

QMIÉ

Québec Mines+Énergie

2021



RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES
DV 2022-01

2021

Coordonnatrice

Marie-Claude Bonneau

Traduction et révision linguistique

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.....	5
Acronymes	77

RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES

TABLE DES MATIÈRES

SÉANCE 1

ÉLECTRIFICATION DE L'ÉCONOMIE, DIMINUTION DES GES ET MOBILITÉ ÉLECTRIQUE

Hydro-Québec : innovation et énergie pour un avenir durable 10

Josée Thériault (Centre d'excellence en électrification des transports et stockage d'énergie, Hydro-Québec)

La demande d'électricité et les solutions envisagées pour soutenir le Québec 10

Sophie Brochu (Hydro-Québec)

Décarbonation : les enjeux et les perspectives du secteur de l'énergie 10

Éric Lachance (Énergir)

Le génie québécois tourné vers une transition énergétique durable 10

Kathy Baig (Ordre des ingénieurs du Québec)

SÉANCE 2

VISION DU DÉVELOPPEMENT DES FILIÈRES DE MINÉRAUX CRITIQUES ET STRATÉGIQUES

Faire du Québec un pôle mondial de l'industrie de la batterie 11

Hubert Bolduc (Investissement Québec International)

Les minéraux critiques et stratégiques : maximiser les retombées de la recherche et de l'innovation 11

Francis Fournier (COREM)

Les métaux critiques et stratégiques : matériaux indissociables de l'économie circulaire 11

Daniel Normandin (Centre d'études et de recherches intersectorielles en économie circulaire)

Plus de 70 ans d'innovation au Québec chez Rio Tinto Fer et Titane (RTFT), un leader dans les minéraux critiques et stratégiques 12

Didier Arseguel (Rio Tinto Fer et Titane)

Des minéraux critiques aux technologies essentielles 12

Richard Perron (5N Plus)

SÉANCE 3

30 ANS DE RESTAURATION DES SITES MINIERES : REGARD LUCIDE SUR LE PASSÉ

Restauration de l'ancien site minier Solbec : l'histoire d'une réussite et d'un héritage 13

Lincar Pedroni (IAMGOLD)

Restauration du site minier Lorraine : historique et performances 13

Bruno Bussière (UQAT)

Les défis d'un projet de restauration en milieu hydrique : le site minier de Lac Renzy 14

Sophie Turcotte, Sandra Tremblay (MERN) et Guy Fouquet (FNX-Innov)

Mine Principale : un exemple de restauration complexe 14

Henrik Rasmussen (MERN) et Carl Gauthier (WSP)

Influence de la végétation sur la performance des systèmes de recouvrement utilisés en restauration minière : cas du site Lorraine 15

Marie Guittonny, Bruno Bussière, Alex Proteau, Yves-Dady Botula et Gwendoline Hotton (UQAT)

Sous-comité du plan de fermeture de la mine Raglan 15

Guy Dufour (Mine Raglan), Jean-Marc Séguin (Société Maki-vik) et Bruno Bussière (UQAT)

SÉANCE 4

EXPLOITATION MINIÈRE ET VALORISATION DES MCS

Se réinventer pour valoriser le plein potentiel minier et énergétique du Québec 16

Éric Desautniers (Nouveau Monde Graphite)

Les occasions pour le Québec de devenir un leader de la chaîne mondiale du lithium 16

Brett Lynch et Guy Laliberté (Sayona Mining)

Le projet Dumont Nickel — Prêt à répondre à la demande croissante du marché des batteries 17

Johnna Muinonen (Dumont Nickel)

Rio Tinto Fer et Titane et les minéraux critiques et stratégiques : production de scandium à partir de résidus miniers 17

Didier Arseguel (Rio Tinto Fer et Titane)

ECO2 Magnesia : le premier oxyde de magnésium écologique au monde inventé au Québec 17

Paul Boudreault, Maxime Couillard (SIGMA Devtech) et Louis-César Pasquier (INRS-ETE)

SÉANCE 5

ÉLECTRICITÉ DÉCENTRALISÉE : UNE NOUVELLE RÉALITÉ?

Un exemple concret — Le 1er microréseau électrique à Lac-Mégantic 18

Stéphane Vachon (Lac-Mégantic)

SÉANCE 6

OR AU QUÉBEC : NOUVEAUX OUTILS, NOUVELLES CONNAISSANCES

Chronologie des minéralisations aurifères de type orogénique du camp de Val-d'Or, sud de la Sous-province de l'Abitibi, par géochronologie U-Pb *in situ* du xénotime..... 18

Michael Herzog, Crystal LaFlamme, Georges Beaudoin, Carl Guilmette (Université Laval) et Jeffrey Marsh (Université Laurentienne)

Le système filonien des Zones Sud, Mine Goldex : une minéralisation aurifère précoce dans le camp minier de Val-d'Or. 19

David Yergeau (Mines Agnico Eagle), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Liam X. Maw et Pierre-Simon Ross (INRS-ETE)

Un nouveau regard sur la ceinture de roches vertes d'Urban-Barry : contexte géologique et métallogénie d'un district aurifère émergeant... 20

Jean-Luc Pilote, Patrick Mercier-Langevin, Sébastien Castonguay (CGC-Q), Brandon Choquette (Minière Osisko), Natasha Wodicka (CGC-O), Benoît Dubé (CGC-Q), Édouard Côté-Lavoie (Minière Osisko), Boris Artinian, Marc Ducharme et Ka Ming Yuen (Bonterra Resources)

Réévaluation du contexte géologique et métallogénique de la région de Caopatina et du gisement Philibert, Chibougamau 20

Pierre Bedeaux (Barrick Gold), Antoine Brochu (MERN), Mike Hamilton (University of Toronto), Jeffrey March (Université Laurentienne) et Réal Daignault (UQAC)

Identifier les pièges stratigraphiques et structuraux pour l'or dans des terrains au faciès des amphibolites : exemple du sud de la ceinture de roches vertes de la Haute-Eastmain, Québec..... 21

Jonathan Marleau (Dahrouge Geological Consulting) et Stéphane De Souza (UQAM)

Nouveau secteur aurifère à l'extrémité orientale de la Sous-province archéenne d'Opinaca, Province du Supérieur 21

Normand Goulet, (UQAM), Michel Boily, Bertrand Brassard et Alexandre Cruz (Stelmine)

SÉANCE 7

NOS RESSOURCES NATURELLES, UNE COMPOSANTE ESSENTIELLE AU DÉVELOPPEMENT DURABLE DU TERRITOIRE NORDIQUE

Développement économique responsable des ressources naturelles, la force de la collaboration 22

Marie-Josée Lizotte (MERN)

« Habiter notre Nord » : la nécessité d'une vision concertée et coordonnée 22

Patrick Beauchesne (Société du Plan Nord)

Unir nos forces, saisir les opportunités 22

Alain Coulombe (Société de développement de la Baie-James)

SÉANCE 8

SIDEX

TRAVAUX D'ACQUISITION DE CONNAISSANCES GÉOSCIENTIFIQUES AU MERN

SIDEX, un fonds institutionnel qui appuie l'exploration minière au Québec, fête ses 20 ans! 23

Paul Carmel (SIDEX)

Cinq ans d'une aventure numérique réussie, ça se fête! 23

Mehdi A. Guemache et François Leclerc (MERN)

Géologie de la région du lac Conviac, Eeyou Istchee Baie-James..... 23

Daniel Bandyayera, William Chartier-Montreuil, Myriam Côté-Roberge et Maxym-Karl Hamel-Hébert (MERN)

Géologie de la région du lac Le Vilin, Eeyou Istchee Baie-James 24

Daniel Bandyayera, Emmanuel Caron-Côté et Charles St-Hilaire (MERN)

Géologie de la région du lac La Trêve, Sous-Province de l'Abitibi, Eeyou Istchee Baie-James..... 24

Mélanie Beaudette et Yannick Daoudene (MERN)

Géologie de la région de Dolbeau-Blondelas,
Province de Grenville, région du
Saguenay-Lac-Saint-Jean 25

Mhamed El Bourki et Abdelali Moukhsil (MERN)

Nouvelles données géochimiques de sédiments
de fond de lac dans le secteur de
Mistassini-Ouest, Eeyou Istchee Baie-James. 25

Fabien Solgadi (MERN)

Inventaire des ressources en granulats de
la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean 26

André Brazeau (MERN)

Géologie de la région de Girardville,
Province de Grenville, région du
Saguenay-Lac-Saint-Jean 26

Mhamed El Bourki et Abdelali Moukhsil (MERN)

Nouveaux levés géophysiques publiés en 2020-
2021 26

Rachid Intissar (MERN)

SÉANCE 9

HYDROGÈNE ET BIOÉNERGIES – ENJEUX POLITIQUES ET ÉCONOMIQUES

Le rôle de l'hydrogène vert et des
bioénergies dans la transition énergétique 27

Dominique Deschênes (MERN)

Le rôle de l'OACI dans la réduction de l'impact de
l'aviation internationale sur le climat mondial ... 27

Neil Dickson (Organisation de l'aviation civile internationale)

SÉANCE 10

Projets miniers et autorisations gouvernementales :
Deux ans de réalisation pour le Bureau
de coordination des droits 28

Martin Breault (MERN)

SÉANCE 11

FORUM SUR L'APPROVISIONNEMENT MINIER AUTOCHTONE

Le 10e anniversaire de la mine Éléonore..... 28

Christina Gilpin (Chef Nation crie de Wemindji)
et Marc Lauzier (Newmont, Mine Éléonore)

Plan canadien pour les minéraux et les métaux . 28

Melanie Campbell (Ressources naturelles Canada)

Plan canadien pour les minéraux et les métaux —
Mining Shared Value et Ingénieurs sans
frontières Canada 28

Keyla de Weerdt
(Mining Shared Value et Ingénieurs sans frontières)

Torngat Metals..... 28

Christine Burow (Torngat Metals)

BlackRock Metals 28

Alexandre Meterissian (BlackRock Metals et Teneo)

SÉANCE 12

HYDROGÈNE ET BIOÉNERGIES – ENJEUX TECHNIQUES ET RÉALISATIONS CONCRÈTES

Perspectives de Michelin dans le projet
Zero Emission Valley porté par la région
Auvergne-Rhône-Alpes 29

Valérie Bouillon-Delporte (Michelin)

La production québécoise de granules énergé-
tiques et ses marchés 29

John Arsenault (Bureau de promotion des produits
du bois du Québec)

Mener la transition énergétique du Québec
grâce à l'hydrogène et au gaz
naturel renouvelable 29

Jean-Benoit Trahan (Gazifère)

Perspectives d'Hydro-Québec sur le développe-
ment de l'hydrogène vert au Québec 29

Mathieu Johnson (Hydro-Québec)

SÉANCE 13

OFFENSIVE NUMÉRIQUE ET INNOVATION : DES INITIATIVES POUR ACCÉLÉRER LA TRANSFORMATION DES ENTREPRISES DES ÉCOSYSTÈMES MINIER ET ÉNERGÉTIQUE

La migration vers SAP S/4HANA : un des leviers
de transformation pour soutenir la vision
d'Énergir au cours de la période 2030-2050 30

Julie Pouliot (Énergir)

Les impacts concurrentiels de l'offre de service
4.0 pour les PME de la filière minérale
du Québec 30

Alain Beauséjour (Groupe MISA)

Virage numérique des fournisseurs manufacturiers des entreprises des secteurs miniers et de l'énergie : contexte et mise en œuvre30

Pierre Laurent Boudrias (STIQ)

Traçabilité : certifier l'origine des minéraux critiques tout en optimisant les performances de production31

Ken Fallu (OPTEL)

SÉANCE 14

LE CUIVRE AU QUÉBEC : QUE SAVONS-NOUS, QUE CHERCHONS-NOUS?

Le cas des gisements archéens d'Au-Cu de type porphyrique lié à des intrusions : exemples du craton du Supérieur.....31

Daniel J. Kontak (Université Laurentienne)

Contrôles physico-dynamiques sur les minéralisations magmatiques de Ni-Cu : leçons apprises de Voisey's Bay et applications à l'exploration au Québec32

Benoit-Michel Saumur (UQAM)

Le cuivre dans la région de Chapais-Chibougamau, ceinture de roches vertes de l'Abitibi.....32

Lucie Mathieu, Alexandre Crépon (CERM-UQAC) et Daniel J. Kontak (Université Laurentienne)

Le projet Wabash d'Exploration Kintavar : le potentiel argentifère des minéralisations de cuivre stratiforme de la Haute-Mauricie et des Laurentides32

Alain Cayer (Exploration Kintavar et Ressources Géo-MégA), Gabriel Bolduc (Exploration Kintavar) et Michel Gauthier (UQAM)

Contexte géologique du gîte Cu-Au-Mo-Ag de Mythril, Baie-James.....33

Sylvain Trépanier, Jean-François Larivière, Mario Masson et Gino Roger (Exploration Midland)

Le potentiel cuprifère du projet Kwyjibo, Province de Grenville.....33

Serge Perreault

SÉANCE 15

VALORISATION DES REJETS THERMIQUES : UNE NOUVELLE FILIÈRE ÉNERGÉTIQUE POUR LE QUÉBEC

Résultats de l'étude du potentiel de la valorisation des rejets thermiques au Québec..34

Mikaël Krummert (Polytechnique Montréal)

Les réseaux de chaleur comme leviers de développement : le cas de la Ville de Saint-Félicien34

Jean-Marie Niget (INNOVAGRO)

Valorisation de la chaleur des eaux grises34

Boris Naneff (Renewable Resource Recovery Corporation)

La récupération d'énergie thermique, un nouveau paradigme du traitement informatique34

Vincent Thibault (QScale)

Zibi : écoquartier à faible émission de carbone, un concept innovant de climatisation et de chauffage urbain.....34

Geneviève Lussier (Equinox)

Valorisation de la vapeur de l'incinérateur de la Ville de Québec sur le site de l'Hôpital de l'Enfant-Jésus35

Rubens Araujo (Ville de Québec) et Olivier Sasseville (CHU de Québec-UL)

SÉANCE 16

CENTRE D'EXCELLENCE SUR LES MÉTAUX CRITIQUES ET STRATÉGIQUES ÉLÉMENT S08 : SURVOL DES PROJETS EN COURS ET POSSIBILITÉ DE FINANCEMENT DE LA FILIÈRE DES MCS

Éléments08 : un centre de recherche innovateur axé sur l'exploitation responsable et durable des métaux critiques et stratégiques35

Serge Perreault (Éléments08) et Benoît Plante (IRME-UQAT)

Géologie appliquée aux minéraux critiques et stratégiques36

Marc Legault (UQAT), Ludivine Da Rosa, Flore Parisot (Université de Lorraine) et Robin Potvin (Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue)

Présentation de la Chaire institutionnelle en géochimie environnementale des ressources minérales critiques et stratégiques de l'UQAT..36

Benoît Plante (IRME-UQAT)

Projets de recherche en métallurgie extractive appliquée aux métaux et minéraux critiques et stratégiques (MCS)37

Nassima Kemache, Stéphanie Somot (CTRI), Jean-François Boulanger, Lucie Coudert et Mahya Mobaraki Moghaddam (IRME-UQAT)

Récupération des minéraux critiques et stratégiques à partir des rejets miniers par voie hydro-métallurgique37

Lucie Coudert, Samuel Teillaud, Marie Guittonny, Carmen Mihaela Neculita (IRME-UQAT), Marie-Odile Simonnot, Baptiste Laubie, Jean-Louis Morel (Université de Lorraine) et Nicolas Reynier (Ressources naturelles Canada)

PSEM-MCS : un nouveau programme gouvernemental pour soutenir l'exploration des minéraux critiques et stratégiques au Québec...38

Jonathan Lafontaine (MERN)

SÉANCE 17

Avis de sécurité concernant la batterie Sandvik et offres de foreuses électriques à batterie de Sandvik38

Harold Jonker (Sandvik)

Projet Horne 5 – Le prochain projet minier d'importance en Abitibi.....38

Luc Lessard (Ressources Falco)

Mine Odyssey, au cœur d'un camp minier centenaire39

Patrick Mercier et Yoan Roy (Mine Odyssey)

Regard sur l'électrification des camions et des chargeuses-navettes39

Guy Perreault (Sandvik)

SÉANCE 18

MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE : QUEL RÔLE POUR NOUS GUIDER DANS LA TRANSFORMATION DU SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE?

