilisation d'une jauge de couleur comme référence et la paramétrisation des conditions d'acquisition, telles que la lumière externe. Pour l'amélioration des images, il précise le choix de l'éclairage et son impact sur la précision de l'algorithme, le choix de l'objectif et la calibration de la balance des blancs. Le protocole a ensuite été testé lors d'une étude de cas portant sur la reconnaissance automatisée de minéraux dans des tills à partir de photomicrographies et d'un algorithme d'apprentissage automatisé. L'échantillon étudié était un concentré de minéraux lourds provenant de tills comprenant 20 espèces minérales dûment caractérisées par un minéralogiste. Grâce à ces images, il a été ensuite possible d'extraire de nombreuses caractéristiques du grain qui se regroupent en quatre grandes catégories : la taille, la forme, l'angularité et la texture de surface. La multitude d'outils répertoriés lors d'une revue de littérature très étendue (> 274 articles) a nécessité un travail de compréhension et de tri de ces outils afin de fournir une description conforme et normalisée des caractéristiques de chacun des grains. Le développement conjoint de la reconnaissance automatisée des minéraux et de la description de grains grâce à l'analyse d'images au microscope optique fournira une alternative économique aux techniques classiques d'analyse minéralogique quantitative.

## SÉANCE 23

### MINE DU FUTUR : À L'INTERSECTION DE LA FINANCE DURABLE ET DE L'IMPLICATION DES COMMUNAUTÉS

**Début d'un nouveau super-cycle du marché des métaux en absence de la main-d'œuvre nécessaire pour profiter au maximum de l'occasion**

**Robert McEwen (McEwen Mining)**

Les tensions géopolitiques et les sanctions commerciales ont perturbé le commerce mondial. En conséquence, les pays et les grandes multinationales commencent à se ruier sur les métaux, une chose à laquelle ils n'avaient pas pensé depuis longtemps. La transformation énergétique augmente la demande pour des sources d'approvisionnement sûres et, préférentiellement, domestiques. À notre capacité à répondre à cette demande accrue s'ajoute la pénurie en Occident de diplômés qui cherchent à travailler dans les domaines de l'exploration, de l'exploitation minière et de la transformation. Notre défi est un peu paradoxal. Que devons-nous faire pour attirer les individus vers une industrie qui n'a pas la faveur de la population en général, mais qui offre des emplois parmi les mieux rémunérés dans de nombreux pays?

## SÉANCE 24

### PREMIÈRES NATIONS : DES INCONTOURNABLES DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

**Positionnement des Premières Nations en matière de transition énergétique**

**Ghislain Picard (Assemblée des Premières Nations Québec-Labrador)**

Les Premières Nations ne sont pas opposées au développement énergétique, mais celui-ci doit se faire dans le respect de leurs droits. Longtemps, leurs territoires ont été exploités sans qu'elles y consentent et sans qu'elles reçoivent même une partie du bénéfice de cette exploitation. Aujourd'hui, les Premières Nations se sont positionnées afin que le passé ne se répète pas. Les Premières Nations devront désormais être ce qu'elles auraient toujours dû être : des incontournables du développement énergétique.

**Des Premières Nations productrices d'énergie verte (Panel de discussion)**

**Gilbert Dominique (Pekuakamiulnuatsh Takuhikan), Lance Haymond (Kebaowek First Nation) et Fred Vicaire (Mi'gmawei Mawiomi Business Corporation)**

Dans ce panel de discussion, les représentants de trois communautés des Premières Nations impliquées dans des

projets de développement énergétique viendront parler de l'expertise développée dans les dernières années. Ils expliqueront aussi comment leurs communautés entendent bénéficier de ces occasions et contribuer à surmonter les défis qui viendront avec la transition énergétique du Québec.

**Société d'énergie renouvelable Kuujjuaraapik-Whapmagoostu**

**Yves-André Bureau (YAB Management) et Jimmy Royer (Solener)**

Lors de cette conférence, les deux intervenants invités présenteront un projet d'énergies renouvelables créé en partenariat avec la communauté crie de Whapmagoostui et le village inuit de Kuujjuaraapik. De plus, ils expliqueront en quoi il est avantageux pour une entreprise non autochtone de travailler en partenariat avec des communautés ou des entreprises autochtones.

## SÉANCE 25

### HYDRO × 2? LA NOUVELLE PRIORITÉ ACCORDÉE AUX ÉCONOMIES D'ÉNERGIE PEUT-ELLE FOURNIR SUFFISAMMENT DE MÉGAWATTS ET ÉVITER LA CONSTRUCTION DE NOUVELLES INSTALLATIONS?

**Perspectives de Dunsky Énergie + Climat**

**Philippe Dunsky (Dunsky Énergie + Climat)**

Une amélioration dramatique de l'efficacité énergétique sera au cœur de la transition. M. Dunsky exposera l'ampleur du rôle que les économies d'énergie devront jouer — un rôle aussi important que la production accrue d'électricité — et nous invitera à revoir nos façons de faire à cet égard.

**Les tendances en efficacité énergétique en Europe : nouvelles réglementations et rythme de changements**

**Mariangiola Fabbri (Buildings Performance Institute Europe)**

Mme Fabbri présentera une vue d'ensemble de l'initiative *Renovation Wave* de l'Union européenne (UE) qui vise à doubler les taux de rénovation au cours des dix prochaines années. Elle expliquera comment le cadre réglementaire récemment approuvé (qui couvre les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique et la performance énergétique des bâtiments) contribuera à la réalisation de cet objectif.

La présentation abordera également le contexte unique de l'UE et l'impact sur son approche réglementaire, par opposition au contexte réglementaire du Québec et à la manière dont il affecte les occasions locales pour les initiatives d'économie d'énergie.



## SÉANCE 26

### LA PLACE DU GNR EN COMPLÉMENTARITÉ À L'ÉLECTRICITÉ POUR DÉCARBONER LES BESOINS ÉNERGÉTIQUES DE L'INDUSTRIE

#### Les défis et les perspectives du GNR pour répondre aux besoins industriels

**Vincent Morales (Coalition for Renewable Natural Gas)**

Le gaz naturel renouvelable (GNR) prend une place de plus en plus importante en Amérique du Nord, notamment grâce à un nombre croissant de programmes adoptés par les provinces, les états et les gouvernements fédéraux. L'intérêt du GNR pour décarboner les secteurs difficiles à électrifier est aussi en croissance. Cette conférence présentera une vue d'ensemble du marché nord-américain du GNR aujourd'hui et répondra aux questions suivantes : Où les projets se développent-ils? Quelles sont les sources principales de GNR? À quelle vitesse le secteur se développe-t-il? La conférence explorera également le rôle que joue le GNR pour décarboner le transport lourd et l'industrie. Un aperçu des mesures incitatives en vigueur sera présenté ainsi que des pistes pour susciter davantage de demandes en gaz renouvelable dans le secteur industriel. RNG Coalition présentera des statistiques et des informations basées sur plus d'une décennie d'expérience en tant que porte-voix du secteur du gaz renouvelable.

#### Le potentiel du GNR dans la décarbonation industrielle

**Renault Lortie (Énergir)**

La vision d'Énergir et la décarbonation de ses clients reposent entre autres sur le gaz naturel renouvelable (GNR). Leader dans la filière du GNR au Québec, Énergir investit beaucoup d'efforts à la développer et à démystifier le produit pour faciliter sa mise en marché. Le GNR est disponible pour toute la clientèle d'Énergir, incluant le secteur industriel. Actuellement, ce secteur consomme plus de 75 % des volumes de GNR distribués par Énergir. Dans cette conférence, nous aborderons la valeur du GNR dans la décarbonation, les perspectives de production et la façon dont les clients industriels peuvent intégrer ce combustible dans leur consommation.

#### Le GNR dans le transport lourd : vers une flexibilité opérationnelle décarbonée

**Philippe Caissy (Énergir)**

Le transport représente 43 % des émissions de GES au Québec et le transport lourd 12,5 % des émissions pour 2 % du parc routier. Il apparaît difficile pour l'industrie du transport de maintenir le statu quo. Pour les professionnels du domaine, plusieurs sources d'énergie peuvent être mises à contribution pour réduire les émissions. Le gaz naturel

comprimé et surtout le gaz naturel comprimé renouvelable sont des solutions de rechange qui permettent des réductions notables des émissions de GES tout en conservant les avantages des carburants traditionnels actuellement utilisés.

#### Prevost, en route vers la carboneutralité

**Bernard Juneau (Prevost)**

La vision de Prevost, une division de Groupe Volvo Canada, est d'avoir une usine et un produit carboneutre. Pour arriver à cet objectif, il faudra emprunter une longue route parfois sinueuse. Dans cette conférence vous pourrez voir comment l'usine de Prevost à Sainte-Claire, dans la région de Bellechasse, met en œuvre différents projets pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre comprenant notamment sa transition vers le gaz naturel renouvelable.

## SÉANCE 27

### TRANSITION ÉNERGÉTIQUE : À L'AFFICHE DANS UNE RÉGION PRÈS DE CHEZ VOUS

#### Le Plan de transition énergétique pour l'Outaouais — la concertation régionale au service de la réalisation de la transition énergétique

**Mohamed Ait Bouzakri (Conseil régional de l'environnement et du développement durable de l'Outaouais)**

Le projet du plan de transition énergétique pour l'Outaouais est le fruit d'une longue réflexion autour de la question de l'énergie dans la région et du rôle que peut jouer l'Outaouais dans l'atteinte des objectifs ambitieux et nécessaires du Québec en matière de carboneutralité. Une réflexion mûrie au contact du milieu local et des instances gouvernementales qui, au vu du potentiel dont dispose la région, ont conforté le Conseil régional de l'environnement et du développement durable de l'Outaouais (CREDDO) dans son leadership et sa volonté de doter la région d'un outil d'aide à la décision pour assurer sa transition énergétique.

#### L'Union des municipalités du Québec : un catalyseur de la transition énergétique

**Anne-Marie Bernier (Union des municipalités du Québec)**

Par leur lien privilégié avec la collectivité, les villes sont des actrices clés dans l'atteinte des objectifs climatiques au Québec. En réponse à la volonté de ses membres de contribuer à la transition énergétique, l'Union des municipalités du Québec (UMQ) se positionne comme un accélérateur pour faciliter le passage à l'action des municipalités de façon concrète et efficiente.

## Lac-Mégantic : une communauté résiliente devenue leader de la transition énergétique en milieu rural au Québec

**Stéphane Vachon et Mathieu Pépin (Ville de Lac-Mégantic)**

À la suite de la tragédie ferroviaire du 6 juillet 2013, la population de Lac-Mégantic a participé à une vaste consultation citoyenne et a choisi de se redéployer en empruntant la voie de la transition écologique et énergétique. Depuis, un important projet de microréseau solaire a été mis sur pied avec Hydro-Québec, devenant ainsi un levier stratégique vers d'autres projets en cours qui seront abordés lors de la conférence. Au-delà de l'importance des technologies mises en œuvre, le fil conducteur de l'action de Lac-Mégantic vers la transition énergétique est la mobilisation citoyenne et l'aspect social qui jouent un rôle déterminant dans l'atteinte de ses objectifs. La conférence abordera ces thèmes qui représentent une occasion pour la population de Lac-Mégantic d'agir localement vers sa transition énergétique et d'inspirer d'autres municipalités à lui emboîter le pas.

## Montréal, à l'avant-scène d'une révolution énergétique décarbonée

**Jonathan Théorêt (Ville de Montréal)**

La Transition écologique est en grande partie une transition énergétique. À l'avant-scène en tant que métropole, Montréal multiplie les actions qui accélèrent le mouvement municipal en faveur de la réduction des émissions de GES. Le rôle essentiel des municipalités dans une certaine révolution énergétique régionale implique une coordination avec le gouvernement et les distributeurs d'énergie pour propulser l'innovation et lever les barrières. Nous mettrons en lumière l'effet multiplicateur des municipalités, leur capacité à mobiliser la société civile à travers des forums tels que le Partenariat Climat Montréal et l'impact structurant des financements majeurs.

## Trajectoires de réduction de GES — quels modèles et pour quels résultats?

**Érik Frenette (Sustainability Solutions Group)**

L'élaboration de plans climat est un processus complexe englobant une multitude de facteurs interdépendants. Face à cette complexité, une approche systémique et holistique est indispensable. *CityInSight*, un modèle spécialisé en énergie et émissions, a gagné la confiance des principales métropoles canadiennes et s'est affirmé comme le pilier de plus d'une centaine de plans climat au Canada, aux États-Unis et en Amérique latine. Ce modèle donne une vision précise, tant sur le plan géographique que temporel, des secteurs responsables des émissions de GES au sein des municipalités et régions où il est appliqué. Ces représentations sont ensuite projetées à l'aide de scénarios, modulés selon diverses politiques et initiatives en matière de climat, facilitant ainsi des comparaisons stratégiques entre les diverses projections. Cette démarche mène à la conception de plans climat pertinents, jetant les bases pour atteindre des objectifs ambitieux de décarbonation dans nos communautés.

Durant cette séance, nous aborderons les principes clés et la mécanique du modèle *CityInSight*, en l'illustrant avec des exemples concrets de municipalités et régions qui l'ont adopté. Par ailleurs, nous partagerons des retours d'expérience et des leçons apprises à partir des nombreux plans climat soutenus par *CityInSight* qui mettent en lumière l'importance de la modélisation par scénarios pour élaborer une stratégie efficace face aux défis climatiques.

## Transition énergétique et régions : modéliser pour informer, évaluer et expliquer

**Yves Richelle (Daméco)**

Le Québec s'est engagé dans une transition énergétique visant la décarbonation de son économie. Les décideurs aux niveaux provincial et régional adoptent des initiatives dont les conséquences sur le développement économique des régions peuvent être très inégales. Les impacts sur l'ensemble des régions devraient être idéalement évalués et pris en compte lors de l'adoption d'initiatives en transition énergétique, ce qui permettrait d'assurer que les initiatives adoptées profitent à l'ensemble des régions.

Cet idéal se heurte à la complexité des interactions entre les économies régionales, les utilisations des différentes formes d'énergie et les éventuelles contraintes imposées sur ces utilisations. Pour atteindre cet idéal, une modélisation, c'est-à-dire une simplification, de ces interactions s'impose. Le premier intérêt d'une modélisation pour la prise de décision est sa capacité à informer de la présence de relations qui n'apparaissent pas de manière explicite, mais qui s'avèrent déterminantes dans l'identification et l'élaboration de moyens pour relever les défis auxquels le décideur est confronté. Une modélisation peut dépasser cette mise en évidence de relations en permettant l'évaluation quantitative des multiples impacts que génèrent différentes solutions proposées pour relever un défi particulier. La modélisation peut permettre de répondre à la question « Et si la politique A était mise en œuvre, à quoi devrions-nous nous attendre? », ce qui permet aux décideurs d'apprécier les conséquences de différentes politiques, de comparer ces conséquences et ainsi d'identifier ce qu'ils considèrent être « la meilleure politique » à mettre en œuvre en fonction de leurs préférences et de leurs objectifs. La modélisation peut dépasser l'évaluation quantitative des conséquences d'une politique en offrant des explications à l'arrivée et en estimant l'importance de ces différentes conséquences. Un tel exercice permet, par exemple, d'expliquer et donc de comprendre pourquoi une politique qui ne génère que des impacts positifs à court terme peut produire des effets néfastes à plus long terme. Cette compréhension permet alors de contribuer à modifier cette politique afin de mitiger les conséquences non désirées.

Yves Richelle illustrera ces aspects de la modélisation en examinant les impacts de l'électrification du parc automobile sur l'atteinte, en 2030, de la cible d'une réduction de 40 % de l'utilisation de produits pétroliers par rapport à 2013 sur le développement économique du Québec et des régions. Cette illustration se basera sur des résultats générés par le modèle *Hercule-Impacts* développé par Daméco qui intègre notamment une contrainte sur la capacité de production d'électricité.

## SÉANCE 28

# LE RÉSEAU SCIENTIFIQUE MCS : VUE SUR LES PRIORITÉS DES 5 THÉMATIQUES DE RECHERCHE

## Réseau scientifique MCS

### Jocelyn Douh ret (MRNF)

La mise sur pied du Réseau de recherche des MCS s'inscrit dans le Plan qu becois de valorisation des minéraux critiques et stratégiques (2020-2025). En effet, le gouvernement a tenu une réflexion publique sur la mise en valeur des minéraux critiques et stratégiques au Québec. De novembre 2019 à février 2020, 6 rencontres ont été organisées dans les régions de l'Abitibi-Témiscamingue, de la Capitale-Nationale, de la Côte-Nord, de Montréal, du Nord-du-Québec et du Saguenay-Lac-Saint-Jean. L'objectif était de recueillir les avis des partenaires régionaux et des communautés autochtones sur les orientations que devrait prendre le gouvernement. En tout, 140 participants venant des secteurs municipal, industriel, minier et environnemental ont pris part à cette réflexion. Il en était notamment ressorti que des efforts devaient être déployés pour acquérir des connaissances à plusieurs niveaux sur les minéraux critiques et stratégiques.

Avant 2020, plusieurs universités, des centres collégiaux de transferts technologiques, des centres de recherche  voieraient déjà à répondre aux besoins des promoteurs de projets touchant les minéraux critiques et stratégiques. Ces projets étaient financés par des programmes non spécifiques et n'étaient pas nécessairement réalisés en coordination avec les autres acteurs du milieu de la recherche.

Le constat qui ressort de ces travaux a donc été que, d'une part, il fallait développer le savoir et que, d'autre part, il pouvait être bénéfique de pouvoir jumeler les forces et les budgets afin d'élaborer et de réaliser des projets de recherche précompétitive répondant aux besoins des industriels des filières de minéraux critiques et stratégiques.

Ce constat s'est traduit dans la première orientation du plan intitulée « Accroître les connaissances et l'expertise sur les MCS » notamment par une action conjointe du MRNF et du MEIE visant à « Soutenir la création d'un réseau de recherche des MCS ».

## Présentation du Réseau MCS et des activités réalisées à ce jour

### Jean-Nicolas Beaudry (5N Plus)

  titre de coprésident de séance et de président du comité directeur du Réseau scientifique MCS, M. Beaudry fera la présentation du nouveau Réseau MCS. Il fera un résumé de toutes les activités réalisées jusqu'à maintenant.

## L'importance de la démarche ESG et de l'économie circulaire

### Armand Mackenzie (Sayona Québec)

Dans n'importe quel projet minier, industriel ou autre, l'acceptabilité sociale demeure un enjeu primordial pour toutes les parties prenantes. Elle exige des parties impliquées un grand sens de l'empathie, un sens aigu de l'écoute et doit être basée sur des valeurs qui rejoignent chacun et chacune. Ces éléments ont été considérés comme prioritaires lors d'un atelier thématique sur les concepts ESG et l'économie circulaire tenu récemment qui réunissait des experts de l'industrie, de firmes de consultation et de ministères ainsi que des chercheurs collégiaux et universitaires liés aux minéraux critiques et stratégiques. Vous en apprendrez davantage sur les résultats de cet atelier lors de cette conférence d'un expert en acceptabilité sociale et des concepts ESG.

L'environnement sera aussi au menu lors de cette conférence puisque l'enjeu de l'utilisation efficace des ressources minérales a été évoqué lors de ce même atelier préparatoire. Une experte en environnement minier saura vous résumer les grands enjeux qui ont été soulevés lors de cet atelier thématique.

## L'exploration, la géométallurgie et le g oenvironnement

### Michel Jébrak (UQAM)

Michel Jébrak, directeur de l'axe « Exploration » du Réseau scientifique MCS, fera un retour sur sa nomination soumise par ses pairs. Il résumera les ateliers tenus et les résultats et recommandations prioritaires concernant les avancés en géométallurgie et g oenvironnement.

## L'extraction et la concentration

### Gervais Soucy (Université de Sherbrooke)

Afin de réduire les gaz à effet de serre, le gouvernement du Québec favorise une plus grande utilisation des véhicules électriques et la promotion des énergies vertes dans un cadre de développement durable. Cette situation constitue une occasion unique de consolider la chaîne de valeurs de la matière première jusqu'aux produits finis, en passant par le recyclage. Dans ce contexte, le développement des piles rechargeables Lithium-ions, caractérisées par une densité d'énergie assez élevée, permettra de construire des véhicules électriques plus performants ainsi que des unités de stockage d'énergie.  tant donné que ces produits demandent une quantité importante de métaux critiques et stratégiques (MCS) sous différentes formes, il est important d'exploiter nos gisements de MCS le plus efficacement possible. Dans cette séance, les travaux des différents comités du Réseau scientifique MCS sont présentés en fonction des 5 axes de développement identifiés. Cette présentation dévoilera le sommaire de nos discussions associées aux enjeux prioritaires et aux projets potentiels de l'axe 3 « Extraction et concentration ». Les deux codirecteurs de cet axe sont les chercheurs Patrick Laflamme (COREM) et Gervais Soucy (Université de Sherbrooke).

## Le recyclage, la production primaire et la valorisation

**Louis-César Pasquier (INRS-ETE)**

Le développement de la filière des MCS au Québec ne peut uniquement s'appuyer sur l'exploitation des ressources naturelles. Le recyclage et la valorisation des MCS sont une approche indispensable pour assurer une exploitation raisonnée des ressources, en adéquation avec les principes de développement durable. Pour y parvenir, nombreux sont les défis technologiques qui s'imposent à l'ensemble des acteurs qui, plus que jamais, devront travailler ensemble pour répondre aux besoins associés à la transition énergétique.

Cette conférence fera l'état des éléments qui sont ressortis lors de l'atelier sur le recyclage et la valorisation et présentera les axes de recherches et les enjeux prioritaires identifiés.

## La première, deuxième et troisième transformation

**Dominique Lascelles (SGS Canada)**

Un atelier incluant les 22 membres du Réseau scientifique MCS ayant pour but d'identifier et de prioriser les enjeux et projets de recherche potentiels touchant l'axe 5, « Première, deuxième, et troisième transformation » s'est tenu le 5 septembre 2023 à l'Université Laval. Cette conférence présentera un sommaire des enjeux et des projets discutés à cette occasion et les actions en découlant.

## SÉANCE 29

### DÉFIS ET INNOVATIONS EN EXTRACTION MINIÈRE À CIEL OUVERT ET SOUTERRAIN

#### Mine Kiena : les défis opérationnels d'une réouverture

**Pascal Turcotte (Wesdome - Mine Kiena)**

La mine Kiena, localisée à l'ouest de Val-d'Or, a amorcé une nouvelle phase de production commerciale en 2022 avec la valorisation du gisement Kiena Deep situé à plus 1 km de profondeur. À l'arrêt depuis 2013 avec des infrastructures datant des années 70-80, le redémarrage apporte son lot de défis pour une exploitation visant une production de 100 000 oz/année. En plus des investissements dans les infrastructures de surface et souterraines nécessaires au redémarrage, les conditions de terrain et l'augmentation de la distance de halage en profondeur s'ajoutent à la série de défis qui requièrent une stratégie à long terme pour assurer la viabilité de la mine. Cette présentation couvre les solutions apportées ainsi que les défis à venir.

#### Transformation de l'industrie minière : 30 ans d'innovation vue par CMAC-Thyssen

**Guillaume Julien (CMAC-Thyssen)**

Ces dernières années, l'industrie minière est dans une phase de transformation accélérée qui suit les développements technologiques qui bouleversent nos quotidiens. Depuis presque 30 ans, le Groupe minier CMAC-Thyssen poursuit cette idée d'amélioration continue en exprimant toujours plus à fond sa vision et sa culture d'entrepreneur innovant. La présentation portera sur une série d'innovations réalisées au cours des dernières années par le Groupe minier CMAC-Thyssen.

#### Les corps broyants de Reuleaux pour augmenter l'efficacité énergétique des broyeurs

**Donald Leroux (1823 Consultants)**

Le broyage de minerai est parmi les procédés industriels les plus énergivores et inefficaces que l'homme n'ait jamais inventés. Chaque année et à travers le monde, ce procédé réduit des milliards de tonnes de minerai à l'état de poussière en consommant plus de 22 000 TWh d'énergie, soit environ 3 % de la production mondiale d'électricité.

Bien que la fragmentation de minerai puisse être induite par différents procédés, le broyeur à boulets demeure la machine la plus souvent utilisée par l'industrie minière. La finesse nécessaire à la libération des minéraux y est obtenue en faisant culbuter le minerai dans un cylindre horizontal rotatif avec des corps broyants qui sont, le plus souvent, des boulets d'acier sphériques.

La littérature scientifique nous apprend que la forme des corps broyants exerce une grande influence sur l'efficacité

énergétique des broyeurs à boulets. Elle mentionne, entre autres, que le tétraèdre de Reuleaux fait partie des formes de corps broyants avec le plus grand potentiel d'augmentation de l'efficacité des broyeurs. Toutefois, les corps broyants de Reuleaux (CBR) ne semblent intéresser ni les fabricants ni les industriels miniers de ce côté de l'Atlantique.

Une équipe de professionnels se propose de relever le défi d'évaluer et de démontrer l'efficacité énergétique des CBR à l'échelle pilote au Québec. La réalisation d'essais de broyage comparatifs hors ligne permettrait d'en évaluer la performance dans un environnement contrôlé, en continu et à une échelle semi-industrielle. Le projet, actuellement à l'étude, est à la recherche de financement et de partenaires industriels.

## Les drones dans l'exploitation minière

**Ashley-Rose Pastuch (Canadian Royalties) et Joël Venne (Exyn Technologies)**

De nombreuses tâches doivent être accomplies pour garantir le succès de l'implantation d'une mine. Une imprécision, un retard ou un accident peut entraîner des impacts notables. Dans une industrie aussi dynamique que l'exploitation minière, le temps presse et la sécurité est essentielle. L'introduction de drones chez Canadian Royalties nous a permis de relever ces défis et de gagner en efficacité tout en augmentant la sécurité. En effet, les drones font désormais partie intégrante de nos opérations et jouent un rôle essentiel dans nos nombreuses mines souterraines et à ciel ouvert. Ils sont utilisés depuis la phase de développement du projet jusqu'à nos exploitations en production. Ces appareils sont utilisés pour capturer avec précision les données nécessaires à la planification et à la conception, ainsi que pour suivre et réconcilier les informations. Les drones sont un outil essentiel à notre réussite et constituent une avancée à plusieurs points de vue.

## Mine Odyssey : un projet d'envergure à la fine pointe de la technologie

**Pierre-Olivier Richard (Mines Agnico Eagle)**

Localisée à environ 3 km à l'est de la ville de Malartic, la mine Odyssey, propriété de Mines Agnico Eagle, deviendra l'une des plus importantes mines d'or souterraines au Canada. Avec une durée de vie estimée s'étendant jusqu'en 2042, la mine Odyssey représente un projet d'envergure à la fine pointe de la technologie qui a permis d'innover à différents niveaux.

Cette présentation portera sur les différentes étapes franchies depuis l'annonce de la construction de la mine en février 2021, les plus récents développements et les grands jalons à venir.

## Approche stratégique pour la reprise de l'exploitation des zones sismiques à la mine de Westwood

**Ali Jalbout (IAMGOLD)**

La mine de Westwood présente un environnement géologique complexe. Elle comprend trois zones minières. Le 30 octobre 2020, un événement sismique atypique de grande ampleur, d'une magnitude de 3,7 (magnitude de Nuttli), s'est produit, causant des dommages importants et piégeant un mineur. Le mineur a été secouru en toute sécurité, mais l'événement a entraîné la décision de fermer la mine pour réévaluation. Une stratégie a été élaborée pour étudier de manière approfondie le comportement sismique et géotechnique de la mine et mettre au point des mesures d'atténuation afin de rouvrir l'exploitation en toute sécurité. Des ressources internes et des consultants ont été chargés de cette tâche. Un processus a été mis au point pour construire un modèle géologique, géotechnique et minier robuste afin d'anticiper le comportement du terrain. Les mesures d'atténuation ont pu alors être planifiées de manière stratégique afin de réduire le risque sismique par une conception et un enchaînement proactif et, si nécessaire, de manière tactique par le biais d'un soutien de terrain et de contrôles opérationnels. Des évaluations des risques peuvent ensuite être menées pour évaluer les incertitudes et les mesures d'atténuation et déterminer l'acceptabilité des risques résiduels.

## SÉANCE 30

# NOUVEAUX OUTILS POUR L'EXPLORATION EN PROFONDEUR

### Exploration intelligente : Recherche-Innovation-Action pour un accès durable aux matières premières critiques

Alireza Malehmir (Uppsala University)

En mars 2023, la Commission européenne (UE) a annoncé la cinquième version de sa liste des matières premières critiques. Cette fois-ci cependant, un nouveau terme a été utilisé : « métaux stratégiques ». Il était évident que les risques d'approvisionnement et l'importance économique ne constituent plus les seuls critères et que les demandes futures doivent être prises en compte dans cette ère de transition énergétique et d'électrification. Le cuivre et le nickel ont donc été ajoutés à la liste. Ces actions visent à développer des chaînes de valeurs résilientes pour les écosystèmes industriels de l'UE, à réduire la dépendance à l'égard des matières premières primaires critiques grâce à l'utilisation circulaire des ressources, aux produits durables et à l'innovation, à renforcer l'approvisionnement national en matières premières dans l'UE et à diversifier l'approvisionnement auprès des pays tiers tout en éliminant les distorsions du commerce international. *Smart Exploration* a été lancé en 2017 dans le cadre du programme de recherche et d'innovation Horizon2020 de l'UE visant à développer des solutions géophysiques rentables et respectueuses de l'environnement pour l'exploration minière. Le projet d'une durée de trois ans s'est achevé en 2020. Il impliquait un consortium de 27 partenaires provenant de neuf pays de l'UE et comprenait plusieurs acteurs du monde universitaire, de l'industrie et des organismes publics locaux.

L'objectif principal de *Smart Exploration* était de faire évoluer les habitudes d'exploration vers un état d'esprit entrepreneurial dans lequel les universitaires et les entreprises sont conscients des risques, se projettent dans l'avenir et sont prêts à adopter et à appuyer les nouvelles technologies à l'exemple des pratiques de l'industrie biomédicale. L'innovation était la pierre angulaire du projet. Elle a débouché sur cinq nouveaux prototypes géophysiques et six méthodes d'imagerie et de modélisation en 3D. Ces prototypes étaient les suivants : (1) un transmetteur de temps GPS pour les environnements non couverts, (2) un vibreur sismique électrique pour l'imagerie à large bande, (3) un système modulaire pour les forages d'exploration de faible diamètre, (4) un système électromagnétique transitoire hélicoptère pour la prospection en profondeur, et (5) une plateforme modulaire magnétique-électromagnétique basée sur un drone. Pour illustrer ces applications, le transmetteur de temps GPS a été utilisé dans la mine de SMV de classe mondiale de Neves-Corvo au Portugal pour imager l'extension en profondeur de la minéralisation en générant et en enregistrant simultanément des tirs sismiques sous terre et en surface à l'aide d'une configuration quasi-3D à partir

de quatre tunnels d'exploration situés à une profondeur de 690 m. Un levé de ce type aurait été impossible sans ce prototype intelligent et facile à mobiliser. Cette innovation a depuis été utilisée dans des mines plus profondes en Afrique du Sud et en Suède, permettant une meilleure lecture du sous-sol à l'exemple des systèmes d'imagerie médicale par IRM. En conclusion, *Smart Exploration* a amélioré la pratique de la géophysique d'exploration en Europe, un héritage qui pousse à l'innovation dans ce secteur de l'exploration minière en cette période importante de transition énergétique.

### Dérivation de la densité à partir de la porosité mesurée lors des diagraphies géophysiques par résonance magnétique protonique (RMP)

Ryan Gee (Orica Digital Solutions)

Les mesures de densité représentent un élément essentiel pour caractériser les masses de roches. Elles sont nécessaires dans presque toutes les industries qui dépendent du sous-sol pour leur approvisionnement en matériaux et en ressources ou encore l'ingénierie des infrastructures, y compris l'exploitation minière et l'énergie. Les mesures de volumes et des masses des composants solides, liquides et gazeux des matériaux géologiques — soit en laboratoire à l'aide de carottes ou de déblais de forage, soit *in situ* au moyen de diagraphies géophysiques dans les trous de forage — sont des éléments standards et importants qui permettent de déterminer leurs propriétés géotechniques et géomécaniques. Pour la caractérisation *in situ* de la masse rocheuse dans les trous de forage, les instruments de diagraphie comportant une source radioactive de rayons gamma sont employés de façon standard dans la mesure de la densité apparente.

Ces dernières années, le coût d'utilisation global de ce type d'outils de diagraphie a considérablement augmenté. Cette évolution peut être expliquée par les contraintes liées au stockage et au confinement des sources radioactives, aux permis et à la formation nécessaires pour l'entretien et l'utilisation de ces sources, au temps additionnel pour la préparation et l'approbation des documents, à la logistique associée à l'accès aux sites de travail et au stockage des sources sur site pour les projets de longue durée. Tous ces éléments s'ajoutent aux problèmes rencontrés à l'étape d'acquisition des données sur le terrain durant lequel l'instrument de diagraphie est descendu dans un trou de forage, un environnement intrinsèquement instable et imprévisible où il peut rester coincé. Cette possibilité de blocage dans le trou augmente considérablement les risques, ainsi que les retards et les coûts de récupération de la source en cas d'incident.

Le coût croissant d'utilisation de la méthode traditionnelle de diagraphie de densité *in situ* à l'aide d'une source radioactive s'ajoute au fait que cette mesure est indirecte et qu'elle nécessite une connaissance du matériau mesuré et des corrections pour tenir compte des paramètres du trou de forage (taille du trou, rugosité, décalage du capteur par rapport aux parois du trou, matériau et taille du tubage s'il

y en a lieu, etc.) afin de calculer le résultat. L'instrument mesure la densité apparente, c'est-à-dire la densité combinée des minéraux de la roche, de l'eau et de l'air présents dans les pores. La relation entre la roche et l'espace interstitiel est également importante, car ils sont intrinsèquement liés l'un à l'autre. Lorsque la densité de la matrice ou des grains du volume de roche mesuré est connue, la porosité totale peut alors être déterminée. Par conséquent, si l'on peut déterminer la porosité de la roche à partir de la mesure de la densité matricielle, serait-il possible d'utiliser une mesure de porosité de haute qualité avec la même densité matricielle déduite pour calculer la densité apparente?

Cet exposé présentera l'utilisation de la résonance magnétique dans les trous de forage par la méthode de diagraphie WIREBmr pour calculer la densité apparente de la roche. Cette méthode directe et indépendante de la lithologie mesure la porosité totale et la distribution de la taille des pores dans une roche saturée en eau et n'utilise pas de source radioactive. Des exemples de diagraphies WIREBmr, de diagraphies de densité et de valeurs de densité testées en laboratoire permettront de comparer ces méthodes de mesure de la densité apparente en fonction du niveau de précision et de résolution dans des programmes de diagraphie géophysique touchant des applications géotechniques ou géomécaniques, en tenant compte des considérations relatives au retrait d'un instrument à source radioactive.

## **Le forage directionnel, un outil fait sur mesure pour atteindre avec précision des cibles d'exploration en profondeur**

**Gervais Perron, R. Nicholls, R. Lindhjem et E. Brandslet (IMDEX)**

Au cours des dernières décennies, l'exploration minière a dû s'adapter à la réalité des gisements de plus en plus profonds (> 500 m). Cette tendance semble être là pour de bon. Ainsi, plusieurs innovations en géophysique, géochimie, minéralogie et géologie structurale ont été développées et sont maintenant en mesure d'identifier des cibles de qualité en profondeur. Il en est de même pour l'intégration de données multidisciplinaires et les modèles 3D qui en résultent. Mais qu'en est-il de notre capacité à atteindre ces cibles de façon précise tout en réduisant le temps associé à une campagne de forage, le nombre de mètres à forer ainsi que notre empreinte environnementale? Ce sont là les défis auxquels s'attaque le forage directionnel.

Le forage directionnel permet de changer localement la trajectoire d'un forage afin de répondre à des critères 1) de contrôle de déviation, 2) de design des trous parents/enfants, et 3) de flexibilité. Ainsi, il est possible d'atteindre une cible avec précision, de réduire la quantité de forages requis pour atteindre plusieurs cibles, de répondre à des contraintes de localisation de la foreuse et/ou d'orienter un forage afin de contrôler l'angle d'entrée sur une cible. Il est aussi possible de récupérer une carotte ou non lors de ce processus.

La déviation moyenne permise par le forage directionnel se situe aux alentours de 9° par 30 m et peut être reproduite plusieurs fois. Celle-ci est dictée par la courbure maximale qui peut être transmise aux tiges de forage. Basés sur ces limitations ainsi que sur les différents paramètres d'entrée (nombre et distance entre les cibles, nombre et localisation des collets, etc.), un plan de forage est calculé et une séquence est proposée. Cette technique est généralement réalisée à partir d'un forage au diamant conventionnel. Le forage directionnel est utilisé seulement afin de corriger la trajectoire d'un trou ou de créer un ou plusieurs nouveaux trous enfants. Il est important de vérifier périodiquement la progression du forage directionnel à l'aide d'outils magnétiques ou gyroscopiques afin d'assurer précision et sécurité.

Les bénéfices reliés au forage directionnel seront illustrés par une étude de cas au Canada dans un environnement aurifère.

## **L'imagerie hyperspectrale comme outil d'exploration minière**

**Philip Lypaczewski (LithologyIQ)**

Utilisée depuis près d'une vingtaine d'années comme outil de recherche géoscientifique, l'imagerie hyperspectrale se démocratise rapidement dans le domaine de l'exploration et de la production minière. Les principes de base de la spectroscopie par réflectance seront présentés, suivis par la présentation des instruments hyperspectraux disponibles et par des exemples d'application des différentes plages spectrales. Les instruments les plus communément utilisés fonctionnent dans des longueurs d'onde du visible-proche infrarouge (400 à 1000 nm) et dans l'infrarouge à ondes courtes (1000 à 2500 nm) et servent respectivement à détecter les éléments de terres rares et les minéraux hydratés. Les instruments dans l'infrarouge à ondes moyennes (2500 à 5000 nm) et ondes longues (8000 à 12 000 nm) ont été introduits récemment sur le marché et offrent la possibilité de détecter directement les carbonates et les silicates non hydratés, respectivement. Typiquement, les imageurs hyperspectraux permettent d'acquérir des données à haute résolution spatiale (< 1 mm/pixel) de la totalité d'une boîte de carottes de forage en moins d'une minute. Il est donc possible d'obtenir rapidement des données géologiques fiables et objectives lors d'une campagne d'exploration, ce qui peut servir par exemple à mieux cibler les zones d'altération. Dans un environnement de production, l'utilisation de ces instruments offre la possibilité de rapidement faire le tri du minerai. Des exemples de l'utilisation de l'imagerie hyperspectrale au Canada seront présentés pour diverses substances, incluant l'or, le cuivre et les terres rares.

## ECORE : une technologie optique de rupture pour l'exploration en profondeur

François R. Doucet, Lütfü-Çelebi Özcan, Kheireddine Rifai, Ofure Onodenaloro et Florentine Zwillich (ELEMISION)

La pratique actuelle en exploration minière consiste à implanter des forages pour prospecter des sites identifiés à l'aide des informations obtenues par télédétection et/ou prospection. Une fois les carottes extraites du sol, l'opération de description débute. Les géologues commencent par rapporter plusieurs points de données sur les carottes, puis sélectionnent les intervalles les plus intéressants à échantillonner pour des analyses élémentaires. Les foreuses restent sur place jusqu'à ce que le géologue d'exploration décide que suffisamment d'informations ont été recueillies sur ce site ou que le budget de forage soit épuisé. Les foreuses sont ensuite retirées du site. Les décisions touchant la suite de la campagne d'exploration restent en suspens jusqu'à ce que les résultats des analyses chimiques reviennent finalement des laboratoires d'analyses, souvent quelques mois plus tard. Il est important de noter que les analyses chimiques fournissent la composition élémentaire moyenne de la totalité d'un échantillon, mais elles ne donnent aucune information minéralogique quantitative sur celui-ci. Une technique d'analyse qui permettrait d'obtenir des résultats en temps réel à ce stade de l'exploration améliorerait grandement l'exploration minière du point de vue de l'efficacité et de la réduction des risques et des coûts.

Les instruments de numérisation des actifs miniers ont été développés au début du siècle et commencent à susciter l'intérêt des sociétés d'exploration. L'imagerie hyperspectrale dans le proche infrarouge (SWIR, NIR et LWIR) est bien connue dans le domaine de l'exploration minière, que ce soit pour recueillir de l'information par satellite (Landsat 1 NASA-JPL, 1972) ou bien pour l'imagerie des carottes de forage. Bien que plusieurs compagnies aient travaillé à améliorer cette technique de spectroscopie moléculaire en combinaison avec la spectrofluorescence des rayons X (une technique élémentaire) dans des numériseurs multicapteurs, ces avancées ne permettent pas encore de créer un jumeau numérique d'une carotte de forage. Cependant, la technologie Ecore, lancée en 2021, représente une innovation technologique optique de rupture dans le domaine de la numérisation qui espère atteindre cet objectif.

Dans cette communication, l'utilisation de la technologie Ecore pour la numérisation des carottes de forage obtenues lors des campagnes d'exploration minière sera démontrée pour des dépôts de minéraux critiques tels que le lithium et le cuivre. Les variations de la composition minéralogique et géochimique en fonction de la profondeur de forage seront présentées et validées à l'aide des analyses chimiques obtenues à l'échelle macroscopique. De plus, l'utilisation des données générées par Ecore sera présentée dans un modèle géologique.

## Le laboratoire de forage d'Agnico Eagle

Geneviève Carignan et Marjorie Simard (Mines Agnico Eagle)

L'industrie minière est en constante évolution, incitant les compagnies à repenser leurs méthodes de travail et à revoir les paradigmes. L'augmentation importante des coûts de production, incluant notamment ceux reliés aux activités minières, la pousse à optimiser les procédés déjà en place et à innover.

Les données provenant des carottes forage constituent la base de nombreuses activités définissant le cycle minier actuel. Des centaines de mètres de carottes sont recueillies chaque jour sur les sites d'exploration et d'exploitation. Les géologues s'efforcent de comprendre la géologie des dépôts en décrivant de manière qualitative les carottes de forage extraites du sol. Cette tâche soulève plusieurs défis quant à la constance, l'homogénéité ainsi qu'à l'efficacité des descriptions de forage.

Les progrès récents des technologies de numérisation de carottes de forage disponibles sur le marché et l'utilisation croissante de l'intelligence artificielle constituent une occasion pour l'industrie minière. Ces technologies offrent la possibilité d'améliorer considérablement la qualité de nos bases de données en favorisant l'extraction de données minéralogiques, lithologiques, structurales et texturales quantitatives provenant des carottes de forage. Cette information sera par la suite utilisée afin de prédire leurs caractéristiques géologiques, géotechniques, métallurgiques et environnementales avec l'utilisation d'algorithmes d'intelligence artificielle. Dans les années futures, cette technologie a le potentiel d'améliorer la qualité des données et d'optimiser le temps passé dans la carothèque tout en augmentant la confiance dans les modèles de ressources et réserves. Cette avancée représente un avantage certain pour les compagnies qui auront tout en main pour valoriser leurs dépôts présents et futurs.

L'implantation d'une nouvelle technologie ou d'une nouvelle méthode de travail présente plusieurs défis et il est important de bien planifier et gérer cette transition. L'expérience d'Agnico Eagle dans ce projet permet d'identifier les critères de succès pour arriver à atteindre le plein potentiel de ces nouveaux outils. Un aspect important et non négligeable est la validation géologique des données recueillies. Il est donc primordial de donner aux géologues toutes l'information et les ressources nécessaires afin de bien comprendre les avantages et les limites de chacun de ces outils. L'optimisation des processus ira de pair avec une utilisation adéquate des données acquises.

Agnico Eagle s'engage dans la révolution numérique en gardant comme priorité la qualité des données utilisées et l'application des meilleures pratiques de l'industrie.



## SÉANCE 31

# LES ENJEUX DES PROJETS DE DÉVELOPPEMENT ÉOLIENS AU QUÉBEC

### L'action gouvernementale en matière de développement éolien

Étienne Chabot (MEIE)

La transition énergétique et les objectifs de développement économique entraînent une augmentation significative des besoins en électricité pour le Québec. Afin d'y répondre, la filière éolienne a été relancée au cours des dernières années. Ces nouveaux approvisionnements soulèvent des défis et enjeux qui interpellent l'ensemble de l'action gouvernementale. Afin d'assurer le développement harmonieux de la filière éolienne et son acceptabilité sociale, la concertation de l'ensemble des acteurs impliqués est nécessaire.

### Planification des approvisionnements en énergie éolienne dans un contexte de transition énergétique

Stéphanie Normand (Hydro-Québec)

Afin de répondre à la croissance importante de la demande en électricité et d'avoir les moyens nécessaires pour réaliser la transition énergétique, de nouveaux approvisionnements seront essentiels, notamment en énergie éolienne. Hydro-Québec présentera ainsi les considérations entourant l'approvisionnement dans ce contexte et les défis que soulève la transition énergétique.

### Comment redynamiser le secteur manufacturier éolien québécois?

Syndie Penberthy (NUVÉO)

NuvéO est l'ambassadrice manufacturiers dans le domaine des énergies renouvelables. Cette présentation sera l'occasion de dresser le portrait actuel du secteur éolien du Québec et de faire état des enjeux et des solutions pour redynamiser la chaîne d'approvisionnement manufacturière du Québec.

### Les enjeux en milieu agricole

Charles-Félix Ross (Union des producteurs agricoles)

L'appel d'offres de 1500 MW en énergie éolienne cible des territoires qui sont, pour plusieurs, sur des terres privées. Certaines de celles-ci sont aussi en zone agricole. Par quels moyens peut-on réaliser ces projets en respectant les règles de l'art (respect du cadre de référence relatif à l'aménagement de parcs éoliens en milieux agricole et forestier, etc.)?

### L'implication des communautés et l'acceptabilité sociale des projets énergétiques

Jacques Demers (Fédération québécoise des municipalités)

Les importants besoins énergétiques et la relance de la filière éolienne apportent son lot de défis dans plusieurs de nos régions. Afin d'atteindre les objectifs du Québec en cette matière, nos communautés devront s'organiser pour participer à cet énorme chantier. Quelle est la place des communautés dans les projets énergétiques? Qu'avons-nous appris des derniers appels d'offres? Quelles régions ont su se démarquer jusqu'à maintenant? Une conférence à ne pas manquer.

### Enjeux d'un développeur de projets éoliens au Québec

Michel Letellier (Innergex)

Face aux enjeux auxquels il fait face, quelles sont les réactions d'un développeur de parc éolien? Quels sont ses enjeux propres? Les pistes de solutions? Comment entrevoit-il l'avenir?

## SÉANCE 32

# LES RÉSERVOIRS GÉOLOGIQUES : DES NOUVELLES FILIÈRES ÉCONOMIQUES À DÉVELOPPER DANS LE CADRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET POUR L'ATTEINTE DES OBJECTIFS DE CARBONEUTRALITÉ?

### Le stockage d'air comprimé

**Antoine Bachand (Dunsky Expertise en énergie)**

Le Canada vise la carboneutralité d'ici 2035 pour l'électricité et d'ici 2050 pour l'économie dans son ensemble. Les énergies renouvelables, en particulier l'éolien, joueront un rôle essentiel, mais leur caractère intermittent pose des défis de fiabilité. Les batteries lithium-ion, avec un stockage de 4 à 8 heures, atténuent efficacement les fluctuations quotidiennes. Cependant, le stockage d'énergie par air comprimé se démarque en offrant une capacité de stockage à grande échelle, allant de 8 heures à plusieurs jours.

En 1978, l'Allemagne a inauguré un système de 290 MW, soulignant la maturité de cette technologie, mais des progrès récents ont porté l'efficacité du cycle de 40 % à 60-75 %. Cette présentation mettra en lumière les récentes avancées technologiques, les réservoirs géologiques ciblés et le rôle central du stockage d'énergie par air comprimé dans la transition énergétique.

### Le stockage souterrain de gaz naturel dans les réservoirs géologiques : contexte actuel et perspectives d'avenir

**Luc Massé (Intragaz)**

Fondée en 1991, Intragaz a développé et exploite les deux seuls sites d'entreposage de gaz naturel à partir de gisements épuisés au Québec. Outil précieux contribuant à la gestion de la pointe énergétique et au défi immense du stockage saisonnier, le stockage permet aussi de réduire les coûts en s'approvisionnant en gaz lorsque la demande et les prix sont faibles et en le soutirant lorsque la demande et les prix sont plus élevés. Dans le contexte actuel, il est un élément clé dans la gestion de la pointe hivernale. Dans l'avenir, ces infrastructures pourront s'adapter à l'arrivée de nouveaux gaz, dont l'ajout d'hydrogène et le GNR.

### Le stockage d'hydrogène dans les réservoirs géologiques

**Julien Lang (Laboratoires nucléaires canadiens)**

Avec l'arrivée des technologies utilisant l'hydrogène, des réservoirs pouvant entreposer ce gaz de façon sécuritaire et économique devront être développés. Un récent domaine de recherche pour le stockage de l'hydrogène s'intéresse aux

différentes formes de réservoir géologique. Cette présentation offrira une introduction à la technologie, une évaluation du potentiel de stockage au Canada ainsi qu'une description de l'expertise et des activités des Laboratoires nucléaires canadiens touchant le stockage de l'hydrogène souterrain.

### Potentiel de réutilisation des anciens puits pétroliers à des fins géothermiques

**Jasmin Raymond, Félix-Antoine Comeau, Violaine Gascuel (INRS-ETE) et Stephan Séjourné (ENKI GeoSolutions)**

Une soixantaine de puits pétroliers ouverts sont toujours présents sur le territoire du Québec. Ces puits ont une profondeur variant de 672 à 3450 m et sont principalement situés dans les Basses-Terres du Saint-Laurent et en Gaspésie, parfois près de bâtiments. Certains de ces puits pourraient être réutilisés avec des pompes à chaleur géothermique pour chauffer des bâtiments à proximité. Lors de cette présentation, nous discuterons de la nature des ressources géothermiques, de leur utilité et de la question à savoir pourquoi les anciens puits pétroliers constituent un élément clé qui pourrait mener à une première utilisation des ressources géothermiques de profondeur intermédiaire (1 à 3 km) au Québec.

### Une feuille de route pour un projet de stockage géologique de CO<sub>2</sub> au Québec

**Bernard Giroux (INRS-ETE)**

Une augmentation des projets de captage de CO<sub>2</sub> est prévue à court ou moyen terme au pays pour atteindre les cibles de réduction d'émissions de GES. Il est impératif de développer une capacité de stockage, car il apparaît évident que la filière utilisation ne suffira pas pour le volume de captage anticipé. Considérant la taille du Canada et les coûts de transport, il est essentiel de développer des capacités de stockage locales. Quelles seraient les étapes à suivre pour y parvenir au Québec? Des pistes de réflexion seront exposées dans cette présentation.

### Réservoirs géologiques en surface : les défis et possibilités de la carbonatation minérale *ex situ* au Québec

**Olivier Dufresne (Exterra Solutions Carbone)**

La carbonatation minérale, un processus naturel de transformation du CO<sub>2</sub> en minéraux carbonatés, joue un rôle crucial dans la régulation du carbone atmosphérique à long terme. Reconnue comme une méthode efficace de lutte contre le changement climatique, cette réaction peut être optimisée grâce à des procédés métallurgiques. Cette approche rend possible l'exploitation du potentiel de stockage des minéraux pour soutenir les efforts de décarbonation à l'échelle mondiale. La carbonatation peut s'effectuer *in situ*, dans des couches géologiques profondes, ou *ex situ*, en traitant des minéraux en surface. Cette présentation mettra l'accent sur les défis et possibilités de la carbonatation minérale *ex situ*, notamment en utilisant des résidus miniers tels que ceux issus de la production d'amiante, de nickel ou des scories d'acier.

## SÉANCE 33

# BONNES PRATIQUES POUR FAVORISER ET ENTRETENIR DES RELATIONS DURABLES AVEC LES PREMIERS PEUPLES DANS LE SECTEUR MINIER

## Respect et confiance : matières premières pour un partenariat durable

**Cindy Valence (Sayona)**

Exploiter de manière responsable les riches gisements de lithium de l'Abitibi-Témiscamingue et de la région d'Eeyou Istchee Baie-James débute par une opération qui ne nécessite aucune technologie, aucune intervention scientifique ni même d'exploration et de prospection du territoire.

Première étape, primordiale : l'acceptabilité sociale.

Imposer sa présence dans une région sans préalablement gagner l'appui des communautés d'accueil relève d'une autre époque.

Une relation de confiance se bâtit une rencontre à la fois, à force de dialogue, de transparence et de respect envers les collectivités, tout particulièrement les Premières Nations pour qui le territoire constitue une valeur identitaire et patrimoniale inaliénable.

C'est ce qui motive l'engagement de Sayona à cocréer ses projets conjointement avec les Premières Nations. Le résultat? Contribuer et maximiser les possibilités de retombées positives dans les communautés.

Établir et maintenir en continu une relation de confiance et de respect mutuel avec les communautés est une valeur fondamentale.

Respecter le territoire autochtone signifie reconnaître sa valeur culturelle, environnementale et économique. Pour façonner un partenariat durable avec les peuples autochtones, il faut s'appuyer sur des piliers solides, comme la vérité, la sincérité, la consultation honnête, l'écoute, la prise d'engagements réels envers la préservation de l'écosystème sans oublier les bénéfices pour la communauté.

Ensuite, il faut joindre les actes à la parole. Le fardeau de la preuve nous appartient. Agir en concordance avec ses promesses illustre la bonne foi.

Respecter les Premières Nations signifie aussi reconnaître l'importance des traditions, du mode de vie, des coutumes distinctes de chaque peuple. S'adapter à leur rythme est un autre pilier inamovible.

Cette approche favorise la durabilité et la croissance économique inclusive. Mieux encore, elle constitue la matière première pour la construction d'une relation de confiance.

En ce sens, les actions qu'entreprend Sayona en matière

d'environnement, société et gouvernance (ESG) reflètent son engagement en matière de responsabilité sociale, et elles se traduisent par une volonté de minimiser l'impact environnemental de ses activités et d'offrir des retombées tangibles aux communautés d'accueil.

Nous ne sommes pas un voisin discret. Mais nous pouvons minimiser l'impact de notre présence par l'application minutieuse de quelques règles essentielles. Bien que cet équilibre puisse être fragile, elle nous pousse à refaire nos devoirs et à revoir notre approche régulièrement.

La durabilité d'une relation passe par une collaboration franche et sincère et constitue le fer de lance de notre action qui est en constante évolution.

## Professions du domaine minier et programmes de formation culturellement pertinents pour les Autochtones

**Joanie Caron et Danny Baril (UQAT)**

L'automatisation des opérations est de plus en plus favorisée au sein de l'industrie minière et des questions se posent sur les types de programmes de formation qui seront nécessaires pour assurer la place des Autochtones dans ce secteur à long terme. Dans le cadre d'un projet du Pôle régional en enseignement supérieur dans le secteur minier en Abitibi-Témiscamingue, une équipe de recherche de l'École d'études autochtones de l'UQAT a mis au point un outil permettant d'évaluer la pertinence culturelle des programmes de formation postsecondaires liés au secteur minier. Basé sur une recension des écrits, des informations et des idées recueillies auprès de groupes de discussion et des entrevues réalisées avec des organisations minières, scolaires, autochtones et gouvernementales provenant des trois principales régions minières du Québec, l'outil propose une centaine d'indicateurs d'analyse et d'aide à la décision favorisant la sécurisation culturelle au sein des établissements d'enseignement.

## Projet de réhabilitation des sites d'exploration minière abandonnés au Nunavik

**Aglaé Boucher-Telmoss (Administration régionale Kativik) et Nancy Dea (Fonds Restor-Action-Nunavik)**

À partir des années 1950, les sociétés minières ont montré un intérêt grandissant pour la région du Nunavik. Il n'y avait à cette époque que très peu de réglementation visant à encadrer et orienter les activités des sociétés en lien avec les impacts causés sur l'environnement et le milieu social. Depuis la signature de la Convention de la Baie-James et du Nord québécois en 1975, les sociétés minières sont assujetties à des règles plus strictes qui les obligent à déclarer leurs activités au ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) et à restaurer les sites d'exploration minière qu'ils abandonnent. Malheureusement, les activités réalisées par les sociétés minières dans le passé ont eu un impact sur la végétation, les habitats fauniques et la qualité de l'eau, ainsi qu'un impact visuel sur le paysage de la région.

Le présent projet de nettoyage découle d'initiatives lancées par les communautés dans les années 1990. Ces travaux ont été suivis par un projet conjoint entrepris en 1999 par l'Administration régionale Kativik (ARK), la Société Makivik et le Groupe d'études inuit et circumpolaires (GÉTIC) de l'Université Laval visant à dénombrer et à localiser les sites d'exploration minière abandonnés au Nunavik. En 2000, la Nation Naskapi de Kawawachikamach s'est jointe au projet.

Depuis 2007, l'entente de financement a été renouvelée à plusieurs reprises afin de poursuivre les activités de réhabilitation réalisées sur l'ensemble des 90 sites compris dans l'inventaire initial ainsi que sur plusieurs autres sites identifiés au fil des années. Les travaux de nettoyage ont été finalisés en 2022, avec plus de 130 sites réhabilités dans le cadre du projet.

Au cœur de cette initiative, l'implication des communautés du Nunavik, en collaboration constante avec l'Administration régionale Kativik, la Société Makivik, le Fonds Restor-Action (FRAN) et le gouvernement du Québec par le biais du MRNF, aura permis de relever de nombreux défis en apportant d'importants changements dans les pratiques des compagnies minières au Nunavik.

## Minerai de fer Québec et les communautés innues : un partenariat mutuellement bénéfique et en croissance

### Angela Kourouklis (Minerai de fer Québec)

Depuis le redémarrage de la mine du Lac Bloom en 2018, Minerai de fer Québec (MFQ) a su se démarquer grâce à son approche unique dans le développement d'un partenariat avec les Premières Nations. Celle-ci a grandement contribué au succès de l'entreprise et à en faire le plus important employeur au sein des communautés autochtones de la Côte-Nord.

MFQ a le privilège de pouvoir travailler sur le Nitassinan, territoire ancestral de ses partenaires innus de Uashat mak Mani-utenam et Matimekush-Lac John. Dans ce contexte, l'entreprise s'est engagée à limiter l'impact de ses activités sur le territoire, tout en maximisant les retombées et les occasions liées à ses projets de croissance pour les communautés d'accueil.

Afin d'atteindre ces objectifs, MFQ et ses partenaires innus travaillent au quotidien à maintenir et à faire grandir une relation basée sur le respect et la confiance. Cette approche se décline autour de trois grandes priorités :

- ▶ soutenir la croissance économique de la communauté de Uashat mak Mani-utenam à travers diverses implications locales;
- ▶ continuer d'augmenter l'intégration de travailleurs autochtones au sein de l'entreprise;
- ▶ faire rayonner la culture, la langue et les valeurs innues dans toutes les sphères de l'entreprise.

## SÉANCE 34

# MÉTALLOGENÈSE ET DÉFORMATION — LES VECTEURS STRUCTURAUX POUR L'EXPLORATION MINÉRALE

## Tectonique superposée et minéralisations syngénétiques : l'importance de la géologie régionale et de la géochronologie

### Alain Tremblay (UQAM)

Les minéralisations dites syngénétiques, principalement représentées par les gisements de sulfures massifs volcanogènes (VMS) et par les SEDEX, sont stratiformes/stratitoïdes et pénécontemporaines de la formation des roches encaissantes. Dans les séquences phanérozoïques, ces minéralisations se forment souvent en contexte de supra-subduction, soit dans des environnements de rift, d'arc insulaire et/ou de bassin avant-arc. Les structures crustales communément associées à ce type de minéralisation sont relativement simples et constituées d'un réseau de failles normales ayant permis le drainage des magmas et/ou des fluides hydrothermaux. Ces failles syngénétiques pourront cependant être plissées, faillées et/ou réactivées lors d'un ou plusieurs événements orogéniques subséquents, ce qui rend souvent très complexe l'analyse stratigraphique et structurale de ces gisements.

Cette conférence présentera trois cas de figure provenant de séquences volcaniques et sédimentaires cambro-ordoVICIENNES des Appalaches du sud du Québec et soulignant l'apport de la cartographie géologique régionale et de la géochronologie isotopique à ce type de problématique. Nous discuterons des cas :

- ▶ des séries ophiolitiques, dont les âges U-Pb varient d'environ 505 à 480 Ma, qui sont porteuses de minéralisations en Cr, EGP, Ni et de sulfures de type Chypre et pour lesquelles les structures liées à leur formation en milieu océanique et à leur mise en place sur le continent sont préservées malgré la superposition de deux phases de déformation subséquentes;
- ▶ du Complexe d'Ascot, un arc volcanique daté à environ 474 à 471 Ma, au sein duquel toutes les structures syngénétiques ont été fortement oblitérées par la déformation polyphasée et le métamorphisme régional;
- ▶ du Groupe de Magog, une séquence sédimentaire synorogénique ayant échappé aux déformations liées à l'accrétion des séries précédentes sur la marge de la Laurentia durant l'Orogénie taconienne.

Les relations de terrain et les âges U-Pb et  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  obtenus pour les ophiolites et l'arc volcanique indiquent que leur imbrication et leur accrétion sur la marge laurentienne s'est étalée sur ~15 Ma (entre environ 475 et 460 Ma) pendant les stades précoces de l'Orogénie taconienne. Toutes ces roches ont par la suite enregistré, à différentes intensités, les effets combinés des deux phases orogéniques subséquentes, soit les phases salinique (environ 430 à 420 Ma) et acadienne (environ 380 Ma).

## Un nouveau modèle lithostructural tridimensionnel pour la découverte du prochain gisement dans le secteur de l'ancienne mine Selbaie

Jean-Daniel Fortin-Rhéaume (SOQUEM)

Détentrice d'un vaste portefeuille de titres miniers dans le secteur de l'ancienne mine Selbaie (56,9 Mt à 0,87 % Cu, 1,85 % Zn, 39,0 g/t Ag et 0,55 g/t Au), SOQUEM est active dans la région depuis plusieurs années. Elle y a effectué de nombreux travaux, notamment des levés géophysiques et des forages. D'abord dédiés à la définition du gîte de sulfures massifs volcanogènes (SMV) B26, les travaux se sont récemment concentrés sur la propriété Wagosic qui présente un fort potentiel. Les minéralisations recherchées de type SMV-épithermales atypiques de type Selbaie sont intrinsèquement liées à la formation de failles synvolcaniques dans un contexte de caldeira archéenne. Ces minéralisations peuvent être catégorisées en trois grands types. On trouve d'abord des veines et des brèches hydrauliques riches en cuivre dans les parties profondes de la séquence stratigraphique favorable. Celles-ci sont suivies des minéralisations de zinc, argent et cuivre sous forme de veines, veinules et/ou disséminées. Finalement, dans la partie supérieure de la séquence, on observe des lentilles massives stratiformes principalement composées de pyrite, mais localement à zinc, argent et cuivre.

La construction du modèle lithostructural a débuté par une interprétation lithostratigraphique détaillée, basée sur les descriptions géologiques historiques et sur une sélection d'éléments majeurs et en traces ( $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Nd, Zr et Hf) qui a permis de générer une série de diagrammes discriminants. Cette interprétation a mené à la production d'une couche géologique de base sur laquelle ont été superposés différents indices d'altération typiquement associés aux minéralisations de SMV qui proviennent du traitement des données lithogéochimiques à l'aide du logiciel LithoModeleur (CONSOREM; norme SV-350 °C). L'intégration au modèle lithostratigraphique des données géochimiques, géophysiques et structurales (éléments traceurs, MAG, EM, PP, zones de cisaillement régionales et failles tardives) a permis de générer le nouveau modèle lithostructural tridimensionnel. En 2023, la stratégie d'exploration basée sur ce modèle a contribué à définir l'orientation de la lentille zincifère VMS-037 (découverte en 2019, 4,64 % Zn, 230,6 g/t Ag et 1,58 % Pb sur 24,2 m) avec une nouvelle intersection de forage de 3,49 % Zn, 73,9 g/t Ag et 0,33 % Pb sur 40,15 m. Le ciblage à partir de cette nouvelle interprétation lithostructurale a également mené à la découverte de la zone cuprifère Xylem, une première sur la propriété Wagosic, avec une intersection de 1,77 % Cu, 14,9 g/t Ag et 0,05 g/t Au sur 13,8 m incluant 6,87 % Cu, 55,7 g/t Ag et 0,24 g/t Au sur 2,4 m. Ce type d'injection de chalcopryrite et pyrite semi-massives à l'intérieur d'une rhyolite de type « WAT » s'apparenterait à une brèche cuprifère typique de l'ancienne mine Selbaie.

## Les gîtes d'or d'Eagle et de Douay dans le nord de l'Abitibi : la déformation peut jouer un rôle

Michel Gauthier (UQAM)

Pour bien des gîtes d'or de l'Abitibi, la question est bien souvent de savoir s'ils sont antérieurs à la déformation schisteuse ou synchrones à celle-ci. Par ailleurs, dans bien des cas, ces gîtes se trouvent au sein de zones d'altération. La question qui se pose est toujours la même : est-ce que la zone de déformation est là parce qu'il y avait une zone d'altération auparavant ou bien est-ce que la zone d'altération est contemporaine du corridor de déformation? Pour ce qui est de la minéralisation, celle-ci est-elle précoce ou synkinématique? Une étude fine de ces éléments peut s'imposer pour répondre à cette question. Les gîtes d'Eagle-Telbel et de Douay nous permettront d'illustrer comment décrypter ces situations. Ce travail revêt une grande importance pour les prochaines campagnes de forage touchant ces minéralisations.

## Déformation et métamorphisme polyphasés du gisement d'or Amaruq et implications pour l'exploration des gisements d'or archéens au sein des cratons précambriens

Manon Valette, Stéphane De Souza (UQAM),  
Patrick Mercier-Langevin (CGC-Québec) et  
Olivier Côté-Mantha (Mines Agnico Eagle)

Les gîtes d'or de type orogénique associés aux formations de fer rubanées (FFR) dans les ceintures de roches vertes archéennes contribuent de façon importante à la production canadienne d'or. Cependant, en plus des complications résultant de leur association à des pièges structuraux, la morphologie de ces gîtes est souvent complexe, car contrôlée par la réactivité géochimique, la rhéologie et la géométrie des FFR lors de la circulation des fluides minéralisateurs. Au cours des 10 dernières années, l'exploration des minéralisations d'or de type orogénique associées aux FFR a conduit à la découverte de nouveaux gîtes et gisements, tels que le gîte d'Amaruq au Nunavut, et à l'émergence d'une nouvelle province métallogénique aurifère (> 20 Moz) dans ce secteur du Bouclier canadien. Le gîte d'or d'Amaruq (5,7 Moz) est localisé dans la ceinture de roches vertes néoarchéennes du Groupe de Woodburn Lake du craton de Rae, dans la partie occidentale de la Province de Churchill. Ce secteur a été affecté par plusieurs orogénèses à l'Archéen et au Paléoproterozoïque. Le gîte est encaissé dans l'assemblage de Rumble caractérisé par la présence de komatiites et de basaltes d'affinité tholéiitique et calco-alcaline. Des roches sédimentaires clastiques, volcanoclastiques et chimiques localement riches en fer sont également présentes, créant ainsi de forts contrastes rhéologiques et géochimiques au sein de la séquence volcano-sédimentaire. De ce fait, les zones minéralisées du gîte d'Amaruq s'expriment sous plusieurs formes en fonction des pièges structuraux et/ou lithologiques : veines calcosilicatées, zones de remplacement stratoides riches en pyrrhotite ou plusieurs générations de veines de quartz. Ces différents

styles témoignent d'une déformation dans le régime ductile à ductile-cassant. L'or est libre et associé à la présence d'arsénopyrite ± löllingite ou de pyrrhotite. Le gîte d'Amaruq est caractérisé par une minéralisation pré-pic métamorphique M2 qui a été métamorphisée au faciès des amphibolites. Un événement rétrograde au faciès des schistes verts supérieur, dont les paragenèses sont aussi associées à la présence d'or, s'y superpose. Cela évoque la possibilité d'une activité hydrothermale de longue durée lors d'un chemin métamorphique prograde et rétrograde ou d'une remobilisation partielle de la minéralisation. La géométrie des zones minéralisées est le résultat de deux principales phases de déformation, l'une d'âge néoarchéen (D2/M2) et l'autre d'âge paléoproterozoïque (D3/M3). Amaruq est l'une des découvertes majeures réalisées ces 10 dernières années au Canada dont la genèse et l'évolution tectonométamorphique complexe témoignent de plus d'un milliard d'années d'histoire. Ces travaux démontrent l'importance des études multidisciplinaires afin de pouvoir formuler des guides et vecteurs d'exploration robustes.

### La géologie structurale du secteur d'Eeyou Istchee Baie-James et les minéralisations associées

**Jean Goutier (JGservices), Jérôme Lavoie (MRNF) et Sylvain Trépanier (CONSOREM)**

Cette présentation résulte en grande partie des travaux réalisés pour le CONSOREM. La région d'Eeyou Istchee Baie-James présente une grande variété lithologique avec des âges compris entre 3,5 Ga et 0,55 Ga. Cela implique la présence de plusieurs phases de déformation, aussi bien à l'Archéen qu'au Protérozoïque. Il est donc important d'identifier les épisodes de déformation associés à la minéralisation. Les grandes structures ont été identifiées à partir de nos observations de terrain, de l'imagerie satellitaire, du gradient vertical du champ magnétique résiduel (basse et haute résolution), des polygones géologiques, du degré de déformation des affleurements de géofiche, des mesures structurales planaires et linéaires et des relations de recoupement. L'âge des épisodes de déformation a été défini grâce à une compilation des datations U-Pb.

Certaines phases sont ductiles, tandis que d'autres sont cassantes, en particulier celles d'âge protérozoïque. Les phases de déformation mésoarchéennes sont observées localement, mais il est difficile de les associer à des minéralisations syntectoniques particulières. Au Néoarchéen, les phases d'extension et de compression vont se succéder, ce qui va favoriser la mise en place d'intrusions minéralisées (Cu-Au; Cu-Zn-Ag-Au; Cu-Mo-Au-Ag; Au) ou la formation de zones de cisaillement aurifères. On observe donc plusieurs générations de systèmes filoniens, les plus anciens sont métamorphisés au faciès des amphibolites alors que d'autres, plus récents, sont associés à un métamorphisme au faciès des schistes verts.

## SÉANCE 35

### RÉSULTATS DU PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE DU SECTEUR MINIER

#### 10 ans de recherche soutenue par le MRNF et le FRQNT... et ça continue

**Louis Bienvenu, Katrie Bergeron (MRNF) et Marie Vachon (FRQNT)**

L'objectif du Programme de recherche en partenariat sur le développement durable du secteur minier est d'aider l'industrie minière à relever les défis techniques, environnementaux et technologiques posés par le contexte géologique et industriel québécois. Ce programme est géré par le FRQNT et est financé par le MRNF.

Le processus d'octroi des subventions du FRQNT est un processus par appels de propositions. À chaque appel de propositions, le FRQNT publie un guide qui renferme toutes les caractéristiques du concours et les conditions à remplir par les requérants. Un comité de pertinence et un comité scientifique analysent les demandes retenues. Les demandes sont classées selon les résultats du comité scientifique et des recommandations de financement sont alors faites au conseil d'administration du FRQNT.

Pour l'ensemble de ce processus, on peut compter environ 9 mois entre le lancement d'un appel de propositions et l'annonce des résultats. Les projets d'une durée de deux ou trois ans peuvent alors débiter. À la fin des travaux, les chercheurs subventionnés doivent soumettre des rapports finaux qui seront analysés par le comité scientifique. En somme, il faut donc compter un maximum de 51 mois (4 ans et 3 mois) entre le lancement d'un appel de propositions et la remise du rapport final pour les projets de trois ans.

Durant les 10 ans de la période 2013-2022, le programme a pu financer 130 projets de recherche à partir de 333 demandes réparties selon 7 axes de recherche visant tous les domaines d'activité du secteur minier, incluant même les minéraux critiques et stratégiques. Les investissements du MRNF et du FRQNT durant ces 10 années ont totalisé plus de 42,6 M\$. Ce budget n'a cependant pu financer qu'environ 43 % des demandes jugées pertinentes.

L'apport du milieu minier dans ces projets a surpassé les attentes, atteignant 32 à 39 % de la valeur des subventions, alors que l'apport minimal exigé était fixé à 10 %.

Le programme a été renouvelé pour la période 2022-2025, le temps de faire 3 nouveaux appels de propositions.

En somme, le FRQNT devrait avoir reçu entre 2013 et 2025 pas moins de 433 propositions et avoir financé plus de 182 projets de recherche grâce à des investissements de plus de 83,0 M\$ incluant la participation des partenaires.

Ces investissements reflètent la confiance du MRNF et du FRQNT dans l'avenir de l'industrie minière, si importante pour le Québec.

## Optimisation des opérations minières en temps réel

**Michel Gamache (Polytechnique Montréal)**

Cette présentation portera sur les résultats des travaux de recherche effectués dans le cadre du projet « Optimisation des opérations minières en temps réel ». Dans un premier temps, nous chercherons à définir brièvement les concepts clés de la mine intelligente en résumant les attentes et la réalité existante des mines en trois catégories à savoir les objectifs, les moyens et le processus de gestion d'entreprise ciblé.

Par la suite, nous présenterons les résultats des travaux de recherche sur le développement d'un outil d'ordonnement robuste des activités de minage à court terme et en temps réel. Cet outil cherche d'abord à construire des horaires pour les quarts de travail qui tiennent compte des contraintes d'exploitation des mines souterraines. Étant donné que l'environnement minier est très dynamique et engendre beaucoup de variabilités sur la durée des différentes opérations de minage (forage, transport du minerai, boulonnage, etc.), les modèles développés cherchent à produire des horaires robustes qui tiendront compte de cette variabilité afin d'éviter d'aménager constamment les horaires de travail. Ces modèles sont dits proactifs. Des tests effectués avec différents modèles démontrent l'efficacité et la robustesse des horaires conçus avec cette nouvelle approche. Afin de rendre cet outil plus réaliste, nous présenterons également les travaux effectués sur la valorisation des données des exploitations minières, plus particulièrement sur l'estimation des temps de transport, qui permettent d'obtenir une meilleure estimation des durées d'opération. Étant donné que les mines sont des environnements fortement dynamiques, il se peut que la solution proposée par les modèles proactifs s'éloigne de la réalité; il est alors essentiel de modifier cet horaire. On passe alors à un modèle réactif ou à une gestion en temps réel.

Finalement, nous exposerons les grandes lignes de la conception d'un jumeau numérique, plus spécifiquement sur la coordination en temps réel des équipements mobiles dans les mines souterraines.

## La reconnaissance optique des minéraux et l'apprentissage machine : derniers développements

**L. Paul Bédard, Arnaud Back, Julien Maitre, Kevin Bouchard (UQAC), Cyril Kana Tepakbong et Réjean Girard (IOS Services Géoscientifiques)**

Reconnaître les minéraux est une tâche importante dans de nombreux domaines tels que l'exploration et l'exploitation minière, la géologie, le génie civil, l'environnement, etc. Dans certains cas, comme le comptage des grains dans les sédiments glaciaires; l'identification et le comptage des minéraux s'avèrent des tâches difficiles et exigeantes en ressources matérielles et humaines. De plus, dans presque tous les cas, le comptage est séquentiel, c'est-à-dire un grain à la fois; à 0,1 seconde chacun, le comptage d'un million de grains prendrait donc 27,8 heures! Une approche permettant d'analyser tous les grains simultanément serait donc nettement plus rapide et désirable.

Dans le cadre de nos travaux, un premier algorithme a été développé pour reconnaître les grains d'or en temps réel en utilisant le spectre unique de ce métal en lumière réfléchie. Cependant, il n'existait à ce moment aucun matériau de référence pour assurer la qualité des comptages et calibrer les différentes méthodes d'analyse. Pour faire face à cette situation, nous avons mis au point un échantillon de référence pour le comptage des grains d'or. Par la suite, nous avons conçu un protocole plus complet permettant d'identifier optiquement un plus grand nombre de minéraux. Après quelques tentatives infructueuses, nous nous sommes orientés vers l'apprentissage machine en collaboration avec une équipe d'informaticiens de l'UQAC. Cette approche informatique se divise en plusieurs étapes : étiquetage des minéraux (incluant leur segmentation), extraction de leurs caractéristiques, traitement des données et entraînement par apprentissage machine. La vérité de terrain (*ground truth*), soit l'identification des minéraux, a été déterminée par fluorescence X à l'aide d'un microscope électronique à balayage. À l'issue de ces travaux, la reconnaissance des minéraux atteint une précision de près de 90 %. Il est utile de remarquer que dans la majorité des publications portant sur le sujet, l'apprentissage et la reconnaissance sont réalisées à partir d'une même photomicrographie. Dans la pratique courante toutefois, la reconnaissance est effectuée à partir de photomicrographies différentes de celles utilisées pour l'apprentissage. Un protocole exhaustif a aussi été développé pour assurer la qualité de l'acquisition des photomicrographies. Ainsi, ces travaux ont permis de mettre au point une chaîne de traitement complet, allant de l'acquisition des données (images), l'élaboration de matériaux de référence essentiels à la calibration du comptage jusqu'à une méthode d'identification rapide par apprentissage automatisé.