Utilité des outils de modélisation et de projection énergétiques.....39

Normand Mousseau (Polytechnique Montréal)

La définition des scénarios de modélisation : le cœur de l'approche39

Valérie Quiniou-Ramus (Agence de la transition écologique)

La modélisation énergétique du Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétiques 39

Richard Gagnon (MERN)

Le bouquet énergétique : un scénario optimal pour répondre aux enjeux de décarbonation ... 40

Sabrina Harbec (Hydro-Québec) et Marc-André Goyette (Énergir)

Et si vous étiez un modélisateur, qu'est-ce que vous seriez tenté d'évaluer comme scénario? . 40

Normand Mousseau (Polytechnique Montréal), Valérie Quiniou-Ramus (Agence de la transition écologique), Sabrina Harber (Hydro-Québec), Marc-André Goyette (Énergir) et Richard Gagnon (MERN)

SÉANCE 19

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE APPLIQUÉE AU QUÉBEC

Intelligence artificielle et succès en exploration minière 40

Ludovic Bigot, Shervin Azad, Frédéric Courchesne et Vincent Dubé-Bourgeois (GoldSpot Discoveries)

Cartographie géologique préliminaire des données magnétiques aéroportées par apprentissage automatique profond 41

Mathieu Cedou (INRS), Erwan Gloaguen (INRS-ETE), Martin Blouin (Solution Geolearn), Antoine Caté (SRK Consulting), Jean-Philippe Paiement (Mira Géosciences) et Shiva Tirdad (INRS-ETE)

Comparaison de la performance d'algorithmes d'apprentissage machine appliqués à la cartographie prédictive..... 41

Dominique Genna (CONSOREM-UQAC), Jean-Philippe Paiement (Mira Géosciences) et Martin Blouin (Solution Geolearn)

Application d'un algorithme de détection automatique d'événements de productivité dans une mine québécoise..... 42

Léo Boivert (Newtrax)

Application des auto-encodeurs au débruitage des mesures géoélectriques en exploration minière 42

Charles Bérubé (Polytechnique Montréal) et Pierre Bérubé (Abitibi Géophysique)

SÉANCE 1

ÉLECTRIFICATION DE L'ÉCONOMIE, DIMINUTION DES GES ET MOBILITÉ ÉLECTRIQUE

Hydro-Québec : innovation et énergie pour un avenir durable

Josée Thériault (Centre d'excellence en électrification des transports et stockage d'énergie, Hydro-Québec)

Le Centre d'excellence en électrification des transports et en stockage d'énergie d'Hydro-Québec est un pôle d'innovation de classe mondiale dans le domaine des matériaux de batterie pour les véhicules électriques et autres applications de stockage d'énergie, tant stationnaires que mobiles. Ses travaux de R&D, qui portent notamment sur les batteries avancées au lithium-ion et les batteries solides, ont déjà donné lieu à un important portefeuille de brevets et de publications, de même qu'à des centaines de citations dans le milieu scientifique et à l'attribution de nombreuses licences.

Le Centre d'excellence en électrification des transports et en stockage d'énergie d'Hydro-Québec s'investit dans le développement des technologies de batterie et des systèmes de stockage ultraperformants qui accéléreront l'électrification des transports et l'intégration d'énergies renouvelables dans les réseaux électriques à l'échelle planétaire.

L'innovation collaborative favorise la synergie des idées et des innovations. C'est pourquoi le Centre d'excellence mise sur des partenariats de recherche avec des acteurs du monde entier pour développer de nouvelles technologies.

La demande d'électricité et les solutions envisagées pour soutenir le Québec

Sophie Brochu (Hydro-Québec)

La croissance de la demande québécoise d'électricité d'ici 2029 se confirme. Cette prévision tient compte notamment des perspectives économiques favorables et de l'accélération de l'électrification de notre économie. Afin de faire face à cette hausse de la demande, l'intégration d'énergie renouvelable et de puissance supplémentaire sera requise dans les prochaines années. Par ailleurs, Hydro-Québec, en collaboration avec ses partenaires, travaille à des solutions concrètes pour repenser notre mobilité, réinventer notre façon de consommer l'énergie et « verdier » notre économie!

Décarbonation : les enjeux et les perspectives du secteur de l'énergie

Éric Lachance (Énergir)

Le contexte actuel exerce une pression qui s'accroît envers les entreprises énergétiques afin que celles-ci se dotent d'objectifs climatiques ambitieux. En tant que principal distributeur gazier au Québec, Énergir souhaitait prendre les devants. Ainsi, elle a développé une vision d'entreprise pour la période 2030-2050 visant à décarboner son réseau de gaz naturel. Énergir entend ainsi actualiser son modèle d'affaires pour maintenir le lien de confiance auprès de sa clientèle en participant à cette transition énergétique. Au cours de cette séance, la discussion portera sur les différents enjeux et perspectives auxquels Énergir fait face et de quelle façon elle compte s'y prendre pour les affronter.

Le génie québécois tourné vers une transition énergétique durable

Kathy Baig (Ordre des ingénieurs du Québec)

Le Québec moderne s'est défini en partie sur la maîtrise de ses ressources énergétiques et des exploits de génie qui l'ont rendue possible. La période actuelle est excitante : nous avons l'occasion d'être au cœur d'un virage mondial défini par l'électrification accrue de l'économie, notamment dans le secteur des transports. Cette tendance, anticipée depuis des années, se concrétise enfin, et le Québec a la possibilité d'être un acteur de premier plan dans ces industries émergentes. Les ingénier.es québécois.es en sont des acteurs clés, à commencer par la relève. Les étudiant.es en génie sont en effet nombreux.es à souhaiter avoir une carrière en adéquation avec leurs convictions. Les ingénier.es sont très conscient.es de l'impact des tendances environnementales sur la profession, notamment la transition énergétique et la lutte contre les changements climatiques. L'Ordre des ingénieurs du Québec prend lui aussi le virage. L'Ordre travaille en effet à ce que les ingénier.es aient les compétences requises pour faire face aux défis du développement durable et que cette préoccupation soit au cœur de leur pratique. Par exemple, l'Ordre révisé présentement son code de déontologie afin d'y inclure le respect des principes de développement durable pour en faire l'un des piliers de la pratique professionnelle. Au quotidien, les ingénier.es travaillent naturellement en mode multidisciplinaire, à la frontière de l'industrie et de la recherche. Ces compétences sont notamment mises en application dans la conception de nouveaux produits et de services verts, de procédés de recyclage et dans le développement d'une nouvelle vision des transports. En se basant sur les concepts d'économie circulaire, le Québec peut tirer son épingle du jeu, de l'extraction des ressources au recyclage, en passant par la fabrication des batteries, des véhicules électriques et des bornes de recharge. Le Québec a la chance de se démarquer dans ces domaines, et les ingénier.es québécois.es seront au rendez-vous.

SÉANCE 2

VISION DU DÉVELOPPEMENT DES FILIÈRES DE MINÉRAUX CRITIQUES ET STRATÉGIQUES

Faire du Québec un pôle mondial de l'industrie de la batterie

Hubert Bolduc (Investissement Québec International)

Le Québec souhaite devenir un chef de file mondial de l'électrification des transports et pour l'industrie minière québécoise, c'est une occasion sans précédent de croître tout en contribuant à un projet de société porteur d'avenir. La batterie au lithium-ion est au cœur de la transition énergétique et le Québec a tout ce qu'il faut pour mettre sur pied une chaîne de valeur complète, de l'extraction du minerai à la production et au recyclage des batteries. L'abondance de ressources naturelles stratégiques, une expertise démontrée et la présence d'une grappe industrielle mature, sans oublier un engagement sans réserve du gouvernement, feront de la filière batterie un outil de développement économique majeur pour les prochaines décennies.

Les minéraux critiques et stratégiques : maximiser les retombées de la recherche et de l'innovation

Francis Fournier (COREM)

Le sol québécois est riche en minéraux critiques et stratégiques. Malgré cette richesse, la mise en place d'une filière complète, de l'extraction à l'utilisation des minéraux, nécessite des efforts importants pour faire face aux défis rencontrés. Parmi ces défis, l'accès à des procédés de traitements et de transformation des minéraux économiquement viables, environnementalement performants et socialement acceptables est crucial dans le développement de cette filière. Le développement et le déploiement de nouveaux procédés passent, entre autres, par la recherche et l'innovation. L'acquisition de connaissances, la formation de personnel qualifié ainsi que le développement, la mise à l'échelle et l'industrialisation de nouvelles technologies sont nécessaires à la réalisation des projets de valorisation des minéraux stratégiques. Le Québec compte un écosystème de recherche et d'innovation riche, diversifié et composé d'acteurs de recherche universitaires, de centres collégiaux de transferts technologiques, de centres de recherche et d'industrialisation spécialisés dans le secteur minier ou en appui à ce secteur. Le développement d'approches concertées favorisant la mise en commun des enjeux, des risques, des ressources et des bénéfices obtenus de la recherche et de l'innovation permettra d'appuyer et d'accélérer la mise en place d'une filière intégrée des minéraux critiques et stratégiques.

Les métaux critiques et stratégiques : matériaux indissociables de l'économie circulaire

Daniel Normandin (Centre d'études et de recherches intersectorielles en économie circulaire)

Comme le terme l'indique, les métaux critiques et stratégiques occupent une place fondamentale dans nos sociétés. Cette place sera amenée à croître au cours des années qui viennent puisque la demande pour les technologies propres, nécessaires à l'atténuation des changements climatiques, ira également en s'accroissant. Il en est de même pour l'ensemble des produits dans lesquels ces métaux se trouvent puisque la population mondiale poursuit sa croissance à un taux annuel de 1,12 % et atteindra vraisemblablement 9,7 milliards d'habitants en 2050.

Comme pour toutes les ressources présentes sur la planète, la quantité de métaux critiques et stratégiques est finie. Dans ce contexte, pour répondre à une demande croissante, il est donc nécessaire d'abandonner l'économie linéaire actuelle, laquelle encourage la surconsommation de ressources vierges avec tous les impacts qui en découlent, pour transiter vers une économie circulaire où la valeur des ressources est conservée le plus longtemps possible, et qui vise à répondre à la demande tout en restant à l'intérieur des limites planétaires. En clair, il faut découpler, autant que possible, la croissance économique de la consommation des ressources vierges et des impacts sur l'environnement, dont les changements climatiques.

Cette transition exigera cependant de profonds changements dans les pratiques. Entre autres, la notion de gisement minier devra être élargie aux gisements urbains, lesquels devront être exploités en priorité avant de recourir aux ressources vierges. Ces changements exigeront une ouverture et une coopération sans précédent des acteurs concernés. Cela peut sembler utopique pour certains, mais c'est l'avenue sur laquelle s'engage graduellement l'économie mondiale. Le Québec possède tous les atouts pour effectuer cette transition. À nous tous de mettre la main à la pâte.

Plus de 70 ans d'innovation au Québec chez Rio Tinto Fer et Titane (RTFT), un leader dans les minéraux critiques et stratégiques

Didier Arseguel (Rio Tinto Fer et Titane)

Tout a commencé par une idée...

Et si un procédé permettait de donner une deuxième vie aux résidus miniers en faisant d'eux une matière première? Cette innovation existe. Développée en synergie au Centre de technologie et minéraux critiques de Rio Tinto, elle permet l'extraction d'oxyde de scandium de haute pureté à partir des résidus issus de la production du dioxyde de titane (TiO_2).

C'est en juin dernier que Rio Tinto Fer et Titane (RTFT) a démarré l'exploitation d'une usine de démonstration à l'échelle commerciale dédiée à la production d'oxyde de scandium de haute qualité à son complexe métallurgique de Sorel-Tracy. Avec plus de 70 années d'innovation au Québec et une vision pour un futur durable, RTFT contribue à la création de valeur et fait son entrée dans un marché de niche en se positionnant comme le premier producteur de scandium en Amérique du Nord. RTFT a déjà la capacité de répondre à 20 % de la demande mondiale.

Et ce n'est qu'un début...

Comment créer de la valeur au Québec grâce aux minéraux critiques et stratégiques? Quels sont les facteurs clés de réussite? Didier Arseguel, vice-président Technologie de Rio Tinto Fer et Titane abordera ces sujets à l'occasion de cette conférence.

Des minéraux critiques aux technologies essentielles

Richard Perron (5N Plus)

5N Plus est un chef de file mondial dans la production de semi-conducteurs spécialisés et de matériaux de haute performance. Ces matériaux ultrapurs tirent leur origine de minéraux critiques. Ils constituent souvent la partie essentielle des produits offerts par ses clients qui comptent sur la fiabilité d'approvisionnement de 5N Plus pour en assurer la performance et la durabilité. La société déploie un éventail de technologies exclusives et éprouvées pour mettre au point et fabriquer ses matériaux, lesquels sont utilisés dans de nombreux secteurs, notamment les énergies renouvelables, la sécurité, la filière spatiale, l'industrie pharmaceutique, l'imagerie médicale, la production industrielle et la fabrication additive. Inutile de chercher nos produits, ils sont déjà au cœur de votre quotidien!

Société cotée en bourse, son siège social situé à Montréal est le centre névralgique de l'organisation, abritant une usine de fabrication et l'un des plus importants sites d'affinage de tellure au monde, de même que la direction des TI, de la R et D, du génie industriel et des autres services généraux. La société dans son ensemble compte plus de 850 employés et exploite neuf usines, sept bureaux de vente et trois centres de R et D dans plusieurs pays d'Europe, d'Amérique et d'Asie.

5N Plus a développé au fil des années un nombre impressionnant de technologies qui utilisent des équipements conçus à l'interne et réalisés spécifiquement pour ses besoins. Ce savoir-faire couvre une multitude de procédés, allant du raffinage du bismuth, du tellure ou de concentrés miniers, à la production de métaux et d'alliages purs à 99,99999 % jusqu'aux procédés de croissance cristalline et de croissance par épitaxie, et bien plus.

5N Plus fournit des services et des solutions à valeur ajoutée à un large éventail d'industries. En outre, à titre d'entreprise responsable qui respecte ses engagements en matière de durabilité, 5N Plus utilise depuis toujours des procédés technologiques permettant le recyclage et la récupération de ressources valorisables à partir de résidus, de sous-produits et de sources secondaires provenant de ses propres activités ou de celles de ses clients. L'entreprise possède des relations commerciales, souvent de longue date, avec bon nombre de producteurs primaires de métaux usuels. L'approvisionnement est diversifié à l'échelle mondiale, avec des fournisseurs stratégiques en Amérique du Nord, en Amérique du Sud, en Europe et en Asie. Les produits sont principalement destinés à l'exportation, mais pourraient être davantage valorisés au Québec.

SÉANCE 3

30 ANS DE RESTAURATION DES SITES MINIERS : REGARD LUCIDE SUR LE PASSÉ

Restauration de l'ancien site minier Solbec : l'histoire d'une réussite et d'un héritage

Lincar Pedroni (IAMGOLD)

La mine Solbec a été exploitée de 1962 à 1970, bien que l'usine ait été active jusqu'en 1977. Le parc à résidus a reçu des résidus de l'usine de 1962 à 1977. Plus de 2,5 millions de mètres cubes de résidus sulfurés ont ainsi été déposés dans un étang naturel. Des échantillonnages menés par les autorités gouvernementales ont confirmé la présence de drainage minier acide (DMA). Une étude de caractérisation réalisée en 1987 a proposé l'immersion des résidus comme la solution la plus appropriée pour arrêter le processus d'oxydation. Une série d'expériences et d'études a été menée de 1989 à 1993 pour tester l'efficacité et la viabilité de cette solution. Les travaux nécessaires pour immerger les résidus ont été planifiés, conçus et réalisés de 1994 à 1996. Une fois la solution en place, la qualité de la couverture d'eau et des eaux souterraines dans l'environnement du bassin de résidus a été surveillée dans le cadre du programme NEDEM (Programme de neutralisation des eaux de drainage dans l'environnement minier). L'analyse des caractéristiques de plus de 50 échantillons a révélé que la solution immersion était efficace. Les résultats ont montré que les eaux de recouvrement satisfaisaient à toutes les exigences énoncées dans la Directive 019 sur l'industrie minière, ainsi qu'à celles du Règlement sur l'eau potable du Québec.

Le site est maintenant recouvert d'eau depuis 25 ans et a fonctionné conformément à la conception. L'ancien parc à résidus, aujourd'hui le lac de la Héronnière, est devenu une aire de loisirs prisée; des terrains ont été achetés autour du « lac » et des maisons de villégiature y ont été construites. Le site minier est devenu un secteur apprécié pour la promenade toute l'année.

IAMGOLD a hérité le site Solbec à la suite de l'acquisition de Cambior en 2006 et s'occupe du suivi du site depuis.

Dans cette présentation, l'évolution des exigences réglementaires et les activités de suivi seront brièvement exposées. Les avantages et les inconvénients de la solution de restauration par inondation adoptée avec succès pour le site Solbec seront présentés et discutés.

Restauration du site minier Lorraine : historique et performances

Bruno Bussière (UQAT)

L'exploitation du gisement polymétallique de la mine Lorraine a généré environ 600 000 t de résidus miniers potentiellement générateurs d'acide accumulés dans un parc à résidus d'une superficie de 15,5 ha. Le parc a été laissé à l'abandon pendant environ 30 ans. Durant cette période, les réactions d'oxydation des sulfures contenus dans les rejets miniers se sont enclenchées, ce qui a conduit à la génération de drainage minier acide.