À cette étape de nos travaux, nous sommes à définir une nouvelle méthode qui permettra de quantifier les aspects texturaux des minéraux et des roches (arrondi, proximité des grains, relations mutuelles des minéraux, etc.).

## Minéralisation du carbone atmosphérique dans les résidus miniers

Georges Beaudoin (ULaval)

Les résidus miniers riches en Mg réagissent spontanément avec le CO<sub>2</sub> atmosphérique pour former des carbonates de magnésium hydratés par des réactions exothermiques. Le processus de minéralisation du carbone atmosphérique a été étudié grâce à des expériences en laboratoire et sur le terrain sur un large éventail de temps (10<sup>2</sup> à 10<sup>8</sup> s) et de masse (1 à 10<sup>8</sup> g). Ces expériences démontrent que la brucite et le chrysotile sont les 2 minéraux communs les plus réactifs pour minéraliser le carbone. La saturation en eau et la fréquence d'arrosage des résidus sont cruciales pour optimiser la réaction. Le réglage de la composition de la solution afin de favoriser la dissolution du Mg, tout en évitant la passivation des sites réactionnels et en maintenant la perméabilité des résidus, est essentiel pour assurer la progression de la minéralisation du carbone. Les expériences sur le terrain démontrent que les réactions de minéralisation du carbone sont limitées par l'apport de carbone atmosphérique vers les sites de réaction, ce qui permet d'envisager des optimisations industrielles pour réduire l'empreinte environnementale des opérations minières.

## Stabilité des excavations minières souterraines par la modélisation des réseaux de fractures (DFN) : caractérisation, modélisation et conception

Martin Grenon, Efstratios Karampinos, Christopher Durham, Antoine Caron et Hassan Hamze (ULaval)

Les gisements miniers en surface ou à faibles profondeurs sont de plus en plus rares dans les régions septentrionales du Québec. L'exploitation minière au Québec est conséquemment réalisée dans des conditions géomécaniques de plus en plus difficiles (mines profondes, mines arctiques, etc.), augmentant ainsi les risques liés à la sécurité et à la rentabilité de ces activités.

Pour analyser adéquatement la stabilité des excavations et ouvrages miniers (galeries, pentes, chantiers, piliers), il est donc impératif de bien caractériser et modéliser le régime structural afin de mieux comprendre le potentiel d'instabilité structurale, les besoins en renforcement et l'impact des conditions arctiques (notamment les zones de pergélisol) sur les ouvrages miniers.

L'objectif général de ce projet de recherche était d'intégrer de manière holistique le régime structural, le facteur le plus critique pour comprendre le comportement du massif rocheux en milieu minier arctique, lors des analyses de la stabilité des ouvrages miniers. Cela en développant nos connaissances théoriques et pratiques dans le domaine tout en collaborant étroitement avec l'industrie minière et en assurant la formation de personnel hautement qualifié nécessaire pour l'industrie.

Les travaux ont permis de développer une méthodologie pour caractériser à l'aide de Lidar fixe et de Lidar mobile le régime structural dans le contexte d'une mine arctique

en activité. Les approches Lidar permettent l'acquisition de données nécessaires à la réalisation d'une analyse structurale. L'impact de cette méthode de caractérisation sur les propriétés des réseaux de fractures (*discrete fracture network*, DFN) modélisés a été examiné. Une approche a été développée afin de caractériser le comportement mécanique des discontinuités gelées. Plusieurs types de discontinuités ont été testés. Un nouveau code informatique a été mis au point afin d'analyser la formation de blocs rocheux aux parois d'un tunnel minier. Ce code intègre la modélisation DFN ainsi que les géométries des tunnels obtenus directement des logiciels de planification minière. Les résultats de l'analyse peuvent également être visualisés grâce à ces outils. Cette approche a été notamment utilisée pour évaluer l'impact de la représentation des galeries sur les résultats des analyses. La présence de ponts rocheux au sommet de blocs potentiellement instables a aussi été étudiée. La rétroanalyse d'une importante instabilité à la mine a de même été réalisée. Nous nous sommes penchés sur l'intégration de DFN dans le logiciel 3DEC. Des analyses paramétriques sont en cours pour quantifier l'impact des conditions de pergélisol sur la stabilité d'un bloc. Ce projet de recherche a permis d'améliorer le processus d'analyse de la stabilité structurale dans le contexte de mines arctiques.



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

Jocelyn Veilleux, Valérie Charbonneau, David Nadeau, Maxime Goulet, Matthias Audren-Paul, Astou Diop, Gervais Soucy (Université de Sherbrooke), François Larouche et Kamyab Amouzegar (Hydro-Québec, Centre d'excellence en électrification des transports et en stockage d'énergie)

L'essor de l'électronique portable, de l'électromobilité et du stockage d'énergies renouvelables a fortement accéléré la demande, la production et l'utilisation de batteries lithium-ion (Li-ion). Celles-ci contiennent des minéraux critiques et stratégiques (MCS) tels le lithium, le cobalt et le nickel, dont l'approvisionnement à l'échelle mondiale est un enjeu prioritaire. En parallèle, l'usage intensif des batteries Li-ion conduit à une augmentation importante de la quantité de batteries en fin de vie qui doivent être gérées pour limiter leurs impacts environnementaux. Or, certains MCS dans ces batteries en fin de vie se trouvent en concentration bien supérieure à celle trouvée dans les gisements primaires. Dès lors, le recyclage des batteries et la valorisation des MCS pour fabriquer de nouveaux matériaux de cathode constituent des avenues intéressantes à étudier.

Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet débutent après le démantèlement des batteries et le traitement mécanique des composantes (collecteurs de courant, anode, cathode, séparateur). Notre matière première est appelée broyat noir (ou *black mass*). Elle renferme des oxydes des éléments d'intérêt (Ni, Co, Mn), ainsi qu'une quantité considérable d'impuretés métalliques dites primaires (principalement Al, Cu et Fe) et d'impuretés secondaires.

Dans l'objectif de simplifier le processus de synthèse des matériaux de cathode à partir du broyat noir, nous avons étudié la synthèse des précurseurs de matériaux de cathode (pCAM) en utilisant un lixiviat acide tiré de matériaux vierges. Des voies de synthèse par coprécipitation et par sol-gel ont été comparées. Nous nous sommes intéressés à l'impact des impuretés métalliques primaires (jusqu'à 5 % at.) sur la synthèse des pCAM sous forme de carbonates. Les pCAM ont été lithiés et oxydés pour former le matériau de cathode  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$  (NMC 811). Des analyses physiques et électrochimiques ont été effectuées pour évaluer les effets individuels et synergiques des impuretés Al, Cu et Fe sur les matériaux cathodiques. Les résultats montrent que des hydroxydes coprécipitent au même pH que les carbonates, ce qui a été quantifié à l'aide d'une nouvelle procédure thermoanalytique. Par ailleurs, les impuretés affectent le mélange cationique et les paramètres de maille du NMC 811, mais il devrait être possible d'en optimiser les proportions pour préserver, voire améliorer les propriétés électrochimiques.

## RÉSUMÉS DES PHOTOPRÉSENTATIONS

# Table des matières

## Interprétation paléogéographique des domaines sud et nord de l'Orogène d'Ungava : résultats préliminaires ..... 88

Cristina Accotto, Crystal LaFlamme, Carl Guilmette (ULaval), Kyle Larson (UBC-Okanagan), Guillaume Mathieu, Marc-Antoine Vanier (MRNF), Sacha Lafrance et Simon Tournier (ULaval)

## Les carbonatites et les fénites au nord de Gatineau : cartographie et potentiel pour les minéralisations en éléments de terres rares .. 88

Ismail Ait Bouallal, Marc Legault, (UQAT), Hubert Mvondo (MRNF) et Robin Potvin (Cégep A-T)

## Deux événements temporellement distincts de formation de pegmatites granitiques riches en ETR dans les régions de la Mauricie et du Lac-Saint-Jean, Province de Grenville centrale... 89

Pedro Alves, Bertrand Rottier, Crystal LaFlamme (ULaval), Abdelali Moukhsil (MRNF), Joshua Davies et Morgann Perrot (UQAM)

## Prédiction de la résistance mécanique des remblais miniers en pâte cimentés par des approches d'intelligence artificielle ..... 89

Mariem Amri, Tikou Belem, Hatem Mrad (UQAT), Louis-Philippe Gélinas (Mines Agnico Eagle) et Faouzi Masmoudi (École nationale d'ingénieurs de Sfax, Tunisie)

## Géologie de la région du lac Michaux, sous-provinces de La Grande et d'Opatica, Eeyou Istchee Baie-James..... 90

Daniel Bandyayera, Nicolas Talon et Gaëlle St-Louis (MRNF)

## Détermination rapide de la teneur en or à l'aide d'un système portatif de spectroscopie laser plasma (LIBS) ..... 90

Leo Barbosa, Marc Constantin, Jocelyn Bouchard (ULaval), Francis Boismenu, André Beauchesne, Aïssa Harhira, Paul Bouchard, Mohamad Sabsabi (Conseil national de recherche Canada) et Marcel Laflamme (InnovExplo)

## Stratigraphie et géochimie de la Formation de Blondeau, secteur du ruisseau aux Alouettes (SNRC 32G13), Sous-Province de l'Abitibi ..... 91

Guillaume Bats, Pierre-Simon Ross (INRS-ETE), Mélanie Beaudette et Yannick Daoudene (MRNF)

## Une revue complète des méthodes d'apprentissage automatique pour l'inversion magnétique 3D : des approches conventionnelles aux approches de pointe ..... 91

Mojtaba Bavandsavadkoochi (INRS-ETE), Shiva Tirdad (CGQ-Québec), Erwan Gloaguen (INRS-ETE) et Matthieu Cedou (Mira Geoscience)

## Analyse d'exergie d'un procédé de carbonatation minérale de résidus miniers de serpentine ..... 92

Mohamed Aziz Ben Rhouma, Ilies Tebbiche et Louis-César Pasquier (INRS-ETE)

## Datation et analyse de multiples isotopes de soufre au dépôt aurifère de Bonnefond, Val-d'Or . 92

François-Xavier Bonin, Crystal LaFlamme et Georges Beaudoin (ULaval)

## Végétalisation du parc à résidus miniers de la mine Éléonore : concilier les attentes du maître de trappe du VC-29, de la communauté crie et la performance du recouvrement minier ..... 93

Mohamed Kadiatou Cissé, Marie Guittonny (IRME-UQAT-Polytechnique Montréal), Arn Keeling (Memorial University of Newfoundland) et Bruno Bussière (IRME-UQAT-Polytechnique Montréal)

## Évolution magmatique du complexe intrusif archéen d'Upper Beaver et implications pour la minéralisation Au-Cu..... 93

Michael Cloutier, Bertrand Rottier (ULaval), Ross Sherlock (U. Laurentienne), Georges Beaudoin (ULaval), Jonathan Sutton (U. Laurentienne et Mines Agnico Eagle), Olivier Côté-Mantha (Mines Agnico Eagle), Joshua Davies et Morgann Perrot (UQAM)

## Géologie de la région du lac Cadet, sous-provinces d'Opinaca et de La Grande, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada..... 94

Myriam Côté-Roberge et William Chartier-Montreuil (MRNF)

## Géochimie des gaz appliquée à la prospection des zones minéralisées et des failles en Abitibi-Témiscamingue et dans les Appalaches....94

Antoine Cuckovic, Marc Richer-LaFlèche (INRS-ETE), Li-Zhen Cheng (UQAT), James Moorhead (MRNF), Éric Allard (Leopard Lake Gold), Jules Riopel (Globex Mining), Christian Blanchet et Mathieu Guay (Vior)

<b>Géochimie des intrusions mafiques de la Zone tectonique du Front du Grenville près de Louvicourt, Québec .....</b>	<b>95</b>	<b>Infrastructure de recherche pour évaluer la migration de contaminants d'intérêts dans des milieux poreux sols/résidus/amendements en colonnes enfouies .....</b>	<b>98</b>
Jérémy Darveau, Carl Guilmette (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec, ULaval), Marine Jouvent (ULaval) et Myriam Côté-Roberge (MRNF)		Marc-Alexandre Fillion, Richard Martel, Vincent Taillard, Thomas Robert, Luc Trépanier, Marco Boutin (INRS-ETE), Vincent Boulanger-Martel (UQAT) et Marie-Claude Lapointe (Recherche et Développement pour la Défense Canada)	
<b>Cartographie de terrain et géochimie de la marge sud de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean associée aux minéralisations de Fe-Ti-V-P des corridors de Saint-Charles-de-Bourget et Lamarche.....</b>	<b>95</b>	<b>Contexte métamorphique lors de la mise en place d'intrusions alcalines dans la région de la Haute-Mauricie, Province de Grenville — résultats préliminaires.....</b>	<b>99</b>
Jonathan Katako Diyoyo, Renée-Luce Simard, Sarah Dare (UQAC) et Abdelali Moukhsil (MRNF)		Mohamed Ghazali et Renaud Soucy La Roche (INRS-ETE)	
<b>Réseau bayésien contraint spatialement pour la cartographie lithologique : une approche pour des prédictions contraintes par des données de terrain .....</b>	<b>96</b>	<b>La longue vie du Batholite de Decelles, Pontiac, Québec : les grenats à notre rescousse! .....</b>	<b>99</b>
Victor Silva Dos Santos, Erwan Gloaguen (INRS-ETE) et Shiva Tirdad (CGC-Québec)		Antoine Godet (CGQ-Québec), Matthijs Smit (UBC), Carl Guilmette et François Fournier-Roy (ULaval)	
<b>Géologie des dépôts de surface de la région de Senneterre, Abitibi-Témiscamingue, Québec, Canada .....</b>	<b>96</b>	<b>Considérations géothermiques et géochimiques dans les systèmes de pompes à chaleur en boucle ouverte dans les anciennes mines d'amiante à ciel ouvert, Thetford Mines, Québec.</b>	<b>100</b>
Hugo Dubé-Loubert (MRNF)		Mariana Goldoni de Souza, Geneviève Bordeleau, Samuel Lacombe, Jasmin Raymond, Félix-Antoine Comeau et Charis Wong (INRS-ETE)	
<b>Observations de terrain et sur les carottes de forage du gisement de graphite de Matawinie, Province de Grenville, Québec .....</b>	<b>97</b>	<b>Nouvelles contraintes structurales et géochronologiques (U-Pb) sur le gisement épithermal Miguel Auza Ag-Zn (Pb), ceinture argentifère mexicaine, Zacatecas.....</b>	<b>100</b>
Lütfi Ersay, Renaud Soucy La Roche (INRS-ETE), Bertrand Rottier (ULaval) et Antoine Cloutier (Nouveau Monde Graphite)		Jorge Alejandro Guevara-Alday, Stephane De Souza, Alain Tremblay, Morgann Perrot et Joshua Davies (UQAM)	
<b>La minéralisation porphyrique à Cu-Mo-Au d'Imourkhssen associée au système porphyrique-épithermal de l'Édiacarien tardif du terrane de Saghro, Anti-Atlas, Maroc : aperçu des données métallogéniques, géochimiques et aéromagnétiques et implications pour l'exploration minérale .....</b>	<b>97</b>	<b>Caractérisation des minéralisations à Au-Mo du projet Falcon, Formation de Caopatina, Abitibi, Canada .....</b>	<b>101</b>
Mariam Ferraq, Saïd Belkacim (Université Ibn Zohr, Maroc; UQAT), Li Zhen Cheng (UQAT) et Abdelkhalek Alansar (Université Cadi Ayyad, Maroc)		Foulques Guillet de Chatellus, Renée-Luce Simard, Dominique Genna (UQAC) et Rodney Barber (Northern Superior Resources)	
		<b>Géologie de la région du lac Dickson, Sous-province de l'Abitibi, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada...</b>	<b>101</b>
		Maxym-Karl Hamel-Hébert et Antoine Brochu (MRNF)	
		<b>Géologie des dépôts de surface de la région des lacs Nuvilic, Province de Churchill, Nunavik, Québec, Canada.....</b>	<b>102</b>
		Simon Hébert et Alex Proulx (MRNF)	

<b>Présentation des levés géophysiques publiés durant l'année 2023 .....</b>	<b>102</b>	<b>Synthèse métallogénique et géochronologique d'Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada....</b>	<b>107</b>
Rachid Intissar (MRNF)		Jérôme Lavoie (MRNF), Sylvain Trépanier (CONSOREM) et Jean Goutier (UQAT)	
<b>Effets des propriétés physico-chimiques et minéralogiques des résidus miniers réactifs dans la stabilisation cimentaire.....</b>	<b>103</b>	<b>Réseau de neurones graphiques pour la prévision spatio-temporelle du niveau des eaux souterraines .....</b>	<b>108</b>
Audrey Jalce, Isabelle Demers, Benoît Plante (IRME-UQAT) et Thomas Pabst (Polytechnique Montréal)		Xiao Xia Liang, Erwan Gloaguen (INRS-ETE), Maxime Claprood (UQAC) et Daniel Paradis (CGC-Québec)	
<b>Styles tectonométamorphiques dans l'arrière-pays de l'Orogène de l'Ungava (Nunavik, Québec, Canada) : résultats préliminaires .....</b>	<b>103</b>	<b>Traitement des données et étalonnage des données spectrométriques .....</b>	<b>108</b>
Mehdi Jouhari, Carl Guilmette (ULaval), Kyle Larson, Isabelle Therriault (UBC-Okanagan) et Marc-Antoine Vanier (MRNF)		Chong Liu, LiZhen Cheng (IRME-UQAT), Rachid Intissar (MERN) et Marc Richer-Lafèche (INRS-ETE)	
<b>La Zone tectonique du Front du Grenville : une fenêtre sur la croûte inférieure archéenne — résultats préliminaires.....</b>	<b>104</b>	<b>Détection à distance des dépôts aurifères : Meadowbank (Nunavut) .....</b>	<b>109</b>
Marine Jouvent (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec, ULaval), Carl Guilmette (ULaval), Kyle Larson (UBC-Okanagan), Christiaan Laureijs, Jérémie Darveau (ULaval) et Myriam Côté-Roberge (MRNF)		Wasiq Lutfi et Georges Beaudoin (ULaval)	
<b>Apatite, exploration minérale et études de provenance : identification de la signature des apatites dans les granites de type I, A et S ...</b>	<b>105</b>	<b>Évaluation de la contribution de la mousse à la survie et la croissance de semis dans un cadre de revégétalisation minière .....</b>	<b>109</b>
Marie Kieffer, Sarah Dare (UQAC) et Marylou Gendron (UQAC, Explo-Logik)		Samuel Malo, Sébastien Roy, Isabelle Laforest-Lapointe et Jean-Philippe Bellenger (Université de Sherbrooke)	
<b>Géologie de la région de Kegaska, Côte-Nord du Golfe-du-Saint-Laurent, Province de Grenville, Québec, Canada .....</b>	<b>105</b>	<b>Étude de détail de la Moraine d'Harricana et implications sur la déglaciation des régions de l'Abitibi-Témiscamingue et la Jamésie .....</b>	<b>110</b>
Isabelle Lafrance et Yannick Daoudene (MRNF)		Thomas Malo, Martin Roy (UQAM) et Hugo Dubé-Loubert (MRNF)	
<b>Nouvelles stratégies de prévention du drainage neutre contaminé en As : séparation centrifuge et passivation des résidus désulfurés et filtrés .</b>	<b>106</b>	<b>Expériences cinétiques modifiées — une approche intégrative afin de déterminer le risque de drainage neutre contaminé des rejets miniers.....</b>	<b>110</b>
Eléonore Lagae Capelle, Lucie Coudert, Isabelle Demers et Carmen M. Neculita (IRME-UQAT)		Vincent Marmier, Benoît Plante, Isabelle Demers et Mostafa Benzaazoua (IRME-UQAT)	
<b>Récents levés de sédiments de fond de lac, Eeyou Istchee Baie-James.....</b>	<b>106</b>	<b>Géologie de la région du lac Serpentine, Orogène de l'Ungava, Nunavik, Québec, Canada .....</b>	<b>111</b>
Olivier Lamarche (MRNF)		Guillaume Mathieu, Marc-Antoine Vanier et Thomas Debruyne (MRNF)	
<b>Développements récents dans les analyses <i>in situ</i> du Lu-Hf dans le grenat et du Rb-Sr dans les micas par ablation laser ICP-MS/MS.....</b>	<b>107</b>	<b>Purification du graphite par la technique de la fusion alcaline-lixiviation acide .....</b>	<b>111</b>
Christiaan T. Laureijs (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec, ULaval), Kyle Larson (UBC- Okanagan), Guillaume Barré, Crystal Laflamme, Marine Jouvent, Jérémie Darveau, Carl Guilmette (ULaval) et Matthijs A. Smit (UBC)		Amira Merchichi, Jean-François Boulanger, Lucie Coudert (UQAT) et Claude Bazin (ULaval)	

<b>Lithogéochimie et chimie minérale des phases monzonitiques de l'intrusion néoarchéenne de Nekuashu, nord-est du Québec, Canada : implications pour l'immiscibilité des liquides et les minéralisations en ETR .....</b>	<b>112</b>
Nadia Mohammadi (CGC-Centre, Carleton University), Anne-Aurélié Sappin (CGC-Québec), David Corrigan (CGC-Centre, retraité), Neil Rogers (CGC-Centre), Kathryn Goodenough (British Geological Survey), Duane Petts (CGC-Centre), Nolwenn Coint (Geological Survey of Norway) et Tarryn Cawood (CGC-Centre)	
<b>Étude des minéralisations en éléments des terres rares ± Nb ± Ta, partie centrale de la Province de Grenville, Québec, Canada.....</b>	<b>113</b>
Abdelali Moukhsil et Mhamed El Bourki (MRNF)	
<b>Stratigraphie séquentielle et chiostratigraphie de la Plate-forme du Saint-Laurent dans la région de Montréal .....</b>	<b>113</b>
Claire Musajo (Université McGill), Héloïse Pinon, Joshua H.L. Davies, Morgann G. Perrot (UQAM) et Galen P. Halverson (Université McGill)	
<b>Caractérisation pétro-géochimique et rôle de la déformation dans la formation des gîtes de lithium de la région de La Motte-La Corne, Sous-province de l'Abitibi, Québec.....</b>	<b>114</b>
Hubert Mvondo (MRNF)	
<b>Isotopes stables du Sr (<math>\delta^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}</math>) des carbonates des gisements aurifères orogéniques de la région de Val-d'Or : implications pour des systèmes hydrothermaux .....</b>	<b>114</b>
Larissa De Santana Do Nascimento, Ross Stevenson (UQAM), Georges Beaudoin et Guillaume Raymond (ULaval)	
<b>Les altérations stratoïdes à carbonates de fer du camp de Selbaie : pétrogenèse et vecteur d'exploration pour les SMV.....</b>	<b>115</b>
Rémi Naulot, Dominique Genna, Sarah Dare (UQAC) et Jean-Daniel Fortin-Rhéaume (SOQUEM)	
<b>Modèles de régression pour la modélisation prédictive à l'échelle nationale des gisements de ETR ± Nb dans les carbonatites.....</b>	<b>115</b>
Mohammad Parsasadr, Christopher J.M. Lawley, Renato Cumani, Steven E. Zhang (CGC-Centre), Julie E. Bourdeau (CGC-Nord), Ernst Schetselaar et Nadiia Dehtiar (CGC-Centre)	
<b>La pyroxénite à titanite d'Aligas : une minéralisation inhabituelle en éléments de terres rares dans la région du Lac-Saint-Jean (Grenville central).....</b>	<b>116</b>
Federico Pingitore, Bertrand Rottier (ULaval), Abdelali Moukhsil (MRNF) et Marc Constantin (ULaval)	
<b>Téphrochronologie des bentonites ordoviciennes de la région de Montréal : la chimie du zircon et de l'apatite comme outil de corrélation stratigraphique.....</b>	<b>117</b>
Héloïse Pinon (UQAM), Claire Musajo (Université McGill), Joshua H.L. Davies, Alain Tremblay, Morgann G. Perrot (UQAM) et Galen P. Halverson (Université McGill)	
<b>Caractérisation des pegmatites du secteur du Batholite de La Motte, Sous-province de l'Abitibi, et implications pour l'exploration .....</b>	<b>117</b>
Sabrine Rajhi, Marc Legault (IRME-UQAT), Hubert Mvondo (MRNF) et Robin Potvin (Cégep A-T)	
<b>Mobilité des métaux au cours du métamorphisme prograde des ceintures métasédimentaires de la Province du Supérieur : implications pour les ressources en Au .....</b>	<b>118</b>
Diogo Ribeiro, Bertrand Rottier (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec, ULaval), Georges Beaudoin, Carl Guilmette (ULaval), Clifford Patten (Universität Innsbruck), Jochen Kolb (Karlsruher Institut für Technologie) et Iain Pitcairn (Stockholm Universitet)	
<b>Géochimie isotopique du mercure dans les gisements d'or archéens de l'Abitibi .....</b>	<b>119</b>
Bruna Saar de Almeida, Florent Bigot, David Widory, Stéphane De Souza, Michel Jébrak (UQAM), Jeroen Sonke, Stefano Salvi (Université Toulouse III — Paul Sabatier), Carmen M. Neculita et Mostafa Benzaazoua (IRME-UQAT)	
<b>Valorisation des stériles d'exploitation des phosphates dans la fabrication des matériaux de construction écologique et durable.....</b>	<b>119</b>
Sanae Sbi, Said Mansouri (Université Mohammed VI Polytechnique), Hassan Hannache (Université Mohammed VI Polytechnique, Université Hassan II Casablanca), Nawal Semlal (Office Chérifien des Phosphates), Youssef Tamraoui et Jones Alami (Université Mohammed VI Polytechnique)	
<b>Un fertilisant biologique à partir des apatites du lac à Paul.....</b>	<b>120</b>
David Sénéchal, L. Paul Bédard, Julien Walter (UQAC) et Raphaël Gaudreault (Arianne Phosphate)	

<b>Modèle de poche de compaction : une perspective sur la distribution des minéraux critiques dans la Province de Grenville .....</b>	<b>120</b>	<b>Géologie de la région de Baie Déception, Orogène de l'Ungava, Nunavik, Québec.....</b>	<b>125</b>
Azam Soltanmohammadi, Louise Corriveau (CGC-Québec) Aphrodite Indares (Memorial University of Newfoundland), Michel Rabinowicz (Université Toulouse-III-Paul Sabatier) et Abdelali Moukhsil (MRNF)		Marc-Antoine Vanier et Carl Bilodeau (MRNF)	
<b>Mylonites, mylonites et mylonites : une excursion conjointe CTG-INRS-MRNF dans la Zone de cisaillement de Saint-François-de-Sales, Province de Grenville.....</b>	<b>121</b>	<b>La minéralisation en Nb dans les carbonatites du Saguenay : de l'origine à la mise en place .....</b>	<b>125</b>
Renaud Soucy La Roche, Eve Gosselin (INRS-ETE), Yannick Daoudene, Abdelali Moukhsil et Mhamed El Bourki (MRNF)		Nils Van Weelderen, L. Paul Bédard (UQAC), Anne-Aurélie Sappin (CGC-Québec) et Michel Grégoire (Université Toulouse III — Paul Sabatier)	
<b>Géologie de la région du lac Jalobert, Province de Grenville, région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, Québec, Canada ...</b>	<b>121</b>	<b>Espace Hubert-Reeves et Géoparc de Charlevoix .....</b>	<b>126</b>
Francis Talla Takam et Abdelali Moukhsil (MRNF)		Pierre Verpaelst (Observatoire de la Géosphère de Charlevoix) et Jean-Michel Gastonguay (Sciences@CECC)	
<b>Préconcentration du cobalt et de l'arsenic : valorisation des résidus miniers âgés .....</b>	<b>122</b>	<b>Minéralogie et géochimie du gîte de Moblan, un essaim de dykes de pegmatite LCT minéralisés en lithium (Eeyou Istchee Baie-James) .....</b>	<b>127</b>
Samuel Teillaud (IRME-UQAT, Université de Lorraine), Lucie Coudert (IRME-UQAT), Baptiste Laubie, Jean Louis Morel (Université de Lorraine), Marie Guittony (IRME-UQAT) et Marie-Odile Simonnot (Université de Lorraine)		Antoine Vigne (Université McGill), Aurélien Eglinger (InnovExplo), Anthony Williams-Jones, Olga Vasyukova (Université McGill) et Carl Corriveau (Sayona Québec)	
<b>Cartographie pétro-géochimique par XRF portative de la marge sud de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (secteur de Saint-Bruno-Arvida) et ses minéralisations de Fe-Ti-V-P associées, Province de Grenville central, Québec .....</b>	<b>122</b>	<b>Décoder la chronologie du métamorphisme polyphasé dans la région de la Mauricie, Province de Grenville centrale, Québec .....</b>	<b>127</b>
Théo Hassen Ali, Sarah Dare, Renée-Luce Simard (UQAC) et Abdelali Moukhsil (MRNF)		Muhammad Zahoor Iqbal et Renaud Soucy La Roche (INRS-ETE)	
<b>Améliorer la résolution des données magnétiques grâce à l'apprentissage profond .....</b>	<b>123</b>		
Shiva Tirdad (CGQ-Québec), Mojtaba Bavand Savadkoohi; Erwan Gloaguen (INRS-ETE), Matthieu Cedou (Mira Géoscience) et Martin Blouin (Geostack)			
<b>Caractérisation de l'évolution du magmatisme paléoprotozoïque du Domaine Sud, ceinture de Cape Smith, Nunavik, Québec.....</b>	<b>124</b>		
Simon Tournier, Cristina Accotto, Crystal LaFlamme, Carl Guilmette (ULaval), Marc-Antoine Vanier et Guillaume Mathieu (MRNF)			
<b>Évaluation de la distribution des éléments de terres rares et des radionucléides durant la flottation.....</b>	<b>124</b>		
Mahamadou Traoré, Jean-François Boulanger, Lucie Coudert (UQAT) et Dominic Larivière (ULaval)			

## Interprétation paléogéographique des domaines sud et nord de l'Orogène d'Ungava : résultats préliminaires

**Cristina Accotto, Crystal LaFlamme, Carl Guilmette (ULaval), Kyle Larson (UBC-Okanagan), Guillaume Mathieu, Marc-Antoine Vanier (MRNF), Sacha Lafrance et Simon Tournier (ULaval)**

L'étude et la reconstruction de la paléogéographie des terrains impliqués dans une ceinture orogénique revêtent une importance cruciale pour la compréhension de l'évolution tectonique de ces terrains. Dans l'Orogène paléoprotérozoïque d'Ungava (OU, Nunavik, Québec), cinq domaines lithotectoniques ont été historiquement identifiés en fonction de leur composition et de leur évolution métamorphique. La reconstruction paléogéographique de ces domaines n'a été que partiellement esquissée. Dans ce contexte, nous avons réalisé des analyses géochronologiques U-Pb sur des zircons détritiques et magmatiques pour obtenir de nouvelles informations sur les sources sédimentaires potentielles des roches métasédimentaires paléoprotérozoïques des domaines sud et nord de l'OU et ainsi définir leur position paléogéographique initiale.

Les résultats préliminaires de cette étude révèlent la présence de trois groupes d'échantillons caractérisés par des distributions d'âges distinctes : (G1) des échantillons du Domaine Sud qui n'enregistrent que des âges archéens (> 2,6 Ga); (G2) des échantillons du Domaine Nord qui présentent des âges archéens à paléoprotérozoïques, avec des pics plus ou moins prédominants à environ 2,3-2,4 Ga; et (G3) des échantillons des domaines Sud et Nord caractérisés presque exclusivement par des âges paléoprotérozoïques tardifs (environ 1,9 Ga).

Ces résultats permettent de distinguer les sources des roches métasédimentaires des domaines Sud et Nord, avec une affinité avec le craton du Supérieur (c'est-à-dire > 2,6 Ga) pour le premier et avec la Province de Churchill (avec des pics à environ 2,3-2,4 Ga) pour le second. Les échantillons du groupe G3, en revanche, semblent être répandus dans les deux domaines, indiquant un événement magmatique à environ 1,9 Ga qui a affecté à la fois la marge continentale du craton du Supérieur et celle de la Province de Churchill (c'est-à-dire associé à une phase de rift). Les résultats de cette étude, bien que préliminaires, fournissent des informations importantes pour l'interprétation paléogéographique et la reconstruction des terrains de l'OU avant l'orogénèse. Nos données, en fait, appuient les interprétations antérieures selon lesquelles le Domaine Sud faisait partie de la marge passive du craton du Supérieur au Paléoprotérozoïque. Néanmoins, la découverte la plus remarquable est l'affinité du Domaine Nord avec la Province de Churchill, ce qui le place dans une position plus septentrionale (p. ex., près du terrain de *Meta Incognita*) par rapport à ce qui avait été précédemment interprété (c'est-à-dire au sud du rift).

## Les carbonatites et les fénites au nord de Gatineau : cartographie et potentiel pour les minéralisations en éléments de terres rares

**Ismail Ait Bouallal, Marc Legault, (UQAT), Hubert Mvondo (MRNF) et Robin Potvin (Cégep A-T)**

Les lanthanides ou éléments de terres rares (ETR) sont qualifiés par le Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques, comme des métaux stratégiques étant donné leurs utilisations dans le domaine de la haute technologie et les risques d'approvisionnement élevés. La découverte et l'évaluation minutieuse des gisements primaires d'ETR sont donc hautement prioritaires.

Au Québec, les gîtes d'ETR sont associés essentiellement à des intrusions alcalines ou des carbonatites, ces dernières constituant les plus grands gisements des terres rares au monde.

Dans le secteur de l'Outaouais, plus précisément au nord de Gatineau, à l'extrémité SW de la Province géologique de Grenville, les dykes des carbonatites sont orientés N-S à NE-SW. Ils sont encaissés dans les roches métamorphiques (gneiss, amphibolites, marbres et quartzites) de la ceinture Allochtone monocyclique. Cet ensemble est également recoupé par des dykes de pegmatites centimétriques à métriques et par des intrusions felsiques granitiques à syénitiques.

La minéralogie des dykes des carbonatites cartographiés est dominée par la calcite, la dolomite, l'apatite et d'autres silicates en plus faibles proportions. Ces dykes sont généralement équigranulaires avec des structures variant de massive, rubanée ou couramment bréchique avec des enclaves de roche encaissante (gneiss, quartzite, pegmatite, sulfures massifs). Géochimiquement, ces carbonatites sont subdivisées en calciocarbonatite et magnésiocarbonatite avec des teneurs en ETR dépassant 400 ppm et atteignant par endroits plus de 4 %.

La mise en place des carbonatites est associée à un métasomatisme de l'encaissant (fénite) qui se développe autour des intrusions. La zone d'étude est cependant caractérisée par une fénitisation très étendue spatialement par rapport à la taille de ces dykes de carbonatites métriques. Les observations de terrain ont permis de distinguer une fénitisation potassique tardive à feldspath potassique, hématite et phlogopite ainsi qu'une fénitisation sodique biphasée précoce et tardive à pyroxène sodique (ægirine) et amphibole sodique bleutée. Ces fénites montrent également un enrichissement en ETR pouvant atteindre plus de 1 %.

Ces travaux permettent d'accroître nos connaissances sur le potentiel en ETR des carbonatites et des fénites du secteur de l'Outaouais et d'identifier les phases porteuses de ces éléments ainsi que les structures minéralisées.



## Deux événements temporellement distincts de formation de pegmatites granitiques riches en ETR dans les régions de la Mauricie et du Lac-Saint-Jean, Province de Grenville centrale

Pedro Alves, Bertrand Rottier, Crystal LaFlamme (ULaval), Abdelali Moukhsil (MRNF), Joshua Davies et Morgann Perrot (UQAM)

Des essais de dykes de pegmatite granitique riches en terres rares légères (TRL) sont de plus en plus reconnus dans l'arrière-pays de l'Orogène grenvillien. Ces essais de dykes sont pour la plupart intrusifs dans la ceinture Alloch-tone de moyenne pression (ceinture AMP), qui comprend des terranes métamorphisés dans des conditions des faciès amphibolite à granulite. Cette étude porte sur les relations de terrain, les assemblages minéraux, les données géochimiques et géochronologiques de neuf pegmatites riches en éléments de terres rares (ETR) et en U dans les régions de la Mauricie et du Lac-Saint-Jean (ceinture AMP centrale). Les dykes de pegmatite décimétriques à métriques (jusqu'à 10 m d'épaisseur) sont faiblement à non déformés et recourent une large gamme de types de roches (roches méta-ignées mafiques et felsiques, métasédimentaires). La plupart de ces roches hôtes ont connu des conditions supra-solidus et présentent des leucosomes *in situ* parallèles à la foliation tectonique. Les dykes de pegmatite granitique, de composition monzogranitique et syénogranitique à feldspath alcalin, sont principalement composés de quartz, de feldspath potassique et de plagioclase avec un peu de biotite, d'amphibole, de magnétite et, localement, de grenat. Les phases accessoires sont l'allanite, le zircon, l'apatite, la monazite, le xénotime, le pyrochlore, l'ilménite, la pyrite et la thorite. Dans tous les dykes de pegmatite étudiés, l'allanite est le principal minéral hôte des ETR et est généralement à grain moyen à très grossier (cristaux jusqu'à 7 cm). Ces pegmatites sont principalement faiblement hyperalumineuses (ASI = 1,0 à 1,1), magnésiennes à majoritairement ferrifères et calco-alcalines à alcalines à forte teneur en K. Les valeurs totales en ETR + Y des échantillons enrichis en ETR varient de ~3000 à ~28 000 ppm et sont principalement associées aux TRL. Quelques échantillons affichent également des teneurs élevées en Nb, Zr et Th qui atteignent respectivement ~2100 ppm, ~6800 ppm et ~1800 ppm. Presque tous les échantillons affichent de faibles teneurs en Be, Cs et Rb. Les données U-Pb sur zircons (LA-ICP-MS) des neuf dykes de pegmatite nous permettent de distinguer deux groupes : un groupe plus âgé qui donne des âges compris entre 1061 ±6 Ma et 1044 ±9 Ma (âges ottaviens) et un groupe plus jeune avec des âges entre 1009 ±4 Ma et 990 ±9 Ma (âges Rigolet). Tous ces âges sont interprétés comme des âges de cristallisation. Ces deux groupes présentent des assemblages minéraux similaires et ne montrent pas de différences chimiques notables. Aucune évidence de terrain sans équivoque d'intrusions parentales génétiquement liées à ces dykes de pegmatite n'a été identifiée. Un débat est en cours quant à savoir si ces filons constituent les produits de la différenciation avancée d'intrusions granitiques ou résultent directement d'un processus d'anatexie. Dans ce

dernier cas, les deux générations de pegmatites identifiées dans la zone étudiée indiqueraient l'existence d'au moins deux événements minéralisateurs en ETR dans la Province de Grenville centrale. Ces deux épisodes seraient séparés par un intervalle d'environ 50 Ma et seraient associés respectivement aux phases ottavienne et de Rigolet.