Afin de réduire les impacts sur l'environnement, des travaux de restauration ont été entrepris à l'été 1998. L'approche de restauration préconisée comprend la construction d'une couverture avec effets de barrière capillaire (CEBC) pour limiter la migration de l'oxygène jusqu'aux résidus réactifs. La CEBC est constituée de trois couches : 1) une couche de 30 cm de sable créant le bris capillaire, 2) une couche de rétention d'eau de 50 cm d'épaisseur de silt naturel, 3) une couche de surface composée de sable et gravier de 30 cm d'épaisseur qui protège la couche de silt contre l'évaporation. En plus de la CEBC, un système de traitement passif constitué de drains calcaires a été mis en place pour améliorer la qualité de l'eau d'exfiltration du site. Afin d'évaluer la performance des travaux de restauration, différentes approches ont été utilisées avec notamment l'installation de 20 stations d'instrumentation. Ces stations permettent de mesurer les teneurs en eau volumiques et les succions dans les différentes couches, ce qui permet de calculer les flux d'oxygène à travers la CEBC. Des essais de consommation d'oxygène modifiés ont également été réalisés pour évaluer directement les flux d'oxygène. Des piézomètres (9) ont également été installés pour faire le suivi des conditions hydrogéologiques du site. Les débits et la qualité de l'eau à la sortie des drains calcaires ont aussi été mesurés de façon régulière afin d'évaluer les performances du système de traitement passif.

Les résultats colligés au cours des dernières années montrent que la CEBC est efficace pour limiter la migration de l'oxygène. Quant aux drains calcaires, ils ont permis d'améliorer la qualité chimique de l'eau à l'effluent final, mais pas au point de respecter les critères environnementaux des législations québécoises et canadiennes. Des travaux de recherche récents ont aussi montré que, malgré la présence de végétation sur le site, les racines n'ont pas encore eu d'impacts majeurs sur la performance de la CEBC et que le système mis en place est robuste face aux changements climatiques.

Les défis d'un projet de restauration en milieu hydrique : le site minier de Lac Renzy

Sophie Turcotte, Sandra Tremblay (MERN)
et Guy Fouquet (FNX-Innov)

L'ancien site minier de Lac Renzy est localisé dans la MRC de La Vallée-de-la-Gatineau, en Outaouais. L'exploitation de cette mine de cuivre et de nickel entre 1969 et 1972 a généré une aire d'accumulation de résidus miniers de près de 6,7 ha dans le lac Renzy et une halde à stériles miniers d'environ 0,9 ha. Ces résidus et stériles miniers issus de l'exploitation et du traitement sur place du minerai sont lixiviables et générateurs de drainage minier acide (DMA). Leurs présences dans le milieu hydrique ont engendré des dépassements des critères applicables pour l'eau souterraine, pour l'eau de surface et pour les sédiments du lac Renzy. Étant donné la localisation des résidus miniers (au centre du lac), pour limiter l'oxydation et éliminer les risques géotechniques importants, le concept de restauration sélectionné a été la saturation complète par l'ennoiement des résidus miniers dans la section aval du lac Renzy utilisée autrefois comme bassin de polissage. Un volume d'environ 250 000 m³ de résidus miniers a été disposé dans cette partie du lac à la suite de l'abaissement du niveau de l'eau. Ces résidus d'une superficie de 17,8 ha ont par la suite été recouverts d'un tapis granulaire de 20 cm d'épaisseur afin de contrer l'effet des vagues. Un seuil en béton a été construit à l'exutoire pour conserver une épaisseur d'eau minimale d'un mètre au-dessus des résidus miniers. Les berges exondées seront réaménagées, ce qui devrait permettre de réintégrer le site dans son environnement naturel. La conception et la réalisation de ces travaux en milieu hydrique ont soulevé plusieurs enjeux et ont démontré que la restauration des sites miniers inscrits au passif environnemental de l'État est un processus de longue haleine qui nécessite l'implication de plusieurs disciplines associées non seulement à l'ingénierie, mais aussi aux sciences de la Terre et à celles de l'environnement.

Mine Principale : un exemple de restauration complexe

Henrik Rasmussen (MERN) et Carl Gauthier (WSP)

L'ancien site minier de la Mine Principale est sous la responsabilité de l'État. Il est situé à Chibougamau, dans le territoire d'Eeyou Istchee Baie-James et de la Convention de la Baie-James et du Nord québécois (CBJNQ). Il a été inscrit au passif environnemental minier en 2010 à la suite de la faillite du dernier exploitant. L'exploitation du site a créé trois parcs de résidus miniers couvrant près de 170 ha où ont été déposées environ 19 millions de tonnes de résidus miniers.

Les enjeux reliés à la restauration d'un ancien site minier sont divers et vont souvent bien au-delà des aspects environnementaux. Le site de la Mine Principale en constitue un bon exemple. En effet, en plus du domaine environnemental, ces travaux touchent les domaines de la géotechnique, des digues et barrages, de la mécanique des roches, des ouvrages d'art, de la gestion des matières résiduelles, de l'hydrogéologie, de la contamination en hydrocarbure et en amiante, entre autres. À ces enjeux techniques s'ajoutent les enjeux socio-économiques et les préoccupations des différentes parties prenantes.

Globalement, la restauration est scindée en 4 volets : 1) l'accès aux travaux et la reconstruction du pont; 2) la sécurisation du site; 3) la réhabilitation et le nettoyage du secteur d'exploitation de la mine, et 4) la restauration des 3 parcs à résidus A, B et C. La reconstruction d'un ouvrage d'art tel qu'un pont est peu fréquente dans les projets de restauration, mais est néanmoins essentielle à la réalisation des autres travaux. La sécurisation du site consiste en la consolidation des ouvertures minières de surface et des anciens chantiers souterrains jugés à risque. La consolidation est réalisée par dynamitage et remplissage des ouvertures à partir de la surface et par forage. L'écaillage complet de la fosse à ciel ouvert est également prévu. La réhabilitation et le nettoyage du secteur d'exploitation de la mine consistent en la démolition des infrastructures restantes, au nettoyage du site, à l'élimination des matériaux résiduels, à la réhabilitation des stériles contaminés en hydrocarbure de même qu'au reprofilage complet du site. L'usine de la Mine Principale ayant traité les minerais de différents gisements du secteur de Chibougamau, les 3 parcs présentent des caractéristiques différentes qui influencent les techniques et les mesures de restauration. Ainsi, le parc A est fortement générateur d'acide, le parc B est moyennement générateur d'acide, alors que le parc C n'est pas générateur, mais présente des concentrations élevées en arsenic.

Le site de la Mine Principale constitue donc un bon exemple d'un projet de restauration d'un site minier où l'on doit répondre à plusieurs problématiques.

Influence de la végétation sur la performance des systèmes de recouvrement utilisés en restauration minière : cas du site Lorraine

Marie Guittonny, Bruno Bussière, Alex Proteau, Yves-Dady Botula et Gwendoline Hotton (UQAT)

En restauration minière, les systèmes de recouvrement visent à contrôler la migration des fluides vers les résidus réactifs sous-jacents afin de limiter la génération de contaminants. Le fonctionnement des recouvrements repose sur le maintien des propriétés hydrogéotechniques des matériaux constituants après la construction. Avec le temps cependant, des interactions se produisent entre les systèmes de recouvrement et l'écosystème environnant, pouvant mener à des changements de conditions frontalières et à une évolution des propriétés des matériaux. Notamment, des plantes colonisent naturellement les recouvrements. Celles-ci peuvent changer le contenu en eau et en oxygène et modifier leur circulation dans les recouvrements. En effet, les plantes pompent de l'eau au niveau du sol et la vaporisent vers l'atmosphère par transpiration, alors que les racines modifient les propriétés physiques, chimiques et biologiques des matériaux. Il est important de considérer ces effets pour assurer le bon fonctionnement des systèmes de recouvrement et le contrôle du drainage contaminé à long terme.

L'évolution à moyen et à long terme des propriétés des matériaux et de la performance d'un recouvrement de type barrière à l'oxygène sous l'effet de la végétation sera illustrée dans cette présentation en utilisant le cas d'étude de la couverture à effets de barrière capillaire (CEBC) du site Lorraine. Nous présenterons dans un premier temps les résultats de mesures in situ effectuées dans la couche de rétention d'humidité de la CEBC 17 ans après la construction, incluant le profil de colonisation racinaire (densité de longueur de racines), les propriétés hydrogéologiques des matériaux colonisés par les racines (courbe de rétention en eau et conductivité hydraulique saturée) et les flux d'oxygène influencés par la respiration des racines. Nous rapporterons ensuite les résultats de modélisation numérique du degré de saturation dans la couche de rétention d'humidité de la CEBC pour divers scénarios de végétation et de changements climatiques projetés à long terme (2100). Finalement, une approche méthodologique sera proposée pour aider les professionnels à intégrer les effets de la végétation dans la conception et l'évaluation de la performance des recouvrements.

Sous-comité du plan de fermeture de la mine Raglan

Guy Dufour (Mine Raglan), Jean-Marc Séguin (Société Makivik) et Bruno Bussière (UQAT)

Le sous-comité de fermeture de la mine Raglan est un partenariat au sein de l'Entente Raglan. Bien que la mine doive encore rester en activité pendant au moins 20 ans, le sous-comité a été lancé en mars 2018 pour établir et maintenir un dialogue avec les partenaires inuits sur la fermeture de la mine afin d'intégrer les connaissances traditionnelles des communautés.

Les membres du sous-comité comprennent des partenaires inuits des communautés de Salluit et de Kangiqsujuaq, des représentants de la Société Makivik et de la Mine Raglan, ainsi que des chercheurs de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue et de TERRE-Net (Réseau du CRSNG en extraction responsable des ressources naturelles).

Les membres du sous-comité travaillent depuis sa création pour préparer et soumettre le prochain plan de fermeture. Ce plan intégrera le savoir traditionnel afin qu'il soit mieux compris et accepté par les deux communautés inuites. Le sous-comité constitue un bon exemple d'une approche permettant d'intégrer les considérations sociales dans le plan de fermeture de la mine.

SÉANCE 4

EXPLOITATION MINIÈRE ET VALORISATION DES MCS

Se réinventer pour valoriser le plein potentiel minier et énergétique du Québec

Éric Desaulniers (Nouveau Monde Graphite)

Minéraux stratégiques, cadre environnemental reconnu, performance manufacturière, énergie propre, talents d'exception, expertise minière et écosystème d'affaires innovant : le Québec a tous les attraits pour réussir au sein de la révolution électrique.

Depuis la découverte du gisement de Matawinie à Saint-Michel-des-Saints, Nouveau Monde Graphite s'active à développer un modèle d'affaires intégré, audacieux et écoresponsable pour tirer profit des atouts québécois. La Société a intégré des principes ESG directeurs à son modèle d'affaires, en plus de la carboneutralité de ses opérations et de la traçabilité de sa chaîne de valeur.

Le développement durable a guidé l'élaboration du projet minier Matawinie dès le départ, comme en témoignent l'engagement concret auprès des parties prenantes, les choix de conception novateurs pour protéger l'environnement et l'engagement d'électrifier l'ensemble des opérations, une première mondiale pour une mine à ciel ouvert. En parallèle, Nouveau Monde a investi dans la deuxième transformation par un programme exhaustif de R et D, des opérations manufacturières de démonstration pour maîtriser les procédés d'ingénierie des matériaux et une écotechnologie exclusive de purification permettant de réduire la consommation d'énergie et de produits chimiques nocifs.

Alors que la transition énergétique s'accélère dans le monde, Nouveau Monde entend défier le monopole chinois dans les matériaux avancés de graphite et réinventer l'industrie au passage. En mettant en commun les forces, les idées et les efforts de tout un secteur, le Québec pourrait bien surmonter les défis géopolitiques et économiques actuels en plus de redéfinir le leadership climatique écoresponsable sur la scène mondiale.

Les occasions pour le Québec de devenir un leader de la chaîne mondiale du lithium

Brett Lynch et Guy Laliberté (Sayona Mining)

Nouveau propriétaire de la mine et des installations de Lithium Amérique du Nord (NAL), Sayona est devenu par le fait même l'un des plus importants détenteurs de ressources de lithium mesurées et indiquées en Amérique du Nord. Sous la direction de Sayona Québec et de son équipe entièrement locale, la mine et les installations de NAL seront remises en production, ce qui permettra au Québec de devenir un leader de la production de spodumène.

La volonté d'électrifier les transports, la disponibilité d'une énergie verte à coût concurrentiel ainsi que la réputation enviable du Québec dans le secteur minier ont amené l'entreprise à s'intéresser aux gisements de lithium présents sur notre territoire. Disposant d'une imposante expérience en développement de mines, l'entreprise a d'abord acquis les gîtes Authier et Tansim en Abitibi-Témiscamingue afin d'en assurer un développement profitable et respectueux de l'environnement. En mettant la main sur les actifs de NAL, c'est un plan de développement complet, intégré et bénéfique pour les communautés locales qui sera déployé pour relancer les activités de cet important actif pour le Québec.

Le Québec possède une multitude d'atouts et d'avantages qui font en sorte que la voie est grande ouverte afin que son secteur des MCS prenne une place dans la chaîne mondiale du lithium. Sayona souhaite devenir un chef de file de l'industrie québécoise et, pour y arriver, l'entreprise s'est engagée à transformer le spodumène au Québec et à mettre sur pied un pôle du lithium en Abitibi-Témiscamingue en collaboration avec son partenaire, Piedmont, un important producteur américain d'hydroxyde de lithium qui fait partie de la chaîne de fournisseurs de Tesla.

Nous vous invitons à venir écouter M. Brett Lynch, chef de la direction de Sayona Mining, qui exposera sa vision pour le développement des projets de l'entreprise au Québec ainsi que la place du Québec dans le monde du lithium.

Le projet Dumont Nickel — Prêt à répondre à la demande croissante du marché des batteries

Johnna Muinonen (Dumont Nickel)

Le projet Dumont représente l'un des rares gîtes de nickel-cobalt d'importance pleinement autorisés dans un territoire à faible risque. Cette minéralisation sera en mesure de fournir plus de 35 kt Ni par an pendant 30 ans et devrait permettre de satisfaire l'importante croissance attendue de la demande en nickel et en cobalt associée au développement du secteur des véhicules électriques. Le gîte est situé à environ 25 km à l'ouest d'Amos en Abitibi, à proximité des deux centres miniers régionaux de Val-d'Or et de Rouyn-Noranda. Le projet Dumont est prêt à démarrer et vise une production de nickel à faible empreinte carbone avec un fort soutien des parties prenantes dans une administration minière de premier ordre.

Rio Tinto Fer et Titane et les minéraux critiques et stratégiques : production de scandium à partir de résidus miniers

Didier Arseguel (Rio Tinto Fer et Titane)

Le 17 juin dernier, Rio Tinto Fer et Titane (RTFT) démarrait l'exploitation d'une nouvelle usine de démonstration à l'échelle commerciale dédiée à la production d'oxyde de scandium de haute qualité à son complexe métallurgique de Sorel-Tracy, moins de 6 mois après l'annonce de sa construction.

Assurant une présence au Québec depuis 70 ans, RTFT fait ainsi son entrée dans le marché de ce minerai critique et devient le premier producteur de scandium en Amérique du Nord. Le Centre de technologie et minéraux critiques de Rio Tinto a développé un procédé novateur permettant d'extraire de l'oxyde de scandium de haute pureté à partir des résidus issus de la production de dioxyde de titane, sans qu'il soit nécessaire d'extraire davantage de minerai. Ce même pôle de recherche et de développement est à l'origine d'une série d'innovations dans les domaines des minéraux et des matières critiques et de l'impression 3D, dont le récent lancement d'une poudre d'acier atomisée à l'eau destinée à des applications d'impression 3D.

Comment sécuriser la chaîne d'approvisionnement du Québec grâce aux minéraux critiques et stratégiques? Quels sont les facteurs clés de réussite pour la réalisation d'un tel projet d'envergure? Didier Arseguel, vice-président, Technologie de Rio Tinto Fer et Titane abordera ces sujets à l'occasion de cette conférence.

ECO2 Magnesia : le premier oxyde de magnésium écologique au monde inventé au Québec

Paul Boudreault, Maxime Couillard (SIGMA Devtech) et Louis-César Pasquier (INRS-ETE)

Le projet ECO2 est un projet de développement socio-économique digne du XXI^e siècle qui se situe à la croisée des chemins de la recherche scientifique, du respect de l'environnement et de la rigueur industrielle.

L'inspiration du projet ECO2 vient d'un enjeu environnemental de longue date. Dans le paysage de la région de Chaudière-Appalaches, des millions de tonnes de résidus miniers liés à l'exploitation des mines d'amiante sont abandonnés depuis la fin d'une époque industrielle désormais révolue. Pour ECO2 Magnesia, ces énormes haldes de résidus miniers contenant du magnésium, une substance critique et stratégique, représentent une occasion unique de mettre en valeur le savoir-faire québécois.

Inventée au Québec, à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), la technologie novatrice d'ECO2 Magnesia intègre la captation de CO₂ à même son procédé, une première pour l'industrie. Aligné sur les principes de l'économie circulaire, le projet ECO2 utilisera jusqu'à 480 000 t de résidus miniers annuellement pour les revaloriser en oxyde de magnésium, une substance de grande valeur identifiée dans le Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques 2020-2025.

C'est ainsi, dans le respect de l'environnement, que le projet ECO2 va produire un oxyde de magnésium écologique aligné avec les tendances du marché et offrir un nouveau souffle économique à toute la région de Chaudière-Appalaches.

Le projet ECO2 dépasse donc le modèle économique traditionnel et linéaire qui consiste à extraire, fabriquer, consommer, jeter. Toute la chaîne d'opération du projet ECO2 est basée sur le concept d'offrir une « deuxième vie » : recycler, réutiliser et revaloriser.

Grâce au projet ECO2, le Québec deviendra un leader dans la production écologique d'oxyde de magnésium, un leader dans la valorisation de résidus miniers et un leader dans la réduction des GES.

SÉANCE 5

ÉLECTRICITÉ DÉCENTRALISÉE : UNE NOUVELLE RÉALITÉ?

Un exemple concret — Le 1^{er} microréseau électrique à Lac-Mégantic

Stéphane Vachon (Lac-Mégantic)

Annoncé en février 2018 et inauguré le 6 juillet 2021, le 1^{er} microréseau électrique au Québec est maintenant en exploitation au centre-ville de Lac-Mégantic. Déployé en partenariat avec Hydro-Québec, ce projet intègre la production solaire, le stockage de l'énergie, la domotique et le contrôle des technologies. Ses objectifs sont tant technologiques que sociaux et touchent notamment l'optimisation des ressources énergétiques distribuées lors des périodes de pointe et le développement des réseaux autonomes. Ce projet vise aussi à impliquer la communauté afin de favoriser une consommation plus responsable de l'énergie. C'est un véritable laboratoire vivant et un vecteur de développement pour la ville de Lac-Mégantic.

SÉANCE 6

OR AU QUÉBEC : NOUVEAUX OUTILS, NOUVELLES CONNAISSANCES

Chronologie des minéralisations aurifères de type orogénique du camp de Val-d'Or, sud de la Sous-province de l'Abitibi, par géochronologie U-Pb *in situ* du xénotime

Michael Herzog, Crystal LaFlamme, Georges Beaudoin, Carl Guilmette (Université Laval) et Jeffrey Marsh (Université Laurentienne)

Bien que les gisements aurifères de type orogénique du camp de Val-d'Or (CV) du sud de la Sous-province de l'Abitibi présentent un cadre structural bien développé, les âges de minéralisation rapportés s'étendent sur ~350 millions d'années (~2703 à 2361 Ma) et sont donc significativement postérieures à l'épisode tectonométamorphique associé à l'Orogène d'Abitibi-Wawa (~2700 à 2580 Ma). Les regroupements de gisements aurifères à contrôle structural du CV sont répartis le long et dans les structures subsidiaires de la Zone de failles de Larder Lake-Cadillac d'orientation E-W qui recoupent les roches volcaniques et les intrusions de la ceinture de roches vertes. Dans ces structures, l'or est communément associé à deux types de veines antérieures ou contemporaines à la foliation régionale pénétrative (S2) associées au raccourcissement majeur N-S (~2682 à 2669 Ma) et au pic du métamorphisme : 1) veines de quartz-carbonate fortement déformées entraînées dans la fabrique S2, et 2) veines de cisaillement inverse et veines de tension subhorizontales de quartz-tourmaline-carbonate fragiles-ductiles laminées subparallèles à obliques par rapport à la fabrique S2.

Nous présentons ici des données géochronologiques U-Pb et de géochimie des terres rares (TR) analysées *in situ* provenant de 85 grains de xénotime extraits de veines de quartz-carbonate pré-S2 (Kiena-S50) et de veines de quartz-carbonate-tourmaline syn-S2 (Kiena-Deep, Goldex, Triangle, Plug #4, Beaufor, Pascalis Gold Trend et Akasaba West).

Le xénotime en équilibre avec la pyrite contenant des inclusions d'or dans les veines de quartz-carbonate pré-S2 du gisement Kiena-S50 montre une anomalie négative subtile en Eu et un âge d'environ 2686 Ma (n = 19 analyses), cohérent avec l'âge de la diorite pré-S2 (2686 Ma) à Kiena. Un événement hydrothermal subséquent est représenté par des veines de cisaillement de quartz-tourmaline-carbonate laminées d'âge syn-S2 qui contiennent la majeure partie de l'or de type orogénique du CV. Les observations texturales et chimiques démontrent que ces veines de cisaillement inverse fragiles-ductiles ont enregistré deux événements hydrothermaux distincts. Le xénotime en équilibre textural avec la pyrite contenant des inclusions d'Au et d'Au-Te montre des teneurs élevées en Nd (> 1000 ppm) et en Sm (> 2490 ppm) et un âge d'environ 2643 Ma (n = 102 analyses). Nous interprétons cet âge comme celui de la précipitation

pitiation de l'or dans les quatre gisements. Les grains de xénotime en déséquilibre textural avec les sulfures aurifères, localisés près des joints de grains de sulfures dissous et des fractures, contiennent des valeurs moyennes plus faibles en TR et ont donné un âge d'environ 2607 Ma (n = 68 analyses). Nous interprétons cet âge comme le résultat d'une remobilisation hydrothermale de l'or dans les cinq gisements où le xénotime a été échantillonné. Ces données impliquent que la minéralisation aurifère de type orogénique s'est formée au cours de trois épisodes distincts ponctuels ou de courtes durées (moins de 10 millions d'années), la majeure partie de l'or étant introduite à ~2643 Ma, soit 25 à 30 millions d'années après le pic du métamorphisme, le long du trajet rétrograde du cycle orogénique. La question à savoir si l'épisode aurifère associé au dernier événement à 2607 Ma représente une nouvelle venue d'or ou une simple remobilisation de l'or existant reste non résolue.

Le système filonien des Zones Sud, Mine Goldex : une minéralisation aurifère précoce dans le camp minier de Val-d'Or.

David Yergeau (Mines Agnico Eagle), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Liam X. Maw et Pierre-Simon Ross (INRS-ETE)

Depuis 13 ans, Mines Agnico Eagle exploite le gisement à basse teneur et fort tonnage de Goldex (en décembre 2020, réserves et ressources estimées de 51,2 Mt de minerai à une teneur de 1,37 g/t Au pour un total de 70,3 t d'or [2,26 millions d'onces]), excluant la zone GEZ. En date de décembre 2020, 42 t d'or (1,35 million d'onces) y ont été extraites. Le gisement est constitué d'un stockwerk de veines de quartz-tourmaline-pyrite ± carbonate-scheelite encaissé dans une diorite calco-alcaline datée à 2687 Ma. La diorite est située dans une zone de cisaillement régionale (Marbenite?) d'orientation WNW avec un pendage d'environ 75° vers le nord.

Depuis 2019, une partie du minerai exploité à Goldex provient du gisement satellite des Zones Sud (en décembre 2020, réserves et ressources estimées de 4,49 Mt de minerai à une teneur de 3,04 g/t Au pour un total de 13,7 t d'or [0,44 million d'onces]). Les Zones Sud sont composées d'un système filonien à haute teneur encaissé dans les basaltes de la Formation de Jacola situés immédiatement au sud de la diorite de Goldex. La minéralisation des Zones Sud diffère de celle encaissée dans la diorite de Goldex et est composée de veines et de veines diffuses de « silica flooding » caractérisées par un assemblage de quartz foncé-pyrrhotite ± pyrite-chalcopyrite-sphalérite-biotite-amphiboles. L'enveloppe d'altération distale associée aux Zones Sud forme un large corridor dans lequel les basaltes tholéitiques riches en fer encaissants montrent une altération caractérisée par l'assemblage amphiboles-quartz ± biotite. Les zones d'altération proximale développées autour des veines principales sont composées d'un assemblage à quartz-pyrrhotite-biotite.

Les Zones Sud sont fortement recristallisées et affectées par le métamorphisme prograde au faciès supérieur des schistes verts contemporain à la déformation principale (D3). Celui-ci atteint le faciès inférieur des amphibolites au cœur du gisement. Des zones de cisaillement ductile ainsi que des veines tardives de quartz-tourmaline-carbonate syn-D3 recoupent les Zones Sud. Ces relations de terrain suggèrent que les Zones Sud sont plus vieilles que les veines du gisement Goldex et représentent une phase de minéralisation aurifère « précoce » par rapport à l'épisode aurifère principal syn-D3 du camp minier de Val-d'Or. Un dyke de composition dioritique recoupant les Zones Sud a été échantillonné pour analyses géochronologiques U-Pb sur zircons afin de préciser l'âge minimal de l'épisode aurifère associé aux Zones Sud.

Un nouveau regard sur la ceinture de roches vertes d'Urban-Barry : contexte géologique et métallogénie d'un district aurifère émergent

Jean-Luc Pilote, Patrick Mercier-Langevin, Sébastien Castonguay (CGC-Q), Brandon Choquette (Minière Osisko), Natasha Wodicka (CGC-O), Benoît Dubé (CGC-Q), Édouard Côté-Lavoie (Minière Osisko), Boris Artinian, Marc Ducharme et Ka Ming Yuen (Bonterra Resources)

La ceinture de roches vertes d'Urban-Barry, située dans le centre-est de la Sous-province de l'Abitibi, forme une bande de plus de 130 km sur 30 km. Orientée E-W, elle est composée d'assemblages à prédominance volcanique et volcanoclastique de composition mafique à felsique qui incluent quelques niveaux sédimentaires. Les assemblages volcaniques varient en âge de ~2791 à 2707 Ma et sont bordés au nord et au sud par des plutons de granitoïdes. Bien que relativement peu étudiée, cette ceinture contient plus de 10 millions d'onces d'or (3 millions d'onces en ressources indiquées et mesurées, 7 millions d'onces en ressources inférées) provenant de projets d'exploration avancés tels que Windfall, Barry et Gladiator.

Les roches de la ceinture sont recoupées par plusieurs couloirs de déformation définissant des domaines structuraux complexes. Une zone de forte déformation orientée E-W à pendage fort se situe dans la partie nord (Zone de déformation d'Urban), tandis que les parties centrale et sud de la ceinture montrent des plis régionaux serrés à isoclinaux recoupés par plusieurs failles orientées ENE à NNE à pendage modéré vers le SE (p. ex. Mazères, Rouleau et Barry). Malgré des relations spatiales apparentes avec les gisements et les indices aurifères, la chronologie et la cinématique de ces structures et leur rôle dans la mise en place de la minéralisation demeurent incertains.

Les gisements aurifères de Windfall (6 Mt à une teneur moyenne de 9,6 g/t d'or) et de Barry (5,1 Mt à une teneur moyenne de 4,2 g/t d'or), ainsi que plusieurs indices se trouvent à proximité et de part et d'autre des failles ENE, dont la Faille de Mazères. Seulement quelques indices aurifères de style veine de quartz-carbonate ont été identifiés jusqu'à présent dans la Zone de déformation d'Urban. Divers styles de minéralisation aurifère sont reconnus dans la ceinture, telles des veines de quartz-carbonate ± albite ± tourmaline et des zones de sulfures disséminés, massifs et semi-massifs. Ces styles de minéralisation sont encaissés dans une grande variété de lithologies et, dans plusieurs cas, les facteurs qui contrôlent la distribution et la genèse des minéralisations ainsi que la chronologie des événements aurifères demeurent à préciser. Les travaux de recherche récemment entrepris par la CGC et ses collaborateurs ont pour objectif de décrire et de mieux comprendre l'évolution métallogénique de ce district aurifère émergent afin de dégager des implications en matière d'exploration ailleurs en Abitibi.

Réévaluation du contexte géologique et métallogénique de la région de Caopatina et du gisement Philibert, Chibougamau

Pierre Bedeaux (Barrick Gold), Antoine Brochu (MERN), Mike Hamilton (University of Toronto), Jeffrey March (Université Laurentienne) et Réal Daignault (UQAC)

La région de Caopatina est située au NE de la Sous-province de l'Abitibi, dans la Zone Volcanique Nord. L'interprétation historique la décrit comme un synclinal affectant la partie inférieure de la stratigraphie de la région de Chibougamau (Cycle 1) dont le cœur serait occupé par un bassin sédimentaire volcanique. La région est actuellement touchée par plusieurs projets d'exploration, dont le gisement aurifère de Philibert qui a fait l'objet d'une maîtrise visant à décrire son contexte métallogénique. Parallèlement, les travaux du terrain du projet Metal Earth visaient à réévaluer le contexte structural et stratigraphique de la région de Caopatina.

Le gisement de Philibert est encaissé dans le filon-couche mafique de Meston qui présente plusieurs faciès magmatiques (variant de gabbro à diorite à quartz). La minéralisation est principalement composée de zones de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur parallèles aux différents faciès du filon-couche. Elle est composée de pyrite-pyrrhotite, de traces de chalcopryrite-galène-scheelite et est associée à une altération distale en chlorite-calcite, médiane en biotite-ankérite et proximale en albite-ankérite. Plusieurs générations de pyrite sont décrites. Les analyses par LA-ICP-MS indiquent une signature magmatique pour les premières générations de pyrite et métamorphique pour la dernière. L'ensemble de ces observations appuie un modèle de gisement magmato-hydrothermal syntectonique.

Régionalement, ce gisement est spatialement associé à la Faille de Guercheville. Cette structure de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur est interprétée comme une zone de cisaillement dextre. Une forte ankéritisation et de nombreux indices aurifères sont associés à la faille. Les travaux de cartographie suggèrent que cette faille fait partie d'un ensemble de structures E-W découpant la région en plusieurs écailles correspondant à différents niveaux stratigraphiques. Cette interprétation est appuyée par de nouveaux âges ignés qui indiquent la présence de roches volcaniques associées à la partie supérieure de la stratigraphie de Chibougamau (Cycle 2) et d'un nouvel épisode volcanique. En parallèle, le bassin sédimentaire de Caopatina, qui contient surtout des faciès d'environnement marin profond, mais aussi localement des faciès fluviatiles, a été échantillonné en vue de datations U-Pb de zircons détritiques. Ces datations suggèrent une déposition tardive et post-volcanique des roches sédimentaires. Globalement, ces nouveaux éléments permettent de déterminer que cette région résulte du collage de plusieurs écailles représentant des environnements différents. L'association des indices aurifères avec un système de failles, la présence de faciès fluviatiles et le style métallogénique du gisement de Philibert pointe vers un environnement favorable pour des minéralisations aurifères post-volcaniques ayant des similitudes avec les minéralisations du camp de Chibougamau.

Identifier les pièges stratigraphiques et structuraux pour l'or dans des terrains au faciès des amphibolites : exemple du sud de la ceinture de roches vertes de la Haute-Eastmain, Québec

Jonathan Marleau (Dahrouge Geological Consulting) et Stéphane De Souza (UQAM)

Cette présentation revoit le contexte géologique de mise en place des minéralisations aurifères dans la ceinture de roches vertes de la Haute Eastmain, une bande volcano-sédimentaire archéenne au faciès des amphibolites localisée dans le centre est du craton du Supérieur. Cette ceinture contient plusieurs indices de métaux usuels et d'or, notamment le gisement de la mine Eastmain d'où on a extrait 118 356 t de minerai à 10,28 g/t Au et 0,3 % Cu (40 000 oz d'or) entre 1994 et 1995. L'analyse de carottes de forage et la cartographie géologique des principaux indices aurifères ainsi que des datations U-Pb sur zircons d'unités lithologiques et d'intrusions ont permis de comprendre le rôle de la stratigraphie et des déformations dans la distribution de l'or.

Les indices aurifères étudiés sont situés dans la Formation d'Érasme composée de basalte, de filons-couches ultramafiques, de minces niveaux de roches volcanoclastiques felsiques et de chert qui forment une séquence déversée vers le SE. La foliation principale orientée NNW est associée à une forte linéation d'étirement avec un plongement modéré vers le NE. La foliation S1 est localement entraînée le long de failles fragiles-ductiles orientées ENE.

À l'indice Hillhouse, des sulfures aurifères (pyrrhotite ± chalcopryrite) semi-massifs se situent au contact entre des basaltes coussinés et des brèches pyroclastiques de composition dacitique qui ont donné un âge de 2791 ± 5 Ma. La matrice de cette brèche présente une altération hydrothermale aurifère métrique à biotite-calcite et à pyrrhotite ± pyrite ± chalcopryrite ± sphalérite. La mine Eastmain (réserves de 384 000 oz Au) correspond à une zone de faille inverse associée à D1 qui contient les zones minéralisées étirées parallèlement à la linéation régionale. Les enveloppes minéralisées sont principalement composées de chert à magnétite-grunérite-pyrrhotite, de zones d'altération proximale à biotite-grenat-arsénopyrite ± gahnite dans le chert et de veines de quartz-hornblende-tourmaline ± or. À l'indice Julien, des veines de Cu-Au riches en pyrrhotite-pyrite-chalcopryrite sont développées le long de failles ENE recoupant la foliation S1.

Les trois zones précédemment décrites présentent des caractéristiques différentes, mais permettent de mettre en évidence au moins deux événements aurifères distincts dans le secteur d'étude : 1) une minéralisation synvolcanique à l'indice Hillhouse, et 2) une minéralisation aurifère associée à une zone de cisaillement importante dans le chert à magnétite, les zones altérées adjacentes et les veines de quartz à la mine Eastmain. L'abondance de sulfures dans les veines de l'indice Julien pourrait indiquer une origine synvolcanique, mais les relations de recoupement observées peuvent aussi démontrer un épisode de minéralisation tardidéformation.