## Prédiction de la résistance mécanique des remblais miniers en pâte cimentés par des approches d'intelligence artificielle

Mariem Amri, Tikou Belem, Hatem Mrad (UQAT), Louis-Philippe Gélinas (Mines Agnico Eagle) et Faouzi Masmoudi (École nationale d'ingénieurs de Sfax, Tunisie)

À l'ère du numérique, l'industrie minière aura besoin de disposer d'outils puissants pour prédire les propriétés mécaniques des remblais miniers afin de sélectionner les recettes optimales des mélanges de remblai en pâte cimenté (RPC) et de satisfaire aux contraintes technico-économiques de l'exploitation. Les techniques de pointe d'intelligence artificielle (IA), d'apprentissage automatique (*Machine Learning* — ML) et d'apprentissage profond (*Deep Learning* — DL) ont connu récemment des progrès notables et peuvent maintenant être employées dans le secteur minier.

C'est dans cette perspective que s'inscrit l'objectif de développer des modèles de ML et un réseau de neurones profond (*Deep Neural Network* — DNN) pour prédire la résistance à la compression uniaxiale (UCS) des remblais en pâte cimentés. Pour ce faire, de nombreuses données de laboratoire ont été collectées dans les exploitations de Mines Agnico-Eagle afin de construire une base de données (BD). Avant l'apprentissage des modèles de ML et la mise en œuvre du DNN, un prétraitement des données et des analyses ont été réalisés sur cette BD, ce qui a également permis d'optimiser les hyperparamètres des modèles. En s'appuyant sur des indicateurs de performance, les modèles de prédiction les plus performants ont été sélectionnés. Ainsi, le GBR et le DNN ont donné des coefficients de détermination (R) de 0,970 et 0,969 respectivement. Ces modèles ont été validés en laboratoire par la préparation de nouveaux mélanges de RPC.

Une application Web sera développée dans le but de mettre ces modèles en production et de faciliter leur utilisation par l'industrie minière.

## Géologie de la région du lac Michaux, sous-provinces de La Grande et d'Opatca, Eeyou Istchee Baie-James

Daniel Bandyayera, Nicolas Talon et Gaëlle St-Louis (MRNF)

Le levé géologique de la région du lac Michaux, effectué durant l'été 2023, couvre le feuillet 32P13. Ce secteur est situé à environ 200 km au nord de Chibougamau et 160 km à l'est de Nemaska, au sud de la rivière Eastmain.

La partie nord de la région constitue l'extension orientale de la ceinture du Lac des Montagnes (Sous-province de La Grande). Elle est principalement formée d'un ensemble métasédimentaire assigné à la Formation de Voirdey (paragneiss à biotite ± grenat, paragneiss à biotite-grenat ± cordiérite ± sillimanite, arénite, quartzite, formations de fer), localement migmatitisé, contenant d'importantes injections de pegmatite granitique blanche à biotite ± grenat ± muscovite ± tourmaline. La séquence sédimentaire s'est déposée en partie sur la séquence volcanique du Groupe du Lac des Montagnes ou est en contact structural avec les roches plutoniques et gneissiques des complexes de la Hutte et de Théodat qui sont interprétés comme le socle des unités volcano-sédimentaires.

La séquence volcanique du Groupe du Lac des Montagnes regroupe de minces bandes discontinues de 200 m à 1 km de largeur et jusqu'à 5 km de longueur constituées de basalte amphibolitisé ou de volcanoclastites felsiques à intermédiaires. Elle est localisée généralement au contact avec le Complexe de Théodat ou les dômes gneissiques du Complexe de la Hutte. Des intrusions mafiques-ultramafiques kilométriques sont observées au sein des séquences volcaniques et métasédimentaires.

La partie sud du secteur, associée à la Sous-province d'Opatca, est constituée d'un ensemble de gneiss tonalitique, de tonalite, de granodiorite, de monzodiorite quartzifère, de granodiorite porphyroïde et de granite assigné au Complexe de Théodat. Ce dernier contient trois importantes bandes de roches volcano-sédimentaires orientées E-W assignées au Groupe de Michaux (nouvelle unité). Ces bandes de 10 à 18 km de longueur et 100 à 500 m de largeur contiennent généralement des filons-couches de péridotite et de pyroxénite.

À l'exception des roches intrusives tardives, les roches du secteur présentent une déformation diffuse et relativement homogène caractérisée par une foliation pénétrative. Elle est principalement orientée E-W à NW-SE avec un fort pendage dans le La Grande, alors qu'elle est structurée en dômes et bassins dans l'Opatca.

Nos travaux montrent que le contact La Grande-Opatca constitue un important métallotecte régional s'étendant sur des centaines de kilomètres. Des zones favorables pour différents types de minéralisations ont été identifiées : 1) minéralisations polymétalliques de type SMV; 2) minéralisations associées à des formations de fer rubanées de type Algoma; 3) minéralisations en Ni-Cu-EGP associées aux intrusions mafiques-ultramafiques; 4) potentiel en Li-Cs-Ta associé aux pegmatites blanches; 5) minéralisations aurifères associées aux zones de déformation.

## Détermination rapide de la teneur en or à l'aide d'un système portatif de spectroscopie laser plasma (LIBS)

Leo Barbosa, Marc Constantin, Jocelyn Bouchard (ULaval), Francis Boismenu, André Beauchesne, Aïssa Harhira, Paul Bouchard, Mohamad Sabsabi (Conseil national de recherche Canada) et Marcel Laflamme (InnovExplo)

Un projet de recherche portant sur la mesure quantitative de l'or à l'aide de la technologie LIBS (*Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*) est en cours à l'Université Laval avec le soutien de l'Association minière du Québec, Agnico Eagle Mine Canadien Malartic et Mine Odyssey, le Conseil national de recherches Canada et InnovExplo. Ce projet vise le développement d'une méthode pour intégrer l'analyse et la caractérisation du minerai aurifère par spectroscopie laser plasma (SLP, également connue sous l'acronyme anglais LIBS) dans la chaîne de production de l'or. La LIBS est une technologie analytique émergente dotée d'un grand potentiel pour l'industrie minière. Elle utilise un faisceau laser focalisé pour vaporiser une petite fraction de la surface d'un échantillon, formant ainsi un plasma émettant de la lumière. Des spectromètres et des détecteurs analysent le spectre ainsi émis, ce qui permet de déterminer la composition chimique de l'échantillon. L'utilisation de matériaux de référence permet de quantifier un élément d'intérêt en établissant un lien entre l'intensité de son signal et sa concentration. Cette technique permet d'obtenir rapidement des mesures quantitatives des éléments présents dans les matériaux minéralisés, offrant ainsi une analyse en temps réel sur place qui facilite une prise de décision rapide et économique dans les domaines de l'exploration et de l'extraction minière, notamment pour différencier le minerai des stériles. Cependant, des défis subsistent quant à l'application de cette technique aux minerais aurifères, tels que la distribution intrinsèque et naturellement hétérogène de l'or dans les matériaux minéralisés à matrices variables, ainsi que la représentativité du processus d'échantillonnage. La présente étude vise à quantifier les concentrations d'or dans différents types d'échantillons minéralisés à faible teneur (~1 ppm) provenant des mines Canadian Malartic et Odyssey à l'aide d'un prototype d'analyseur LIBS portatif développé par le Conseil national de recherches Canada. L'étalonnage de l'équipement a été réalisé et validé avec des matériaux de référence certifiés qui ont été dopés avec des solutions d'or de concentrations connues. Les résultats démontrent la capacité de l'instrument à identifier et à mesurer l'or à basse teneur et de manière reproductible. Ils révèlent aussi l'influence de la distribution granulométrique des échantillons, leur manipulation et l'hétérogénéité de la répartition de l'or sur la précision des mesures. Ce constat souligne l'importance de la rigueur requise lors des étapes d'échantillonnage, ainsi que de la préparation/comminution des échantillons.

## Stratigraphie et géochimie de la Formation de Blondeau, secteur du ruisseau aux Alouettes (SNRC 32G13), Sous-Province de l'Abitibi

Guillaume Bats, Pierre-Simon Ross (INRS-ETE),  
Mélanie Beaudette et Yannick Daouene (MRNF)

Ce projet de maîtrise à l'INRS a débuté en juin 2022 et s'est déroulé dans le cadre du projet de cartographie « Ruisseau aux Alouettes » du MRNF. Dans le secteur de Chapais-Chibougamau (NE de la Sous-province de l'Abitibi), la majeure partie des roches volcaniques néoarchéennes sont associées au Groupe de Roy. Le projet touche particulièrement la Formation de Blondeau appartenant au second cycle volcanique du Groupe de Roy, dans le feuillet 32G13. Les méthodes employées incluent la cartographie régionale et de détail en association avec des analyses géochimiques et pétrographiques.

L'été 2022 a permis de lever un transect lithologique d'environ 7,3 km d'orientation NE-SW dans la portion occidentale du secteur cartographié, perpendiculairement à la stratigraphie. Huit unités lithologiques distinctes, divisées en une partie nord et sud, ont été définies dans la Formation de Blondeau. Les roches volcaniques sont globalement de composition intermédiaire à felsique et d'affinité calco-alcaline. Les deux parties se distinguent par leurs caractéristiques lithologiques et géochimiques et présentent globalement une polarité stratigraphique vers le nord. Elles sont séparées l'une de l'autre par la Zone de cisaillement de Kreighoff.

Dans la partie sud, la base de la séquence est dominée par des volcanoclastites intermédiaires sans quartz, (nAbl2e) ou avec quartz (nAbl2f). Cet ensemble de roches est intercalé avec le Filon-couche d'Esturgeon. Une rhyodacite amygdalaire (nAbl3) est présente au nord du filon-couche. Au sommet, une unité de roche sédimentaire (nAbl4a) est composée essentiellement de grès et de mudrock avec des séquences turbiditiques et est localement conglomératique.

Dans la partie nord du secteur, à la base de la séquence, l'unité nAbl2d est principalement constituée de lave cohérente et de volcanoclastite andésitique intercalées avec des unités volcanoclastiques intermédiaires constituées de fragments riches en cristaux d'amphibole (nAbl2c) ou de plagioclase (nAbl2e). Un mince niveau suivi sur environ 6 km de long qui regroupe plusieurs lentilles de sulfures (nAbl2b) sépare l'unité précédente de l'unité sommitale (nAbl2a) constituée d'une alternance de coulées de basalte-andésite coussinées, massives et bréchiques.

Dans le secteur, les caractéristiques de la plupart des faciès observés (p. ex. turbidites, laves peu vésiculaires, fragments denses dans les roches volcanoclastiques) suggèrent une mise en place en milieu marin profond (>500 m?). Cependant, d'autres observations comme l'abondance de roches volcanoclastiques ou la présence de conglomérats sont compatibles avec le remplissage progressif du bassin (diminution de la profondeur d'eau). Toutefois, nous n'avons pas observé d'évidence d'émergence ou d'activité subaérienne.

## Une revue complète des méthodes d'apprentissage automatique pour l'inversion magnétique 3D : des approches conventionnelles aux approches de pointe

Mojtaba Bavandsavadkoohi (INRS-ETE), Shiva Tirdad (CGQ-Québec), Erwan Gloaguen (INRS-ETE) et Matthieu Cedou (Mira Geoscience)

L'apprentissage automatique occupe une place de plus en plus importante dans les sciences de la Terre en raison de son efficacité dans la résolution de problèmes réels de forte dimensionnalité. Cette approche efficace trouve de plus en plus d'applications dans la résolution de problèmes géophysiques complexes associés à divers types de données, notamment les données sismiques, électromagnétiques et magnétiques, pour des tâches telles que la détection des failles, la classification des formes d'onde et l'inversion. Dans le cadre de cette recherche, nous avons entrepris une étude approfondie des forces et des faiblesses inhérentes à diverses méthodes d'apprentissage automatique, allant des approches traditionnelles aux approches de pointe, aux fins de l'inversion magnétique 3D. En règle générale, dans le cas des méthodes d'apprentissage automatique non génératives, il est essentiel de disposer d'une quantité substantielle de données d'apprentissage. Cependant, dans le domaine des sciences de la Terre, il est impossible d'acquérir de véritables cartes magnétiques et des modèles 3D de susceptibilité réelle correspondants. Par conséquent, nous nous sommes tournés vers la création de modèles 3D de susceptibilité synthétiques comme approche alternative pour obtenir une quantité de données suffisante. Pour atteindre cet objectif, nous avons généré un nombre important de modèles de susceptibilité et avons ensuite calculé leurs réponses magnétiques aéroportées correspondantes à l'aide d'une modélisation géophysique directe. Après avoir préparé cette base de données synthétique, nous avons utilisé diverses approches d'apprentissage automatique, notamment les méthodes Random Forest (RF), l'apprentissage profond, notamment les réseaux entièrement connectés, les réseaux neuronaux convolutifs (CNN), AlexNet modifié, U-Net et U-Net avec mécanisme d'attention. L'expérience démontre que la plupart des méthodes d'apprentissage automatique présentent des performances similaires à partir de ces données d'apprentissage. Cependant, par rapport aux méthodes traditionnelles plus simples, U-Net et U-Net avec mécanisme d'attention offrent des performances supérieures dans la prédiction de la susceptibilité magnétique pour l'ensemble de données de test. Les temps d'apprentissage diffèrent selon les modèles. Cependant, une fois que le modèle d'apprentissage automatique a été entraîné, le processus de prédiction de nouveaux modèles de susceptibilité basés sur des cartes magnétiques peut être achevé en une fraction de seconde.

## Analyse d'exergie d'un procédé de carbonatation minérale de résidus miniers de serpentine

Mohamed Aziz Ben Rhouma, Ilies Tebbiche et Louis-César Pasquier (INRS-ETE)

Dans un contexte mondial de changement climatique, l'optimisation énergétique des procédés industriels devient une pratique indispensable et se trouve au cœur des solutions pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Dans la recherche en cours, un outil informatique d'analyse d'exergie sera développé en vue d'augmenter l'efficacité énergétique d'un procédé chimique de carbonatation minérale. Celui-ci consiste à faire réagir des résidus miniers de serpentine avec du dioxyde de carbone pour former de l'oxyde de magnésium de haute pureté. Ce procédé présente une solution doublement intéressante qui permet non seulement de réduire les émissions de GES, principalement le CO<sub>2</sub>, mais encore d'avoir un produit à valeur ajoutée en donnant une nouvelle vie aux résidus. L'exergie est considérée comme étant le travail utile maximal obtenu lorsqu'un système atteint les conditions ambiantes. Elle est classée en quatre sections : physique, chimique, cinétique et potentielle. L'analyse d'exergie permettra de situer les sources d'irréversibilités thermodynamiques du système en question et de proposer des pistes d'optimisation pour les contourner, avec pour conséquence une consommation énergétique globale optimisée. Pour l'étude en cours, les exergies cinétique et potentielle seront négligées en raison de leur faible contribution aux calculs de l'exergie totale. Bien que certains logiciels de simulation, tels que Aspen Plus, soient capables de calculer l'exergie physique, ces derniers ne couvrent pas l'aspect chimique. L'innovation de ce travail de recherche consiste donc à développer un logiciel considérant à la fois l'exergie physique et chimique en plus d'être libre d'accès, ce qui offre l'avantage de gratuité par rapport aux logiciels payants et permet de l'utiliser pour d'autres procédés en faisant les modifications nécessaires.

## Datation et analyse de multiples isotopes de soufre au dépôt aurifère de Bonnefond, Val-d'Or

François-Xavier Bonin, Crystal LaFlamme et Georges Beaudoin (ULaval)

La majeure partie de l'or extrait de nos jours au Canada provient de veines de quartz dans les dépôts de type orogénique. Dans la ceinture abitibienne, il est estimé que plus de la moitié de l'or provenant de minéralisations de ce type est associé aux veines de quartz-carbonate syndéformations à tardidéformations. Cependant, plusieurs gisements d'or de la région manquent encore de données concrètes permettant de déterminer l'âge et la source de la minéralisation. Une description des lithologies et de la paragenèse des veines associées avec l'or a permis d'établir la chronologie générale des événements au dépôt aurifère du corridor de Bonnefond. Le toit du corridor de déformation est composé d'un assemblage de basaltes et de tufs mafiques, tandis que le mur est principalement constitué d'andésites. Une intrusion cylindrique de tonalite est entourée d'une couronne de diorite porphyrique. Une altération propylitique omniprésente est suggérée par la présence de l'assemblage chlorite ± épidote ± séricite secondaires dans la majorité des unités. Une première génération de veines prédéformations de calcite + chlorite + pyrite est généralement pauvre en or (< 0,5 g/t en moyenne). Ces veines sont communes et coupent toutes les lithologies principales du site de Bonnefond. Un deuxième type de veines, postérieur à la déformation principale, est composé de quartz + carbonate ± chlorite ± pyrite ± chalcopryrite (QC) et atteint des teneurs moyennes d'or > 3,5 g/t. Ces veines sont recoupées par des veines de quartz + tourmaline + carbonate ± chlorite ± pyrite ± chalcopryrite (QTC) qui présentent des teneurs d'or similaires aux veines QC. Les veines QTC sont concentrées dans l'intrusion de tonalite-diorite et sont localement associées à une altération potassique en profondeur. Dans la tonalite, les veines QTC semblent être liées à un blanchiment intense (albite + séricite) et à une altération en fuchsite des xénolites de tufs mafiques. De plus, les trois types de veines présentent occasionnellement des minéraux de sulfates tels que l'anhydrite et la barytine. Nos résultats suggèrent que le gîte aurifère de Bonnefond a connu une histoire complexe. Notre objectif est de mieux comprendre le transport et la déposition de l'or de type orogénique par des analyses isotopiques par LA-ICPMS afin de révéler l'âge des veines et leur composition en isotopes de soufre.

## Végétalisation du parc à résidus miniers de la mine Éléonore : concilier les attentes du maître de trappe du VC-29, de la communauté crie et la performance du recouvrement minier

Mohamed Kadiatou Cissé, Marie Guittonny (IRME-UQAT-Polytechnique Montréal), Arn Keeling (Memorial University of Newfoundland) et Bruno Bussière (IRME-UQAT-Polytechnique Montréal)

La mine Éléonore est située en territoire crie et la communauté crie est impliquée dans le processus de restauration du site. Le parc à résidus miniers (PAR), situé sur le territoire du maître de trappe (*tallyman*) du VC-29, sera restauré en utilisant un système de recouvrement végétalisé. Or, la présence de certaines plantes présentant un enracinement assez profond, qui pourraient être priorisées par le tallyman, doit être compatible avec les caractéristiques techniques et les performances du système de recouvrement, lequel vise à contrôler la contamination des eaux de drainage du PAR à court et à long terme. Ce projet de recherche a premièrement pour but de définir la vision du tallyman et des différentes parties prenantes concernant le scénario de végétalisation du PAR d'Éléonore. Ces divers intervenants participent au processus de conception conjointe mis en place par la mine. Deuxièmement, le projet vise à déterminer si les communautés de plantes priorisées par le tallyman présentent un risque à court et/ou à long terme pour la performance du recouvrement. Dans cette affiche, l'approche de conception conjointe est d'abord expliquée. Les enquêtes réalisées auprès des parties prenantes, qui ont consisté en des entretiens semi-structurés, sont ensuite décrites. Cette première partie présente également une analyse thématique des résultats obtenus pour les aspects suivants : gouvernance de l'intégration de la vision autochtone dans le processus de végétalisation du PAR, visions des parties prenantes sur le scénario de revégétalisation et défis liés à l'intégration de la vision autochtone dans le processus de végétalisation. La seconde partie détaille la méthodologie utilisée pour vérifier la compatibilité de la vision du tallyman avec le maintien de la performance technique de la restauration. Nous donnons ensuite les résultats de l'étude du système racinaire des plantes priorisées par le tallyman pour la végétalisation du PAR. Ultiment, le présent travail permettra de recueillir, d'évaluer et d'intégrer, si possible, les attentes du tallyman au scénario de végétalisation et de restauration du PAR d'Éléonore. Il permettra également d'ajuster l'épaisseur de la couche de protection du recouvrement multicouche requise pour maintenir sa performance en présence de la végétation ciblée par le tallyman.

## Évolution magmatique du complexe intrusif archéen d'Upper Beaver et implications pour la minéralisation Au-Cu

Michael Cloutier, Bertrand Rottier (ULaval), Ross Sherlock (U. Laurentienne), Georges Beaudoin (ULaval), Jonathan Sutton (U. Laurentienne et Mines Agnico Eagle), Olivier Côté-Mantha (Mines Agnico Eagle), Joshua Davies et Morgann Perrot (UQAM)

La rareté des grands gisements magmatiques-hydrothermaux archéens à Au-Cu constitue une entrave à l'étude des processus contrôlant la fertilité en métaux de ces minéralisations. Par rapport au Phanérozoïque, ce type de gisement est rare dans les terranes archéens, un phénomène qui a été attribué de manière variable à des différences de milieu géodynamiques, à un faible potentiel de préservation et/ou à des variations de conditions physicochimiques (P, T,  $fO_2$ ,  $fS_2$ , concentrations de Cl et de S) au cours de l'évolution magmatique. Le gisement d'Au-Cu lié à l'intrusion d'Upper Beaver, associé au complexe intrusif archéen d'Upper Beaver (UBIC), représente une rare occasion d'étudier ces hypothèses. L'UBIC est un complexe intrusif polyphasé qui comprend des phases préminéralisations, synminéralisations et post-minéralisations. La géochimie de la roche totale suggère que l'UBIC s'est formé par mélange magmatique entre un magma sanukitoïde mafique à intermédiaire dérivé du manteau et un magma TTG intermédiaire à felsique dérivé d'une croûte basaltique. Les phases de l'UBIC associées à la minéralisation Au-Cu ( $\pm$  Mo) ont une affinité magmatique TTG. La géochronologie des zircons par LA-ICP-MS montre que toutes les phases de l'UBIC se sont mises en place autour de 2680 Ma, ce qui est cohérent avec les données géochronologiques précédentes (U-Pb sur zircons et Re-Os sur la molybdénite). La géochimie des éléments en traces dans le zircon et l'amphibole a permis de déterminer les conditions géothermométrique et oxybarométrique de l'intrusion. Les températures de cristallisation de l'UBIC sont comprises entre 800 °C et 1000 °C et varient en fonction du degré de différenciation des roches. Les valeurs de fugacité de l'oxygène pour la plupart des phases se situent entre 1,8 et +2,7  $\Delta FMQ$ , ce qui est similaire aux valeurs des magmas d'arc phanérozoïques. Un porphyre à plagioclase préminéralisation à synminéralisation, avec des valeurs de  $fO_2$  de -1  $\Delta FMQ$ , fait toutefois exception à cette règle. La géochimie de l'apatite révèle une distribution bimodale des teneurs en soufre, les phases TTG plus felsiques associées à la minéralisation montrant des teneurs en soufre plus faibles (0,00 % à 0,15 % S en poids) que les phases sanukitoïdes plus mafiques (0,18 % à 0,33 % S en poids). En outre, les anomalies en Eu négatives et la faible teneur en Sr dans l'apatite des phases TTG indiquent une cristallisation précoce du plagioclase. Cela suggère que la teneur élevée en  $H_2O$  magmatique ne constitue peut-être pas un facteur clé pour les minéralisations Au-Cu magmatiques-hydrothermales dans les systèmes archéens. L'UBIC présente des caractéristiques similaires à celles des systèmes Cu-Au magmatiques-hydrothermaux phanérozoïques, ce qui suggère que les différences de conditions physicochimiques n'expliquent pas la rareté de ce type de gisements à l'Archéen.

## Géologie de la région du lac Cadet, sous-provinces d'Opinaca et de La Grande, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada

Myriam Côté-Roberge et William Chartier-Montreuil (MRNF)

Un levé réalisé au cours de l'été 2022 a mené à la production d'une nouvelle carte géologique à l'échelle 1/50 000 de la région du lac Cadet (feuillelet SNRC 33B06, 33B10 et 33B11) à environ 60 km à l'est de la mine Éléonore. Il correspond à la suite du projet entamé dans la région du lac Conviac à l'été 2021. La cartographie avait comme objectif de préciser la limite entre les sous-provinces d'Opinaca et de La Grande, un métallotecte aurifère important qui correspond dans le secteur à une grande zone de cisaillement NNE-SSW, la Zone de cisaillement de Prosper (CSpro).

Au nord de la CSpro, les paragneiss et les migmatites du Complexe de Laguiche composent l'essentiel de la Sous-province d'Opinaca dans le secteur d'étude. Ces roches sont injectées par les intrusions de granite pegmatitique associées à la Suite de Janin et à la Suite de Gladman, particulièrement à l'ouest. On y trouve également la monzodiorite quartzifère du Pluton de Cadet, une nouvelle unité de taille importante, homogène et bien déformée.

Au sud de la CSpro, les formations de Low et de Prosper correspondent à des unités métasédimentaires transitionnelles entre les roches de la Sous-province de La Grande et les paragneiss du Complexe de Laguiche appartenant à l'Opinaca. Ces paragneiss sont caractérisés par la présence locale d'aluminosilicates et par un faciès métamorphique moins élevé que dans le Laguiche. Ces roches sédimentaires sont fortement injectées par les roches plutoniques de composition felsique à intermédiaire du Pluton d'Uskawasis.

Toute cette séquence est affectée par au moins quatre épisodes de déformation marqués par la présence à l'échelle régionale de nombreux plis, de zones de cisaillement et de failles cassantes.

La difficulté à établir le tracé de la CSpro soulève de nombreuses questions quant à la nature de celle-ci et vient ébranler la définition des limites de la Sous-province d'Opinaca dans tout le secteur de la Baie-James.

Du point de vue métallogénique, la découverte dans le feuillelet 33B06 d'une diorite étroitement associée à des conglomérats de la Formation de Low rappelle l'Intrusion du Lac Ell et le contexte du gîte Roberto. Une grande zone propice aux veines de quartz aurifères associées à une altération proximale à hornblende-grenat se dessine dans la partie ouest de la Sous-province d'Opinaca. Des indices cuprifères et des pegmatites granitiques de type S sont aussi présents dans le secteur à l'étude.

## Géochimie des gaz appliquée à la prospection des zones minéralisées et des failles en Abitibi-Témiscamingue et dans les Appalaches

Antoine Cuckovic, Marc Richer-LaFlèche (INRS-ETE), Li-Zhen Cheng (UQAT), James Moorhead (MRNF), Éric Allard (Leopard Lake Gold), Jules Riopel (Globex Mining), Christian Blanchet et Mathieu Guay (Vior)

Le projet de recherche centré sur la géochimie des gaz en zone vadose vise à développer une nouvelle approche de prospection multidisciplinaire en contexte de recouvrement glaciaire. Le premier volet du projet consiste à détecter des minéralisations sulfurées et des épontes carbonatées. Le second consiste à révéler la présence de failles ou d'autres discontinuités structurales par la géochimie des gaz.

Pour la détection des sulfures, la méthode repose sur l'analyse de gaz comme le  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4\text{S}$ ,  $\text{CS}_2$ ,  $\text{AsH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  et  $\text{CH}_4$  prélevés dans les sols. Des études de cas ont été réalisées sur des minéralisations aurifères en Abitibi, dans les régions de Duparquet, de Cadillac, de Malartic et de Val-d'Or, et au Témiscamingue dans les régions de Belleterre et de Laverlochère-Angliers. Des études ont aussi été réalisées dans les Appalaches sur des minéralisations polymétalliques filoniennes (porphyriques) de la région de Saint-Robert-Bellarmin. En Abitibi, les secteurs de Duparquet, de Val-d'Or et de Louvicourt ont aussi été visités afin d'étudier la géochimie des gaz au-dessus des failles de Porcupine-Destor, Parfouru, Villebon et de la Zone tectonique de Cadillac. Ces travaux touchant la détection des failles seront parachevés en 2024 par l'analyse du radon, du thoron et de l'hélium. Ces gaz sont en effet associés à la présence de grandes discontinuités structurales. La collecte de ces données géochimiques sera complétée en 2023 et 2024 par des levés gravimétriques, magnétiques et audiomagnéto-telluriques (AMT) afin de vérifier les anisotropies du socle rocheux dans les secteurs d'intérêt. Cette nouvelle approche de prospection est efficace, simple à mettre en œuvre et particulièrement utile afin de prioriser les anomalies de chargeabilité électrique qui souvent sont associées à des sources non sulfurées (graphite, argiles, bruits anthropiques) et d'augmenter ainsi le taux de succès des forages d'exploration. Des essais en laboratoire et sur le terrain seront réalisés afin de vérifier le potentiel de détection de l'arsénopyrite par le dosage d'AsH<sub>3</sub> (l'arsenic étant associé à certains types de minéralisations aurifères de l'Abitibi) et celui des sulfures de nickel par le dosage du méthylmercaptop.

Ce programme de recherche est financé par le FRQNT (Partenariat sur le développement durable du secteur minier) et Leopard Lake Gold. Il bénéficie également du soutien logistique de plusieurs compagnies minières.

## Géochimie des intrusions mafiques de la Zone tectonique du Front du Grenville près de Louvicourt, Québec

Jérémie Darveau, Carl Guilmette (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec, ULaval), Marine Jouvent (ULaval) et Myriam Côté-Roberge (MRNF)

La Zone tectonique du Front du Grenville (ZTFG), près de Louvicourt, expose des unités crustales archéennes parautochtones variablement métamorphisées et exhumées durant l'Orogenèse grenvillienne. La chronologie et les conditions du métamorphisme dans ce secteur ainsi que ses relations avec les unités autochtones adjacentes de la Sous-province du Pontiac sont peu connues. En effet, il n'est pas clair si les roches parautochtones de la ZTFG ont été métamorphisées au faciès des granulites à l'Archéen ou lors de l'Orogenèse grenvillienne. Ainsi, la ZTFG contient des unités mafiques fortement métamorphisées au faciès des granulites de haute pression (croûte inférieure) dont l'âge présumé est paléoproterozoïque. Or les relations de terrain et les datations isotopiques historiques suggèrent plutôt que certaines de ces occurrences pourraient être beaucoup plus anciennes et avoir été métamorphisées à l'Archéen. Afin de vérifier l'hypothèse qu'il existe bien deux familles d'intrusions mafiques, potentiellement archéennes ou paléoproterozoïques, nous présentons ici les résultats de nouvelles observations de terrain couplées à des descriptions pétrographiques et des analyses géochimiques de roche totale pour 48 échantillons de metabasites de la ZTFG. Deux groupes de roches metabasiques se distinguent par leurs assemblages minéralogiques et leur contenu en éléments en traces. Le premier groupe comprend des roches massives à microstructure ignée subophitique montrant l'assemblage plagioclase-clinopyroxène partiellement remplacé par un assemblage métamorphique à grenat-hornblende  $\pm$  clinopyroxène. La distribution géographique de ces unités est linéaire. Ces roches sont caractérisées par l'absence d'anomalie négative en Nb-Ta, des rapports Nb/Yb (13,1) et Th/Yb (1,7) typiques des OIB et un rapport  $TiO_2/Yb$  (1,2) élevé indiquant une source mantellique profonde. Ce premier groupe est interprété comme des dykes mafiques protérozoïques métamorphisés durant l'Orogenèse grenvillienne. Le second groupe est représenté par des roches granoblastiques à grenat-clinopyroxène-orthopyroxène, fortement foliées et plissées isoclinalement qui contiennent de 2 à 10 % de leucosome. Ces unités forment des niveaux décimétriques dans les roches métasédimentaires. Ces roches sont caractérisées par une anomalie négative en Nb-Ta, des rapports Nb/Yb (2,1) et Th/Yb (0,7) similaires aux MORB affectés par de la contamination crustale et un rapport  $TiO_2/Yb$  (0,5) faible indiquant une source mantellique peu profonde. Ce second groupe est interprété comme des unités de granulites mafiques archéennes. Ces résultats suggèrent l'existence de deux épisodes métamorphiques de haut grade distincts, avec un premier épisode d'âge kénoréen qui se manifeste par les granulites mafiques et un second épisode grenvillien principalement enregistré dans les dykes mafiques protérozoïques. La quantification de l'évolution pression-température-temps et les analyses géochronologiques sont en cours.

## Cartographie de terrain et géochimie de la marge sud de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean associée aux minéralisations de Fe-Ti-V-P des corridors de Saint-Charles-de-Bourget et Lamarche

Jonathan Katako Diyoyo, Renée-Luce Simard, Sarah Dare (UQAC) et Abdelali Moukhsil (MRNF)

Les massifs anorthositiques protérozoïques sont connus pour contenir les plus grands gisements magmatiques de Fe-Ti-P  $\pm$  V au monde (p. ex. Lac Tio; Lac à Paul), ainsi que de nombreux indices de Ni-Cu-Co. Malgré l'abondance de minéraux critiques et stratégiques, la compréhension de la formation et la distribution de ces types de gisements dans ces roches restent encore incomplète, ce qui complique l'exploration dans ces secteurs. La Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (SALSJ) s'étend sur une surface d'environ 20 000 km<sup>2</sup> dans la partie centrale de la Province de Grenville et est l'hôte de nombreux indices de Ni-Cu-Co associés aux sulfures magmatiques (p. ex. McNickel, Mistass) et de Fe-Ti-V-P associés à l'(hémio-)ilménite, magnétite et apatite (p. ex. Lac Perron, Saint Charles-de-Bourget).

Dans le but de mieux comprendre le lien entre les minéralisations en Fe-Ti-V  $\pm$  P et les roches anorthositiques hôtes de la SALSJ ainsi que les massifs anorthositiques protérozoïques en général, un projet de maîtrise UQAC-MRNF a été entrepris au printemps 2023 dans le secteur de Saint-Charles de Bourget et de Bégin-Lamarche à la marge sud du SALSJ. Ce projet comprend une cartographie des faciès lithologiques combinée à la détermination de la calcicité du plagioclase et de la composition des minéraux mafiques (olivine et/ou pyroxènes) par XRF portable, à la géochimie et à la pétrographie.

La première saison de terrain a consisté à l'étude de deux transects perpendiculaires à l'orientation N-S des corps géologiques dans les secteurs de Saint-Charles-de-Bourget (au sud) et de Bégin-Lamarche (au nord). Un total de 104 échantillons a été collecté sur les 48 affleurements visités. Les principales lithologies de la SALSJ rencontrées dans les deux transects sont les suivantes : anorthosite (foliée et/ou porphyroclastique) et leuconorite (coronitique, foliée, porphyrique et/ou mégacristique) montrant des signatures magnétiques faibles; leucotroctolite (coronitique, foliée, porphyrique) caractérisées par des signatures magnétiques faibles à fortes; dykes de ferrodiorite foliée dans les zones à très fortes signatures magnétiques. Les zones minéralisées se présentent de la même manière dans le transect de Bégin-Lamarche que dans celui de Saint-Charles-de-Bourget. Les minéralisations, soit la nelsonite (Fe-Ti-P  $\pm$  V) et la magnétite (Fe-Ti  $\pm$  V), sont généralement associées à des niveaux leucotroctolitiques et/ou sont localisés en marge des dykes de ferrodiorite. Ces lithologies hôtes présentent généralement des concentrations plus élevées en oxydes de fer que les roches environnantes et forment couramment des enclaves dans la magnétite et la nelsonite.

## Réseau bayésien contraint spatialement pour la cartographie lithologique : une approche pour des prédictions contraintes par des données de terrain

Victor Silva Dos Santos, Erwan Gloaguen (INRS-ETE) et Shiva Tirdad (CGC-Québec)

Les cartes géologiques représentent une source essentielle d'informations pour l'exploration minérale, l'évaluation des eaux souterraines, les études de vulnérabilité aux risques naturels, etc. Ces cartes sont construites en utilisant des modèles numériques ou conceptuels qui extrapolent des données à partir d'observations géologiques limitées. Les techniques géostatistiques ont traditionnellement été utilisées pour générer des prévisions fiables qui tiennent compte des schémas spatiaux inhérents aux données. Une de ces méthodes est la cokrigage par indicateurs qui estime la probabilité de la présence des unités lithologiques à des emplacements non échantillonnés en analysant leur corrélation spatiale avec des variables auxiliaires continues, telles que des images de télédétection. Cependant, ces approches sont intensives en main-d'œuvre et présentent des limitations par rapport aux réseaux neuronaux profonds, notamment en ce qui concerne l'apprentissage des caractéristiques. Dans cette étude, nous proposons une architecture basée sur des réseaux en forme de U (U-Nets), un type de réseau neuronal convolutif conçu pour la segmentation d'images qui exploite efficacement les informations contenues dans les variables secondaires tout en produisant des prévisions contraintes spatialement. Notre architecture comprend deux U-Nets : le premier se concentre sur l'apprentissage des motifs sous-jacents dans les données secondaires, le second intègre les données de référence ainsi que la sortie du premier réseau pour générer des prédictions contraintes. La méthode proposée utilise une fonction de perte qui combine l'entropie croisée et un opérateur de dilatation. De plus, pour évaluer l'incertitude des prédictions, nous avons utilisé la technique Monte Carlo dropout comme une approximation bayésienne dans le modèle. La zone d'étude est localisée dans l'est du Québec, au Canada, plus précisément entre les provinces géologiques du Supérieur et de Churchill. Seize unités lithologiques distinctes ont été sélectionnées. Les variables secondaires comprenaient des données multispectrales et radar, le modèle d'élévation et le champ magnétique résiduel total, le tout interpolé à une taille de pixel de 300 m. Pour minimiser l'effet d'autocorrélation spatiale lors de la validation, nous avons divisé la zone d'étude en blocs spatiaux de 10 sur 10 pixels. En utilisant ce réseau bayésien contraint spatialement (RBCS), nous démontrons son potentiel pour générer des cartes lithologiques précises et contraintes par les données de terrain avec une précision dépassant 0,7 pour les lithologies les plus abondantes. Cette étude met en lumière les avancées prometteuses des réseaux neuronaux profonds en géostatistique, en particulier pour la gestion de tâches complexes d'apprentissage des caractéristiques spatiales et l'amélioration des prédictions en cartographie prédictive.