Nouveau secteur aurifère à l'extrémité orientale de la Sous-province archéenne d'Opinaca, Province du Supérieur

Normand Goulet, (UQAM), Michel Boily, Bertrand Brassard et Alexandre Cruz (Stelmine)

La zone de contact entre les sous-provinces de La Grande (LG) et d'Opinaca (OP), dans le secteur de la Baie-James, constitue depuis quelque temps, le centre d'intérêt pour l'exploration aurifère, surtout depuis la découverte de la mine Éléonore en 2004. Cette zone est parfois interprétée comme un front orogénique associé à un gradient métamorphique ou encore comme un changement lithologique. Le LG est composé d'un socle tonalitique (> 3,3 Ga), d'unités volcano-sédimentaires, ultramafiques et intrusives (2,82 à 2,72 Ma) et a probablement été mis en place au cours de l'ouverture d'un rift continental. Cette séquence comprend une unité de conglomérat monogénique à cailloux de quartz et de quartzite, la Formation d'Apple, qui repose en discordance sur le socle archéen. Cette unité est associée à la marge passive d'un bassin.

L'OP représente un bassin sédimentaire orienté E-W (2710 à 2672 Ma) qui montre une évolution tectonométamorphique complexe.

Plusieurs indices aurifères dans le secteur de la Baie-James sont localisés près du contact, très souvent déformé, entre ces deux sous-provinces.

Des unités semblables à la Formation d'Apple découvertes à environ 600 km à l'est de la localité type représentent possiblement un niveau repère à la base de l'OP. Cette unité, formée d'un conglomérat monogénique à cailloux de quartz, d'arénite quartzitique, de quartzite à fuchsite et de roches calcosilicatées, affleure environ à 70 km à l'ouest de la ville de Wabush. Dans ce secteur, les zones aurifères de Courcy (4,2 g/t sur 42 m) et de Mercator (2,15 g/t sur 27,5 m) sont associées à des roches volcaniques mafiques, des formations de fer à silicates, des roches ultramafiques et des conglomérats monogéniques et polygéniques. Ces zones sont situées dans des corridors de déformation montrant une tectonique polyphasée. Les failles de chevauchement sont plissées isoclinalement et déversées vers le SE. La minéralisation aurifère semble se concentrer dans les charnières sous forme de gisement en selle ainsi que dans les zones mylonitisées.

SÉANCE 7

NOS RESSOURCES NATURELLES, UNE COMPOSANTE ESSENTIELLE AU DÉVELOPPEMENT DURABLE DU TERRITOIRE NORDIQUE

Développement économique responsable des ressources naturelles, la force de la collaboration

Marie-Josée Lizotte (MERN)

Reconnu comme un partenaire fiable, éthique et attaché au développement durable, le Québec contribue activement aux transitions énergétique et technologique mondiales ainsi qu'à la création de richesse dans une économie plus verte. Sa richesse en ressources naturelles place le Québec en très bonne position pour réaliser cette transition, d'autant plus que le climat économique y est stable et qu'une bonne collaboration existe avec les communautés et les milieux d'affaires. À cet égard, le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), en raison de son rôle de gestionnaire du territoire public représentant près de 92 % du territoire du Québec, joue un rôle de premier plan dans le développement économique responsable des ressources naturelles.

La conférence du MERN sera l'occasion de présenter le rôle de gestionnaire du territoire public ainsi que les champs d'expertise et les leviers importants mis à la disposition du Ministère pour favoriser les investissements dans les projets de ressources naturelles, de même que son engagement de le faire dans un souci d'améliorer la qualité de vie dans les milieux régionaux. Un accent particulier sera porté sur la collaboration en territoire nordique avec la Société du Plan Nord et la Société de développement de la Baie-James.

« Habiter notre Nord » : la nécessité d'une vision concertée et coordonnée

Patrick Beauchesne (Société du Plan Nord)

Dans une perspective de développement durable, la Société du Plan Nord (SPN) a pour mission de contribuer au développement intégré et cohérent du territoire nordique québécois, conformément aux orientations définies par le gouvernement et en concertation avec les représentants des régions et des nations autochtones concernées ainsi que le secteur privé.

Les deux grandes composantes des actions de la SPN s'appuient sur la réalisation du Plan d'action nordique 2020-2023 et sur un modèle d'investissements stratégiques pour les infrastructures sur un territoire couvrant près de 1,2 million de km².

La présentation passera en revue les actions structurantes réalisées par la SPN afin de rendre l'expression « Habiter notre nord » une réalité concrète.

Unir nos forces, saisir les opportunités

Alain Coulombe (Société de développement de la Baie-James)

La Société de développement de la Baie-James (SDBJ) célèbre en 2021 son 50e anniversaire d'existence. La société est, plus que jamais, engagée à contribuer, avec ses partenaires, à développer le plein potentiel du territoire de la Baie-James comme le démontre son plan de développement 2021-2023.

Le modèle d'affaires de la SDBJ repose sur sa capacité à identifier des occasions d'affaires et à tisser des liens avec les divers acteurs susceptibles de collaborer à leur matérialisation. Cette approche lui a permis de se rapprocher des populations et des acteurs économiques de son territoire d'intervention avec qui elle bâtit des relations de confiance fondées sur des valeurs qui lui sont chères dont celles en lien avec le développement durable.

SÉANCE 8

SIDEX

TRAVAUX D'ACQUISITION DE CONNAISSANCES GÉOSCIENTIFIQUES AU MERN

SIDEX, un fonds institutionnel qui appuie l'exploration minière au Québec, fête ses 20 ans!

Paul Carmel (SIDEX)

SIDEX, créée en 2001 par le Fonds de solidarité FTQ et le gouvernement du Québec, fête cette année ses 20 ans! Ce fonds d'investissement poursuit sa mission d'appuyer l'exploration minière partout au Québec en finançant des sociétés actives sur le territoire. Son créneau demeure l'exploration de base jusqu'à l'étape de l'estimation de ressources minérales. Ce fonds, qui a commencé ses activités avec 50 M\$ en 2001, a pris de la valeur de façon importante grâce à une gestion de portefeuille active au fil de ses 20 ans d'opération. SIDEX a ainsi investi plus de 105 M\$ dans le capital-actions de 150 sociétés d'exploration minière juniors permettant de réaliser des travaux dans environ 285 projets d'exploration. Le fonds vaut actuellement près de 80 M\$ après des remises de 26 M\$ à ses deux commanditaires.

Au cours des années, SIDEX a participé aux vagues d'exploration pour le diamant, le nickel, l'uranium, les minéraux critiques et stratégiques, en plus de l'or et des métaux usuels. Sa mission comporte plusieurs volets, dont la diversification des substances recherchées et des régions explorées, ainsi que le soutien à la relève entrepreneuriale et à l'innovation. En maintenant le financement de cette étape fondamentale du cycle minier que constitue l'exploration minière, SIDEX vise ultimement la découverte des mines de demain qui assureront la pérennité de l'industrie minière québécoise. Le fonds compte plusieurs succès dont les financements qui ont permis les découvertes des gisements Mesamax (nickel dans le Nunavik), Bracemac-McLeod (zinc-cuivre à Matagami) et, tout dernièrement, du gîte aurifère prometteur Patwon dans la région Eeyou Istchee Baie-James.

SIDEX a su assurer du financement à travers les hauts, mais surtout les bas des cycles miniers. De plus, le fonds s'est adapté au fil du temps aux besoins des sociétés en établissant des programmes ciblés.

Que nous réservent les prochains 20 ans? SIDEX compte poursuivre sa mission et s'ajuster à l'évolution de l'écosystème. Les défis et les occasions que nous entrevoyons sont de promouvoir la diversification, appuyer la relève, encourager l'exploration dans les régions frontalière en favorisant l'utilisation de l'innovation et en respectant les enjeux environnementaux, sociaux et de gouvernance.

Cinq ans d'une aventure numérique réussie, ça se fête!

Mehdi A. Guemache et François Leclerc (MERN)

Dans un contexte sanitaire particulier, nous célébrons cette année le 5e anniversaire du virage numérique entrepris par Géologie Québec pour la publication des données géoscientifiques. En effet, l'année 2016 a vu la parution des toutes premières fiches stratigraphiques et du premier Bulletin géologiQUE sous la forme de pages Web. La transition vers une diffusion dans l'Internet s'est poursuivie et d'autres produits numériques se sont ajoutés au fil des années : fiches structurales, tableaux de géochimie, fiches géochronologiques, bulletins quaternaires, fiches du glossaire quaternaire, portail des substances minérales et affiches « Géologie pour tous ».

Géologie de la région du lac Conviac, Eeyou Istchee Baie-James.

Daniel Bandyayera, William Chartier-Montreuil,
Myriam Côté-Roberge et Maxym-Karl Hamel-Hébert (MERN)

Un levé réalisé au cours de l'été 2021 a mené à la production d'une nouvelle carte géologique à l'échelle 1/50 000 de la région du lac Conviac (feuilles SNRC 33B02 et 33B07) localisée sur la rivière Eastmain, à environ 100 km au NE de Nemiscau. Ces travaux ont notamment permis de préciser la limite entre les sous-provinces d'Opinaca et de La Grande dans ce secteur. Ainsi, la ceinture de roches vertes de la Moyenne et de la Basse-Eastmain (CRVMBE), appartenant à la Sous-province de La Grande, a été prolongée vers l'est sur une dizaine de kilomètres. Cette entité est formée de la Formation de Natel, composée d'amphibolite rubanée d'origine basaltique et de tuf felsique à intermédiaire, ainsi que des paragneiss à nodules et des formations de fer de la Formation d'Auclair. Une nouvelle unité transitionnelle de paragneiss stratifié et peu métamorphisé associée à la Sous-province de La Grande, la Formation de Prosper, occupe l'extrême sud de la carte. Des ensembles intrusifs appartenant au Batholite de Village et aux plutons de Béryl Nord et de Béryl Sud coupent les roches volcaniques et sédimentaires du La Grande. Les paragneiss variablement migmatitisés du Complexe de Laguiche de la Sous-province d'Opinaca occupent le NE de la région. Ils sont coupés par les roches intrusives felsiques à intermédiaires de la Suite de Bezier à proximité du contact avec la Sous-province de La Grande. Cet empilement est découpé par plusieurs zones de cisaillement orientées plus ou moins E-W, dont le prolongement vers le NE de la Zone de cisaillement de la Rivière Rupert (ZCRR). La présence de structures en dômes et bassins ainsi qu'une série de plissements isoclinaux caractérisent la tectonique de la région. Les travaux préliminaires permettent de mettre en évidence cinq secteurs favorables à l'exploration pour différents types de minéralisations : 1) minéralisations aurifères associées aux formations de fer; 2) minéralisations polymétalliques associées à des altérations volcanogènes; et 3) minéralisations associées aux granites pegmatitiques.

Géologie de la région du lac Le Vilin, Eeyou Istchee Baie-James

Daniel Bandyayera, Emmanuel Caron-Côté et Charles St-Hilaire (MERN)

Le levé géologique de la région du lac Le Vilin (feuilles SNRC 32010 et 32015), effectué durant l'été 2021, couvre un secteur situé à environ 285 km au NW de Chibougamau. La partie nord de la région cartographiée expose des roches métasédimentaires localement migmatitisées constituant un ensemble transitionnel entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca. Il contient d'importantes injections de granite pegmatitique blanc à muscovite ± grenat. Au NW, cet ensemble repose sur les gneiss tonalitiques du Complexe de Champion. Au centre, la zone de contact entre le La Grande et l'Opatica est délimitée au nord et au sud respectivement par les zones de cisaillement de la Rivière Rupert et de Poste Albanel. La zone est caractérisée par la présence d'unités kilométriques de basaltes amphibolisés, de formations de fer, de quartzites, de roches métasédimentaires, ainsi que de laves et des intrusions mafiques et ultramafiques. Ces unités forment une bande E-W de plus de 30 km de longueur interprétée comme l'extension vers l'est de la ceinture du lac des Montagnes. La partie sud de la région appartient à la Sous-province d'Opatica et est constituée d'un ensemble de gneiss tonalitiques, de tonalite, de granodiorite, de granodiorite porphyrique et de granite assigné au Complexe de Théodat. Le centre et le sud du feuillet 32010 sont occupés en grande partie par des intrusions intermédiaires (monzonite, monzonite quartzifère, monzodiorite et monzodiorite quartzifère) contenant des enclaves de gneiss tonalitique. L'ensemble des roches archéennes de la région est recoupé par différentes familles de dykes de diabase orientés NW-SE et NE-SW. Dans la moitié nord de la région, les roches du La Grande présentent une déformation diffuse et relativement homogène caractérisée par la présence d'une foliation pénétrative orientée E-W à NE-SW à pendage généralement fort. Plus au sud, dans l'Opatica, les unités proches du contact avec le La Grande se distinguent par de faibles pendages, suggérant un chevauchement du sud vers le nord.

Ces travaux montrent que la zone de contact La Grande-Opatica constitue un métallotecte régional important. Des zones favorables pour les minéralisations aurifères et en Ni-Cu-EGP ont été mises au jour. Un indice (O'Connor) et des anomalies en Zn-Pb-Cu-Ag associées aux roches volcaniques, de même que des anomalies aurifères liées aux formations de fer ou aux zones de cisaillement sont rapportés dans les travaux statutaires et ont été visités et échantillonnés. La région est également connue pour son potentiel en lithium associé aux granites pegmatitiques blancs à spodumène.

Géologie de la région du lac La Trêve, Sous-Province de l'Abitibi, Eeyou Istchee Baie-James

Mélanie Beaudette et Yannick Daoudene (MERN)

Une nouvelle carte géologique préliminaire de la région du lac La Trêve (feuilles 32G13-NE et 32J04-SE) a été produite à la suite d'un levé réalisé au cours de l'été 2021. Ces travaux permettent de préciser la limite entre les sous-provinces d'Abitibi et d'Opatica et de raffiner la stratigraphie et la structure de cette région. La séquence stratigraphique débute avec le Groupe de Roy principalement constitué de basaltes coussinés et massifs des formations d'Obatogamau et de Bruneau, ainsi que de filons-couches de gabbro. Le sommet cette unité est marqué par des roches volcaniques intermédiaires à felsiques rattachées à la Formation de Blondeau. Cet ensemble volcanique est surmonté par des roches sédimentaires du Groupe d'Opémisca formé à la base de la Formation de La Trêve constituée d'une interstratification de conglomérat polygénique et de grès. Au-dessus, la Formation de Daubrée est composée de bancs de grès, d'arénite, de wacke et de mudstone. La majorité des polarités mesurées dans la séquence volcanique et sédimentaire indiquent des sommets stratigraphiques vers le SE. Des plutons plus ou moins circulaires de syénite et de granite de taille kilométrique, peu ou pas déformés, coupent la séquence. Alors que les roches présentent généralement un métamorphisme au faciès des schistes verts, elles montrent en bordure de ces plutons des assemblages minéralogiques typiques du faciès des amphibolites et même des signes de fusion partielle. Des dykes décimétriques de gabbro et gabbronorite orientés NE-SW recoupent l'ensemble des unités décrites précédemment. Le levé a aussi permis d'identifier plusieurs environnements géologiques favorables d'un point de vue métallogénique : 1) les roches volcanoclastiques de la Formation de Blondeau favorables aux métaux usuels et précieux associés aux SMV; 2) la gabbronorite du Dyke de l'Abitibi favorable aux minéralisations de Ni-(EGP) magmatiques; 3) l'intrusion polyphasée de gabbro du Stock de Mildred favorable aux minéralisations de Ni-Cu-(EGP) magmatiques; et 4) les intrusions syénitiques des stocks de Daine et de Saussure favorables aux minéralisations en ETR.

Géologie de la région de Dolbeau-Blondelas, Province de Grenville, région du Saguenay-Lac-Saint-Jean

Mhamed El Bourki et Abdelali Moukhsil (MERN)

À l'été 2021, les secteurs au nord de Dolbeau-Mistassini (feuillelet SNRC 32H01) et au nord de Girardville (32H07) ont fait l'objet d'une cartographie géologique à l'échelle 1/50 000 dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Les roches cartographiées d'âge mésoprotérozoïque à néoprotérozoïque (1,484 à 0,958 Ga) sont localisées dans l'Allochtonne de la Province de Grenville. L'unité la plus étendue, à l'est du feuillelet 32H01, est la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (1169 à 1135 Ma), elle-même injectée par plusieurs intrusions : le Batholite de l'Écluse (granite, syénite, gabbronorite, leuconorite); l'Intrusion de Rivière Noire de composition ultramafique et enrichie en éléments de terres rares (ETR) \pm P; et la Suite intrusive de Saint-Hedwidge (1017,6 \pm 36 Ma, granite, syénite, mangérite, gabbronorite). Les autres intrusions mésoprotérozoïques de la région sont les suites plutoniques de La Vertu, de Grondin, d'Adélarde et des Festins; les batholites du Coin et de Long; la Suite intrusive de Jean-Marie; et le Pluton de Tommy. Des roches supracrustales ont également été cartographiées dans la région. Il s'agit de la Séquence supracrustale de Saint-Onge (> 1160 Ma), composée de paragneiss quartzofeldspathique, de marbre \pm wollastonite, de roches calcosilicatées, de quartzite et de métavolcanites, et du Complexe de Barrois (< 1224 \pm 18 Ma) qui regroupe des roches volcano-sédimentaires. Mentionnons également la présence de dykes de pegmatites granitiques à syénitique et quelques dykes de carbonatite. L'Intrusion alcaline de Crevier (IAC), d'âge néoprotérozoïque (957,5 \pm 2,9 Ma), est localisée au nord du feuillelet 32H07 et se compose de syénite néphélinique, de carbonatite et de dykes mégacristiques à albite, néphéline et pyrochlore. Des travaux antérieurs ont démontré son potentiel économique en Nb-Ta.

Les roches mésoprotérozoïques sont, en général, déformées et coupées par plusieurs failles et zones de cisaillement. Le grain structural régional est généralement orienté SW-NE et SE-NW accommodant la mise en place finale des intrusions. L'orientation SE-NW est également liée à la mise en place post-orogénique de l'IAC. Le secteur se caractérise par un métamorphisme régional prograde au faciès supérieur des amphibolites à celui des granulites. La région présente plusieurs zones favorables pour l'exploration de substances minérales :

- minéralisation en ETR \pm Th dans les dykes granitiques, les roches intrusives syénitiques et granitiques à feldspath alcalin et les carbonatites;
- minéralisation en Nb-Ta dans les intrusions alcalines et les carbonatites
- minéralisation de Fe-Ti-P \pm V dans les gabbronorites et nelsonites;
- minéralisation en ETR et P dans les roches ultramafiques.

Nouvelles données géochimiques de sédiments de fond de lac dans le secteur de Mistassini-Ouest, Eeyou Istchee Baie-James.

Fabien Solgadi (MERN)

En 2020, le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles a modifié la stratégie employée pour les levés de sédiments de fond de lac. La maille d'échantillonnage a été densifiée et est ainsi passée d'un échantillon au 6 km² à un échantillon au 1,5 km².

Le premier de ces levés de sédiments de fond de lac de haute densité a été réalisé à l'été 2020 dans le secteur de Mistassini-Ouest (portions des feuillettes SNRC 32J09, 32J16, 32L12, 32L13, 32O01 et 32P04), situé dans Sous-province d'Opatika de la Province du Supérieur. Cette région est située au SE de la ceinture de Frotet-Evans reconnue pour son potentiel minéral avec notamment la présence de l'ancienne mine aurifère Troilus. Ce levé, exécuté par la firme Geo Data Solutions (GDS), a couvert une superficie d'environ 2900 km² et a permis la collecte de 1963 échantillons. Les résultats obtenus ont permis de créer des cartes des valeurs brutes interpolées par la méthode des voisins naturels pour les éléments jugés d'intérêt économique. Ces cartes mettent en évidence des zones favorables pour plusieurs substances.

Inventaire des ressources en granulats de la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean

André Brazeau (MERN)

L'inventaire des ressources en granulats de la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean (feuilles SNRC 22D05, 22D06, 22D07, 22D10, 22D11, 22D12, 22D13, 22D14, 32A08, 32A09, 32D10, 32A15, 32A16) a été effectué au cours des étés 2019 et 2020. Dans le secteur à l'étude, les dépôts susceptibles de fournir du sable et du gravier sont principalement d'origine marine (littoral et deltaïque) et fluvioglacière. Ces dépôts forment généralement des terrasses et sont surtout concentrés sur les basses-terres du Saguenay–Lac-Saint-Jean et dans la vallée des principales rivières de la région (rivières Ashuapmushuan, Mistassini, Péribonka, Shipshaw, Valin et Chicoutimi). L'épaisseur des dépôts varie en moyenne de 3 à 5 mètres, mais elle dépasse 10 mètres à de nombreux endroits. Les réserves de sable et gravier du secteur sont importantes. Plusieurs dépôts sont déjà en exploitation ou ont fait l'objet d'exploitation par le passé. Les granulats de la région sont dérivés des roches précambriennes du Plateau laurentien (Province de Grenville; granite, gneiss, gabbro, diorite, syénite, anorthosite) et, en plus faible proportion, de roches sédimentaires paléozoïques de la Plate-forme du Saint-Laurent (calcaire, shale). Les granulats grossiers sont constitués principalement de fragments des roches citées ci-haut, alors que les granulats fins sont des sables granitiques. Lors des travaux de terrain, 417 sites d'exploitations et 92 sites d'observation ont été visités. De ce nombre, 153 sites étaient en activité lors de notre passage. De nombreux sites (212) étaient abandonnés, les autres étant réaménagés ou épuisés. Durant ces visites, 78 échantillons ont été prélevés pour analyse afin de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques des granulats. Les résultats de ces analyses ont permis de déterminer que la qualité des matériaux de la région est généralement très bonne. Ces matériaux peuvent être utilisés dans de nombreux ouvrages routiers et dans des infrastructures diverses.

Géologie de la région de Girardville, Province de Grenville, région du Saguenay–Lac-Saint-Jean

Mhamed El Bourki et Abdelali Moukhsil (MERN)

Une nouvelle carte géologique à l'échelle 1/50 000 du secteur de Girardville (feuille SNRC 32H02), dans la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean, a été produite à la suite d'un levé réalisé à l'été 2020. Les roches cartographiées sont principalement d'âge mésoprotérozoïque (1,45 à 0,99 Ga). Plusieurs unités reconnues dans le secteur de Normandin (feuille 32A15) se poursuivent vers le nord dans le secteur de Girardville. Il s'agit du Complexe de Barrois (roches métasédimentaires, $<1224 \pm 18$ Ma), de la Suite plutonique d'Allegri (non datée), de la Suite de Saint-Thomas-Didyme (1042 ± 2 Ma), de la Suite intrusive de Sainte-Hedwidge (1017 ± 36 Ma) et de la Gabbro-norite de Claire (non datée). De nouvelles unités lithodémiques ont été cartographiées dans le cadre de ce projet. Ces unités sont les suites plutoniques de Bois Vert et de la Vertu, le Batholite du Coin ainsi que les suites intrusives de Bolduc et de Jean-Marie. Ces

unités intrusives sont surtout constituées de gabbro-norite, de mangérite, de syénite quartzifère avec ou sans orthopyroxène, de syénogranite, de granite à feldspath alcalin, de charnockite et, plus rarement, de syénite quartzifère et à feldspath alcalin, de jotunite, de monzodiorite, de leuconorite et de pyroxénite. Des dykes de pegmatite granitique à syénitique coupent les roches de la région et un dyke de carbonatite injecte la Suite intrusive de Sainte-Hedwidge. Les roches cartographiées sont généralement déformées, plissées et coupées par plusieurs failles ainsi que des zones de cisaillement. La trame structurale est principalement orientée N-S à NNE-SSW. Le secteur se caractérise par un métamorphisme régional prograde du faciès supérieur des amphibolites à celui des granulites. Il recèle plusieurs types de minéralisations offrant un potentiel minéral non négligeable permettant de définir des zones favorables à l'exploitation minière :

- minéralisations en éléments de terres rares \pm Th \pm Nb \pm Ta dans les dykes granitiques, les roches intrusives syénitiques et granitiques à feldspath alcalin et les carbonatites;
- minéralisations de Fe-Ti \pm P \pm V dans les gabbro-norites;
- minéralisations de Ni \pm Cu dans les roches intrusives ultramafiques;
- minéralisations de minéraux industriels (sillimanite).

Nouveaux levés géophysiques publiés en 2020-2021

Rachid Intissar (MERN)

Poursuivant sa mission d'acquisition et traitement des données géoscientifiques, la Direction de l'acquisition des connaissances géoscientifiques (DACG) a réalisé durant les deux dernières années de nombreux levés aéromagnétiques combinés le plus souvent avec la spectrométrie. Les blocs couverts durant cette période sont situés dans les régions du lac Mistassini, du Lac-Saint-Jean, de la Basse-Côte-Nord, du Nord du Québec, de l'Abitibi-Témiscamingue et de l'Outaouais. Ces levés ont été réalisés avec un espacement entre les traverses de 200 m et une hauteur nominale de vol de 80 m à 90 m. Ils représentent un total de 510 000 km linéaires pour une superficie d'environ 91 000 km². Le but ultime de ces levés de haute résolution est de fournir une aide à la cartographie géologique tant pour les projets de Géologie Québec que ceux des compagnies d'exploration. Ces données permettent de stimuler l'investissement privé en générant de nouvelles zones favorables à l'exploration minière. Les rapports techniques et les données numériques relatifs à ces levés sont ou seront bientôt disponibles dans Examine.

SÉANCE 9

HYDROGÈNE ET BIOÉNERGIES – ENJEUX POLITIQUES ET ÉCONOMIQUES

Le rôle de l'hydrogène vert et des bioénergies dans la transition énergétique

Dominique Deschênes (MERN)

Pour réussir la transition énergétique et décarboner le Québec, il faudra miser sur l'efficacité énergétique et l'électrification. Cependant, des secteurs demeureront difficiles à électrifier techniquement ou économiquement, dans les secteurs de l'industrie et des transports lourds notamment. L'hydrogène vert et les bioénergies joueront un rôle complémentaire à l'électricité pour concrétiser la transition énergétique, tout en étant profitables pour le Québec.

Le rôle de l'OACI dans la réduction de l'impact de l'aviation internationale sur le climat mondial

Neil Dickson (Organisation de l'aviation civile internationale)

L'OACI est l'agence spécialisée des Nations Unies pour l'aviation civile internationale. Avec la coopération de ses États membres et des parties prenantes, elle sert de forum mondial pour élaborer des politiques et des normes dans le but de parvenir à une croissance durable de l'aviation civile mondiale. Un objectif stratégique majeur de l'OACI est la protection de l'environnement dans le but de limiter et de réduire l'impact du bruit et des émissions sur la qualité de l'air local et le climat mondial.

L'OACI a beaucoup travaillé sur la réduction de l'impact climatique de l'aviation et a actuellement un objectif ambitieux d'une croissance nulle en carbone à partir de 2020 et d'une diminution annuelle de 2 % jusqu'en 2050. Ces objectifs seront atteints grâce à un « panier de mesures » pour la réduction des émissions de CO₂ qui comprend de nouvelles technologies aéronautiques, une exploitation améliorée, des carburants d'aviation durables et, comme mesure complémentaire, le Régime de compensation et de réduction de carbone pour l'aviation internationale (CORSIA).

Au cours de sa 40e session (en 2019), l'Assemblée de l'OACI a demandé que l'on évalue la faisabilité d'un objectif ambitieux mondial à long terme (LTAG) climatique pour l'aviation internationale. Afin de fournir un soutien technique aux travaux du LTAG, un groupe multi-États et multipartite a été créé sous l'égide du Comité de l'OACI sur la protection de l'environnement en aviation. Ce processus continu repose sur la collecte d'informations, l'évaluation des données, l'analyse d'experts et la modélisation de scénarios, réunissant les dernières innovations de réduction de CO₂ dans le secteur. Les livrables finaux de ce groupe technique comprendront des objectifs potentiels, des calendriers et des feuilles de route. Le résultat des travaux sera présenté au Conseil de l'OACI et pour examen à la 41e session de l'Assemblée de l'OACI en septembre 2022.

En appui au travail du LTAG, l'OACI poursuit un processus d'inventaire afin de suivre les progrès mondiaux dans le développement d'innovations de réduction des émissions de CO₂ du secteur. Ce processus transparent et inclusif comprend la collecte de données auprès d'une grande variété de parties prenantes et l'organisation d'ateliers et d'événements internationaux qui offriront un forum d'échange et de diffusion de ces informations.

Au cours des éditions 2020 et 2021 de l'inventaire, plus de 100 pionniers de l'aéronautique, leaders de l'industrie, décideurs, experts techniques, chercheurs universitaires, innovateurs, défenseurs de la société civile et États ont présenté des solutions innovantes pour libérer les potentiels actuels et futurs de réduction des émissions de CO₂ de l'aviation, tout en prenant des engagements forts et en soulignant leurs ambitieuses feuilles visant une empreinte carbone nette zéro. L'OACI continuera de tirer parti du succès et de l'élan de ces actions pour renforcer les synergies entre les parties prenantes, ouvrant la voie à un avenir durable pour l'aviation.

SÉANCE 10

Projets miniers et autorisations gouvernementales : Deux ans de réalisation pour le Bureau de coordination des droits

Martin Breault (MERN)

Lancé au congrès Québec Mines + Énergie 2019, le Bureau de coordination des droits (BCD) souligne sa deuxième année d'existence. Piloté par le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), ce projet gouvernemental prioritaire mise sur un renforcement de la coordination interministérielle afin d'assurer une meilleure gestion des délais dans la délivrance des droits (permis et autorisations), et cela sans faire de compromis en matière d'exigences réglementaires. Rappelons que la réduction des délais moyens de délivrance des droits pour les projets miniers est l'un des objectifs du Plan stratégique du MERN. Cette présentation fera ressortir les avancées obtenues depuis la mise en place du BCD, notamment en ce qui concerne l'optimisation des processus d'autorisation et l'accompagnement interministériel des promoteurs miniers, et traitera des principaux travaux prévus pour la prochaine année.

SÉANCE 11

FORUM SUR L'APPROVISIONNEMENT MINIER AUTOCHTONE

Le 10e anniversaire de la mine Éléonore

Christina Gilpin (Chef Nation crie de Wemindji) et Marc Lauzier (Newmont, Mine Éléonore)

En février 2011 était signée l'Entente de collaboration Opinagow qui constituait le plan de mise en œuvre concrète de la relation de collaboration établie entre les Cris et Goldcorp afin d'optimiser le développement et l'exploitation de la mine Éléonore. Son objectif était d'assurer la réussite du projet tout en tenant compte des activités traditionnelles cries et en maximisant les retombées économiques et le développement social pour les Cris, d'une manière qui soit avantageuse pour toutes les parties intéressées. Elle visait notamment la formation, l'embauche et la rétention des travailleurs cris à Éléonore. L'Entente est aujourd'hui devenue un puissant symbole d'une communication transparente et régulière entre les acteurs économiques et les parties prenantes qui permet d'assurer une compréhension mutuelle des opportunités, des préoccupations et des enjeux des partenaires. Cette conférence dresse un bilan de cette entente historique qui a contribué au succès de la mine Éléonore.

Plan canadien pour les minéraux et les métaux

Melanie Campbell (Ressources naturelles Canada)

Cette conférence donnera un aperçu du Plan canadien pour les minéraux et les métaux axé sur la promotion de la participation des peuples autochtones dans le secteur.

Plan canadien pour les minéraux et les métaux – Mining Shared Value et Ingénieurs sans frontières Canada

Keyla de Weerd (Mining Shared Value et Ingénieurs sans frontières)

Cette présentation traitera de la liste de contrôle pour les marchés locaux réalisée en partenariat avec le Plan canadien pour les minéraux et les métaux

Torngat Metals

Christine Burow (Torngat Metals)

Présentation sur l'innovation dans l'exploration des terres rares et l'engagement avec les peuples inuit et innu.

BlackRock Metals

Alexandre Meterissian (BlackRock Metals et Teneo)

Cette présentation traitera des relations initiales à établir avec les groupes autochtones à l'étape de l'exploration d'un projet minier.

SÉANCE 12

HYDROGÈNE ET BIOÉNERGIES – ENJEUX TECHNIQUES ET RÉALISATIONS CONCRÈTES

Perspectives de Michelin dans le projet *Zero Emission Valley* porté par la région Auvergne-Rhône-Alpes

Valérie Bouillon-Delporte (Michelin)

Zero Emission Valley (ZEV), projet pionnier de mobilité hydrogène lancé en 2017 dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, est la première réalisation concrète du concept de « Vallée de l'hydrogène » en France. Fruit d'un engagement conjoint de la région Auvergne-Rhône-Alpes et de différents industriels, dont Michelin, la ZEV s'appuie sur la forte présence locale de la filière hydrogène et répond directement à la problématique de qualité de l'air dans ce territoire. Au-delà de ces particularités et de son caractère avant-gardiste, la ZEV a pour ambition de permettre aux projets à venir de bénéficier de cette expérience en vue de l'implantation d'autres écosystèmes territoriaux de mobilité hydrogène ailleurs en France et à l'international.

Michelin soutient cette approche par écosystème. La création d'une société de projet chargée de déployer la ZEV est un exemple concret de cette approche. Ce projet est pour Michelin une occasion de créer une filière forte, source d'emplois et capable de faire émerger de nouveaux champions. Telle est aussi notre ambition : faire participer d'autres acteurs, petits et grands, publics et privés, pour travailler à leurs côtés et réussir ensemble à transformer notre monde. Car c'est bien de cela qu'il s'agit. Face à un défi planétaire comme le changement climatique, nous devons unir nos forces pour trouver des solutions collectives.

La production québécoise de granules énergétiques et ses marchés

**John Arsenault (Bureau de promotion des produits du bois
du Québec)**

Les granules de bois sont un atout pour les industries du Québec. Cette présentation offrira une description des marchés locaux et mondiaux desservis par les producteurs de granules du Québec, y compris les marchés industriels lourds. On donnera aussi quelques exemples de conversions industrielles réussies.