## Géologie des dépôts de surface de la région de Senneterre, Abitibi-Témiscamingue, Québec, Canada

Hugo Dubé-Loubert (MRNF)

La ceinture de roches vertes archéennes de l'Abitibi, l'une des plus riches au monde, a vu la découverte et l'exploitation de plusieurs gisements de classe mondiale.

Le territoire abitibien a aussi été profondément marqué par les cycles glaciaires du Pléistocène et se trouve à la jonction de centres de dispersion de la calotte laurentienne. Les dépôts sédimentaires quaternaires peuvent atteindre par endroits plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, masquant de grandes superficies du soubassement rocheux, ce qui entrave grandement l'exploration et la découverte de nouveaux gisements. Le caractère fragmentaire des connaissances sur l'architecture des dépôts de surface, la stratigraphie, la dynamique glaciaire et la chronologie des événements qui ont marqué ce secteur s'avère un obstacle dans la recherche de nouvelles cibles d'exploration.

La récente disponibilité de levé LiDAR couvrant l'ensemble de la région abitibienne ouvre de nouvelle perspective et a permis la réalisation de nouvelles cartes des dépôts de quaternaires dans le secteur de Val-d'Or.

Les sédiments de surface sont en grande partie constitués de dépôts fins associés à l'évolution du Lac Ojibway. Des îlots de till et de till mince percent la plaine argileuse par endroits et sont parfois orientés, formant des crag and tails, des drumlins ou des drumlinoïdes.

Le terrain est traversé dans un axe N-S par la Moraine d'Harricana, un important complexe morainique interlobaire interprété comme marquant la scission entre des masses de glaces résiduelles (Hardy, 1976; Veillette, 1986). De plus, plusieurs eskers sillonnent la zone d'étude et montrent des orientations et dimensions variables. Un inventaire exhaustif des marques d'érosion glaciaire a été réalisé et devrait permettre de raffiner la dynamique et le schéma de dispersion glaciaire récent.



## Observations de terrain et sur les carottes de forage du gisement de graphite de Matawinie, Province de Grenville, Québec

Lütfi Ersay, Renaud Soucy La Roche (INRS-ETE), Bertrand Rottier (ULaval) et Antoine Cloutier (Nouveau Monde Graphite)

La Province de Grenville comprend plusieurs minéralisations potentiellement économiques de graphite. Le gisement de graphite de Matawinie est situé dans le terrane de Morin, dans la partie occidentale de la Province de Grenville. Reconnu comme l'un des gisements les plus importants de la région, il comprend une réserve minérale de 2,6 Mt à une teneur de 4,23 % carbone graphitique. Les principales unités lithologiques qui abritent et entourent le gisement sont des paragneiss alumineux, des amphibolites, des quartzites, des gneiss calcosilicatés et des orthogneiss, tous métamorphisés au faciès supérieur des amphibolites à granulites. Le métamorphisme de haut grade et la fusion partielle (anatexie) du paragneiss ont conduit à la formation de leucosomes pegmatitiques et foliés. Le paragneiss, principale roche hôte de la minéralisation en graphite, est composé de quartz, de plagioclase, de feldspath potassique, de biotite, de graphite, de grenat, de sillimanite, de magnétite et de sulfures, principalement de la pyrite et de la pyrrhotite. Le graphite se présente sous forme de paillettes bien orientées ou orientées aléatoirement par rapport à la foliation. Le premier type est associé à une gneissosité caractérisée par des domaines riches en quartz-feldspath et en biotite-graphite, tandis que le second est disséminé et associé à des sulfures dans le paragneiss. La concentration du graphite dans les paragneiss est généralement corrélée positivement à la teneur en sulfures et négativement au contenu en grenat. En outre, le graphite est observé sous forme de masses dans le leucosome et présente localement une texture interstitielle à intergranulaire au contact entre le paragneiss et le leucosome. Le graphite est également présent sous forme de rares inclusions avec la biotite dans les porphyroblastes de grenat. Le corps minéralisé et la roche hôte présentent une géométrie complexe qui est le résultat de l'évolution tectonique et métamorphique polyphasée de la Province du Grenville. Une approche multidimensionnelle sera utilisée pour étudier la pétrogenèse du gisement et évaluer les deux facteurs qui contribuent à la qualité des paillettes de graphite, soit le nombre, la durée et les conditions de pression et de température du ou des événements métamorphiques et la remobilisation du graphite par les fluides hydrothermaux ou la fusion anatectique. Pour mieux comprendre les conditions de température et de pression du métamorphisme, nous mènerons des études pétrographiques et des modélisations d'équilibre de phases. Des techniques de datation *in situ*, telles que des datations U-Pb sur la monazite, le zircon et/ou le xénotime et Lu-Hf sur le grenat, seront utilisées pour déterminer le moment et la durée du métamorphisme. Des analyses isotopiques du carbone et du soufre permettront de déterminer l'origine du graphite et de caractériser d'éventuels processus de remobilisation.

## La minéralisation porphyrique à Cu-Mo-Au d'Imourkhsen associée au système porphyrique-épithermal de l'Édiacarien tardif du terrane de Saghro, Anti-Atlas, Maroc : aperçu des données métallogéniques, géochimiques et aéromagnétiques et implications pour l'exploration minérale

Mariam Ferraq, Saïd Belkacim (Université Ibn Zohr, Maroc; UQAT), Li Zhen Cheng (UQAT) et Abdelkhalek Alansar (Université Cadi Ayyad, Maroc)

Le gisement de Cu ± Mo ± Au d'Imourkhsen est situé dans le Saillant d'Ouzellagh-Siroua (OSS), une zone de transition entre l'Anti-Atlas central et le Haut Atlas central. Cette zone appartient au terrane de Saghro tel que défini par Schulte et al. (2022). D'un point de vue géologique, la zone étudiée est constituée de roches volcaniques appartenant au Groupe de Saghro (620 à 600 Ma) qui est principalement composé de roches basaltiques, andésitiques et trachytiques avec de rares intercalations métasédimentaires. Cette unité est injectée par de nombreuses suites plutoniques de l'Édiacarien tardif (LEPS) qui appartiennent au Groupe de Ouarzazate (580 à 539 Ma) : 1) la Granodiorite d'Askaoun (575 ± 2 Ma; Thomas *et al.*, 2002), 2) le Granite d'Imourkhsen (561 ± 3 Ma; Toummite *et al.*, 2012) et 3) le Granite d'Ougougane (550 ± 2 Ma; Belkacim *et al.*, 2021). Cet ensemble est coupé par les Essaims de dykes mafiques de Zaghar.

La géochimie de la roche totale des granitoïdes indique une affinité alcali-calcique et calco-alcaline riche en potassium qui suggère une mise en place dans un contexte post-collisionnel dans un régime tectonique en transtension.

Les corps minéralisés sont encaissés dans les granitoïdes de l'Édiacarien tardif et se présentent sous la forme disséminations fines, de stockwerk de veinules, de remplissages d'espaces ouverts ou encore le long de fractures à chlorite orientées NNE. La minéralisation est associée à des altérations potassiques, à chlorite-séricite, séricitiques ou propylitiques accompagnées d'une silicification et d'une pyritisation omniprésentes (comprenant localement de la magnétite) disposées selon un schéma d'altération de type porphyrique.

L'assemblage de sulfures comprend la molybdénite, la pyrite, la chalcopryrite, la bornite, la sphalérite, la galène et la tennantite. La chalcopryrite présente plusieurs inclusions de pyrite et de sphalérite. La molybdénite est localement disséminée dans le Granite d'Imourkhsen, tandis que les veinules de molybdénite sont particulièrement liées à une zone d'altération à chlorite-séricite, ce qui suggère sa remobilisation. Les veines minéralisées présentent des structures en cocarde et de scellement de fissures qui suggèrent de multiples épisodes de circulation de fluides. L'assemblage minéral post-minéralisation comprend de l'hématite avec de rares traces de chenguodaite, de la chalcopryrite observée dans de minces fractures, de la bornite remplaçant la chalcopryrite primaire, de la covellite, de la chalcocite, de la digénite et de l'or natif accompagnés

de malachite, d'azurite, de barytine, de chrysocolle et de ferrimolybdite subordonnées.

Un examen des données aéromagnétiques récentes de la zone étudiée, comprenant des cartes réduites au pôle (RTP) et de prolongement vers le haut (UC), révèle l'existence de failles orientées NNE-SSW, NNW-SSE et NE-SW, suggérant de nouvelles voies de circulation pour les fluides minéralisateurs dans cette région.

Nos résultats préliminaires indiquent que le gisement d'Imourkhssen présente de nombreux points en commun avec les gisements de cuivre porphyrique. Cette minéralisation serait associée à un épisode porphyrique-épithermal de l'Édiacarien tardif associé à la Grande Province Ignée Siliceuse d'Ouarzazate (SLIP).

## Infrastructure de recherche pour évaluer la migration de contaminants d'intérêts dans des milieux poreux sols/résidus/amendements en colonnes enfouies

**Marc-Alexandre Fillion, Richard Martel, Vincent Taillard, Thomas Robert, Luc Trépanier, Marco Boutin (INRS-ETE), Vincent Boulanger-Martel (UQAT) et Marie-Claude Lapointe (Recherche et Développement pour la Défense Canada)**

Notre équipe a conçu une infrastructure de recherche composée de douze colonnes enfouies visant à évaluer le comportement et le devenir environnemental de contaminants d'intérêts dans des milieux poreux (sol granulaire, amendements, résidus). Cette infrastructure permet tant l'étude de contaminants organiques (hydrocarbures, matériaux énergétiques, pesticides, produits pharmaceutiques, surfactants, etc.) que l'étude de contaminants inorganiques (métaux, métalloïdes, anions), hormis la famille des substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS) et l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) qui ne peuvent être testés en raison des composantes du montage expérimental contenant du téflon (PTFE). Les colonnes expérimentales possèdent un diamètre de 45 cm et une hauteur de 1,2 m. Elles se composent d'acier inoxydable 316 (SS316) recouvert d'un enduit de PTFE, ainsi qu'une base et une tubulure de drainage en PTFE. Les 12 colonnes sont agencées en grappes de 4 pouvant simuler 3 différents scénarios (type de milieu poreux et de contaminants). Dans chaque grappe, deux colonnes sont utilisées en duplicata, une colonne est dédiée aux propriétés physiques des sols et des paramètres d'infiltration d'eau et de température et une colonne accueille la zone source, soit la même qui se trouve sur chacune des colonnes d'essai en duplicata. Ces colonnes sont connectées à des tubulures en PTFE acheminant l'eau vers des augets à balances. Ces appareils d'échantillonnage permettent d'évaluer l'infiltration d'eau dans chaque colonne tout en effectuant l'échantillonnage par incréments multiples, ce qui permet le suivi de la qualité de l'eau transitant par les colonnes d'essai. L'infrastructure est accompagnée d'une station météo accessible en ligne. Ce système permet de suivre les paramètres thermohydrogéologiques des matériaux dans les colonnes enfouies et du site expérimental. Cette infrastructure est installée sur la base militaire de Valcartier (Québec). Les colonnes peuvent accueillir des sols dont la composition granulométrique moyenne peut varier du sable fin au gravier provenant de la zone non saturée. Le site expérimental présente un climat continental humide caractérisé par un été tempéré (température variable, fortes précipitations [neige et pluie], ensoleillement variable). L'observation des flux d'eau et de masse des contaminants dissous dans les colonnes permet de construire des modèles hydrogéologiques 1D qui tiennent compte de l'effet du gel/dégel, des paramètres de transport (adsorption, diffusion, atténuation naturelle, etc.) des contaminants dans les milieux poreux étudiés et des différents contextes d'application (hydrogéologiques, traitement de l'eau, environnement minier, etc.). Toutes ces caractéristiques en font une infrastructure innovatrice qui permet l'étude de la zone vadose en région froide.

## Contexte métamorphique lors de la mise en place d'intrusions alcalines dans la région de la Haute-Mauricie, Province de Grenville — résultats préliminaires

Mohamed Ghazali et Renaud Soucy La Roche (INRS-ETE)

Une compilation des âges métamorphiques des unités métamorphisées au faciès supérieur des amphibolites à granulites de la Province de Grenville indique l'existence d'une importante phase de collision continent-continent entre 1080 et 980 Ma. Toutefois, d'importantes unités magmatiques de la Haute-Mauricie, dont certaines sont riches en éléments de terres rares (ETR), sont interprétées comme s'étant mises en place dans un contexte d'arc volcanique entre 1045 et 1020 Ma ou dans un contexte intraplaque entre 1020 et 1005 Ma. La signature intraplaque est interprétée comme le témoin d'une période d'extension qui est difficilement réconciliable avec l'épaississement crustal interprété dans la Province de Grenville. Le but de cette étude est d'évaluer les conditions et l'âge du métamorphisme en Haute-Mauricie afin de déterminer la position crustale des roches encaissantes lors de la mise en place des intrusions alcalines riches en ETR.

La zone d'étude se situe autour de La Tuque et de Parent, dans la ceinture Allochtone de la Province de Grenville. Elle est composée de plusieurs unités magmatiques et métasédimentaires datant du Paléoproterozoïque au Néoproterozoïque précoce. Le Complexe métasédimentaire de Wabash constitue un site d'étude prioritaire puisqu'il contient des lithologies propices à la datation du métamorphisme et au calcul des conditions de pression-température (P-T). Ce complexe est formé de paragneiss à graphite, de paragneiss rouillé, de paragneiss migmatitisés, de granite d'anatexie, de quartzite, d'amphibolite et de gneiss quartzofeldspathique.

Les paragneiss sont caractérisés par l'association minérale Grt-Sil-Bt-Kfs-Pl-Qz ± Gr, tandis que les amphibolites présentent l'assemblage Hbl-Pl-Grt-Bt-Qz-Cpx ± Opx. Les microstructures telles que des veinules de quartz et de feldspaths et des inclusions polyminéraliques (Qz-Fsp) dans les grenats attestent que les paragneiss ont atteint le stade de la fusion partielle. Ces associations minérales indiquent des conditions P-T du faciès supérieur des amphibolites au faciès des granulites.

Ces résultats préliminaires seront complétés par d'autres observations pétrographiques, la pétrochronologie sur monazite et grenat et la modélisation des équilibres de phases. La datation des différents épisodes métamorphiques (prograde, pic, rétrograde) fournira un cadre temporel pour interpréter les conditions P-T dans le contexte de mise en place des intrusions riches en ETR. Les conditions P-T devraient nous renseigner sur la position crustale des roches encaissantes lors de la mise en place des intrusions. Nous évaluerons ensuite si le contexte tectonique intraplaque basé sur les données géochimiques et isotopiques des roches magmatiques est compatible avec les contraintes P-T-t obtenues à partir des roches métamorphiques.

## La longue vie du Batholite de Decelles, Pontiac, Québec : les grenats à notre rescousse!

Antoine Godet (CGQ-Québec), Matthijs Smit (UBC), Carl Guilmette et François Fournier-Roy (ULaval)

Les granites hyperalumineux sont reconnus à l'échelle mondiale comme le produit magmatique final des cratons archéens. Cependant, la durée de cet épisode magmatique, les conditions thermiques de mise en place, la séquence de cristallisation, ainsi que les liens avec l'évolution tectonométamorphique des roches encaissantes et les systèmes minéralisés en métaux précieux, usuels et rares sont peu connus. Le Batholite de Decelles (environ 2670 Ma à 2620 Ma), exposé dans le sud-est du craton du Supérieur au Québec, est l'une des intrusions de ce type les plus volumineuses de la région et offre une occasion unique d'améliorer notre compréhension des conditions thermiques et de la mobilité des magmas et des fluides dans la croûte moyenne et supérieure. Nous présentons des nouvelles datations Lu-Hf et des cartes d'éléments en traces de grenats pour trois échantillons de granite du Batholite de Decelles. Les nouvelles datations à  $2668 \pm 4$  Ma,  $2663 \pm 5$  Ma,  $2656 \pm 7$  Ma sont indifférenciables (considérant les incertitudes) des datations Lu-Hf de grenats et U-Pb de monazite des unités métasédimentaires encaissantes. La cartographie *in situ* des éléments en traces par LA-ICP-MS révèle une zonation systématique de la composition des grenats. Ceux-ci présentent un cœur montrant des zonations oscillatoires concentriques en Li, P, Sc, Ti, Y, Zr, REE, Hf, Th et U et des surcroissances marquées par des concentrations relativement élevées en terres rares moyennes (MREE), en terres rares lourdes (HREE) et en V et de faibles concentrations en Li, Ti, P, Sm, Zr, Hf et U par rapport aux cœurs. Ces résultats indiquent une origine magmatique des grenats — par opposition aux grenats métamorphiques de la source — et témoignent d'une histoire de cristallisation complexe. Le contenu en éléments en traces du grenat semble être contrôlé par des variations cinétiques de croissance et de diffusion à l'interface grenat-matrice, ainsi que par la cristallisation de phases majeures et accessoires telles que la muscovite, la monazite, l'apatite et le zircon. Dans l'ensemble, le grenat du Batholite de Decelles date le début de la cristallisation magmatique et son contenu en éléments en traces enregistre son histoire complète. Les archives géochronologiques régionales indiquent une évolution commune des niveaux de croûte moyenne et supérieure avec un refroidissement progressif entre environ 2640 Ma et 2620 Ma associé à la migration et au refroidissement des fluides minéralisateurs.

## Considérations géothermiques et géochimiques dans les systèmes de pompes à chaleur en boucle ouverte dans les anciennes mines d'amiante à ciel ouvert, Thetford Mines, Québec

Mariana Goldoni de Souza, Geneviève Bordeleau, Samuel Lacombe, Jasmin Raymond, Félix-Antoine Comeau et Charis Wong (INRS-EET)

Les systèmes de pompes à chaleur (PAC) à eau de surface représentent une approche prometteuse pour réduire l'impact environnemental lié à la consommation d'énergie des infrastructures immobilières construites à proximité d'anciennes mines à ciel ouvert. Les systèmes en boucle ouverte présentent des avantages clairs pour la climatisation des bâtiments. Cependant, ils doivent être conçus soigneusement, car les risques d'obstruction du système sont particulièrement importants lorsque des eaux présentant différents états de rédox (c'est-à-dire des eaux plus profondes et moins oxygénées et des eaux plus superficielles et plus oxygénées) sont mélangées. Nous avons évalué la limnchimie et la qualité de l'eau du lac de fosse Carey Canadian, situé dans le sud-ouest du Québec, pour déterminer si la chimie et le régime limnologique du lac pourraient présenter des risques pour d'éventuels systèmes PAC en boucle ouverte. Des prélèvements ont été effectués saisonnièrement sur deux profils d'eau distincts et les échantillons d'eau ont été analysés pour les paramètres physico-chimiques, les cations, les anions, le carbone organique et inorganique dissous (COD et CID) et la composition isotopique de l'eau ( $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$  et  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ). Les résultats indiquent une eau de bonne qualité et une limite de rédox a été identifiée à une profondeur de 60 m. Les couches d'eau sous ce seuil présentent des conditions plus réductrices, avec des niveaux d'oxygène plus faibles et des concentrations plus élevées en métaux dissous (par ex. Fe, Mg, Mn, S),  $\text{SO}_4$  et CID. En revanche, les couches d'eau supérieures présentent des conditions plus oxydantes, avec des concentrations d'oxygène dissous plus élevées et des teneurs plus faibles en métaux dissous et en CID. Les isotopes stables ont permis d'identifier deux épisodes possibles de mélange de la colonne d'eau chaque année (au printemps et à l'automne), ce qui signifie que l'équilibre chimique est naturellement rétabli dans chaque couche deux fois par an. Cette étude a pour but de savoir si le processus de mélange artificiel créé par le pompage/injection de l'eau dans un système PAC en boucle ouverte pourrait induire un déséquilibre hydrogéochimique pouvant éventuellement entraîner l'obstruction du système. En menant une modélisation hydrogéochimique, nous visons à acquérir une compréhension plus complète des interactions et des processus complexes se déroulant dans le système aquatique. Cela nous permettra de prendre des décisions éclairées concernant l'exploitation et la maintenance du système.

## Nouvelles contraintes structurales et géochronologiques (U-Pb) sur le gisement épithermal Miguel Auza Ag-Zn (Pb), ceinture argentifère mexicaine, Zacatecas

Jorge Alejandro Guevara-Alday, Stephane De Souza, Alain Tremblay, Morgann Perrot et Joshua Davies (UQAM)

Le gisement épithermal filonien à Ag-Zn (Pb) de Miguel Auza est situé dans la ceinture argentifère mexicaine, dans la Province de Mesa Centrale, au nord de Zacatecas. Le gisement est encaissé par des grès et des siltstones de la Formation de Caracol du Crétacé tardif, des intrusions de porphyre andésitique et monzonitique et, localement, par un dôme de rhyolite. La Formation de Caracol présente des plis ouverts verticaux d'âge Laramide. Des failles normales d'orientation NW-SE sont courantes et sont associées à l'extension sud de la Province de *Basin and Range*. Le champ filonien est séparé en plusieurs zones, dont celles de Calvario et Lechuzas, qui ont été exploitées de façon intermittente jusqu'en 2009. La mise en place de ce système filonien est mal définie et nous avons lancé une étude géochronologique U-Pb (LA-ICP-MS sur zircons) et structurale détaillée pour mieux comprendre son histoire, son âge et son rôle dans le contexte de la Province de Mesa Centrale.

Le champ filonien est subdivisé en deux séries de veines de quartz-calcite en remplissage de faille. Elles sont disposées de manière orthogonale et orientées NE-SW et NW-SE. Les veines d'orientation NE-SW sont à fort pendage, sont riches en sulfures (pyrite-sphalérite-galène) et en sulfosels d'argent et représentent la majeure partie du minerai. Elles sont caractérisées par des structures colloformes et crustiformes, de la calcite lamellaire et des brèches en cocarde. L'analyse cinématique de ces failles minéralisées indique un mouvement normal avec une forte composante oblique dextre. Elles sont recoupées par les veines associées aux failles NW-SE à cinématique normale et à pendage vers le NE et le SW. Ces dernières présentent de faibles teneurs en sulfures et en argent. Les intrusions porphyriques d'andésite et de monzonite minéralisées ont été datées à ~83 et 85 Ma, respectivement. Elles contiennent des zircons hérités dont l'âge est compris entre ~170 et 160 Ma. Le dôme de rhyolite, recoupé à la fois par les veines d'orientation NW-SE et par les failles normales d'orientation NE-SW, a été daté à ~43 Ma, ce qui donne l'âge maximal de ces structures. Nos données préliminaires sont cohérentes avec les datations précédentes de l'altération et du matériel filonien de la zone Calvario entre ~46 et 45 Ma ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ ). Nos travaux montrent également que la minéralisation en argent n'est pas liée aux intrusions porphyriques, mais pourrait plutôt être génétiquement associée au magmatisme felsique de l'Éocène dans le nord de la Province de Mesa Centrale.

## Caractérisation des minéralisations à Au-Mo du projet Falcon, Formation de Caopatina, Abitibi, Canada

Fouques Guillet de Chatellus, Renée-Luce Simard, Dominique Genna (UQAC) et Rodney Barber (Northern Superior Resources)

Le projet aurifère de Falcon est situé à 5 km à l'ouest du projet de Nelligan (ressources de 73,5 Mt à 0,84 g/t Au), à 45 km au sud de la ville de Chapais au Québec. La minéralisation est encaissée dans les roches sédimentaires de la Formation de Caopatina, au NE de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi. Falcon présente des minéralisations atypiques à Au-Mo sans cuivre (1,02 g/t Au sur 35,5 m avec jusqu'à 3400 ppm Mo sur 0,7 m), sous la forme de disséminations, de veines et de veinules de quartz-carbonates ± anhydrite à pyrite-molybdénite-or. Le but de ce projet de maîtrise, une collaboration entre Northern Superior Resources et l'UQAC, vise à caractériser ce style géologique singulier. La zone d'étude est dominée par des unités volcano-sédimentaires métamorphisées au faciès des amphibolites. Deux unités majeures se distinguent visuellement : une unité de composition mafique et une unité sédimentaire arkosique. Géochimiquement, la séquence se divise en unités cohérentes, dont l'une porte la majeure partie de la minéralisation. La séquence est recoupée par plusieurs dykes mafiques à felsiques d'affinité calco-alkaline. Des dykes porphyriques de composition tonalitique présentent une association spatiale avec les minéralisations, mais ne sont pas minéralisés. Cependant, on trouve dans la portion ouest de la propriété un dyke porphyrique de composition granodioritique contenant jusqu'à 347 ppm Au.

La minéralisation se présente sous la forme de pyrite disséminée et alignée parallèlement à la foliation, de veinules plissées de quartz-carbonate ± anhydrite, de pyrite-molybdénite, de quartz-orthose ou uniquement de pyrite. L'or se trouve sous forme libre ou en inclusions dans la pyrite. Elle est principalement associée à un halo d'altération potassique de 50 à 100 m d'épaisseur caractérisé par la présence de biotite, de microcline et de séricite ainsi que géochimiquement par une augmentation de l'indice de saturation en muscovite (3K/Al) sur 30 à 70 m autour la zone minéralisée. L'analyse de la pyrite par LA-ICP-MS au LabMaTer (UQAC) permet d'identifier une signature polymétallique (Au-Te-As-Ag-Tl-Pb-Sb-Mo) comparable à celle des systèmes hydrothermaux-magmatiques précoces par rapport à l'événement de déformation régional, tels que les minéralisations de Côté Gold (Ontario) et de La Grande Sud (Baie-James, Québec). Des cartographies géochimiques mettent en évidence une zonation du contenu en Au-Te-As-Ag-Tl-Pb-Sn-Mo-Zn-Cu en bordure des grains de pyrite, suggérant une recristallisation métamorphique. Finalement, une datation par la méthode Re-Os sur la molybdénite associée à l'or à Falcon a donné un âge de 2709,7 ± 11,9 Ma, confirmant une mise en place précoce de la minéralisation. Ces résultats préliminaires suggèrent que le système aurifère de Falcon est lié à un système hydrothermal-magmatique mis en place entre la fin du volcanisme et le début de la déformation régionale.

## Géologie de la région du lac Dickson, Sous-province de l'Abitibi, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada

Maxym-Karl Hamel-Hébert et Antoine Brochu (MRNF)

Un nouveau levé géologique à l'échelle 1/50 000 a été réalisé à l'été 2022 dans la région du lac Dickson (moitié sud du feuillet SNRC 32G11), située à une trentaine de kilomètres au SW de la ville de Chapais. Nos travaux ont permis de confirmer l'extension de la Formation des Vents, qui inclut les plus vieilles roches volcaniques du NE de l'Abitibi. Ces roches très déformées sont composées de coulées andésitiques massives ou localement coussinées à structure gloméroporphyrrique, de rhyolite et de tuf à lapillis. À la base du Groupe de Roy, la Formation d'Obatogamau comprend des coulées basaltiques massives et coussinées à structure gloméroporphyrrique. Les roches métasédimentaires de la Formation de Caopatina sont bordées de part et d'autre par des unités volcaniques felsiques de la Formation de Waconichi de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Au nord, l'ensemble des unités volcano-sédimentaires est coupé par les tonalites, diorites et granodiorites de la Suite intrusive de Lapparent et du Complexe d'Eau Jaune. Dans le SW de la zone cartographiée, le Complexe anorthositique de la Rivière Opawica est en contact concordant et localement déformé avec les roches de la Formation d'Obatogamau. Toutes les unités archéennes de la région sont coupées par des dykes mafiques d'âge protérozoïque orientés NE-SW. L'ensemble des unités volcano-sédimentaires est orienté WNW-ESE. Les indicateurs de polarité montrent un sommet stratigraphique généralement dirigé vers le NE. La bordure entre la Suite intrusive de Lapparent et le Complexe d'Eau Jaune, d'une part, et la Formation d'Obatogamau, d'autre part, est marquée par une zone de forte déformation, la « Zone de cisaillement de Guercheville ». À l'intérieur, les roches présentent une foliation très bien développée, localement mylonitique. Ce couloir d'orientation WNW-ESE s'étend sur une longueur supérieure à une vingtaine de kilomètres et peut atteindre par endroits jusqu'à 3 km de largeur.

## Géologie des dépôts de surface de la région des lacs Nuvilic, Province de Churchill, Nunavik, Québec, Canada

Simon Hébert et Alex Proulx (MRNF)

Au nord de la péninsule d'Ungava, les grandes glaciations du Quaternaire ont façonné la morphologie du territoire en y déposant une couverture sédimentaire d'épaisseur variable, limitant ainsi l'accès au socle rocheux. Pour cette raison, les outils de prospection glaciocédimentaire s'avèrent d'une grande utilité pour dresser un portrait plus global du potentiel minéral de la région du Nunavik, déjà reconnu pour son potentiel nickélicifère (2 mines en activité). Cette affiche traite de la géologie du Quaternaire d'un secteur couvrant un peu plus de 4500 km<sup>2</sup>. Une nouvelle carte des formations de surface à l'échelle 1/50 000, ainsi qu'un échantillonnage de sédiments d'origine glaciaire (till) et fluvioglaciaire (esker) a été effectué lors d'une campagne de terrain à l'été 2021 dans le secteur central de la péninsule d'Ungava, au sud de Salluit et de la baie Déception. Le territoire à l'étude est bordé au sud par la ceinture de Cape Smith, un domaine lithotectonique appartenant à l'Orogène de l'Ungava. Les dépôts de surface sont dominés par des sédiments glaciaires (till) qui ont par endroit été remaniés et entaillés par l'eau de fonte lors de la déglaciation. Des dépôts fluvioglaciaires juxtaglaciacaires (eskers), principalement sablo-graveleux, ainsi que des épandages proglaciaires surmontent ponctuellement les dépôts glaciaires. Plusieurs évidences de lacs glaciaires de durées et d'ampleurs variables ont remanié ou nappé les sédiments glaciaires et fluvioglaciaires dans les vallées des rivières Foucault et Gatin. On distingue également la présence de terrasses et de deltas glaciomarins qui marquent l'extension maximale de l'invasion marine dans la vallée des lacs François-Malherbe et Watts. Le terrain est situé au cœur de la péninsule d'Ungava et montre peu d'évidences d'écoulement glaciaire macroscopiques (formes de terrain fuselées), malgré les nombreuses stries perceptibles sur les affleurements de roc. Le socle rocheux est peu exposé sur le terrain d'étude et est généralement gélifracté et caractérisé par endroits par des felsenmeer matures, notamment sur les monts de Puvirnituq.

## Présentation des levés géophysiques publiés durant l'année 2023

Rachid Intissar (MRNF)

Poursuivant sa mission d'acquisition et de traitement des données géoscientifiques, la Direction de l'acquisition des connaissances géoscientifique (DACG) du Québec a publié les résultats de trois nouveaux levés géophysiques réalisés cette dernière année. Le but ultime des levés réalisés par Géologie Québec est de fournir un outil de soutien à la cartographie géologique autant pour les projets internes que pour les compagnies privées. Ces données permettent également de stimuler l'investissement privé en générant de nouvelles zones favorables à l'exploration minérale. Les résultats de ces levés avec quelques éléments d'interprétation qualitative préliminaire seront présentés. Les données numériques avec les rapports techniques seront disponibles dans Examine dans les documents suivants :

- ▶ DP 2023-01 : Levé magnétique et spectrométrie aéroporté dans le secteur du lac Simard, sud de Rouyn-Noranda (publié au PDAC 2023).
- ▶ DP 2023-02 : Levé aéromagnétique dans le secteur de la rivière Aguanish, Côte-Nord (sera publié à Québec Mines+Énergie 2023)
- ▶ DP 2023-04 : Levé magnétique et spectrométrie aéroporté dans le secteur du lac Qalluviartuq, Province du Supérieur (sera publié à Québec Mines+Énergie 2023).

## Effets des propriétés physico-chimiques et minéralogiques des résidus miniers réactifs dans la stabilisation cimentaire

Audrey Jalce, Isabelle Demers, Benoît Plante (IRME-UQAT) et Thomas Pabst (Polytechnique Montréal)

Les sites miniers générateurs de drainage minier acide (DMA) doivent être restaurés pour limiter les impacts environnementaux à long terme. Les méthodes de restauration consistent à construire des systèmes de recouvrement limitant les flux d'oxygène et l'infiltration de l'eau au sein de ces sites, deux éléments essentiels à la formation de DMA. Cependant, ces constructions nécessitent une quantité importante de matériaux aux propriétés hydrogéotechniques précises. De plus, si ces matériaux ne sont pas disponibles à proximité du site, leur extraction et leur transport génèrent des coûts environnementaux et économiques supplémentaires. Par ailleurs, dans le cas des sites miniers abandonnés, ces techniques de restauration ne sont pas toujours efficaces. En effet, durant les années suivant l'exploitation, les résidus exposés sont oxydés, générant une contamination de l'eau (pH acide, concentrations importantes en métaux et sulfates). La restauration de ces sites devra prévenir une nouvelle contamination, mais également traiter la contamination antérieure. Pour limiter les coûts environnementaux et financiers, les résidus, s'ils ne sont pas réactifs, peuvent être valorisés comme matériaux de recouvrement. Dans le cas contraire, il peut être possible de les amender afin d'améliorer leurs propriétés hydrogéotechniques et réduire leur potentiel de contamination.

Ce projet étudie l'efficacité des amendements cimentaires dans la stabilisation des résidus miniers réactifs afin de créer une couche superficielle peu perméable à l'eau et à l'oxygène dans un parc à résidus existant. Par ce traitement, les contaminants sont immobilisés dans la matrice cimentaire par divers mécanismes physico-chimiques (précipitation, sorption, etc.). Des essais en laboratoire comprenant des essais hydrogéotechniques et de consommation d'oxygène seront réalisés sur des échantillons de résidus cimentés de formulations différentes. Au total, cinq types de résidus (réactifs et oxydés) seront utilisés. Le ciment Portland et un ciment composé à base de laitier seront testés. Ces essais permettront de déterminer les formulations les plus efficaces en fonction des caractéristiques des résidus. À partir des résultats obtenus, des modèles de prédiction semi-empiriques des propriétés hydrogéotechniques des résidus cimentés seront développés. Des essais de lixiviation seront ensuite réalisés sur des échantillons préparés selon les formulations les plus efficaces. Dans le but d'évaluer le potentiel de relargage des contaminants. Des analyses au microscope électronique à balayage seront effectuées pour identifier les mécanismes de stabilisation des contaminants dans la matrice cimentaire. Finalement, ce projet permettra de proposer une nouvelle approche de restauration des sites miniers par valorisation et cimentation des résidus réactifs et oxydés.

## Styles tectonométamorphiques dans l'arrière-pays de l'Orogène de l'Ungava (Nunavik, Québec, Canada) : résultats préliminaires

Mehdi Jouhari, Carl Guilmette (ULaval), Kyle Larson, Isabelle Therriault (UBC-Okanagan) et Marc-Antoine Vanier (MRNF)

L'Orogène paléoprotérozoïque transhudsonien (OTH) s'est formé à la suite de la collision du craton du Supérieur et de la Province de Churchill lors de l'assemblage du super-continent Nuna/Columbia. L'OTH représente le plus ancien témoignage de l'évolution complète d'un cycle de Wilson. L'Orogène de l'Ungava (OU) est un segment de l'OTH situé dans la partie la plus septentrionale du Québec (Nunavik) et est caractérisé par une convergence orthogonale et une cinématique associée à un chevauchement. Il expose une ceinture de chevauchement-plissement d'avant-pays remarquablement bien préservé qui abrite des gisements minéraux de classe mondiale. Ce domaine d'avant-pays est lié par une zone de suture à un arrière-pays peu connu. Cet arrière-pays comprend deux fenêtres de roches du craton du Supérieur (Domaine de Kovik) chevauchées par les unités du Domaine de Narsajuaq d'âge archéen à paléoprotérozoïque. L'étude de l'évolution tectonométamorphique de cet arrière-pays vise à évaluer les modèles géodynamiques envisageables et représente le but principal de ce projet de doctorat.

La présence d'une éclogite paléoprotérozoïque rétrogradée dans la fenêtre tectonique ouest du Domaine de Kovik indique un métamorphisme d'ultra-haute pression lors du développement de l'OU. Des roches du même type n'ont pas été identifiées dans la fenêtre orientale qui expose des granulites archéennes polymétamorphiques remobilisées par un métamorphisme au grade des amphibolites durant le Paléoprotérozoïque. Le Domaine de Narsajuaq enregistre un métamorphisme prograde généralisé au faciès des granulites au Paléoprotérozoïque, suivi par une phase rétrograde au faciès des amphibolites. Cependant, l'absence de données géochronologiques et le peu d'informations sur l'évolution du métamorphisme des unités de l'OU entravent la compréhension de l'évolution polymétamorphique de ce territoire et ne permettent pas de bien différencier les métamorphismes archéen et paléoprotérozoïque. Le projet actuel vise à mener un examen détaillé de l'étendue et de la chronologie du métamorphisme dans l'arrière-pays de l'OU et comprend notamment une étude de la superposition des épisodes métamorphiques archéens et paléoprotérozoïques. Ce travail combinera la modélisation de l'équilibre des phases, la thermobarométrie et la pétrochronologie du grenat, du zircon, de la monazite et des micas.

Dans cette communication scientifique, nous discuterons de nos premières conclusions, notamment la découverte de granulites de haute pression paléoprotérozoïques dans la fenêtre orientale du Domaine de Kovik qui pourraient représenter une nouvelle unité géologique. De plus, de nouvelles données géochronologiques indiquent que 1) les gabbros coronitiques du Kovik, autrefois considérés comme paléoprotérozoïques, sont en réalité de l'Archéen, et

2) les granulites de moyenne pression et haute température du Domaine de Narsajuaq sont d'âge paléoproterozoïque et contemporaines de l'Orogenèse de l'Ungava. Nos résultats préliminaires suggèrent également l'absence de métamorphisme d'ultra-haute pression dans la portion orientale du Kovik.