Mener la transition énergétique du Québec grâce à l'hydrogène et au gaz naturel renouvelable

Jean-Benoit Trahan (Gazifère)

La transition énergétique implique des changements majeurs pour la société et les organisations. Gazifère a pris ce virage majeur il y a quelques années et les impacts de cette évolution commencent à porter leur fruit. Des études importantes et des investissements majeurs sont en cours, plusieurs projets sont en développement et des partenariats ont été créés afin de mettre en commun les efforts de conversion.

Perspectives d'Hydro-Québec sur le développement de l'hydrogène vert au Québec

Mathieu Johnson (Hydro-Québec)

Le développement de la filière de l'hydrogène vert constitue une solution stratégique pour aider le Québec à opérer sa transition énergétique et c'est dans ce contexte qu'Hydro-Québec souhaite contribuer à sa création. La présentation fera état du potentiel de cette source d'énergie renouvelable pour la province ainsi que des défis et des possibilités que représente le développement de cette filière.

SÉANCE 13

OFFENSIVE NUMÉRIQUE ET INNOVATION : DES INITIATIVES POUR ACCÉLÉRER LA TRANSFORMATION DES ENTREPRISES DES ÉCOSYSTÈMES MINIER ET ÉNERGÉTIQUE

La migration vers SAP S/4HANA : un des leviers de transformation pour soutenir la vision d'Énergir au cours de la période 2030-2050

Julie Pouliot (Énergir)

Le projet vise une mise à niveau technologique afin de se positionner dans l'ère numérique. Il cible spécifiquement à mettre en place les bases d'une modernisation des processus. Lorsqu'on entreprend un tel virage, il est essentiel de considérer certains éléments qui s'appliquent tant aux PME qu'aux grandes entreprises. Une telle transformation est remplie de défis et requiert des changements dans nos pratiques. Découvrez les ambitions d'Énergir dans ce domaine ainsi que les facteurs clés pour y arriver.

Les impacts concurrentiels de l'offre de service 4.0 pour les PME de la filière minérale du Québec

Alain Beauséjour (Groupe MISA)

L'industrie minière du Québec vit une très grande effervescence technologique. Les sociétés minières travaillent ardemment à la transition numérique des organisations et des opérations minières. Au cours des 10 prochaines années, nous assisterons au déploiement rapide des technologies 4.0, notamment l'automatisation et l'intelligence artificielle, pour ne nommer que les plus populaires. Progressivement, l'autonomisation des opérations minières, la vision de la mine autonome, s'imposera à l'industrie. Cette perspective génère son lot d'occasions et de menaces. Qu'est-ce que l'offre de service 4.0? Quels sont les impacts sur les enjeux concurrentiels des PME de la filière minérale du Québec? Comment les PME innovantes doivent-elles se préparer et intégrer les rudiments de l'économie de fonctionnalité? Quels sont les échéanciers pour profiter de la vague et non la subir?

Virage numérique des fournisseurs manufacturiers des entreprises des secteurs miniers et de l'énergie : contexte et mise en œuvre

Pierre Laurent Boudrias (STIQ)

Les entreprises minières comptent sur des réseaux d'approvisionnement qui leur permettent d'obtenir les équipements et l'outillage nécessaires à leurs opérations de prospection, d'exploitation et de transformation. L'environnement des entreprises manufacturières, tout comme celui des entreprises minières, est en évolution grâce à l'apport des technologies numériques. Celles-ci permettent aux entreprises manufacturières d'être plus compétitives en rendant disponibles des données de marché, en facilitant les contacts avec les clients et fournisseurs et en augmentant l'efficacité des opérations. De surcroît, les nouvelles technologies numériques permettent aux manufacturiers de développer de nouveaux produits performants qui, grâce aux technologies embarquées, constituent un atout pour leurs clients du secteur minier.

Or, toutes les entreprises manufacturières n'ont pas le même niveau de maturité dans l'intégration des technologies numériques. Tandis que des entreprises se démarquent et sont de véritables précurseurs en la matière, d'autres évoluent moins rapidement. Quel est le niveau d'intégration des nouvelles technologies dans les entreprises manufacturières québécoises? Quels sont les facteurs qui favorisent l'adoption de ces technologies? Quelles sont les meilleures pratiques reconnues dans l'industrie et quels sont les avantages et retombées pour les entreprises minières québécoises?

L'étude *Le Baromètre industriel québécois* de STIQ présente le degré d'intégration et les intentions d'adoption des nouvelles technologies de l'information dans les PME québécoises. Elle démontre aussi les avantages de l'innovation pour les PME manufacturières. À l'aide des données recueillies dans différents programmes d'aide aux entreprises réalisés dans la dernière année auprès de fournisseurs du secteur minier, dont un projet pilote où le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) était partenaire financier. STIQ a analysé les pratiques en matière de stratégies et de gestion des technologies numériques. Au cours de la présentation, nous verrons donc les forces et les faiblesses des PME manufacturières du Québec et aborderons les meilleures pratiques adoptées par les leaders ainsi que les conditions favorisant le virage numérique des entreprises.

Enfin, nous aborderons l'élément essentiel d'un virage numérique réussi pour une entreprise manufacturière, mais qui s'applique également à d'autres domaines comme celui de l'exploitation minière, soit le plan directeur numérique. Ce plan, qui tient compte du contexte de l'entreprise, a pour but de décrire la démarche de développement et d'intégration des nouvelles technologies numériques et permet d'éviter les écueils associés aux initiatives non concertées. Par le biais du plan numérique, nous verrons comment les entreprises d'ici peuvent devenir et demeurer des partenaires de premier plan pour l'industrie minière.

Traçabilité : certifier l'origine des minéraux critiques tout en optimisant les performances de production

Ken Fallu (OPTEL)

La traçabilité est un outil puissant basé sur la gestion des données. Elle permet notamment de suivre un produit ou une matière à travers les différentes étapes de production, de transformation et d'utilisation afin de garantir son origine et sa conformité tout au long de la chaîne de valeur, y compris le recyclage. Un défi demeure, la capture et la valorisation des données. C'est ainsi qu'Optel offre une solution de traçabilité permettant de numériser les informations de la chaîne de valeur minière afin d'en maximiser les données capturées, apportant ainsi une visibilité et une transparence complète.

SÉANCE 14

LE CUIVRE AU QUÉBEC : QUE SAVONS-NOUS, QUE CHERCHONS-NOUS?

Le cas des gisements archéens d'Au-Cu de type porphyrique lié à des intrusions : exemples du craton du Supérieur

Daniel J. Kontak (Université Laurentienne)

L'absence apparente de gisements d'Au-Cu de type porphyrique ou liés à des intrusions archéennes a souvent été attribuée à plusieurs facteurs, tels qu'un cadre géodynamique défavorable (p. ex. l'absence de subduction), de la présence de magmas causaux réduits versus oxydés en raison des conditions d'anoxie des océans ou encore d'une faible préservation. La validité de ces derniers concepts n'est ni contestée ni remise en question ici; nous proposons plutôt un nouveau paradigme basé sur la réévaluation de plusieurs minéralisations d'Au (-Cu) associées aux intrusions déjà connues (p. ex., Renabie, Upper Beaver, Wawa) ainsi que sur l'examen de plusieurs découvertes récentes (p. ex., les gisements Côte Gold et Gosselin, Windfall, Détour 58N). Les travaux de recherche réalisés sur ces sites, incluant des études de terrain détaillées, la pétrologie, la géochronologie à haute résolution et les études sur la chimie des fluides, démontrent l'existence d'une longue histoire de mise en place de minéralisations d'Au (-Cu) liées à des fluides hydrothermaux d'origine magmatique autour de 2740, 2720, 2695 et 2680 Ma à travers toute la Province du Supérieur. Parmi les autres aspects à considérer, on note que : 1) les roches hôtes inférées associées à ces minéralisations et à d'autres gisements bien décrits comprennent à la fois les suites Tonalite-Trondhjémite-Granodiorite-Diorite et Diorite-Monzodiorite-Syérite; 2) le style de minéralisation (c.-à-d., veine vs dissémination) et de l'altération (p. ex. biotite vs séricite-silice vs actinolite-albite-feldspath K vs épisyérite) varie considérablement; 3) la nature des fluides minéralisés varie du point de vue des volatiles ($H_2O \pm CO_2 \pm H_2S \pm B \pm F$) et des solutés (Na-K-Ca-Fe-Mn); et 4) les isotopes stables (O et S) démontrent l'implication de fluides magmatiques et superficiels (c'est-à-dire météoriques). Ainsi, l'âge, la nature de la minéralisation et de l'altération et la chimie des fluides contredisent l'interprétation d'un modèle orogénique pour bon nombre de ces contextes aurifères et impliquent plutôt une origine magmatique. Les discussions touchant la classification de ces gisements sont plutôt vaines (argument sémantique) et détournent l'attention de l'importance de ceux-ci du point de vue de la métallogénie à grande échelle et, plus important encore, sur leurs implications pour l'exploration.

Contrôles physico-dynamiques sur les minéralisations magmatiques de Ni-Cu : leçons apprises de Voisey's Bay et applications à l'exploration au Québec

Benoit-Michel Saumur (UQAM)

Une grande partie des ressources en nickel (Ni), cuivre (Cu), cobalt (Co) et platinoïdes (EGP) sont extraites de gîtes miniers formés dans des systèmes magmatiques intrusifs. Dans ces systèmes, une phase de sulfure magmatique (sulfure liquide) précipite à partir d'un magma silicaté, s'enrichit en ces métaux puis se concentre dans des pièges structuraux, souvent à géométrie complexe, à l'intérieur des intrusions ou des conduits magmatiques. Les contrôles structuro-dynamiques jouent un rôle à toutes les échelles, de l'échelle crustale qui régit la canalisation et l'ascension des magmas minéralisateurs, à celle des intrusions où les sites de mise en place sont contrôlés par la structure de l'encaissant et les processus structuraux ignés (p. ex. relèvement du toit, affaissement du plancher), jusqu'aux échelles métriques et inférieures où jouent la dynamique des magmas immiscibles et le refoulement gravitationnel des sulfures liquides denses. À partir de l'exemple de Voisey's Bay, en autres, nous discuterons de ces contrôles physiques et leurs rôles dans l'élaboration de critères d'exploration pour les gîtes magmatiques intrusifs de Ni-Cu-EGP au Québec.

Le cuivre dans la région de Chapais-Chibougamau, ceinture de roches vertes de l'Abitibi

Lucie Mathieu, Alexandre Crépon (CERM-UQAC) et Daniel J. Kontak (Université Laurentienne)

Les fluides magmatiques sont un important vecteur de métaux usuels et précieux dans de nombreux systèmes minéralisés (gisements porphyriques, systèmes aurifères liés aux intrusions – IRGS, sulfures massifs volcanogènes – VMS). L'importance des fluides d'origine magmatique reste débattue pour plusieurs contextes minéralisés, tels que les IRGS et les gisements d'or de type orogénique. Aussi, l'importance du magmatisme intermédiaire à felsique dans le bilan métallique des ceintures de roches vertes néoarchéennes n'est toujours pas bien appréciée. Ces enjeux sont abordés en prenant comme exemple la région de Chapais-Chibougamau, dans la portion NE de la Sous-province de l'Abitibi. Ce secteur se caractérise par l'abondance de systèmes minéralisateurs magmatiques-hydrothermaux à Cu-Au et Au (porphyres et IRGS). La région de Chibougamau présente également plusieurs suites TTD (Tonalite-Trondhémite-Diorite), tandis que les suites TTG (Tonalite-Trondhémite-Granodiorite) sont plus abondantes dans le reste de la Sous-province de l'Abitibi, comme le montre une interprétation récente des données géochimiques compilées à l'échelle de cette ceinture de roches vertes (Mathieu *et al.*, 2020; doi. 10.3390/min10030242). Les particularités du magmatisme de la région de Chapais-Chibougamau pourraient expliquer l'abondance des minéralisations riches en Cu dans cette partie de la Sous-province de l'Abitibi, tandis que le reste de cette ceinture de roches vertes (et notamment sa partie sud) est plutôt reconnue pour ses gisements aurifères.

Le projet Wabash d'Exploration Kintavar : le potentiel argentifère des minéralisations de cuivre stratiforme de la Haute-Mauricie et des Laurentides

Alain Cayer (Exploration Kintavar et Ressources GéoMégA), Gabriel Bolduc (Exploration Kintavar) et Michel Gauthier (UQAM)

Sur son projet Mitchi, Kintavar a retracé depuis 2017 une séquence grès-carbonatée métamorphisée au faciès des amphibolites porteuse d'une minéralisation cuprifère et manganésifère stratiforme d'importance kilométrique. L'âge de cette séquence correspond à celui du Supergroupe de Grenville (~1,2 Ga).

En 2020, Kintavar a entrepris l'exploration du Complexe de Wabash à l'est de Parent. Cette séquence volcano-sédimentaire a été datée à ~1,2 Ga tout comme celle de Mitchi (Moukhsil *et al.*, 2015; Trapy *et al.*, 2016). Non seulement cet âge est semblable à celui de Mitchi mais en plus on y trouve également des niveaux cuprifères et manganésifères métriques s'étendant sur plusieurs kilomètres. Cependant, plusieurs éléments distinguent Wabash de Mitchi : 1) le métamorphisme à Wabash atteint le faciès des granulites, 2) le cuivre et le manganèse stratiformes ne sont plus cantonnés aux marbres et aux roches calcosilicatées comme à Mitchi, car ils abondent également dans les gneiss méta-arkosiques, 3) les glimmérites, qui constituent un important faciès lithologique à Mitchi, sont absentes à Wabash. Mais, de toutes les caractéristiques, la plus importante d'un point de vue économique, est l'abondance de l'argent qui accompagne le plomb à Wabash. Ainsi, des teneurs de l'ordre de la centaine de grammes d'argent ont été observées sur des épaisseurs métriques à la tranchée « Indiana ». L'examen préliminaire de cette minéralisation argentifère suggère la présence de freibergite (série de la tétraédrite-tennantite) et d'argent natif accompagnant la galène, la bornite, la digénite et la covellite disséminées dans un marbre.

Contexte géologique du gîte Cu-Au-Mo-Ag de Mythril, Baie-James

Sylvain Trépanier, Jean-François Larivière, Mario Masson et Gino Roger (Exploration Midland)

Le gîte Cu-Au-Mo-Ag de Mythril a été découvert en 2018 par Exploration Midland lors de travaux de reconnaissance dans le secteur LG-4 de Eeyou Istchee Baie-James. Au cours des quatre dernières années, les travaux d'exploration ont permis d'identifier l'empreinte du système minéralisé s'étendant sur une distance de plus de 8 km. La minéralisation se présente sous la forme d'une multitude de zones d'altération à biotite décimétriques à métriques minéralisées en chalcopryrite-molybdénite dans la tonalite hôte. Ces zones peuvent former des intervalles assez riches en métaux, par exemple 1,34 % Cu, 0,69 g/t Au, 0,04 % Mo et 9,54 g/t Ag sur 9,0 mètres (forage MYT-19-006). La coalescence de ces zones peut former des intervalles très larges (plusieurs dizaines à quelques centaines de mètres) à faibles teneurs, comme 0,15 % Cu sur 227,1 m (forage MYT-19-012).

La minéralisation se trouve dans une importante intrusion de tonalite à proximité de son contact sud avec les conglomérats polygéniques et les wackes d'origine fluviale de la Formation de Magin. Selon le modèle actuellement privilégié, il s'agirait d'une minéralisation magmatique-hydrothermale associée à la tonalite. La minéralisation est exclusivement encaissée dans l'intrusion et aucune minéralisation cuprifère n'a été identifiée dans les conglomérats qui sont pourtant couramment adjacents aux zones minéralisées. Le MERN a récemment obtenu un âge préliminaire de 2717 ± 4 Ma pour cette tonalite. Les conglomérats de la Formation de Magin datés par le MERN ont un âge maximal de $2720,5 \pm 2,7$ Ma, mais serait vraisemblablement plus jeunes que la tonalite. Ces deux âges et l'absence de minéralisation de Cu-Au-Mo-Ag dans les conglomérats suggèrent que ceux-ci reposent en discordance d'érosion sur la tonalite et que la minéralisation s'est formée avant la déposition des conglomérats. À environ 5 km au sud de Mythril (et également au nord), on trouve les roches volcaniques du Groupe de Guyer qui ont été datées par le MERN à $2815,9 \pm 3,1$ Ma et le Pluton de Poste Le Moyne à 2881 ± 2 Ma. Ces roches sont donc de 100 à 175 Ma plus vieilles que la tonalite et les conglomérats.

La présence de roches beaucoup plus anciennes à proximité de Mythril suggère que la tonalite s'est mise en place dans un contexte d'arc plutôt continental, et non dans un contexte synvolcanique comme la plupart des minéralisations de métaux usuels de la Province du Supérieur. Ceci indique donc un potentiel insoupçonné pour les minéralisations de Cu-Au-Mo-Ag dans les intrusions felsiques tardives mis en place en contexte de croûte ancienne dans la Province du Supérieur.