## La Zone tectonique du Front du Grenville : une fenêtre sur la croûte inférieure archéenne — résultats préliminaires

**Marine Jouvent (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec, ULaval), Carl Guilmette (ULaval), Kyle Larson (UBC-Okanagan), Christiaan Laureijs, Jérémie Darveau (ULaval) et Myriam Côté-Roberge (MRNF)**

Les zones exposées de la croûte archéenne inférieure à moyenne sont de rares témoins des premiers modes de formation de la tectonique profonde. Ainsi, quantifier les processus métamorphiques et pétrochronologiques enregistrés dans de telles unités affleurantes peut fournir des informations sur l'architecture des cratons archéens en profondeur, ainsi que sur les conditions thermiques, la production de fluides et leur mobilité lors de la cratonisation. La Zone tectonique du Front du Grenville (ZTFG), située en bordure sud du craton du Supérieur, entre les sous-provinces archéennes de Pontiac/Abitibi et la Province protérozoïque de Grenville, représente une fenêtre sur les unités crustales inférieures du sud-est du craton du Supérieur ramenées à la surface et partiellement remaniées lors de l'Orogenèse grenvillienne. La ZTFG est composée d'unités crustales migmatitiques métamorphisées au faciès des amphibolites à granulites qui comprend des roches métasédimentaires et métamafiques, des orthogneiss ainsi que des intrusions mafiques et felsiques. Les conditions de pression-température-temps-déformation à l'origine de la formation de ces roches sont mal connues et restent à être quantifiées.

Cette étude présente de nouvelles observations de terrain, des résultats pétrochronologiques, des cartes d'éléments en traces dans les grenats et des modèles d'équilibre de phases pour les différentes unités métamorphiques composant la ZTFG. Des datations Lu-Hf *in situ* sur grenats et U-Pb sur titanites révèlent un métamorphisme prograde d'âge néoarchéen tardif (entre  $2951 \pm 17$  Ma et  $2435 \pm 99$  Ma) avec une superposition grenvillienne localisée ( $1203 \pm 42$  Ma). Cependant, les conditions et l'étendue de cet épisode de superposition ne sont pas encore quantifiées. Les modélisations d'équilibre de phases effectuées sur des paragneiss migmatitiques à grenat-biotite-sillimanite-orthopyroxène ont révélé des conditions métamorphiques de faciès des granulites. Si la ZTFG représente bien l'équivalent de la croûte inférieure de la Sous-province de Pontiac, elle pourrait ainsi être la source des fluides qui ont migré depuis ces niveaux vers la croûte supérieure du Pontiac et de l'Abitibi. Les relations temporelles claires entre tous ces niveaux crustaux doivent encore être établies.



## Apatite, exploration minérale et études de provenance : identification de la signature des apatites dans les granites de type I, A et S

Marie Kieffer, Sarah Dare (UQAC) et Marylou Gendron (UQAC, Explo-Logik)

La chimie de l'apatite dans les roches est communément employée afin de tracer les environnements géologiques de formation. Il y a donc un intérêt croissant pour développer l'utilisation des apatites détritiques comme minéral indicateur pour l'exploration minérale et les études de provenance dans l'environnement secondaire, notamment les terrains recouverts par des sédiments glaciaires. En revanche, les études existantes touchant la signature des apatites portent généralement sur les caractéristiques de ce minéral dans différents types de gisements (p. ex., porphyre, skarn) et sur la fertilité des intrusions hôtes. Or, avant d'identifier un type de gisement, il est primordial d'identifier la nature de l'intrusion hôte (p. ex., mafique ou felsique) et son environnement tectonique, car cela permet d'orienter l'exploration et d'évaluer la prospectivité d'un secteur à grande échelle. Ainsi, les intrusions mafiques peuvent être associées à des ressources en Fe-Ti-V-P et/ou Ni-Cu-EGP-Cr, tandis que plusieurs types de gisements et substances (p. ex., Cu, Mo, W, Sn) peuvent être associés à différents types d'intrusions felsiques (granite I, S ou A).

Cette étude originale vise à créer une base de données d'analyses d'apatites provenant de granites de type I, S et A à l'échelle mondiale. Cette base de données rassemble de nouvelles analyses réalisées à l'aide du LA-ICP-MS (LabMaTer, UQAC; n = 273), qui incluent des granites de type A du Saguenay-Lac-Saint-Jean, et les résultats d'une compilation provenant de la littérature (n = 2146). Elle permet d'élaborer un nouveau schéma de classification qui permet de différencier les apatites issues de différents types de granites (I, S et A) de celles provenant d'autres roches (p. ex., mafiques, carbonatites). Cette classification est conçue en suivant une approche pétrogénétique en 4 étapes : 1) les apatites des intrusions mafiques et felsiques sont d'abord isolées de celles provenant d'autres intrusions en utilisant leurs rapports Sr/Y et les ETR légers; 2) les apatites des intrusions mafiques sont exclues en fonction de leur contenu en ETR+Y, Sr/Y et Eu/Eu\* et, au besoin, As,  $(Gd/Yb)_N$  et  $(Pb + Th + U)$ ; 3) les apatites post-archéennes sont séparées des archéennes à l'aide du diagramme  $\log(La/Yb)_N$  vs.  $Yb_N$ ; et enfin, 4) parmi les apatites provenant des intrusions felsiques post-archéennes, le contenu en Mn, V et  $(La/Nd)_N$  permet d'identifier les apatites provenant des granites de type I, S ou A, auxquels peuvent être associés différents types de minéralisations. Cette étude démontre que l'apatite possède toutes les qualités requises pour être utilisée comme minéral indicateur pour l'exploration et les études de provenance sédimentaires afin d'évaluer la prospectivité d'un terrain recouvert par des sédiments glaciaires, particulièrement au Québec.

## Géologie de la région de Kegaska, Côte-Nord du Golfe-du-Saint-Laurent, Province de Greville, Québec, Canada

Isabelle Lafrance et Yannick Daoudene (MRNF)

La campagne de terrain 2023 a consisté en la cartographie à l'échelle 1/50 000 de la région de Kegaska (feuillelet SNRC12K03 et bordure sud du feuillelet 12K06). Une nouvelle subdivision lithodémique de la région côtière située entre la rivière Kegaska, à l'ouest, et la rivière Muquanousse, à l'est, est présentée.

À l'exception d'une bande kilométrique de roches métasédimentaires et métavolcaniques du Groupe de Wakeham, le secteur expose en majeure partie des roches plutoniques de composition intermédiaire à felsique. L'unité plutonique interprétée comme étant la plus ancienne, la Suite intrusive de Kegaska, affleure principalement dans le secteur SW et est formée de monzodiorite quartzifère, de granodiorite et de monzogranite foliés, à grain moyen et couramment porphyroïdes. Cette unité est par endroits injectée par la Granodiorite de Muddy et bordée au NE par l'Intrusion de Grozieux composée de syénite quartzifère œillée et modérément à fortement foliée. Les proportions de ces unités sont moins importantes dans le quart oriental de la carte. Dans ce secteur, la syénite à hypersthène de la Suite intrusive de Mantuh, dans laquelle s'injectent les roches intrusives leucocrates, peu déformées et de composition intermédiaire à felsique de la Suite intrusive de Muquanousse, est bordée à l'ouest par l'Intrusion gabbroïque de Musquaro. Toutes les unités plutoniques précédemment mentionnées sont coupées par différentes unités de monzonite, de syénite et de syénogranite de la Suite intrusive de Washicoutai qui regroupe aussi les intrusions de Rocher Rouge et de Parsons.

La région est découpée par trois grandes zones de déformation ductile NW-SE à E-W de plusieurs centaines de mètres à quelques kilomètres de largeur. La rivière Musquaro longe la plus orientale de ces zones de déformation. Celle-ci délimite l'Intrusion gabbroïque de Musquaro et sépare un domaine oriental caractérisé par la présence courante d'orthopyroxène et une structure en dômes et bassins, d'un domaine occidental à la vergence presque unidirectionnelle des fabriques planaires vers le sud ou le sud-est. D'un point de vue économique, certaines phases de la Suite intrusive de Washicoutai, dont l'Intrusion de Rocher Rouge, présentent un intérêt pour les minéralisations en éléments de terres rares. Le potentiel de l'Intrusion gabbroïque de Musquaro pour les minéralisations en Fe-Ti ± V ± P reste aussi à préciser.

## Nouvelles stratégies de prévention du drainage neutre contaminé en As : séparation centrifuge et passivation des résidus désulfurés et filtrés

Eléonore Lagae Capelle, Lucie Coudert, Isabelle Demers et Carmen M. Neculita (IRME-UQAT)

L'industrie minière fait face à une problématique de contamination en arsenic due à la co-occurrence de l'or et des minéraux arsénifères. Malgré le développement de méthodes de gestion intégrée des rejets miniers limitant les risques géochimiques liés à leur entreposage, comme la désulfuration, la génération de drainage neutre contaminé (DNC) est de plus en plus reconnue comme un enjeu environnemental d'importance auquel l'industrie minière doit faire face. Le développement de stratégies de prévention du drainage minier, dont le DNC, est un pas nécessaire vers la minimisation de l'empreinte environnementale des mines, tout particulièrement dans un cadre législatif et sociétal de plus en plus exigeant. Cette étude a pour objectif d'évaluer les performances de procédés métallurgiques et de passivation pour limiter la génération de DNC-As à partir de résidus désulfurés et filtrés (0,06 % S et 0,1 % As, principalement présents dans la fraction ultrafine < 20 µm). Pour ce faire, les résidus ont été soumis à des essais de séparation centrifuge (60 à 120 g) à l'aide d'un séparateur Knelson. Des essais préliminaires de passivation par voie inorganique ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) et organométallique (complexe Fe-catéchol) ont également été réalisés afin d'évaluer leur potentiel à limiter la mobilité de l'arsenic. Les effets de la granulométrie, du temps de contact et de la concentration en réactifs sur les performances de la passivation ont été étudiés. La stabilité géochimique des résidus bruts et retraités a été évaluée à l'aide d'un test statique de lixiviation du type *Field Leaching Test*. Les performances de ces deux approches seront mesurées en fonction des critères environnementaux (consommation énergétique, hydrique et chimique), opérationnels (efficacité, durée, nombre d'étapes) et économiques (coûts d'investissement et d'exploitation). Les premiers résultats des essais combinant la séparation centrifuge et de la passivation indiquent qu'il s'agit d'une stratégie prometteuse pour diminuer la mobilité de l'arsenic dans les résidus désulfurés et filtrés. Des essais supplémentaires sont requis pour évaluer la stabilité géochimique et la toxicité des résidus passivés à long terme, ainsi que les performances à échelle du pilotage.

## Récents levés de sédiments de fond de lac, Eeyou Istchee Baie-James

Olivier Lamarche (MRNF)

Le ministère des Ressources naturelles et des Forêts a réalisé pendant les étés 2021 et 2022, 4 levés géochimiques de sédiments de fond de lac de haute densité (1,5 éch./km<sup>2</sup>) dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James. Ces levés totalisent une superficie d'environ 11 700 km<sup>2</sup> et ont permis la collecte de 8403 échantillons de sédiment de fond de lac. Ces projets s'inscrivent dans la lignée d'un levé effectué dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James (Solgadi, 2022) visant à fournir des données géochimiques de haute densité. Ces travaux devraient permettre d'identifier plus précisément les zones favorables à la présence de minéralisations que ne le permettaient les anciens levés de plus faible résolution couvrant ce secteur (densité d'échantillonnage d'un échantillon par 6 km<sup>2</sup>, effectués par la Société de développement de la Baie-James dans les années 70). Les résultats d'analyse devraient également être plus fiables, notamment pour l'or. Des cartes d'interpolation des valeurs brutes et de valeurs résiduelles sont présentées, de même qu'une sélection d'anomalies élémentaires mises en lumière par celles-ci (Ag, Cu, Li, Mo, Ni, EGP, ETR, W). Les données et le rapport de 2 de ces 4 levés font l'objet d'un dévoilement dans le cadre de Québec Mines + Énergie 2023.

## Développements récents dans les analyses *in situ* du Lu-Hf dans le grenat et du Rb-Sr dans les micas par ablation laser ICP-MS/MS

Christiaan T. Laureijs (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec; ULaval), Kyle Larson (UBC- Okanagan), Guillaume Barré, Crystal Laflamme, Marine Jouvent, Jérémie Darveau, Carl Guilmette (ULaval) et Matthijs A. Smit (UBC)

La datation radiométrique des phases métamorphiques, telles que le grenat (Lu-Hf) et les micas (Rb-Sr), constitue un moyen puissant pour définir la chronologie et la vitesse des processus métamorphiques. Les progrès récents de la spectrométrie de masse à plasma inductif (ICP-MS) permettent désormais de réaliser ces techniques *in situ*. La technologie triple quadrupôle (QQQ) utilise un gaz réactif, ce qui permet d'éliminer efficacement les interférences de masse isobares qui empêcheraient autrement l'utilisation de ces systèmes de désintégration bêta. Cette technique de géochronologie Lu-Hf et Rb-Sr est actuellement mise en œuvre à l'Université Laval à l'aide d'un spectromètre QQQ-ICP-MS Agilent 8900 couplé à un système d'ablation laser ArF Applied Spectra RESolution ( $\lambda = 193 \text{ nm}$ ) équipé d'une cellule d'ablation S-155. Conformément aux protocoles établis, le  $\text{NH}_3$  est utilisé dans la cellule comme gaz réactif pour les analyses Lu-Hf, alors que le  $\text{O}_2$  et le  $\text{CH}_3\text{F}$  sont employés pour les analyses Rb-Sr. Ces gaz réagissent préférentiellement avec les isotopes de Hf et de Sr, ce qui entraîne un décalage de masse par rapport au Lu et au Rb qui ne réagissent pas. Nous présentons ici un flux de travail efficace qui comprend des stratégies pour la sélection des échantillons, l'imagerie et la cartographie des éléments, la sélection des sites d'analyses en fonction de la stratégie de calibration par l'utilisation d'étalons appropriés et l'acquisition de données avec des paramètres analytiques optimaux. Nous présentons ici des exemples de données obtenues au *Fipke Lab for Trace Element Research* (FILTER) à l'Université de Colombie-Britannique-Okanagan pour des échantillons précédemment datés *in situ* par Lu-Hf sur les grenats, ainsi que de nouvelles datations Rb-Sr sur la biotite et la muscovite. Des données similaires ont été obtenues à l'Université Laval avec les mêmes paramètres analytiques et les mêmes normes. Bien qu'à ce stade, la datation Lu-Hf *in situ* des grenats présentant de concentrations « normales » faibles en Lu ne puisse pas être effectuée avec une précision et une exactitude satisfaisantes, nous évaluons que le développement rapide de cette technique permettra bientôt sa mise en œuvre. Cette démarche comprend des efforts pour caractériser et proposer à la communauté de nouveaux étalons de grenat avec des âges bien définis. Les datations Lu-Hf et Rb-Sr *in situ* devraient contribuer de manière notable à notre capacité future à déterminer l'âge des événements (poly)métamorphiques dans les orogènes anciens qui sont impliqués dans la formation de gisements minéraux critiques. En outre, la possibilité de réaliser des études géochronologiques à l'échelle régionale fait de ces méthodes un outil intéressant pour l'exploration minière. Cette approche peut notamment être directement appliquée à l'étude de l'évolution des régions riches en or du Pontiac et de l'Abitibi, dans le sud-ouest du Québec, où se concentrent actuellement les efforts de recherche et d'exploration.

## Synthèse métallogénique et géochronologique d'Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada

Jérôme Lavoie (MRNF), Sylvain Trépanier (CONSOREM) et Jean Goutier (UQAT)

Ce projet du CONSOREM visait à produire une synthèse métallogénique, géochronologique, métamorphique et structurale d'une zone d'étude couvrant une superficie d'environ 355 000 km<sup>2</sup> localisée dans la partie NE de la Province géologique du Supérieur. La zone couvre en totalité ou en partie la Sous-province à dominance volcano-plutonique de La Grande et les deux sous-provinces métasédimentaires d'Opinaca et de Nemiscau. Ce vaste territoire d'Eeyou Istchee Baie-James constitue, encore aujourd'hui, une nouvelle frontière pour l'exploration minière.

L'importante compilation géochronologique découlant de cette étude comprend 723 âges U-Pb (zircons, monazites, titanites et grenats). Elle a permis d'identifier plusieurs épisodes magmatiques ou de sédimentation dans la zone d'étude, soit trois (3) épisodes mésoarchéens (M1 à M3) et sept (7) épisodes néoarchéens (N1 à N7). De plus, à partir des zircons hérités ou détritiques et des âges de cristallisation des intrusions plus vieilles que 2800 Ma, ces travaux ont permis d'interpréter et de délimiter d'hypothétiques paléocratons archéens. Ces observations permettent de supposer l'existence dans ce secteur de la Province du Supérieur d'un socle ancien paléoarchéen qui évolue vers un socle paléoarchéen-mésarchéen formé de plusieurs petits cratons sur lesquels les séquences supracrustales mésoarchéennes à néoarchéennes vont se développer.

Cette étude a également permis de définir au moins sept (7) époques métallogéniques distinctes qui définissent plusieurs provinces métallogéniques qui se chevauchent. Chaque province se caractérise par des contenus en métaux distincts, par des signatures métalliques particulières et par une variété de types de gisement. La synthèse met en lumière l'influence des minéralisations interprétées comme prémétamorphiques et syngénétiques dans la formation de plusieurs gisements de la zone d'étude. De plus, malgré l'importance des minéralisations interprétées comme épigénétiques, la synthèse démontre que plusieurs gisements, gîtes et indices sont d'origine magmato-hydrothermale. Ainsi, de nombreuses intrusions associées à des époques métallogéniques définies dans le cadre de ce projet sont largement sous-explorées avec un potentiel de minéralisation élevé pour de nombreuses substances, dont plusieurs minéraux critiques et stratégiques.

Les nombreux apports de ce projet mènent à une meilleure compréhension de la métallogénie et de la géochronologie du territoire d'Eeyou Istchee Baie-James. Ces nouvelles connaissances de la distribution spatio-temporelle des principaux gisements en métaux précieux et usuels du secteur rehaussent le potentiel de nouvelles découvertes par : 1) la définition de nouveaux métallogènes; 2) le développement de nouvelles stratégies d'exploration; et 3) le ciblage de nouveaux secteurs historiquement négligés ou de secteurs déjà explorés, mais avec une nouvelle vision.

## Réseau de neurones graphiques pour la prévision spatio-temporelle du niveau des eaux souterraines

Xiao Xia Liang, Erwan Gloaguen (INRS-ETE),  
Maxime Claprood (UQAC) et Daniel Paradis (CGC-Québec)

Les eaux souterraines sont une ressource vitale qui a un impact sur la santé humaine, l'environnement, la survie des espèces et le développement économique des communautés. Face aux pressions anthropiques et climatiques croissantes exercées sur les eaux souterraines, il est nécessaire de disposer d'outils de prévision plus précis et plus rapides afin d'assurer une gestion et une répartition durables de cette ressource. Dans la pratique actuelle, on utilise souvent des relations empiriques simples ou des modèles numériques complexes pour effectuer ces prévisions. Bien que l'application de telles approches ait connu certains succès, la capacité d'intégration de nouvelles informations pour affiner ou maintenir la qualité des prévisions peut parfois faire défaut. Dans cette perspective, nous avons développé un modèle de prévision des ressources en eau souterraine basé sur l'apprentissage machine. Le principal défi de cette approche réside dans la capacité à prendre en compte à la fois les aspects spatiaux et temporels des variables d'intérêt, telles que la variation du niveau d'eau en un endroit précis. Les techniques existantes dans ce domaine se limitent généralement à des variables statiques. Pour relever ce défi, nous avons adapté des réseaux de neurones graphiques (RNG) couramment utilisés par les algorithmes des médias sociaux et de prévisions de trafic. Le développement et l'entraînement de ce RNG ont été réalisés à partir d'un modèle hydrogéologique numérique existant utilisé dans le cadre d'un projet de restauration d'un aquifère régional par un système de pompage intensif. Tous les puits de pompage et d'observation du système sont intégrés dans le RNG sous la forme de neurones, permettant ainsi de définir les caractéristiques spatio-temporelles des niveaux d'eau en fonction de l'emplacement et de la profondeur des puits, de l'intensité du pompage, ainsi que de la distribution spatiale des conductivités hydrauliques de l'aquifère. L'application de ce modèle RNG montre que la qualité des prédictions est comparable à celle du modèle numérique. Cependant, le temps de calcul nécessaire à la prévision et à l'intégration du modèle représente une fraction de celui requis par le modèle numérique. Cette étude démontre que les modèles basés sur les RNG peuvent être complémentaires aux approches existantes de prévision des ressources en eaux souterraines.

## Traitement des données et étalonnage des données spectrométriques

Chong Liu, LiZhen Cheng (IRME-UQAT),  
Rachid Intissar (MERN) et Marc Richer-Laflèche (INRS-ETE)

La spectrométrie gamma est un outil utile pour cartographier la géologie des sols et du substratum rocheux, pour rechercher des minéralisations dans les systèmes porphyriques, les intrusions alcalines ou en association avec des altérations hydrothermales potassiques ou pour explorer les ressources naturelles telles que l'uranium et le thorium. De nombreuses études spectrométriques ont été réalisées au cours des dernières décennies au Québec (SIGÉOM) et ailleurs au Canada. Cependant, le traitement de ces données (comme le débruitage, le nivellement des données, l'imagerie, la compatibilité des données collectées à différentes époques à l'aide de différents instruments) et leur interprétation nécessitent davantage de recherche, afin notamment d'améliorer leur analyse en la faisant passer de qualitative à quantitative et d'explorer leurs applications potentielles. Dans le cadre d'un projet de recherche soutenu financièrement par le FRQNT (Fonds de recherche du Québec — Nature et Technologies), de nouvelles méthodes de traitement des données et de calibration sont en cours de développement, particulièrement les méthodes de nivellement, le débruitage des données, la recherche de pics pour l'uranium (U), le thorium (Th) et le potassium (K), la localisation des éléments radio-métriques et l'analyse des caractéristiques des données à l'aide de la transformée par ondelettes. Ces traitements devraient permettre de réduire l'influence du rayonnement provenant d'autres sources, de diminuer les fluctuations radiométriques associées notamment à la direction et à la vitesse de vol lors de l'acquisition des données et d'améliorer la représentativité des données spectrométriques par rapport à la géologie.

## Détection à distance des dépôts aurifères : Meadowbank (Nunavut)

Wasiq Lutfi et Georges Beaudoin (ULaval)

Les gisements d'or de Meadowbank et de ses environs, dans la région du Nunavut (nord du Canada), sont encaissés dans les roches archéennes du Groupe de Woodburn Lake. Les unités hôtes de la minéralisation sont principalement constituées de roches volcanoclastiques ultramafiques et mafiques, ainsi que de formations de fer rubané (BIF), de quartzites et d'intrusions felsiques et mafiques. L'or est principalement associé aux formations de fer. La migration du dôme glaciaire du Keewatin dans la région, notamment dans la zone de Meadowbank, est responsable d'une histoire glaciaire complexe. La glaciation du Wisconsinien a entraîné le transport et le dépôt de till qui recouvre le substratum rocheux et les minéralisations aurifères. Jusqu'à maintenant, aucune étude des sédiments de surface de la région de Meadowbank et des environs ne permettait d'évaluer jusqu'à quelle distance la signature du gisement d'or pouvait être perçue. La dispersion des minéraux indicateurs a été utilisée afin de déterminer les signatures physiques et chimiques de la minéralisation dans les sédiments glaciaires. Les minéraux indicateurs (MI) ont le potentiel d'identifier la signature (lithologie, altération et source précise) des dépôts minéralisés dans les sédiments de surface en raison de leur nature (résistance à l'abrasion et possibilité de tracer la source). L'objectif principal de cette étude est de comprendre la paragenèse des minéraux indicateurs et de l'altération associée dans la roche encaissante des gisements et des indices de Meadowbank en étudiant les roches plus ou moins minéralisées du secteur. Les minéraux indicateurs tels que l'or, la scheelite, la chalcopryrite et la tourmaline seront étudiés. Cette étude sera suivie d'un examen des minéraux indicateurs de gisements dans le till afin de caractériser leur dispersion. L'étude pétrographique sera suivie par des analyses à la microsonde électronique (éléments majeurs et mineurs) et par LA-ICP-MS (éléments mineurs et en traces). L'analyse statistique des données géochimiques des minéraux indicateurs utilisant les statistiques exploratoires et multivariées standards et des méthodes d'apprentissage automatique permettra de déterminer les variations de composition de ces minéraux dans les différents gisements et indices et de mettre au point des modèles permettant de reconnaître la source de ces MI. Cette étude contribuera à la prospection glaciocédimentaire et à l'exploration des gisements d'or dans les terrains glaciaires.

## Évaluation de la contribution de la mousse à la survie et la croissance de semis dans un cadre de revégétalisation minière

Samuel Malo, Sébastien Roy, Isabelle Laforest-Lapointe et Jean-Philippe Bellenger (Université de Sherbrooke)

L'industrie minière joue un rôle important dans le développement économique du Québec. À l'heure actuelle, tout exploitant doit produire un plan pour la restauration de son site qui implique notamment des travaux de végétalisation. L'établissement de végétaux sur des aires composées de stériles ou de résidus fins représente cependant un défi important. Ces substrats sont très pauvres en nutriments et présentent une grande exposition au soleil et au vent, ce qui assèche rapidement les plantes. L'ajout de matière organique peut aider l'établissement de la végétation, mais s'avère coûteux et comporte une empreinte environnementale indéniable (GES des équipements mécanisés). Bien qu'il soit possible de planter des semis directement dans les stériles et les résidus fins, on observe de forts taux de mortalité. Afin d'améliorer les taux de survie de semis plantés directement sur des stériles, des espèces de mousses (bryophytes) indigènes ont été utilisées pour accompagner des semis forestiers. Les mousses sont connues pour avoir des effets importants sur l'humidité et la température du sol. Leur partie verte héberge des cyanobactéries fixant l'azote atmosphérique, représentant une source potentielle de nutriment pour soutenir la croissance des plantes en milieu pauvre. Elles sont également sensibles aux cycles d'assèchement-réhydrations, ce qui libère des nutriments dans le sol. Les mousses de début de succession sont parfois utilisées afin de rapidement créer des tapis de verdure en contexte de revégétalisation, mais rarement couplées à des plantes. L'objectif de ce projet est d'évaluer la contribution de deux espèces de mousses (début et fin de succession) ainsi que deux méthodes d'utilisation de la mousse (éparpillée versus concentrée autour des semis) afin d'améliorer la survie et la croissance de semis plantés directement dans des stériles miniers. L'effet des mousses a été évalué sur trois espèces végétales différentes. Les résultats montrent une fixation d'azote plus importante chez les mousses de début de succession, mais une libération négligeable de cet azote dans le système. Pour les mousses de fin de succession, l'inverse a été observé avec une fixation d'azote faible, mais une libération d'azote plus importante. L'évaluation de l'effet de la présence des mousses sur le microbiome de la rhizosphère des plantes ainsi que sur la nutrition azotée de la plante est en cours.

## Étude de détail de la Moraine d'Harricana et implications sur la déglaciation des régions de l'Abitibi-Témiscamingue et la Jamésie

Thomas Malo, Martin Roy (UQAM) et Hugo Dubé-Loubert (MRNF)

L'objectif de cette étude est de dater et d'interpréter la formation de la Moraine d'Harricana. Cette moraine se prolonge sur plus de 1000 km de la baie James au nord jusqu'à la Moraine du lac McConnell localisée au sud du lac Témiscamingue et à la source de la rivière des Outaouais. Les informations recueillies permettront de reconstituer l'histoire du retrait de l'Inlandsis laurentidien dans ces régions.

Plusieurs chercheurs ont étudié la Moraine d'Harricana et différentes théories sur sa formation existent. La principale théorie retenue est celle de la moraine interlobaire émise par Jean Veillette.

Dans la région de Val-d'Or, l'orientation de la Moraine d'Harricana change d'une direction sud, comme dans le secteur de la baie James, vers le SSW. À partir de cet endroit, des reliques de chenaux de fonte « percent » la moraine de l'ouest vers l'est. Ce premier élément contredit la théorie de la moraine interlobaire continue. De plus, la portion nord de la moraine montre une bonne symétrie lorsqu'observée dans les images LiDAR. Ce n'est plus le cas à partir de Val-d'Or, dans la portion sud de la moraine. Dans ce dernier secteur, il est possible de reconnaître des formes associées à des moraines de types frontales, c'est-à-dire avec un flanc plus abrupt et un autre avec une pente plus légère qui montre des lignes de rivages. Nous croyons que la moraine est en partie interlobaire dans sa portion nord et frontale dans sa portion sud.

La méthodologie utilisée dans cette étude est la suivante :

- ▶ Cartographie de la symétrie des formes glaciaires de part et d'autre de la moraine à l'aide du LiDAR. Dans le cas d'une moraine interlobaire, les eskers seront disposés de manière symétrique de part et d'autre de celle-ci. Une moraine frontale ne démontrera pas une symétrie « miroir ».
- ▶ Datation au  $^{10}\text{Be}$  de blocs tout au long de la moraine. Pour une moraine interlobaire, les blocs seront plus vieux au sud et plus jeunes au nord. Les blocs associés à une moraine frontale devraient normalement donner des âges d'exposition similaires.
- ▶ Géochimie des clastes. Ces travaux permettront d'identifier la provenance des différents clastes contenus dans la moraine. Une moraine interlobaire devrait présenter des clastes provenant des ensembles géologiques à l'est et à l'ouest de celle-ci.
- ▶ Mesure de stries, rides de courant, etc. sur le terrain.
- ▶ Répéter les étapes 1 à 4 pour la Moraine frontale de Roulier. Ces observations permettront également d'établir un schéma de déglaciation de l'Inlandsis laurentidien dans la région du Témiscamingue.

## Expériences cinétiques modifiées — une approche intégrative afin de déterminer le risque de drainage neutre contaminé des rejets miniers

Vincent Marmier, Benoît Plante, Isabelle Demers et Mostafa Benzaazoua (IRME-UQAT)

Les outils pour prédire le drainage minier acide (DMA) ont été largement développés au cours des dernières années, mais ne sont pas adaptés pour prédire le drainage neutre contaminé (DNC). En 2015, Plante *et al.* ont proposé une nouvelle approche de lixiviation modifiée avec agents chélateurs afin de déterminer le potentiel de génération d'un matériau déjà connu pour sa génération de DNC en nickel. Cette approche a été réutilisée dans une étude subséquente (Lévesque Michaud, 2017) pour explorer le potentiel de différents agents chélateurs à des fins de prédiction du DNC dans d'autres géomatériaux. Dans le cadre de ce projet, une méthode intégrative a été mise au point afin d'utiliser les agents chélateurs dans des tests géochimiques cinétiques à l'échelle de colonnes de laboratoire et de coupler ces résultats à des essais de sorption et de caractérisations géochimiques (composition chimique et minéralogique) afin de déterminer le risque de lixiviation de contaminants. Les hypothèses appuyant cette approche sont : 1) le mécanisme de contrôle des contaminants dans ces lithologies à pH neutre est principalement gouverné par le relargage combiné à une capacité de sorption, et 2) connaissant la capacité de sorption du matériel par rapport au contaminant d'intérêt, il est possible d'évaluer le risque de lixiviation. Au total, six matériaux provenant de trois exploitations minières (un rejet de concentrateur et cinq lithologies stériles) ont été soumis à des rinçages cinétiques modifiés pendant une durée allant de six mois pour les roches stériles à un an pour le rejet de concentrateur. L'un des matériaux testés est connu pour sa génération de DNC sur le terrain et a été conséquemment utilisé comme témoin pour la validation de la méthode. Un autre matériau présente une problématique associée aux oxyanions et permet donc de valider la méthode pour d'autres éléments que les cations métalliques bivalents. Finalement, la méthode développée a été appliquée aux quatre autres matériaux dont le potentiel de génération de contaminants était incertain. Finalement, la méthode intégrative proposée constitue une avancée permettant de faire face aux défis de la prédiction du DNC, contribuant ainsi au contrôle des risques environnementaux reliés à la gestion de l'eau contaminée au sein de l'industrie minière.

## Géologie de la région du lac Serpentine, Orogène de l'Ungava, Nunavik, Québec, Canada

**Guillaume Mathieu, Marc-Antoine Vanier et Thomas Debruyne (MRNF)**

La campagne de terrain de l'été 2022 a touché à la région du lac Serpentine. Les parties ouest des feuillets SNRC 35G10 et 35G15 ont été cartographiées à une échelle hybride entre le 1/20 000 et le 1/50 000. Des vérifications ont également été effectuées dans la portion est du feuillet 35G15 afin d'améliorer la compréhension du secteur central.

La géologie de cette région est constituée de deux ensembles paléoprotérozoïques qui représentent chacun environ la moitié de la superficie cartographiée en 2022. Le premier est constitué de roches supracrustales (Formation d'Iqattavialuk, groupes de Spartan et de Parent) coupées par des intrusions concordantes à l'empilement volcano-sédimentaire (suites de Sanimualuk et de Sanimuapik). Le second ensemble, au nord, est formé de la Suite de Vanasse. La jonction de ces deux ensembles est caractérisée par un schéma de plissement polyphasé complexe, la présence de zones de cisaillement mineures et discontinues et par une augmentation abrupte du gradient métamorphique vers le nord. Deux suites tardives (suites d'Ilлуinaqtuut et de Niqituraaqiaruk) recourent toutes les unités du secteur.

Le schéma structural complexe, déjà mis en évidence lors des travaux antérieurs, a été mieux défini. Il résulte de l'interférence de trois familles de plis désignés P1, P2 et P3. La famille P1 est composée de plis à plans axiaux droits orientés E-W et à charnière subhorizontale plongeant vers l'ouest. La famille P2, la plus représentée, forme des plis serrés à isoclinaux à plans axiaux déversés et à charnières plongeant modérément en direction NW à NNE. Cette famille est synchrone à l'activité de la Faille de chevauchement d'Ombilic. Les plis P1 et P2 s'inscrivent dans un même continuum de déformation. La famille de plis P3 est constituée de plis à plan axial droit ou déversé orientés principalement N-S et à charnière plongeant faiblement vers le nord.

## Purification du graphite par la technique de la fusion alcaline-lixiviation acide

**Amira Merchichi, Jean-François Boulanger, Lucie Coudert (UQAT) et Claude Bazin (ULaval)**

Le graphite est un matériau aux propriétés uniques, caractérisé notamment par des conductivités thermique et électrique élevées, une forte résistance chimique et une faible masse volumique. Toutefois, le graphite naturel est accompagné de minéraux de gangue comme le quartz, le mica, la pyrite et des carbonates qui peuvent altérer ses propriétés et sa qualité. La demande croissante de graphite naturel de haute pureté est due aux avancées technologiques dans divers secteurs tels que l'électronique, l'aérospatiale et les batteries. Dans ces domaines, une pureté élevée est souvent requise, avec des taux de carbone graphitique (Cg) atteignant 99,95 %. Les techniques permettant d'atteindre cette qualité impliquent des traitements chimiques ou un chauffage sous atmosphère inerte pour solubiliser ou vaporiser les impuretés indésirables sans affecter le graphite.

Dans le but d'améliorer les propriétés du graphite extrait à gisement du Lac Guéret (propriété de Mason Graphite), des essais de purification par la méthode de fusion alcaline-lixiviation acide ont été réalisés à l'échelle du laboratoire sur des échantillons de graphite avec une taille de grain inférieure à 150 mailles. Pour mettre cette technique en pratique, le concentré de flottation (Cg = 92 %) a été chauffé en présence de soude caustique solide sous une atmosphère d'azote. Cette fusion permet de transformer les minéraux de gangue dans le graphite en composés solubles dans l'eau ou dans une solution acide. Pour maximiser l'efficacité des différentes étapes de purification, plusieurs paramètres ont été étudiés, incluant la température et le temps de fusion alcaline, ainsi que le rapport de soude caustique/graphite. Les résultats des essais ont révélé que cette technique de purification est capable d'augmenter la teneur en carbone du graphite en éliminant efficacement les impuretés. Il est toutefois important de considérer non seulement la composition chimique du concentré à purifier, mais également les minéraux présents.

## Lithogéochimie et chimie minérale des phases monzonitiques de l'intrusion néoarchéenne de Nekuashu, nord-est du Québec, Canada : implications pour l'immiscibilité des liquides et les minéralisations en ETR

**Nadia Mohammadi (CGC-Centre, Carleton University), Anne-Aurélië Sappin (CGC-Québec), David Corrigan (CGC-Centre, retraité), Neil Rogers (CGC-Centre), Kathryn Goodenough (British Geological Survey), Duane Petts (CGC-Centre), Nolwenn Coint (Geological Survey of Norway) et Tarryn Cawood (CGC-Centre)**

L'intrusion néoarchéenne de Nekuashu (2551 ±8 Ma) est située dans le bloc de Mistinibi-Raude de la Zone Noyau, laquelle fait partie de la partie SW de la Province de Churchill, dans le NE du Québec. Elle se compose de hornblendite, de gabbro, de monzogabbro-monzodiorite, de monzonite, de syénite-syénite à augite et de granodiorite. Les données pétrologiques et géochimiques de cette intrusion révèlent une histoire complexe de magmatisme de haute température à la fois « humide » et « sec ». Cette histoire commence par la cristallisation de hornblendite à partir d'un magma parent basaltique relativement hydraté sous la forme de cumulats conduisant finalement au développement séquentiel de gabbro, de monzogabbro-monzodiorite, de monzonite et de syénite à augite. Au contraire, la granodiorite résulte probablement de l'anatexie d'une partie de la croûte inférieure précédemment formée.

L'unité monzonitique à grain moyen est composée de plagioclase, de feldspath potassique, d'augite, d'orthopyroxène, de hornblende, d'oxydes de fer et d'une petite quantité de biotite et de quartz. Cette unité contient des poches micro-métriques à centimétriques riches en Fe-Ti-P qui sont associées à une minéralisation en ETR, lesquelles sont couramment entourées de paillettes de biotite secondaire orientées de façon aléatoire. Les poches riches en Fe-Ti-P sont caractérisées par deux assemblages distincts : 1) magnétite, ilménite, enstatite, augite, apatite, minéraux d'ETR ou 2) magnétite, ilménite, apatite, minéraux d'ETR, ce dernier assemblage présentant un contenu plus élevé en ETR. Les minéraux contenant les ETR sont principalement l'allanite - (Ce) et, par endroits, la bastnaésite- (Ce). Ces minéraux se trouvent dans les poches riches en Fe-Ti-P et, localement, dans la roche hôte monzonitique adjacente à ces zones. Les poches riches en Fe sont associées à l'immiscibilité silicate-liquide et à la séparation d'un liquide riche en Fe et en éléments volatils d'un liquide riche en Si pendant le fractionnement du magma.

L'analyse par ICP-MS et ablation laser des amphiboles ignées associées à la phase monzonitique révèle des teneurs anormalement élevées en ETR ( $\Sigma\text{ETR} = 0,11$  à  $0,16$  % poids). Cela suggère que l'amphibole constitue un réservoir important d'ETR. Un examen plus approfondi des amphiboles enrichies en ETR à l'aide du SEM-BSE révèle une abondance d'inclusions microscopiques riches en Fe-Ti-ETR. Certaines montrent une forme d'aiguille et présentent des orientations préférentielles. Elles pourraient

représenter des exolutions riches en Fe, Ti et ETR présentes à l'origine dans la structure cristalline de l'amphibole à des températures plus élevées. D'autres inclusions sont arrondies ou en forme de bulles et pourraient correspondre à des inclusions de liquide résultant de l'immiscibilité magmatique. Ces gouttelettes pourraient avoir contribué à la formation de poches riches en Fe lorsqu'elles ont fusionné. D'autre part, des grains altérés d'amphibole situés à proximité, recoupés ou entourés par des veinules/assemblages contenant du Fe-Ti-ETR, présentent des teneurs en ETR nettement plus faibles ( $\Sigma\text{ETR} = 26$  à  $55$  ppm). Cela suggère que ces gouttelettes ont pu être remobilisées localement par des fluides hydrothermaux tardifs. Les fluides enrichis en ETR se seraient ensuite déposés à proximité sous la forme de veinules de magnétite, d'ilménite et d'allanite - (Ce).



## Étude des minéralisations en éléments des terres rares ± Nb ± Ta, partie centrale de la Province de Grenville, Québec, Canada

Abdelali Moukhsil et Mhamed El Bourki (MRNF)

À l'été 2023, trois secteurs de la Province de Grenville ont fait l'objet d'une étude de plusieurs indices en éléments de terres rares (ETR) ± Nb + Th ± Y ± Zr. Le secteur I se trouve dans la région du réservoir Daniel Johnson sur la Moyenne-Côte-Nord (feuillet SNRC 22K06, 22K07, 22K10, 22K11 et 22K15), le secteur II est localisé au nord et au NW du Lac-Saint-Jean (feuillet 32A15, 32H01, 32H/02, 32H07 et 32H08), alors que le secteur III se situe au NW de la ville de La Tuque (feuillet 31P11, 31P14, 32A03, 32A04 et 32B01).

La première étape de cette étude a consisté en une compilation des minéralisations de ce type touchant l'ensemble de la portion québécoise de la Province de Grenville. Cette compilation traite des caractéristiques de chaque indice, particulièrement la minéralogie (minéraux porteurs de la minéralisation et minéraux associés), les roches hôtes, l'âge de la minéralisation, le mode de mise en place, etc. Dans la seconde étape entamée à l'été 2023, plusieurs indices ont fait l'objet d'une étude plus poussée impliquant une cartographie détaillée, l'analyse par microXRF et à la microsonde d'échantillons minéralisés ainsi que des études géochronologiques (U-Pb) et isotopiques (isotopes Hf-Lu). Les objectifs de ces travaux visent à bien caractériser ces minéralisations afin de les situer dans les différentes classifications existantes et de définir les environnements métallogéniques de mise en place. En effet, les indices de ETR ± Nb + Th ± Y ± Zr des trois secteurs étudiés et de la Province de Grenville sont associés en général à des roches hôtes particulières (dykes de pegmatite granitique, dykes de syénite pegmatitique ou à grain grossier avec ou sans néphéline, plutons granitiques ou syénitiques, dykes de carbonatite). Elles se distinguent par une dominance de l'allanite ou de la monazite et par la présence de carbonate de terres rares (parisite, bastnäsité), thorite, apatite et xénotime. Ces caractéristiques varient d'un secteur à l'autre indépendamment de l'âge des roches hôtes ou de la nature des roches encaissantes traversées par les dykes minéralisés (intrusions et/ou paragneiss). Ainsi, dans le secteur I, les datations de ces dykes coïncident avec la période grenvillienne tardive (1005 à 960 Ma), alors que dans le secteur II et III, les âges de mise en place correspondent au Grenville moyen et tardif (entre 1090 et 1020 Ma).

## Stratigraphie séquentielle et chiostratigraphie de la Plate-forme du Saint-Laurent dans la région de Montréal

Claire Musajo (Université McGill), Héroïse Pinon, Joshua H.L. Davies, Morgann G. Perrot (UQAM) et Galen P. Halverson (Université McGill)

La séquence sédimentaire de la Plate-forme du Saint-Laurent (PSL) de la région de Montréal s'est déposée durant la période allant du Cambrien moyen à l'Ordovicien tardif. Cette période est marquée par d'importants événements tectoniques, tels que l'ouverture de l'océan Iapetus et sa fermeture partielle. Cet intervalle de temps enregistre les nombreux changements environnementaux, notamment la transition du climat chaud de l'Ordovicien précoce à l'ère glaciaire hirnantienne de la fin de l'Ordovicien, ainsi que la Grande Diversification Ordovicienne (GOBE). Cependant, mis à part l'aspect lithostratigraphique, cette séquence sédimentaire est relativement peu étudiée et aucune étude chiostratigraphique ou d'analyse de séquences détaillée n'a été effectuée.

La stratigraphie isotopique (C, O, Sr) sera l'outil principal de corrélation qui devrait permettre de relier la séquence de Montréal avec le reste de la PSL et les autres séquences ordoviciennes. L'identification d'excursions positives et/ou négatives dans les courbes isotopiques permettra de localiser ces unités dans la chronostratigraphie de l'Ordovicien. Il sera ainsi possible de proposer de nouvelles corrélations en se basant sur des données indépendantes des lithologies. La définition de séquences au sein de la PSL permettra de reconstruire les dynamiques eustatiques et d'étudier le rôle de la tectonique locale sur les environnements de dépôts. L'analyse des données de  $\delta^{13}\text{C}$  révélera les perturbations du cycle du carbone, les données de  $\delta^{18}\text{O}$  indiqueront l'évolution des paléotempératures, tandis que les isotopes de Sr caractériseront l'intensité de l'altération, de l'activité volcanique et des rides océaniques. Ces outils nous permettront de replacer la séquence sédimentaire de Montréal dans un contexte plus global pour mieux comprendre les causes et les effets des changements climatiques et paléogéographiques du début du Paléozoïque.

Nous présenterons les résultats préliminaires des analyses de  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  d'une coupe de la partie supérieure du Groupe de Trenton (Ordovicien supérieur) localisée à Montréal-Est. La base de la coupe est caractérisée par des lits ondulés allant du mudstone au wackestone, avec quelques bancs de grainstone. Ces niveaux sont riches en fossiles (brachiopodes, bryozoaires et bioturbations horizontales). Un peu au-dessus de la partie médiane de la coupe, les faciès passent graduellement à des bancs planaires de mudstone et wackestone intercalés avec des niveaux de shale; quelques lentilles de grainstone bioclastique sont également présentes. Ces dépôts sont interprétés comme la transition entre un environnement de sédimentation peu profond de rampe externe vers un environnement relativement profond de plate-forme externe qui témoigne d'un épisode de transgression du niveau marin.

## Caractérisation pétro-géochimique et rôle de la déformation dans la formation des gîtes de lithium de la région de La Motte-La Corne, Sous-province de l'Abitibi, Québec

Hubert Mvondo (MRNF)

Les pegmatites lithinifères et les faciès associés de la région de La Motte-La Corne forment des dômes et des filons felsiques injectés le long des failles en bordure des plutons de granodiorites et de monzogranites. Ces roches montrent des textures aplitiques et porphyritiques à équigranulaires et sont principalement constituées de quartz, albite, feldspaths potassiques, spodumène et, accessoirement, de spessartine, muscovite et béryl. Elles résultent d'au moins 4 phases de cristallisation magmatiques et magmatique-hydrothermales avec la formation de 2 générations de spodumène qui représente le principal minéral lithinifère.

Les filons felsiques ont une composition de syénite à granite alcalin avec des teneurs variées en  $\text{SiO}_2$  (64,65 à 79,64 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10,61 à 24,88 %),  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (4,39 à 11,74 %), Li (12 à 22 500 ppm), Cs (0 à 431 ppm), Ta (8 à 366 ppm), Rb (5 à 3130 ppm), Sr (5 à 285 ppm), Be (5 à 428 ppm), Ba (2 à 404 ppm), P (2 à 742 ppm), F (0,01 à 0,22 ppm) et en  $\Sigma\text{REE}$  (2 à 83 ppm). Ces roches hyperalumineuses ( $\text{Al}/[\text{Ca} + \text{Na} + \text{K}] = 1,51 \text{ à } 3,59$ ) sont le résultat de plusieurs injections d'un magma source issu de la fusion partielle de métagéolites à la base de la croûte. Leur différenciation lors de l'ascension vers la surface s'est poursuivie jusqu'au stade magmatique-hydrothermal. Des caractéristiques géochimiques similaires sont reconnues dans les monzogranites représentant des intrusions peu différenciées et proche de la composition du magma source.

Les pegmatites lithinifères, issues des faciès les plus différenciés du magma source riches en éléments fluxants ( $\text{H}_2\text{O}$ , F, P, etc.), se sont mises en place à la faveur de failles et de zones de dommage associées localisées en bordure des plutons de granodiorites et de monzogranites. Ainsi, les plutons hyperalumineux et les failles majeures localisées près de ces plutons peuvent être utilisés comme indicateurs pour l'exploration des pegmatites lithinifères.

## Isotopes stables du Sr ( $\delta^{88/86}\text{Sr}$ ) des carbonates des gisements aurifères orogéniques de la région de Val-d'Or : implications pour des systèmes hydrothermaux

Larissa De Santana Do Nascimento, Ross Stevenson (UQAM), Georges Beaudoin et Guillaume Raymond (ULaval)

Les gisements aurifères de type orogénique de la sous-province de l'Abitibi sont associés à des veines de quartz-carbonate (QC) et de quartz-tourmaline-carbonate (QTC) encaissées dans des roches métavolcaniques archéennes. Plusieurs études sur la composition des isotopes stables (notamment  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$ ) des minéraux des veines QC et QTC ont suggéré que les fluides hydrothermaux qui ont formé ces veines sont les résultats d'un processus de mélange de sources métamorphiques et de réservoirs peu profonds (c.-à-d. sources supracrustales). Cette étude teste pour la première fois l'utilisation des isotopes stables de Sr ( $\delta^{88/86}\text{Sr}$ ) sur des carbonates hydrothermaux dans le but d'évaluer le fractionnement du Sr dans un contexte de minéralisations mésothermales et de préciser le rôle des fluides métamorphiques et supracrustaux dans la formation de ces gisements aurifères. D'autres études sur des calcaires de basses températures ont indiqué que les compositions isotopiques  $\delta^{88/86}\text{Sr}$  sont plus sensibles aux processus de précipitation/dissolution qu'à la température de la réaction. Pour cette étude, des échantillons de carbonates (calcites et dolomites ferrugineuses;  $n = 13$ ) provenant de plusieurs veines et de différentes roches hôtes ont été analysés par spectrométrie de masse à ionisation thermique en utilisant un double traceur (*spike*)  $^{84}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Sr}$ . Les compositions isotopiques  $\delta^{88/86}\text{Sr}$  des carbonates varient de -0,31 à 0,50 ‰ et montrent un fractionnement qui varie en fonction de la masse. Les valeurs de  $\delta^{88/86}\text{Sr}$  ne présentent aucune corrélation avec le type de carbonate et aucune variation spatiale bien définie. Les rapports de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  dans les carbonates des roches hôtes varient de 0,70157 à 0,70308 en fonction de leur composition, ce qui témoigne d'une interaction fluide-roche. Des corrélations ont été observées entre  $\delta^{88/86}\text{Sr}$  et  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  d'une part, et  $\delta^{88/86}\text{Sr}$  et  $1/\text{Sr}$  d'autre part. Celles-ci indiquent que la composition isotopique du Sr (stable et radiogénique) résulte d'un mélange de fluides de source radiogénique ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0,70250$ ) caractérisée par de faibles valeurs en  $\delta^{88/86}\text{Sr}$  ( $< -0,20$  ‰), typiques des fluides supracrustaux, et d'une autre source moins radiogénique ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0,70210$ ) avec des valeurs élevées en  $\delta^{88/86}\text{Sr}$  ( $> 0,20$  ‰) que l'on associe à des fluides métamorphiques. Les valeurs élevées de  $\delta^{88/86}\text{Sr}$  indiquent que certains carbonates auraient précipité à partir de fluides produits à la suite de réactions de déshydratation et de décarbonatation qui résultent du métamorphisme régional. Cependant, les valeurs plus faibles en  $\delta^{88/86}\text{Sr}$  démontrent que les fluides supracrustaux auraient incorporé le  $^{86}\text{Sr}$  par dissolution des carbonates dans la croûte.

## Les altérations stratoïdes à carbonates de fer du camp de Selbaie : pétrogenèse et vecteur d'exploration pour les SMV

Rémi Naulot, Dominique Genna, Sarah Dare (UQAC) et Jean-Daniel Fortin-Rhéaume (SOQUEM)

Les sulfures massifs volcanogènes (SMV) représentent des gisements polymétalliques d'importance majeure au Québec, notamment dans les ceintures de roches vertes archéennes. Ces minéralisations montrent un large halo d'altération souvent utile pour l'exploration, avec un assemblage classique à chlorite-séricite sur lequel se superpose une carbonatation dans le cas des SMV de type Mattabi. Cette étude a pour but de comprendre la formation des niveaux carbonatés du camp minier de Selbaie, au nord de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, afin de déterminer leur utilité pour l'exploration des SMV. Une approche multidisciplinaire combinant les observations microstructurales, la lithogéochimie et la chimie minérale (LA-ICP-MS du LabMaTer sur les carbonates et la pyrite) a été utilisée pour caractériser le gisement de Cu-Zn-Ag-Au de B26, propriété de SOQUEM. Les minéralisations de type remplacement sont contenues dans des unités volcanoclastiques felsiques métamorphisées au faciès des schistes verts. La carbonatation y est intense, particulièrement le long des unités poreuses felsiques situées dans le toit de la minéralisation, et continue sur environ 10 km. Un échantillonnage systématique réalisé le long de ce niveau a permis d'établir son lien avec les minéralisations et de décrire les variations spatiales de la signature géochimique.

L'étude lithogéochimique a permis de raffiner la distribution des altérations. Le mur des zones minéralisées, dont la minéralogie est dominée par la séricite et la chlorite, est intensément lessivé, alors que le toit présente une importante carbonatation. Les carbonates sont zonés, avec la sidérite proximale à la minéralisation, suivi de l'ankérite en position intermédiaire et de la calcite dans les zones plus distales. La distribution des ETR dans ces carbonates, notamment l'anomalie en Eu, permet de différencier les zones minéralisées intensément lessivées du halo d'altération carbonaté. Les analyses de pyrite, quant à elles, ont permis de caractériser la signature SMV de B26 et de son halo d'altération. La signature volcanogène de la pyrite est reconnaissable dans l'ensemble du transect, appuyant la thèse d'une origine volcanogène des niveaux carbonatés à Selbaie. De plus, le contenu en éléments volatils (Ag, Se, Bi) dans les pyrites diminue progressivement avec la distance par rapport aux minéralisations, que ce soit verticalement ou latéralement. Cette diminution du contenu en volatils d'origine magmatique souligne un fractionnement géochimique progressif des fluides hydrothermaux le long des niveaux carbonatés et peut être utilisée comme un vecteur efficace pour cibler les minéralisations à B26. Ainsi, la combinaison des analyses lithogéochimiques et de la chimie minérale a permis de confirmer l'origine volcanogène des carbonates de Selbaie, mais aussi de valider leur potentiel pour l'exploration des SMV.

## Modèles de régression pour la modélisation prédictive à l'échelle nationale des gisements de ETR ± Nb dans les carbonatites

Mohammad Parsasadr, Christopher J.M. Lawley, Renato Cumani, Steven E. Zhang (CGC-Centre), Julie E. Bourdeau (CGC-Nord), Ernst Schetselaar et Nadiia Dehtiar (CGC-Centre)

Les éléments de terres rares (ETR) sont considérés comme des éléments critiques dans la plupart des états, principalement en raison de leur utilisation répandue dans plusieurs industries de haute technologie, de leur rôle dans la transition vers l'énergie verte et de leur vulnérabilité aux perturbations de la chaîne d'approvisionnement. Environ 60 % des ressources mondiales en terres rares sont associées à des carbonatites — des roches ignées dont la composition comprend plus de 50 % de minéraux primaires du groupe des carbonates. Les carbonatites minéralisées sont reconnues comme les principales sources géologiques de TR légères et de Nb (niobium), ce dernier étant également inclus dans la liste des minéraux critiques du Canada. Cette recherche vise à développer un modèle de prospectivité géologique à l'échelle nationale pour les ETR ± Nb dans les carbonatites (CHREE) dans le but de faciliter les efforts d'exploration minière et de diminuer les risques liés à l'exploration.

Dans cette approche, nous avons d'abord défini un ensemble de critères d'exploration cartographiables représentatifs des processus géologiques clés contribuant à la formation des CHREE. Ces critères concernent les processus fondamentaux à l'origine des minéralisations, tels que la fusion partielle du manteau et les contextes tectoniques en extension, ainsi que les sources de la minéralisation, notamment le magma carbonatitique et les suites de roches alcalines. De plus, nous avons pris en compte les facteurs liés à l'architecture de l'écoulement des fluides et à la mise en place de la minéralisation. La collecte de données s'est principalement concentrée sur les régions les plus profondes de la croûte terrestre, notamment le manteau. Ce choix a été motivé par le fait que les carbonatites proviennent de la fusion partielle du manteau dans des contextes tectoniques en extension. En donnant la priorité à ces ensembles de données de sous surface, nous avons cherché à améliorer l'efficacité de notre modèle de prospectivité.

La modélisation de la prospectivité des gisements CHREE à l'échelle nationale à partir de données présente des défis importants en raison de la faible disponibilité des données et de la diversité des contextes géologiques des gisements de ce type au Canada. En effet, les gisements CHREE de la Cordillère canadienne sont très différents de ceux des provinces du Supérieur et de Grenville. Ces différents facteurs nuisent au développement de modèles de prospection efficaces. Pour relever ces défis, notre approche a débuté par la mise au point d'une méthode de validation spatiale croisée pour entraîner les algorithmes de régression, suivie par l'utilisation de systèmes de maillage globaux afin d'enrichir les données et de générer des échantillons étiquetés supplémentaires pour la modélisation par régression. Plusieurs algorithmes d'apprentissage profond et d'appren-

tissage automatique ont été utilisés, chacun d'entre eux faisant l'objet d'une optimisation par le biais d'une recherche de grille afin d'identifier les hyperparamètres les plus favorables et de créer des modèles de prospectivité robustes. Parmi les algorithmes employés, les résultats obtenus par les réseaux neuronaux profonds convolutifs se sont avérés les plus fiables par rapport aux autres méthodes, réduisant l'espace de recherche d'exploration d'environ 95 %.

## La pyroxénite à titanite d'Aligas : une minéralisation inhabituelle en éléments de terres rares dans la région du Lac-Saint-Jean (Grenville central)

**Federico Pingitore, Bertrand Rottier (ULaval), Abdelali Moukhsil (MRNF) et Marc Constantin (ULaval)**

Au cours des 25 dernières années, la demande pour les éléments de terres rares (ETR) a considérablement augmenté en raison de leur importance dans les applications de haute technologie. Elles sont donc devenues des matières premières fondamentales au développement économique. La compréhension des processus conduisant à la formation des suites magmatiques enrichies en ETR constitue une action importante pour améliorer les modèles d'exploration minière et assurer l'approvisionnement en ETR de notre société.

Les processus pétrogénétiques à l'origine de la mise en place des intrusions alcalines riches en ETR sont mal connus, notamment la source des magmas et les facteurs géologiques conduisant à l'enrichissement en ces éléments. Plusieurs intrusions alcalines riches en ETR ont été identifiées dans l'ouest et le centre de la Province de Grenville. La plupart de ces intrusions se sont mises en place pendant et après l'Orogenèse grenvillienne (environ 1090 à 980 Ma), définie comme une collision continent-continent le long de la marge SE de la Laurentia. Ces intrusions forment plusieurs plutons kilométriques dans la ceinture Allochtone de la Province de Grenville.

La Suite intrusive de la Rivière Noire (SIRN), objet de cette étude, représente une suite intrusive alcaline (pyroxénite-monzonite-syérite-granite) qui affleure au nord de la région du Lac-Saint-Jean (Québec). Cette unité regroupe trois faciès principaux. Les pyroxénites contiennent jusqu'à 90 % de pyroxène et sont riches en titanite (jusqu'à 10 %). Elles montrent localement des zones gabbroïques comprenant jusqu'à 40 % de plagioclase. Le deuxième faciès est constitué de monzonites et de syénites. Les monzonites sont plus riches en pyroxène (jusqu'à 20 %) que les syénites et se présentent sous la forme d'injections métriques dans la pyroxénite, tandis que les syénites forment principalement de dykes minces (< 1 m) ou bréchifient les autres faciès. Les pegmatites granitiques alcalines comportent des proportions variables de quartz (jusqu'à 25 %) et affleurent sous la forme de dykes métriques recoupant tous les autres faciès. Des études préliminaires ont montré un enrichissement notable en ETR (jusqu'à 0,25 % poids) dans la SIRN, principalement dans la pyroxénite où les ETR seraient contenus dans la titanite ou, éventuellement, l'apatite.

Dans le cadre de cette étude, l'âge et la source du magma ayant formé la SIRN seront déterminés par datation U-Pb des zircons (accompagnée d'analyses Lu-Hf) et des titanites présents dans les différents faciès. L'évolution et les processus ayant conduit à l'enrichissement en ETR seront également déterminés en combinant la chimie des minéraux, divers oxythermomètres et l'analyse des inclusions de liquide silicaté.

## Téphrochronologie des bentonites ordoviciennes de la région de Montréal : la chimie du zircon et de l'apatite comme outil de corrélation stratigraphique

Héloïse Pinon (UQAM), Claire Musajo (Université McGill), Joshua H.L. Davies, Alain Tremblay, Morgann G. Perrot (UQAM) et Galen P. Halverson (Université McGill)

Les successions sédimentaires ordoviciennes de la région de Montréal, au sud du Québec contiennent des lits de cendres volcaniques altérées connues sous le nom de K-bentonites qui sont observables dans tout l'est de l'Amérique du Nord. Les âges U-Pb, combinés aux caractéristiques chimiques et isotopiques du zircon et de l'apatite contenus dans ces bentonites, fournissent des âges de formation et des signatures chimiques particulières qui peuvent être utilisés pour corréler ces bentonites à travers les bassins sédimentaires. Dans la région de Montréal, la séquence stratigraphique de la Plate-forme du Saint-Laurent comporte, à la base, les grès cambriens du Groupe de Potsdam. Ils sont recouverts par les groupes ordoviciens de Beekmantown, Chazy, Black River et Trenton, lesquels représentent une série de calcaires, de shales et de dolomies en alternance évoluant vers des rythmites et des turbidites des groupes d'Utica et de Lorraine.

Les travaux effectués à ce jour dans la région de Montréal ont permis d'identifier des lits argileux centimétriques de K-bentonite dans le Groupe de Trenton. Des lits complémentaires ont été collectés en Ontario et en Nouvelle-Angleterre dans des formations équivalentes. Les zircons de ces bentonites peuvent être altérés par des phénomènes hydrothermaux, mais une procédure d'abrasion chimique (similaire à celle utilisée pour les datations U-Pb de haute précision) permet d'éliminer les domaines altérés et de ne laisser que du matériel frais. La composition en éléments volatils (Cl, F, OH), majeurs, mineurs et en traces des apatites et des zircons séparés de ces lits a été mesurée à la microsonde électronique et par LA-ICP-MS.

Ces résultats permettent d'établir l'empreinte chimique des différents lits de bentonite et de comprendre leur formation. Les apatites montrent des compositions particulières à chaque lit de bentonite. Ainsi, l'utilisation de ce minéral comme outil de corrélation stratigraphique permet de relier précisément les unités sédimentaires à travers la région de Montréal. De plus, il est ainsi possible de corréler ces lits avec les bentonites de l'Ontario et des États-Unis, d'évaluer l'étendue des dépôts de cendres et d'estimer l'impact des éruptions volcaniques ordoviciennes ainsi que leur origine. L'utilisation de la chimie du zircon et de l'apatite comme indicateur de provenance permet de mieux comprendre le contexte général de formation de ces roches. La chimie minérale permet également la caractérisation des sources volcaniques grâce à l'estimation des différents paramètres physico-chimiques du ou des magmas parents. Connaître l'étendue et l'origine de ces téphras contribue à mieux contraindre la contribution de ces multiples éruptions volcaniques ainsi que l'évolution géodynamique de la Laurentia au début du Paléozoïque.

## Caractérisation des pegmatites du secteur du Batholite de La Motte, Sous-province de l'Abitibi, et implications pour l'exploration

Sabrina Rajhi, Marc Legault (IRME-UQAT), Hubert Mvondo (MRNF) et Robin Potvin (Cégep A-T)

Ce projet touche l'étude des caractéristiques des pegmatites du secteur du Batholite de La Motte (BLM) en Abitibi localisé au cœur du triangle Rouyn-Noranda-Amos-Val d'Or et à 20-40 km à l'ouest de la mine North American Lithium (101,9 Mt à 1,06 % Li<sub>2</sub>O; Sayona Québec). La région abrite des minéralisations de minéraux critiques et stratégiques (MCS), notamment le gisement Authier, qui sont exclusivement associées à des pegmatites de type Li-Cs-Ta. La campagne de cartographie et d'échantillonnage de l'été 2022 visait à caractériser minéralogiquement et géochimiquement les pegmatites du secteur afin de mieux orienter l'exploration pour le lithium. Cette caractérisation a permis de distinguer différents types de pegmatites dans le secteur du BLM, des amas stériles aux dykes à spodumène. À l'intérieur du BLM, les faciès pegmatitiques associés à l'intrusion montrent des caractéristiques chimiques comparables à celles des dykes de pegmatite qui le recoupent, suggérant ainsi un lien génétique malgré une différence d'âge de quelques millions d'années (Ducharme *et al.*, 1997). Ces résultats confirment également que les rapports élémentaires des analyses de roche totale (K/Rb, K/Cs, Nb/Ta, Mg/Li et Zr/Hf) au sein des dykes lithinifères montrent de plus faibles valeurs comparées aux autres dykes, indépendamment de l'endroit où l'échantillonnage a été effectué au sein d'un même dyke. Ces rapports devraient donc permettre de cibler des secteurs hôtes de dykes très fractionnés, mais où le spodumène n'avait pas été identifié. L'étude a également exploré l'utilisation des analyses à la microsonde des feldspaths potassiques et des micas pour identifier les pegmatites fertiles. Ces travaux révèlent que les rapports K/Rb et K/Cs de ces minéraux sont similaires à ceux des analyses de roche totale, renforçant ainsi l'évaluation du degré de fractionnement des pegmatites du BLM. Ces faibles rapports reflètent un fractionnement prononcé, ce qui est en accord avec les conclusions antérieures de Cerný (1989) et des recherches subséquentes. Ces conclusions soulignent la nécessité d'approfondir les travaux de décapage et de cartographie pour évaluer certaines occurrences prometteuses de Li autour du BLM.

## Mobilité des métaux au cours du métamorphisme prograde des ceintures métasédimentaires de la Province du Supérieur : implications pour les ressources en Au

**Diogo Ribeiro, Bertrand Rottier (ULaval), Antoine Godet (CGC-Québec, ULaval), Georges Beaudoin, Carl Guilmette (ULaval), Clifford Patten (Universität Innsbruck), Jochen Kolb (Karlsruher Institut für Technologie) et Iain Pitcairn (Stockholm Universitet)**

Cette étude touche les sous-provinces de Pontiac et de Quetico, deux ceintures métasédimentaires de la Province du Supérieur chevauchées respectivement par les ceintures de roches vertes de l'Abitibi et de Wabigoon. Ce contexte tectonométamorphique suggère que la dévolatilisation des ceintures métasédimentaires pourrait avoir fourni des volumes importants de métaux aux roches vertes sus-jacentes. Pour tracer la mobilité des métaux au cours du métamorphisme prograde, des analyses géochimiques des roches entières combinées à des dosages d'or à très faible limite de détection ont été réalisés sur des roches métasédimentaires métamorphisées représentatives de différents grades métamorphiques, du faciès des schistes verts au faciès des granulites, échantillonnées le long de trois traverses présentant des contenus en Au contrastées : traverses riches en or (Rouyn-Noranda, Pontiac), moyennement riches (Geraldton, Quetico) et pauvres (Thunder Bay, Quetico).

Les résultats montrent une diminution systématique des concentrations d'arsenic et d'antimoine avec l'augmentation du degré de métamorphisme dans les trois traverses, suggérant une mobilisation de ces éléments au cours du métamorphisme prograde. Cependant, la diminution des concentrations en or avec l'augmentation du métamorphisme, qui serait une indication d'une mobilisation de l'or, n'a été détectée que dans les traverses riches en or (de 1,03 à 0,16 ppb à Rouyn-Noranda et de 1,04 à 0,25 ppb à Geraldton), alors qu'aucun appauvrissement n'a été reconnu dans les zones pauvres en or (moyenne de 0,86 ppb à Thunder Bay).

Cette différence apparente de la mobilité de l'Au dans les différentes traverses a été évaluée en suivant l'évolution texturale et chimique (méthode LA-ICP-MS) des sulfures dans les différents grades métamorphiques. Les textures des sulfures révèlent une évolution générale comprenant deux réactions principales : (1) transition pyrite I — pyrrhotite aux grades métamorphiques inférieurs, suivie par (2) transition pyrrhotite — pyrite II aux grades métamorphiques supérieurs.

La pyrite I est l'hôte principal de l'or, de l'arsenic et l'antimoine (jusqu'à 918 ppb, 1967 ppm et 750 ppm, respectivement). Dans les traverses riches en or, la pyrite I s'appauvrit progressivement en ces éléments avec l'augmentation du degré de métamorphisme. Dans les zones pauvres en or, cette tendance est observée pour l'As et le Sb, mais les teneurs en Au restent stables. La transition pyrite I — pyrrhotite est la principale réaction contrôlant la libération de l'Au, de

l'As et du Sb. Cette réaction a été efficace dans les zones riches en or et s'est déroulée brusquement à Rouyn-Noranda (autour de la zone de la biotite) et graduellement à Geraldton (de la zone de la biotite à la zone de la cordiérite), entraînant une faible quantité ou l'absence de pyrite I dans les secteurs de grades métamorphiques élevés. À Thunder Bay cependant, la dégradation de la pyrite I est incomplète, ce qui a entraîné une plus grande abondance de pyrite I riche en Au, particulièrement à des grades élevés, expliquant l'absence d'appauvrissement en Au dans cette traverse.

Cette corrélation entre la mobilité de l'or dans les ceintures métasédimentaires et la richesse en Au dans les roches vertes sus-jacentes suggère que la dévolatilisation des roches métasédimentaires pourrait être un facteur clé de la richesse en Au des ceintures de roches vertes.

## Géochimie isotopique du mercure dans les gisements d'or archéens de l'Abitibi

**Bruna Saar de Almeida, Florent Bigot, David Widory, Stéphane De Souza, Michel Jébrak (UQAM), Jeroen Sonke, Stefano Salvi (Université Toulouse III — Paul Sabatier), Carmen M. Neculita et Mostafa Benzaazoua (IRME-UQAT)**

Dans la croûte terrestre, le mercure (Hg) provient de deux sources principales : 1) sédimentaire, généralement associé à des sédiments riches en matière organique; 2) magmatique, en lien avec des gaz de haute température. La géochimie isotopique du Hg a maintenant démontré sa valeur pour identifier les sources et les processus de concentration, et caractériser le cycle biogéochimique et les réactions qui contrôlent le comportement de cet élément métallique dans la nature. Le Hg présente des fractionnements dépendants de la masse (FDM), c'est-à-dire proportionnels aux différences de masse entre les isotopes considérés, soit généralement les isotopes pairs ( $^{202}\text{Hg}$  et  $^{198}\text{Hg}$ ), mais aussi des fractionnements indépendants de la masse (FIM) qui concernent les isotopes impairs ( $^{199}\text{Hg}$  et  $^{201}\text{Hg}$ ) et, dans une moindre mesure, les isotopes pairs  $^{200}\text{Hg}$  et  $^{204}\text{Hg}$ . La possibilité de discriminer isotopiquement le Hg présent dans différentes roches et typologies de gisements hydrothermaux, incluant les gîtes magmatiques-hydrothermaux, et le Hg issu de processus métamorphiques en fait un excellent outil de traçage des sources et des processus de formation des minéralisations. Ce projet vise entre autres à mieux comprendre les contextes gîtologiques aurifères archéens et leur empreinte environnementale en étudiant la concentration et la composition isotopique du Hg dans des échantillons de différents types de gisements, leurs roches hôtes et les résidus liés au processus d'extraction minière. Des résultats préliminaires sont présentés pour 33 échantillons (roches hôtes et minéralisées) de 4 gîtes aurifères de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi : La Ronde (LR : VMS aurifère), Triangle (TR) et Ormaque (OM) (veines de quartz-carbonates-tourmaline), et Lapa (LP : veines de quartz-carbonates). Les résultats obtenus indiquent des variations du  $\delta^{202}\text{Hg}$  compris entre -1,13 à +0,84 (LR), -1,15 à +0,32 (TR), -0,71 à +0,72 (LP) et -0,61 à +0,88 (OM). Les plages de valeurs pour le  $\delta^{199}\text{Hg}$  sont respectivement de -0,06 à +0,23 pour LR, -0,07 à +0,05 pour TR, -0,04 à +0,12 pour LP et -0,12 à +0,08 pour OM. Ces données représentent à notre connaissance les premiers résultats touchant la composition isotopique du Hg dans les roches magmatiques et sédimentaires minéralisées archéennes de l'Abitibi. Les résultats suggèrent différentes origines et processus liés à la formation des systèmes hydrothermaux étudiés. Des prélèvements sont en cours dans d'autres gîtes minéraux pour appuyer les résultats déjà obtenus et déterminer la composition et l'origine du Hg dans les roches et les minéralisations de l'Abitibi.

## Valorisation des stériles d'exploitation des phosphates dans la fabrication des matériaux de construction écologique et durable

**Sanae Sbi, Said Mansouri (Université Mohammed VI Polytechnique), Hassan Hannache (Université Mohammed VI Polytechnique, Université Hassan II Casablanca), Nawal Semlal (Office Chérifien des Phosphates), Youssef Tamraoui et Jones Alami (Université Mohammed VI Polytechnique)**

La valorisation des stériles d'exploitation minière comme matériaux de construction écologique est une approche innovante et durable qui peut réduire leur mise en décharge, prévenir leurs impacts environnementaux et offrir des possibilités de les utiliser comme matière première alternative dans la fabrication des matériaux de construction. Chaque année, l'extraction de minerais de phosphate génère des quantités énormes de roches stériles. Au Maroc seulement, environ 80 Mt à 3120 Mt de stérile d'exploitation des phosphates sont produits, en plus des quantités énormes déjà stockées. En conséquence, la valorisation de ces stériles constitue un problème économique et écologique majeur qui devient de plus en plus important pour les opérations minières de phosphate. La technologie de l'activation alcaline a suscité un intérêt croissant au cours des dernières décennies pour valoriser les résidus et les stériles miniers en matériaux de construction durables. Les matériaux alcalins activés (MAA) sont des polymères inorganiques produits à partir d'une activation alcaline de matériaux aluminosilicatés qui peuvent être des argiles naturelles, des résidus industriels ou miniers. Les MAA sont considérés comme une alternative écologique et innovante au ciment Portland. Ils peuvent offrir une réduction des émissions de gaz à effet de serre d'environ 40 à 80 % par rapport aux ciments, avec des propriétés mécaniques comparables. La réactivité des matières premières de départ peut jouer un rôle vital dans le processus d'activation alcaline et influence grandement les propriétés finales du matériau alcalin activé résultant. Par conséquent, une étude plus approfondie de la réactivité des stériles provenant de l'exploitation des phosphates permettra de mieux comprendre l'influence de la composition minérale et sa contribution au processus de la réaction et améliorera les performances finales des matériaux résultants.

L'objectif de cette étude est de produire de nouveaux matériaux de construction écologiques basés sur les stériles d'exploitation des phosphates en utilisant la technologie de l'activation alcaline. L'effet de l'addition de ces stériles à des cendres volantes sur la structure, la microstructure et l'évolution de la résistance mécanique des matériaux alcalins activés a été étudié. Les conclusions de cette recherche visent à élaborer une méthode de conception intégrée et une approche globale en vue de valoriser de manière écologique les stériles d'exploitation des phosphates dans la production de matériaux de construction écologique.

## Un fertilisant biologique à partir des apatites du lac à Paul

David Sénéchal, L. Paul Bédard, Julien Walter (UQAC) et Raphaël Gaudreault (Arianne Phosphate)

La fertilisation des sols et des cultures joue actuellement un rôle essentiel dans le maintien de la production agricole mondiale. Face aux nombreux défis auxquels l'humanité est confrontée, tels que la croissance démographique continue et les changements climatiques, l'assurance d'un approvisionnement alimentaire adéquat est devenue une préoccupation majeure. Cependant, l'augmentation de l'utilisation des fertilisants, en particulier des fertilisants chimiques phosphatés, peut avoir des impacts environnementaux notables.

Les fertilisants phosphatés sont essentiels, car ils fournissent aux plantes le phosphore nécessaire à leur croissance et à leur développement. Traditionnellement, la production de fertilisants phosphatés à partir de matières premières telles que l'apatite, un minéral de calcium et de phosphore ( $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{F}$ ) ayant une grande teneur en phosphates, implique un processus de traitement à l'acide sulfurique qui peut être polluant et exigeant du point de vue énergétique. En plus de générer des émissions de gaz à effet de serre et avoir un impact négatif sur les ressources en eau et les écosystèmes environnants, ce processus produit des résidus de phosphogypse qui peuvent contenir des traces de radioactivité lorsque l'apatite est d'origine sédimentaire.

Pour répondre à ces préoccupations environnementales, nous proposons d'explorer des méthodes différentes, notamment l'utilisation de l'apatite d'origine ignée comme source d'engrais phosphaté biologique. Cette approche consiste à chauffer l'apatite, un minéral naturel riche en phosphore, pour augmenter sa solubilité et le rendre assimilable par les plantes. Des analyses antérieures ont démontré que le chauffage de roches composées d'assemblages phosphatés augmente la solubilité du phosphore dans les conditions expérimentales simulant un sol agricole. De plus, il est possible que le calcium libéré de l'apatite puisse se combiner au gaz carbonique des sols et piéger ce gaz à effet de serre.

Des expériences préliminaires ont démontré que l'apatite du lac à Paul chauffée libère plus de phosphore dans l'acide formique faible, des conditions qui simulent les sols agricoles. Les derniers résultats expérimentaux et des modélisations thermodynamiques seront présentés. Ces travaux sont réalisés en partenariat avec Arianne Phosphate, propriétaire du projet minier du lac à Paul situé dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

L'utilisation d'engrais phosphatés biologiques à partir de l'apatite chauffée présente également l'avantage de contribuer à une agriculture plus durable, en réduisant la dépendance aux fertilisants chimiques et en favorisant la préservation des sols et de l'environnement. De plus, le calcium libéré pourrait contribuer à la séquestration du carbone.

## Modèle de poche de compaction : une perspective sur la distribution des minéraux critiques dans la Province de Grenville

Azam Soltanmohammadi, Louise Corriveau (CGC-Québec) Aphrodite Indares (Memorial University of Newfoundland), Michel Rabinowicz (Université Toulouse-III-Paul Sabatier) et Abdelali Moukhsil (MRNF)

La richesse en métaux des magmas silicatés alcalins, en particulier en éléments de terres rares (REE) et en métaux alcalins, est contrôlée par les conditions thermiques spécifiques et la composition chimique de leurs sources mantelliques. En outre, la composition et la distribution spatiale de ces magmas peuvent être influencées par des facteurs non liés aux sources (p. ex., l'architecture lithosphérique, l'épaisseur de la croûte et les discontinuités structurales). En Amérique du Nord, la Province de Grenville représente l'un des hôtes les plus importants pour le magmatisme alcalin, notamment dans les contextes de marge convergente associés à l'Orogenèse de Grenville (< 1,1 Ga). Toutefois, on ne connaît pas l'importance des facteurs liés ou non aux sources qui permettent d'expliquer la distribution des magmas fertiles en métaux critiques dans l'ensemble de l'orogène. Pour répondre à cette question, nous avons ciblé trois régions clés de la province, de la Ceinture métasédimentaire centrale au SW jusqu'au centre-nord du Domaine de Canyon. Une synthèse préliminaire des éléments radiogéniques et des données chimiques de la roche entière et des minéraux montre que les magmas ultrapotassiques exotiques riches en volatiles sont dispersés dans l'ensemble de la Province du Grenville et qu'ils présentent des concentrations élevées en ETR et en éléments (P-Ti) semblables, ce qui suggère un même magma parent particulier. Récemment, une modélisation géochimique, pétrologique et mantellique combinée a montré que de tels magmas exotiques riches en potassium sont extraits d'une source mantellique interprétée comme des poches de compaction. Les poches de compaction se forment dans la zone de transition du manteau (MTZ). Le magma riche en potassium extrait de celles-ci remonte des parties profondes du manteau supérieur et s'accumule au niveau de la lithosphère, de la croûte moins profonde ou fait irruption à la surface. Le parcours de la matière fondue est systématiquement contrôlé par la distribution spatiale des poches de compaction dans le manteau supérieur et par les facteurs physico-chimiques qui influencent la rhéologie de la lithosphère et de la croûte pendant l'ascension (p. ex., le champ de contrainte, la composition chimique). Nos résultats géochimiques préliminaires montrent que la présence de poches de compaction profondes dans le manteau supérieur constitue un facteur crucial qui permet d'interpréter la distribution spatiale des systèmes magmatiques alcalins ultrapotassiques dans la Province de Grenville. Il est important de noter qu'un tel modèle peut fournir des indications sur la distribution des gisements de minéraux critiques associés aux magmas fertiles riches en potassium, par exemple ceux enrichis en métaux alcalins et en éléments rares.



## **Mylonites, mylonites et mylonites : une excursion conjointe CTG-INRS-MRNF dans la Zone de cisaillement de Saint-François-de-Sales, Province de Grenville**

**Renaud Soucy La Roche, Eve Gosselin (INRS-ETE), Yannick Daoudene, Abdelali Moukhsil et Mhamed El Bourki (MRNF)**

La Province de Grenville est bien connue pour ses roches métamorphisées aux faciès des amphibolites à granulites ainsi que pour ses zones de cisaillement de haute température (> 650 °C) représentant la déformation dans la croûte profonde à moyenne au Mésoprotérozoïque. D'autres styles de déformation sont toutefois exposés dans la région du Lac Saint-Jean. Le secteur de lac Bouchette, cartographié par le MRNF en 2018, expose des orthogneiss, des unités métasédimentaires et des suites magmatiques intrusives âgés de 1520 à 990 Ma. Plusieurs phases de déformation ont affecté la région, allant du plissement et du cisaillement dans la croûte moyenne à la faille cassante dans la croûte supérieure. Une excursion a été organisée conjointement par l'INRS et le MRNF dans le cadre de la conférence annuelle du *Canadian Tectonics Group* afin de mettre en valeur la géologie spectaculaire de la région. L'excursion donne un aperçu de la géologie locale, avec un accent particulier sur la Zone de cisaillement de Saint-François-de-Sales. Plusieurs affleurements visités sont situés dans la Suite plutonique de Travers (environ 1076 Ma), ce qui simplifie l'interprétation des structures liées à la zone de cisaillement puisque les fabriques associées à la déformation pré-grenvillienne ne sont pas enregistrées par cette suite. Des affleurements de mylonites et d'ultramylonites de qualité 5 étoiles montrent donc parfaitement les gradients de déformation, les indicateurs cinématiques, les relations de recoupement entre des structures de cisaillement conjuguées dextres et senestres et l'altération (hématitisation, épidotisation) liée à la déformation. Cette zone de cisaillement décrochante senestre s'est formée à une température d'environ 400 à 500 °C de manière continue ou épisodique entre environ 1035 et environ 1000 Ma. La Zone de cisaillement de Saint-François-de-Sales marque la transition entre une tectonique dominée par l'exhumation dans la seconde moitié de la phase ottavienne de l'Orogénie grenvillienne (environ 1060 à 1035 Ma) et une reprise du raccourcissement accommodé par des structures décrochantes jusqu'au début de la phase de Rigolet (environ 1035 à 1000 Ma). Elle donne un bon aperçu du type de déformation présente dans les niveaux structuraux supérieurs de la croûte du Grenville central pendant cet intervalle de temps. Le livret d'excursion est offert gratuitement dans la collection « Manuscrits Bruts » (MB) du MRNF afin que tous puissent visiter ces affleurements par eux-mêmes.

## **Géologie de la région du lac Jalobert, Province de Grenville, région du Saguenay–Lac-Saint-Jean, Québec, Canada**

**Francis Talla Takam et Abdelali Moukhsil (MRNF)**

La région cartographiée fait partie de l'Allochtone de la Province de Grenville. Le socle cristallin de cette région est constitué par le Complexe gneissique du Saguenay (1506 ±13 Ma) que l'on retrouve en lambeaux dans les roches du Complexe gneissique du Cap à l'Est (1391 +8/-7 Ma) qui occupe le sud et l'est du feuillet 22D10. Ces unités lithologiques sont injectées par de nombreuses intrusions : la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (1169 à 1135 Ma) qui affleure dans une grande partie des feuillets 22D10 et 22D15; la Mangérite de Chicoutimi (1082 ±3 Ma) au sud-ouest du 22D10; l'Anorthosite de Vanel (1080 ±2 Ma) au centre et au nord du 22D15; la Mangérite de Poulin-de-Courval (1068 ±3 Ma) à l'est du 22D15; le Granite de La Baie (1067 ±4 Ma) au sud du 22D10; l'Anorthosite de Mattawa (1016 ±2 Ma) au NE du 22D15 et la Mangérite de La Hache (1010 ±3 Ma). Toutes ces roches sont coupées par des dykes de pegmatite granitique à syénitique.

Les roches de la région sont d'âge mésoprotérozoïque. Elles ont connu plusieurs phases de déformation et sont coupées par des failles et des zones de cisaillement dont la plus importante est la Zone de cisaillement de Saint-Fulgence. Celle-ci est d'orientation NE-SW le long de la bordure de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean et continue vers le NE sur plus de 100 km. Le grain structural régional essentiellement orienté NE-SW s'en trouve fortement influencé et accommode la mise en place des intrusions.

Le métamorphisme régional est au faciès des granulites. On observe par endroits un métamorphisme rétrograde associé à une ouralitis des orthopyroxènes qui sont localement, coronitique à bordure de clinopyroxène ± amphibole ± grenat dans les leuconorites de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean.

Plusieurs minéralisations à oxydes de Fe-Ti-V ont été mises au jour en bordure de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean dans le feuillet 22D10. Une importante zone minéralisée à ETR a été également identifiée à l'est, dans le feuillet 22D10, dans les granites à feldspath alcalin du Complexe gneissique du Cap à l'Est au contact avec les roches métasédimentaires du Complexe gneissique du Saguenay ainsi que dans des dykes de pegmatite granitique.

## Préconcentration du cobalt et de l'arsenic : valorisation des résidus miniers âgés

Samuel Teillaud (IRME-UQAT, Université de Lorraine),  
Lucie Coudert (IRME-UQAT), Baptiste Laubie,  
Jean Louis Morel (Université de Lorraine),  
Marie Guittonny (IRME-UQAT) et  
Marie-Odile Simonnot (Université de Lorraine)

L'essor de la transition énergétique repose en partie sur l'exploitation de sources secondaires renfermant des éléments critiques et stratégiques, tels que le cobalt et le nickel. La valorisation des résidus miniers émerge ainsi comme une piste prometteuse pour diversifier les sources d'approvisionnement de ces éléments d'intérêt, conjuguant avantages économiques et impératifs environnementaux. Néanmoins, plusieurs défis se posent, notamment ceux liés à la granulométrie des particules, aux altérations (présence de couches de passivation sur les minéraux d'intérêt) et à la complexité minéralogique (présence de minéraux secondaires inusités montrant une structure complexe). Ces paramètres sont susceptibles de limiter l'efficacité des techniques conventionnelles de traitement des minéraux dédiées à leur préconcentration.

L'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel de préconcentration des minéraux renfermant du cobalt et de l'arsenic présents dans des résidus miniers âgés en utilisant diverses techniques de traitement minéral utilisées seules ou associées à des prétraitements. La démarche débutera par une caractérisation physico-chimique et minéralogique approfondie d'un résidu minier âgé. Ensuite, des essais préliminaires visant à évaluer l'efficacité de diverses techniques de préconcentration telles que la flottation et la séparation gravimétrique, combinées ou non à des prétraitements physiques et chimiques tels que l'attrition avec du quartz, le rebroyage et la sonication. L'objectif de ces prétraitements est d'éliminer les couches d'oxyhydroxydes de fer de la surface des minéraux d'intérêt afin notamment d'améliorer leur récupération subséquente par flottation.

Les résultats ont montré que les résidus miniers sélectionnés étaient principalement composés de particules fines ( $D_{80} = 50 \mu\text{m}$ ), contenant 1310 mg/kg de cobalt et 5245 mg/kg d'arsenic. La safflorite, la skuttérudite, la cobaltite et l'érythrite, minéraux fortement altérés et associés à des minéraux silicatés (albite, quartz, chlorite) représentent les principales phases porteuses de cobalt et d'arsenic. Toutefois, les essais de flottation conjugués aux techniques de prétraitement physique et chimique ont démontré la complexité de la préconcentration du Co, tandis que celle de l'As s'est révélée plus intéressante. Une amélioration notable grâce à la séparation gravimétrique a été observée dans le processus de préconcentration des minéraux d'intérêt. En résumé, la préconcentration des minéraux qui renferment du cobalt et de l'arsenic à partir de résidus miniers âgés en utilisant des méthodes de traitement minéral classiques revêt une importance capitale, mais nécessite une optimisation en vue d'une mise en œuvre à plus grande échelle.

## Cartographie pétro-géochimique par XRF portable de la marge sud de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (secteur de Saint-Bruno-Arvida) et ses minéralisations de Fe-Ti-V-P associées, Province de Grenville central, Québec

Théo Hassen Ali, Sarah Dare, Renée-Luce Simard (UQAC)  
et Abdelali Moukhsil (MRNF)

Les massifs anorthositiques protérozoïques sont des cibles d'exploration minières importantes, car elles contiennent des minéralisations de minéraux critiques et stratégiques de Ni-Cu ± Co et de Fe-Ti-V-P. Cependant, la mise en place de ces minéralisations et leurs relations génétiques avec les massifs anorthositiques sont mal comprises.

Lors de la deuxième saison de terrain, cette étude de doctorat MRNF-UQAC s'est concentrée sur les affleurements et les indices associés à la marge sud de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (SALSJ) entre Arvida et Saint-Bruno, notamment les minéralisations de Fe-Ti-V et de Fe-Ti-P. Dans ce secteur, les lithologies principales de la SALSJ sont principalement des anorthosites et des troctolites et d'un peu de gabbro et de gabbro qui forment des bandes métriques généralement NNE-SSW à pendages variables. Enfin, principalement associés aux lithologies troctolitiques, on trouve des lentilles ou des amas massifs d'oxydes de fer ± apatite, comme aux indices Moquin (Fe-Ti-V) et Kénogami (Fe-Ti-P).

À partir des signatures magnétiques, de la cartographie de terrain et des analyses de la calcicité du plagioclase (contenu en anorthite : An) par XRF portable (XRFp), la zone d'étude a pu être subdivisée en 3 principaux secteurs.

Le secteur oriental est caractérisé par une signature magnétique habituellement faible. Les lithologies présentes forment des bandes métriques à faible pendage composées principalement de norites et de troctolites avec un peu d'anorthosites et de gabbros. Les porphyroclastes de plagioclase présentent une calcicité médiane de  $An_{52}$  (labrador).

Le secteur central, d'environ 8 km de large aux alentours de la municipalité de Larouche, se démarque par une signature magnétique généralement forte. Les lithologies forment des bandes métriques généralement orientées NNE-SSW et à forts pendages de composition principalement troctolitique à anorthositique avec des intervalles de gabbro et de norite. Plusieurs bandes mylonitisées ont été observées dans ce secteur. On y trouve plusieurs amas discontinus de minéralisations massives à Fe-Ti-V composées d'oxydes de fer à olivine (p. ex. indices Moquin). La calcicité du plagioclase dans ce secteur est généralement plus basse  $\sim An_{46}$  (andésine).

Finalement, le secteur occidental présente des caractéristiques assez semblables au secteur oriental, avec une signature magnétique faible et des structures à faibles pendages. Les lithologies présentes sont principalement de composition anorthositique à noritique avec un peu de gabbro. Les porphyroclastes de plagioclases montrent une calcicité médiane de  $An_{51}$  (labrador). Les roches anorthositiques de ce secteur sont recoupées par des mégadykes NNE-SSW de ferrodiorite, comme la Diorite du Lac Chabot. Des minéralisations de nelsonite (Fe-Ti-P) sont observées dans ce secteur en bordure d'un de ces mégadykes de ferrodiorite.

## Améliorer la résolution des données magnétiques grâce à l'apprentissage profond

**Shiva Tirdad (CGQ-Québec), Mojtaba Bavand Savadkoobi; Erwan Gloaguen (INRS-ETE), Matthieu Cedou (Mira Géoscience) et Martin Blouin (Geostack)**

Depuis les années 1960, les levés magnétiques aéroportés jouent un rôle essentiel dans la cartographie géologique et l'exploration des ressources. La volonté constante de collecter de nouvelles données est motivée par les progrès continus des techniques de levé, tels que l'augmentation de la sensibilité des capteurs, qui se traduit par une amélioration de la résolution des données acquises. Toutefois, l'intégration à l'échelle régionale de ces ensembles de données avec les données existantes de diverses résolutions constitue un défi de taille. Il est donc nécessaire d'adopter de nouvelles approches pour améliorer la résolution des ensembles de données magnétiques existants et d'étudier les corrélations statistiques entre les données à haute et basse résolution colocalisées à l'aide de techniques d'apprentissage profond. Au cours des dernières années, les algorithmes d'apprentissage profond ont gagné du terrain en géophysique, en particulier dans des tâches telles que la détection automatisée des failles dans les données sismiques 3D, la modélisation sismique et la tomographie.

Les algorithmes d'apprentissage profond tels que les modèles de diffusion et les réseaux antagonistes génératifs (GAN) ont démontré leur potentiel dans le domaine du traitement d'images. Ils ont fait leurs preuves dans diverses applications telles que l'imagerie médicale et la segmentation d'images.

L'objectif de cette étude se base sur nos travaux antérieurs sur les GAN et vise à créer des outils d'intelligence artificielle (IA) utilisant des modèles de diffusion pour améliorer la résolution des ensembles de données magnétiques à faible résolution par le biais d'un entraînement de super-résolution. Par la suite, ce processus permettra de générer des cartes à haute résolution à partir de leurs équivalents de plus faible résolution en utilisant des techniques d'affinage adaptatif pour améliorer la résolution de l'image.

Le processus d'apprentissage consiste à ajouter progressivement du bruit à une image à haute résolution jusqu'à ce qu'il ne reste plus que du bruit pur. Le modèle apprend ensuite à inverser ce processus à partir d'une image initiale à faible résolution pour atteindre progressivement la distribution cible souhaitée.

Cette méthode est testée dans les régions septentrionales de la province de Québec. La carte aéromagnétique de la province est comparée aux sorties à haute résolution ainsi produite à l'aide de l'indice de similarité structurelle (SSIM) afin de comparer la similarité spatiale entre l'image générée et la réalité de terrain.

Ultimement, les cartes synthétiques à haute résolution utilisant à la fois des levés anciens et récents minimiseront la perte d'information et permettront des interprétations géologiques plus robustes. En conséquence, les décisions prises par les géologues en matière d'exploration minière seront améliorées et plus rentables.

Cette étude est réalisée en collaboration avec le ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec et l'Institut national de la recherche scientifique et est financée par le programme GEM-GeoNorth.

## Caractérisation de l'évolution du magmatisme paléoprotérozoïque du Domaine Sud, ceinture de Cape Smith, Nunavik, Québec

Simon Tournier, Cristina Accotto, Crystal LaFlamme, Carl Guilmette (ULaval), Marc-Antoine Vanier et Guillaume Mathieu (MRNF)

Le Domaine Sud de la ceinture de Cape Smith (Nunavik, Québec) représente un bassin volcano-sédimentaire d'âge paléoprotérozoïque qui héberge plusieurs minéralisations de Ni-Cu, dont le gisement de classe mondiale de Raglan (1,5 Mt/an; 2,6 % Ni, 0,6 % Cu et 0,055 % Co). Cette région a été cartographiée entre les années 1983 et 1989 à l'échelle 1/50 000. Le Domaine Sud est composé des groupes de Povungnituk et de Chukotat. Le Groupe de Povungnituk s'est formé lors de l'ouverture d'un rift entre 2000 Ma et 1950 Ma; il est composé de roches volcaniques, notamment celles de la Formation de Beuparlant, mais aussi de roches sédimentaires. Le Groupe de Chukotat est relié à la mise en place d'un panache mantellique actif autour de 1882 Ma. Le Chukotat est constitué de roches mafiques et ultramafiques qui constituent les unités encaissantes des principales minéralisations de Ni-Cu.

Malgré les connaissances déjà acquises, des interrogations subsistent. Quelle est la stratigraphie précise de ce bassin? Quels sont les processus pétrogénétiques à l'œuvre? Afin de répondre à ces questions, nous avons effectué deux campagnes de terrain dans la partie centrale du Domaine Sud lors des étés 2022 et 2023. Ces campagnes ont permis d'effectuer trois transects nord-sud et d'étudier de nombreux points d'intérêt. Les échantillons récoltés ont été utilisés dans le cadre d'une étude pétrographique et géochimique des différentes unités du Domaine Sud afin de caractériser l'évolution de son magmatisme.

Les observations au sein de la Formation de Chukotat (Groupe de Chukotat) ont montré que les contacts entre les laves mafiques et ultramafiques sont transitionnels. Cela implique que la Formation de Chukotat est composée de coulées de lave mafique à ultramafique et non pas de plusieurs coulées distinctes, certaines mafiques et d'autres ultramafiques. Aussi, la composition en terres rares, Ti, Nb et Yb des roches basaltiques du Domaine Sud indique une origine de type EMORB à P-MORB pour la Formation de Beuparlant (Groupe de Povungnituk) et une origine de type NMORB à P-MORB pour la Formation de Chukotat.

Ces résultats préliminaires indiquent que le Domaine Sud se serait mis en place lors de l'activité de deux panaches mantelliques différents, un associé à la Formation de Beuparlant et l'autre à la Formation de Chukotat, ce qui est cohérent avec les connaissances actuelles touchant le Domaine Sud et les modèles de formation des gisements de Ni-Cu.

## Évaluation de la distribution des éléments de terres rares et des radionucléides durant la flottation

Mahamadou Traoré, Jean-François Boulanger, Lucie Coudert (UQAT) et Dominic Larivière (ULaval)

Les éléments de terres rares (ETR) incluent typiquement les éléments du groupe des lanthanides, le scandium et l'yttrium. Ils sont utilisés dans la transition verte et le développement de nouvelles technologies. Ces éléments sont contenus dans plusieurs minéraux dont les plus courants sont la monazite, la bastnaésite et le xénotime qui sont couramment présents dans les gisements québécois.

Ces minéraux contiennent systématiquement des radionucléides d'origine naturelle (RON), tels que le thorium et l'uranium, ainsi que leurs produits de filiation. En effet, ces éléments radioactifs partagent des propriétés chimiques avec les ETR et se retrouvent par substitution dans les minéraux d'ETR. La présence de ces éléments constitue un défi majeur pour l'exploitation et la production des ETR en raison des réglementations environnementales et des procédés métallurgiques. En effet, si les concentrations de radionucléides sont faibles lors des premières étapes du traitement de minerais, les produits issus des procédés hydrométallurgiques (concentré et résidu) présentent des concentrations en radionucléides plus importantes qui nécessitent des connaissances approfondies pour leur manipulation et leur gestion responsable.

La connaissance de la répartition ou de la distribution des RON dans les matériaux impliqués dans la transformation des ETR est d'une grande importance en radioprotection. L'étude de leur distribution permet notamment de mieux mesurer les implications du point de vue de l'exposition radiologique potentielle.

Dans cette optique, cette étude a analysé la distribution des ETR et de certains radionucléides dans la chaîne de production d'un concentré de minéraux de terres rares par flottation à l'échelle minipilote. Le minerai alimentant le circuit provient du gisement Ashram, un gisement d'ETR situé dans le nord du Québec. La flottation a été réalisée en continu et le circuit était composé de deux étapes de conditionnement suivi de trois étapes d'ébauchage et d'une étape de nettoyage. Le pH de la pulpe d'alimentation (45 % solide massique) s'élevait à 9,17 au début de l'ébauchage et la température à 70 °C. Les échantillons de différents flux prélevés ont été analysés par fluorescence des rayons X sur des perles de fusion boratée.

Les résultats indiquent une récupération de 11 % de terres rares dans le concentré et 89 % dans le résidu. Une concentration notable des radionucléides, en particulier de thorium, est observée avec les terres rares, ce qui se traduit par un résidu final ayant une faible teneur en radionucléides. Par conséquent, la majeure partie de ces radionucléides sera éliminée lors de l'étape d'hydrométallurgie, soulignant ainsi l'importance cruciale d'une gestion appropriée des résidus résultants.

## Géologie de la région de Baie Déception, Orogène de l'Ungava, Nunavik, Québec

Marc-Antoine Vanier et Carl Bilodeau (MRNF)

Ce nouveau levé géologique à l'échelle 1/100 000 a été réalisé à l'été 2023 dans la région de Baie Déception (feuilles SNRC 35G14-E, 35G15-N, 35J02, 35J03-E), située à environ 50 km au sud-est du village de Salluit, au Nunavik.

Le projet avait pour objectif l'acquisition de nouvelles connaissances géologiques dans l'Orogène de l'Ungava (Province de Churchill), segment associé à l'Orogenèse transhudsonienne du Paléoprotérozoïque. Ce levé a permis de produire quelque 800 nouvelles descriptions d'affleurements, 280 échantillons d'analyses géochimiques et 12 échantillons géochronologiques U-Pb.

La région cartographiée comprend le contact entre trois des principaux domaines lithotectoniques de l'Orogène de l'Ungava, soit un bloc archéen formé des domaines de Kovik et de Narsajuaq, ainsi qu'un bloc d'âge Paléoprotérozoïque, le Domaine Nord. Ce dernier se situe structuralement au-dessus du Domaine de Kovik et se compose essentiellement de roches intrusives mafiques à ultramafiques, mais renferme aussi des quantités mineures de roches métavolcaniques, métasédimentaires et intrusives de composition intermédiaire à felsique. Le Domaine de Kovik est formé d'un socle gneissique archéen affecté par des épisodes magmatiques et tectonométamorphiques au Paléoprotérozoïque. Le Domaine de Narsajuaq possède ses propres caractéristiques lithologiques et une signature aéromagnétique distincte. Il est probablement composé d'un socle de composition et d'âge différents de celui du Kovik.

La limite approximative entre les deux domaines archéens est marquée par la présence d'une bande quasi continue de roches métavolcaniques et métasédimentaires dont l'affiliation est à déterminer. L'analyse structurale met en évidence des schémas d'interférences de plis contrôlant l'architecture globale de la région de Baie Déception et, plus spécifiquement, la continuité des bandes de roches supracrustales et des unités analogues du Domaine Nord. Les résultats à venir de géochimie et de géochronologie permettront d'affiner la lithostratigraphie régionale ainsi que d'évaluer le potentiel minéral du secteur.

## La minéralisation en Nb dans les carbonatites du Saguenay : de l'origine à la mise en place

Nils Van Weelderren, L. Paul Bédard (UQAC),  
Anne-Aurélié Sappin (CGC-Québec) et  
Michel Grégoire (Université Toulouse III — Paul Sabatier)

Le niobium (Nb) est reconnu comme un élément critique et stratégique par le Canada; il est donc important de comprendre la formation des gisements contenant ce métal pour bien orienter les travaux d'exploration. Comme les carbonatites sont les hôtes presque exclusifs des gisements de Nb, déterminer les processus associés à la formation et à la mise en place de ces systèmes magmatiques est nécessaire pour expliquer la genèse de ces minéralisations. Dans ce but, quatre intrusions de carbonatite de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean (Saint-Honoré, Shipshaw, Girardville et Crevier) seront étudiées afin d'identifier 1) les phénomènes crustaux et les processus de mise en place de ces carbonatites, 2) la source des magmas carbonatitiques et 3) l'origine de la minéralisation en Nb. Comme ces quatre carbonatites présentent des différences notables (âge, taille, forme, assemblage minéral, etc.), cette comparaison permettra de cibler les différences entre les carbonatites présentant un intérêt économique pour le Nb (p. ex., Saint-Honoré), les carbonatites et les pegmatites subéconomiques (p. ex., Crevier) et les carbonatites peu ou pas minéralisées (p. ex., Shipshaw et Girardville) afin de mettre en évidence des indicateurs de fertilité.

Dans un premier temps, le mode de mise en place dans la croûte de ces intrusions de carbonatite sera étudié. Deux modèles ont dernièrement été proposés pour expliquer la remontée des magmas carbonatitiques. Le modèle le plus accepté propose que les faibles densité et viscosité des magmas carbonatitiques permettent à ces derniers de remonter rapidement le long de failles crustales. Le second modèle suggère plutôt une lente ascension des magmas dans la croûte facilitée par des réactions magma-encaissant. Ces modèles seront testés ainsi que les effets possibles des mécanismes de filtre-pressé et/ou d'assimilation crustale. Les compositions isotopiques en Sm-Nd et Rb-Sr d'échantillons de Saint-Honoré et de Shipshaw seront comparées à celles des carbonatites de Girardville et de Crevier pour tester le degré de contamination des carbonatites. De plus, l'étude de la chimie des minéraux et des roches nous informera sur l'évolution des magmas. Pour mieux contraindre les contextes de mise en place de ces intrusions, de nouvelles datations U-Pb sur apatites ont été réalisées sur les carbonatites de Shipshaw et de Saint-Honoré. Deux âges avec 13 Ma d'écart, compris entre 550 et 530 Ma, ont été obtenus pour la carbonatite de Shipshaw, ce qui est similaire aux âges récents obtenus sur des apatites de la carbonatite de Saint-Honoré (~550 Ma).

## Espace Hubert-Reeves et Géoparc de Charlevoix

**Pierre Verpaelt (Observatoire de la Géosphère de Charlevoix) et Jean-Michel Gastonguay (Sciences@CECC)**

L'Espace Hubert-Reeves (EH-R), un projet d'infrastructures majeur au cœur de Charlevoix, a comme objectif de rendre accessible à la population la connaissance liée à la Terre, l'Univers, l'environnement et aux divers phénomènes qui ont sculpté le territoire de Charlevoix. Il s'agit d'un véritable laboratoire muséographique immersif dédié à l'exploration du cratère de Charlevoix, de son origine céleste à ses vestiges terrestres et son occupation humaine, sans oublier la vision autochtone de cette origine.

Abordant les thèmes de la création de l'univers, de la géologie et du territoire, l'EH-R fait le lien avec ses habitants et leur environnement. Avec une vocation pédagogique, scientifique, artistique et événementielle, il ciblera des publics scolaire, parascolaire, touristique, professionnel, local et international.

Situé aux abords du Saint-Laurent, l'Espace Hubert-Reeves constituera le nouveau point focal de la culture scientifique en Charlevoix.

L'espace comprendra :

- ▶ La Sphère immersive, une expérience multimédia 360° unique et à la fine pointe de la technologie;
- ▶ Le Laboratoire géologique qui offrira une plate-forme d'analyse, d'identification et de classification d'échantillons géologiques de Charlevoix;
- ▶ La *Science On a Sphere*, un système de projection sphérique à haute résolution présentant différents phénomènes planétaires;
- ▶ Le Lab qui suscitera l'intérêt des visiteurs avec des activités de manipulation et d'expérimentation ludiques et originales.

L'origine météoritique de l'astroblème de Charlevoix sert de départ pour explorer aussi le patrimoine astronomique et découvrir les mécanismes de formation des systèmes solaires, des planètes, des étoiles, des galaxies, et même des éléments et des particules élémentaires à l'autre bout du spectre de l'Univers.

Le Géoparc de Charlevoix est l'extension de l'EH-R sur tout le territoire. Situé à l'intersection de trois grandes provinces géologiques, le Bouclier canadien, la Plate-forme du Saint-Laurent et les Appalaches, son évolution couvre au moins 1,5 Ga de l'histoire de la Terre, permettant ainsi d'observer une grande variété de milieux et d'éléments géologiques de même qu'un astroblème et le paysage de la dernière période glaciaire.

L'image Lidar montre clairement le contour de l'ancien cratère ainsi que le soulèvement central laissé par l'impact datant de plus de 400 Ma. Cônes de percussions, brèches d'impact et roches fondues sont des preuves supplémentaires de cet impact.

Le géoparc présente déjà de nombreuses activités en Charlevoix : observatoires astronomique et de l'astroblème, un parcours géologique, un programme éducatif et des sentiers d'interprétation. Parmi les projets en cours, mentionnons la mise en valeur du Site historique autochtone de la Grande Alliance à Pointe-aux-Alouettes.

## Minéralogie et géochimie du gîte de Moblan, un essaim de dykes de pegmatite LCT minéralisés en lithium (Eeyou Istchee Baie-James)

Antoine Vigne (Université McGill), Aurélien Eglinger (InnovExplo), Anthony Williams-Jones, Olga Vasyukova (Université McGill) et Carl Corriveau (Sayona Québec)

Le regain d'intérêt pour le lithium causé par la transition énergétique a entraîné un fort développement de l'exploration des pegmatites de la famille Lithium-Césium-Tantale (LCT) au Québec et à l'international. Cette exploration est cependant difficile, car les questions de la source, de l'association ou non avec un granite, ainsi que des conditions de formation de ces roches restent sujettes à discussions. Les modèles géologiques peuvent cependant être améliorés grâce aux observations texturales et minéralogiques, car elles apportent des informations cruciales sur les conditions de mise en place des pegmatites.

Moblan est une minéralisation de lithium formée principalement de deux groupes de dykes : un premier groupe orienté E-W et un second N-S. Les dykes E-W présentent un faible pendage vers le nord et une géométrie sigmoïdale. Ils sont encaissés dans des gabbros amphibolitisés. Le groupe N-S montre un pendage plus fort et des contacts plus francs avec la roche encaissante. Ces dykes de différentes générations et orientations reflètent une mise en place pulsatile, débutant par les dykes E-W suivis des dykes N-S, dans un continuum de déformation essentiellement transversale en régime ductile-fragile (événement de déformation régional D3). La géochimie de la roche totale indique que les pegmatites N-S, plus tardives, sont plus évoluées que les pegmatites précoces E-W.

L'une des particularités de la minéralisation à Moblan est la microstructure du spodumène, le principal minéral porteur de lithium. En effet, ce minéral comporte couramment de nombreuses inclusions de quartz. Cette particularité est fréquemment rapportée dans la littérature comme le résultat d'une réaction rétrograde de la pétalite, un aluminosilicate de lithium de plus basse pression et plus haute température que le spodumène. Le rapport spodumène-quartz, les variations de la quantité d'inclusions au sein d'un même cristal, ainsi que les différences de teneur en éléments en traces entre les cristaux de spodumène avec ou sans inclusions de quartz sont des arguments en faveur de la rétrogenèse de la pétalite. Cependant, étant donné que d'autres minéraux de ce gisement présentent également des inclusions de quartz, cette microstructure pourrait également représenter une structure squelettique primaire résultant d'une cristallisation dans des conditions de refroidissement rapide (*undercooling*). Ces observations ont de fortes implications pour déterminer le chemin pression-température de la roche.

Enfin, des phénomènes de remplacement du spodumène, ainsi que la présence de lépidolite en remplissage de fractures sont couramment observés à Moblan. Ces observations semblent indiquer que des processus métagénétiques tardifs sont responsables de la formation de certaines phases minérales lors de la cristallisation de ces pegmatites.

## Décoder la chronologie du métamorphisme polyphasé dans la région de la Mauricie, Province de Grenville centrale, Québec

Muhammad Zahoor Iqbal et  
Renaud Soucy La Roche (INRS-ETE)

La Province de Grenville est composée de roches métamorphiques de haut grade qui ont enregistré les effets d'une croissance crustale de longue durée associée à plusieurs épisodes d'accrétion pré-grenvilliens entre environ 1665 et 1140 Ma suivie d'une collision finale continent-continent qui a marqué l'accrétion du supercontinent Rodinia entre environ 1090 et 980 Ma. La région de Mauricie-Portneuf comprend plusieurs domaines lithotectoniques métamorphisés et déformés exposant divers niveaux structuraux qui ont été juxtaposés tectoniquement au cours de la phase ottavienne de l'Orogenèse grenvillienne. La signature plus ou moins importante de l'Ottavien offre la possibilité de caractériser les événements d'accrétion pré-grenvilliens. Du niveau structural le plus bas au plus élevé, les domaines de Mékinac-Taureau, Shawinigan et Portneuf-St-Maurice montrent collectivement peu d'évidences géochronologiques en faveur d'un métamorphisme associé à l'accrétion de l'arc de Montauban à la marge sud-est de la Laurentia autour de 1390 Ma, à l'Orogenèse shawiniganaise à environ 1190-1140 Ma ou à l'Orogenèse ottavienne à environ 1090-1020 Ma. Toutefois, l'étendue spatiale et le degré de métamorphisme associés à chacun de ces événements sont mal définis. Il est donc essentiel de mieux définir la chronologie et les conditions métamorphiques des périodes d'accrétion pré-grenvilliennes et de la collision finale pour décrypter l'assemblage crustal de la partie centrale de la Province de Grenville.

L'assemblage minéral associé au pic métamorphique dans les paragneiss des domaines Mékinac-Taureau et Shawinigan comprend le grenat, la biotite, la sillimanite prismatique et le feldspath potassique, ce qui indique des conditions du faciès supérieur des amphibolites à granulites. Le grenat du domaine de Shawinigan est caractérisé par des cœurs et des bordures respectivement riches et pauvres en inclusions séparés par des limites idiomorphes à hypidiomorphes nettes, ce qui peut indiquer une croissance du grenat au cours de deux événements métamorphiques distincts. En revanche, les paragneiss du domaine de Portneuf-St-Maurice sont caractérisés par l'assemblage grenat-biotite-cordiérite-sillimanite qui indique des conditions de température et de pression plus basses. La pétrochronologie par la méthode d'ablation laser et spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (LA-ICP-MS) *in situ* sur la monazite sera utilisée pour déterminer la chronologie des événements métamorphiques. Ses caractéristiques texturales permettront de déterminer l'âge de cristallisation des minéraux métamorphiques. Ainsi, les inclusions de monazite dans le grenat et la cordiérite devraient fournir un âge maximal de cristallisation des porphyroblastes. Les teneurs en éléments en traces de la monazite seront mesurées simultanément avec les rapports isotopiques et utilisés pour établir les relations entre la croissance de cette phase et les réactions métamorphiques susceptibles de libérer ou de séquestrer l'yttrium et les ETR. Ces nouveaux résultats sur la chronologie des épisodes métamorphiques fourniront des contraintes robustes qui permettront d'établir l'évolution tectonométamorphique de la région de la Mauricie dans la Province de Grenville centrale au Mésoprotérozoïque.

# ACRONYMES

*ACIM : Accélérateur de la commercialisation des innovations minières (MICA, Mining Innovation Commercialization Accelerator)*

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

*Cégep A-T : Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue*

*CGC-Centre : Commission géologique du Canada, Centre*

*CGC-Nord : Commission géologique du Canada, Nord*

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

*CONSOREM : Consortium de recherche en exploration minérale*

*CRITM : Consortium de recherche et d'innovation en transformation métallique*

*FRQNT : Fonds de recherche du Québec-Nature et technologie*

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

*IRME-UQAT : Institut de recherche en mines et environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue*

*LA-ICP-MS : Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*

*MCS : Minéraux critiques et stratégiques*

*MEIE : Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie*

*MISA : Mines, innovations, solutions et applications*

*MRNF : Ministère des Ressources naturelles et des Forêts*

*SDBJ : Société de développement de la Baie-James*

*SMV : sulfures massifs volcanogènes*

*SOQUEM : Société québécoise d'exploration minière*

*UBC Okanagan : University of British Columbia, Okanagan*

*UBC Vancouver : University of British Columbia, Vancouver*

*U. Laurentienne : Université Laurentienne*

*ULaval: Université Laval*

*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*