Le potentiel cuprifère du projet Kwyjibo, Province de Grenville

Serge Perreault

La propriété Kwyjibo, détenue par SOQUEM, est située sur la Côte-Nord, dans la Province géologique de Grenville. On y trouve des minéralisations polymétalliques de fer (Fe), de cuivre (Cu), d'éléments des terres rares (ETR) et d'or (Au) du Mésoprotérozoïque. Le système minéralisé englobe six (6) indices répartis le long d'un corridor de 4 km de long. La principale zone de minéralisation en Fe-ETR est l'horizon Josette, lequel est divisé en deux zones : Josette Nord-est et Josette Sud-ouest. Ce dernier a fait l'objet d'une estimation des ressources minérales et d'une étude économique préliminaire pour les terres rares. Moins connue, une zone minéralisée en cuivre est présente dans la partie supérieure de l'horizon Josette. Les travaux de SOQUEM entre 1993 et 1998 ciblaient le potentiel cuprifère de cette zone qui correspond à l'indice Josette. Le rainurage réalisé en 2012 sur cet indice a donné des valeurs de 2,95 % d'oxydes de terres rares (OTR), 1,44 % Cu, 0,056 % Mo sur 10 m incluant un intervalle à 4,59 % OTR, 2,62 % Cu, 0,18 % Mo et 0,16 g/t Au sur 2 m. Les travaux de SOQUEM entre 1993 et 1998 avaient également permis de mettre au jour un potentiel cuprifère aux indices Malachite (0,45 % Cu sur 3,1 m en rainure et 0,26 % Cu sur 62,1 m en forage), Andradite (1,5 % Cu sur 1,9 m en rainure), Fluorine (0,82 % Cu et 2,35 % OTR sur 1 m et 0,69 % Cu sur 3 m en rainure) et Grabuge (échantillon choisi à 5,7 % Cu, 1,6 g/t Au et 22,7 g/t Ag; 1,41 % Cu et 0,12 g/t Au sur 1 m en rainure). La minéralisation cuprifère consiste en chalcopryrite et accessoirement en bornite et covellite. Les campagnes de forage de 1994, 1996 et 1998 sur ces quatre indices n'avaient pas permis de mettre en valeur le potentiel cuprifère en profondeur de ces minéralisations. Les travaux de SOQUEM dans la partie sud de la propriété avaient également mis en lumière une minéralisation cuprifère dans un gneiss quartzofeldspathique interprétée comme de type cuivre sédimentaire remobilisée par le métamorphisme grenvillien. L'indice Manitou est caractérisé par une minéralisation cuprifère composée de chalcopryrite, de bornite et de covellite en remplacement de la bornite. Les meilleures teneurs obtenues en surface sur l'indice Manitou sont de 1,1 % Cu sur 3,4 m, 1,29 % sur 2,2 m et 1,98 % Cu sur 1,7 m.

SÉANCE 15

VALORISATION DES REJETS THERMIQUES : UNE NOUVELLE FILIÈRE ÉNERGÉTIQUE POUR LE QUÉBEC

Résultats de l'étude du potentiel de la valorisation des rejets thermiques au Québec

Mikaël Krummert (Polytechnique Montréal)

Le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) a confié à une équipe multidisciplinaire composée de chercheurs de Polytechnique Montréal et de l'Université de Montréal, d'analystes du Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) ainsi que d'ingénieurs du Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTEI) le mandat d'évaluer le potentiel de valorisation des rejets thermiques au Québec. Pour ce faire, la géolocalisation et l'estimation sur une base annuelle des rejets thermiques valorisables (204 PJ) et des besoins thermiques (360 PJ) ont été réalisées sur le territoire québécois. Ces informations ont ensuite été croisées pour déterminer les localités ayant le plus grand potentiel théorique actuel et futur de valorisation thermique. En plus d'un rapport détaillé, ce projet a permis de générer une première version d'une base de données permettant de quantifier la quantité et la qualité des rejets et des besoins thermiques ainsi que leur localisation sur le territoire québécois.

Les réseaux de chaleur comme leviers de développement : le cas de la Ville de Saint-Félicien

Jean-Marie Niget (INNOVAGRO)

La Ville de Saint-Félicien a su se diversifier et se développer sans tourner le dos à son passé forestier. En effet, une synergie unique au Québec avec Produits Forestiers Résolu et les promoteurs de Serres Tundra a favorisé la création du premier Parc Agrothermique. Cette infrastructure innovante utilise les rejets thermiques de la centrale de cogénération de Résolu qui sont acheminés vers les installations de Serres Tundra grâce au réseau de chaleur municipal. Cette source alternative de chauffage a ainsi permis à Serres Tundra de s'implanter, de se développer et de devenir un acteur majeur de la serriculture québécoise. Forte de ce succès, la Ville de Saint-Félicien travaille maintenant à concrétiser un second Parc Agrothermique avec réseau de chaleur afin de valoriser les rejets thermiques de la centrale de O&M Cogénération de Saint-Félicien.

Valorisation de la chaleur des eaux grises

Boris Naneff (Renewable Resource Recovery Corporation)

Le tuyau @Source-Energy Pipe est une conduite d'égout standard qui intègre un échangeur de chaleur dans sa paroi. Le tuyau remplace les puits et les champs géothermiques dans un système de chauffage et de refroidissement géothermique conventionnel. Il fonctionne comme n'importe quel tuyau d'égout ordinaire. Toutefois, ce système permet également de déplacer durant l'été la chaleur d'un bâtiment vers le tuyau via une pompe à chaleur. La chaleur est stockée dans le sol entourant le tuyau, ce qui permet de refroidir le bâtiment. Par temps froids, le processus est inversé : la chaleur est déplacée du sol environnant le tuyau vers le bâtiment, ce qui permet de le chauffer. L'échangeur de chaleur ne traite ni n'est en contact avec les eaux usées brutes. Les échangeurs de chaleur dans les tuyaux peuvent être connectés en série pour créer un système de chauffage et de refroidissement en milieu urbain.

La récupération d'énergie thermique, un nouveau paradigme du traitement informatique

Vincent Thibault (QScale)

L'évolution technologique et la demande exponentielle en matière de puissance de calcul sont des éléments essentiels du progrès. L'impact associé à la consommation d'énergie associée à ces activités a cependant un coût écologique important. Comment pouvons-nous utiliser les atouts du Québec pour transformer cet obstacle en tremplin? Le projet présenté dans cette présentation vise la mise en place d'un centre de traitement de données de plus de 100 MW dont les rejets thermiques seront récupérés afin de remplacer le gaz naturel dans la production agroalimentaire.

Zibi : écoquartier à faible émission de carbone, un concept innovant de climatisation et de chauffage urbain

Geneviève Lussier (Equinox)

La conférence présentera le projet Zibi, un nouveau complexe résidentiel et commercial de 4 000 000 pi² situé à Gatineau et Ottawa qui vise la certification One Planet. Tous les bâtiments seront raccordés à un réseau d'énergie urbain zéro carbone qui récupèrera la chaleur industrielle résiduelle de la papeterie voisine en hiver et utilisera la rivière adjacente en été pour le rejet de chaleur. La conférence portera sur le concept unique de récupération de chaleur du réseau ainsi que sur les contraintes auxquelles les concepteurs ont dû faire face durant l'élaboration des plans et devis et la construction du complexe immobilier.

Valorisation de la vapeur de l'incinérateur de la Ville de Québec sur le site de l'Hôpital de l'Enfant-Jésus

Rubens Araujo (Ville de Québec)
et Olivier Sasseville (CHU de Québec-UL)

La Ville de Québec et le CHU de Québec-Université Laval présentent un concept de partenariat profitable à long terme touchant le projet de construction d'une centrale de trigénération pour l'approvisionnement en énergie de l'Hôpital de l'Enfant-Jésus (HEJ) et le réseau de distribution de vapeur à partir de l'Incinérateur de la Ville de Québec. La vapeur excédentaire produite par l'incinérateur, non valorisée actuellement, provient du processus de traitement des déchets. Ce projet novateur permettra de combler la quasi-totalité des besoins en vapeur, en chauffage et en refroidissement, ainsi qu'une partie de l'électricité de l'hôpital, en plus d'améliorer la redondance et la sécurité de ses installations énergétiques. Le projet permettra également une réduction importante des émissions de gaz à effet de serre (GES), faisant du site de l'HEJ le premier hôpital presque carbone neutre au Québec. Cette réalisation engendrera également d'importantes économies en raison des réductions de coûts énergétiques sur le site de l'HEJ et des dépenses connexes pour la ville, ainsi qu'une économie d'eau potable considérable.

SÉANCE 16

CENTRE D'EXCELLENCE SUR LES MÉTAUX CRITIQUES ET STRATÉGIQUES ÉLÉMENTS08 : SURVOL DES PROJETS EN COURS ET POSSIBILITÉ DE FINANCEMENT DE LA FILIÈRE DES MCS

Éléments08 : un centre de recherche innovateur axé sur l'exploitation responsable et durable des métaux critiques et stratégiques

Serge Perreault (Éléments08) et Benoît Plante (IRME-UQAT)

Le Centre d'excellence sur les métaux stratégiques Éléments08 vise l'exploitation responsable des minéraux critiques et stratégiques (MCS). Ces substances, intimement liées aux hautes technologies, sont désormais indispensables pour répondre aux besoins des consommateurs. Elles constituent l'un des piliers de la politique gouvernementale de développement minéral. Abordant l'ensemble de la filière des MCS, Éléments08 se distingue des autres organismes qui œuvrent dans ce secteur d'activités au Québec. Pionnier dans ce domaine, le centre apporte des solutions environnementales durables à des problématiques concrètes en lien avec les métaux stratégiques grâce à une équipe de scientifiques, de professionnels et techniciens de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT), du Centre technologique des résidus industriels (CTRI) et du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue. Sa mission touche également la formation de personnel hautement qualifié (PHQ). Lors de sa création en 2018, le gouvernement du Québec a accordé une aide de 7,5 M\$ pour le démarrage de ce nouveau regroupement.

Les objectifs scientifiques et technologiques d'Éléments08 visent à l'avancement des connaissances dans le secteur émergent des MCS, au transfert et à l'adaptation des connaissances acquises dans la gestion des rejets miniers provenant de mines de métaux usuels et précieux et de la protection de l'environnement à celles des mines de métaux stratégiques, ainsi qu'à la formation de personnel hautement qualifié. Les axes de recherche sont structurés selon 3 pôles : la géométallurgie, l'hydrométallurgie et la gestion responsable des rejets miniers.

Éléments08, c'est une expertise reconnue dans le domaine de la recherche et dans le développement de compétences et de connaissances.

Rappelons que l'Abitibi-Témiscamingue est l'une des seules régions du Québec qui offre une formation intégrant les niveaux professionnel, collégial et universitaire. Cette formation est directement orientée sur les besoins de l'industrie minérale du Québec et de la société. L'expertise combinée des chercheurs œuvrant pour les différents établissements est reconnue à l'échelle internationale, faisant de la région un acteur incontournable du développement du secteur minier au Québec.

Géologie appliquée aux minéraux critiques et stratégiques

Marc Legault (UQAT), Ludivine Da Rosa, Flore Parisot (Université de Lorraine) et Robin Potvin (Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue)

Les travaux de recherche présentés ici sont réalisés en collaboration avec le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec à la suite d'ententes pour la formation de personnel hautement qualifié, soit des étudiants de maîtrise et des stagiaires français de niveau Master. Ils sont également subventionnés par Éléments08 et s'intègrent surtout dans l'axe de recherche sur la géologie et la géoméallurgie. Les travaux ont commencé à l'été 2021 et se concentrent sur deux projets distincts, soit les carbonatites à éléments de terres rares (ETR) de l'Outaouais et les pegmatites à lithium du secteur du lac Simard au Témiscamingue.

La présence de dykes de carbonatites et des fénites associées est connue en Outaouais depuis les années 60, mais les études portant sur ces lithologies touchaient surtout sur leur minéralogie. Ces roches sont associées à au moins trois couloirs distincts d'orientation NNE-SSW et se sont mises en place vers la fin de l'Orogenèse grenvillienne. Bien que la source de ces dykes ne soit pas identifiée, les dykes de carbonatite et les fénites montrent un enrichissement marqué en ETR et l'échantillonnage de cet été permet de cibler les secteurs les plus intéressants.

Le secteur au nord du lac Simard est prospecté pour le béryl, le spodumène et les minéraux radioactifs depuis les années 50. Les nombreux indices identifiés dans le secteur sont pour la plupart associés à des pegmatites. Ces pegmatites peuvent être classifiées en type LCT (Li-Cs-Ta), en type NYF (Nb-Y-F) ainsi qu'en type mixte qui montre des caractéristiques des deux types précédents. Les pegmatites LCT présentent le meilleur potentiel pour la découverte d'un gisement, car les deux autres types se caractérisent par des minéralisations sporadiques de faible envergure. L'échantillonnage de cet été permettra d'évaluer la source des pegmatites minéralisées et de cibler les secteurs de plus fort potentiel pour les pegmatites de type LCT. De plus, une étude de maîtrise débutera en janvier 2022 sur le Batholite de La Motte en Abitibi et ciblera les secteurs à haut potentiel pour les minéralisations de lithium et de tantale autour de cette intrusion fertile qui est notamment l'hôte du gisement d'Authier.

Présentation de la Chaire institutionnelle en géochimie environnementale des ressources minérales critiques et stratégiques de l'UQAT

Benoît Plante (IRME-UQAT)

À l'automne 2020, l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue a inauguré la Chaire institutionnelle en géochimie environnementale des ressources minérales critiques et stratégiques dont le titulaire est le professeur Benoît Plante. Parmi les objectifs scientifiques et institutionnels de la chaire, mentionnons : 1) prévenir et atténuer les impacts sur l'environnement en amont du processus de développement minéral, 2) intensifier l'acquisition de connaissances en géochimie des mines de métaux stratégiques, identifier les applications possibles et favoriser le transfert technologique vers les entreprises œuvrant dans ce secteur, 3) former du personnel hautement qualifié (PHQ) apte à appliquer et à transférer les nouvelles connaissances dans le milieu, et 4) améliorer les capacités des entreprises minières québécoises dans le domaine du développement durable en proposant des techniques de gestion et de valorisation responsables des rejets ainsi que des méthodes de restauration adaptées.

Les travaux de la chaire se déploient suivant trois axes de recherche. Le premier axe vise essentiellement à établir la base de connaissances sur laquelle s'appuieront les axes de recherche 2 et 3. Il touche la caractérisation fine des sources primaires et secondaires de ressources minérales critiques et stratégiques, en amont du processus de développement minéral. L'objectif principal de cet axe de recherche est d'identifier les risques environnementaux éventuels liés aux rejets miniers issus de l'exploitation des MCS, de déterminer leur potentiel de valorisation comme matériau de construction et de proposer des scénarios performants de restauration.

Le deuxième axe est dédié à la prédiction de la qualité de l'eau des rejets miniers générés par les exploitations de ce type de ressources. Il vise à évaluer le potentiel de génération de contaminants et les risques pour l'environnement.

Le troisième axe s'intéresse à l'intégration des données géoenvironnementales issues des deux premiers axes pour la valorisation des rejets comme matériaux de construction lors de la restauration des aires d'entreposage et aux méthodes de restauration proprement dites de ces aires d'accumulation. L'intégration des données en amont du processus du développement minéral permettra sans contredit d'éviter de reproduire certaines erreurs du passé et de favoriser l'acceptabilité sociale des projets miniers dans le secteur des MCS.

Cette présentation fera état de résultats des travaux réalisés dans le cadre de la chaire dans des projets de recherche en partenariat avec différents acteurs de l'écosystème minier.

Projets de recherche en métallurgie extractive appliquée aux métaux et minéraux critiques et stratégiques (MCS)

Nassima Kemache, Stéphanie Somot (CTRI), Jean-François Boulanger, Lucie Coudert et Mahya Mobaraki Moghaddam (IRME-UQAT)

La transition vers une économie à faible empreinte carbone, traduite par des stratégies comme la Politique de mobilité durable 2030 du Gouvernement du Québec, entraînera une augmentation de la consommation de plusieurs minéraux et éléments. Pour plusieurs de ceux-ci, une séquence complexe impliquant de nombreuses étapes de traitement de minerais ainsi que des procédés hydrométallurgiques et pyrométallurgiques est requise afin d'obtenir un métal ou un matériau purifié et valorisable.

L'établissement de procédés fiables, rentables et responsables ainsi que l'évaluation des coûts et des impacts liés à ces opérations constituent une partie importante du travail qui doit être réalisé en amont du lancement de toute nouvelle filière minière. Afin d'ouvrir le dialogue sur ces sujets, cette présentation décrira sommairement certains projets de recherche menés sur les MCS, incluant les éléments de terres rares (ETR) et le graphite.

Pour que l'extraction des ETR soit économique, une étape d'enrichissement est généralement nécessaire afin de produire un concentré à haute teneur avant l'étape d'hydrométallurgie. Le procédé de flottation utilisé pour la production de ce concentré est complexifié par la finesse des minéralisations, l'existence de plusieurs phases porteuses et les propriétés similaires des minéraux de gangue. Plusieurs méthodes sont proposées pour surmonter ces obstacles, incluant l'utilisation de hautes puissances électriques pulsées pour augmenter le degré de libération et de collecteurs plus sélectifs.

Pour être utilisé dans les batteries Li-ion, le graphite requiert plusieurs étapes de purification pour atteindre une pureté supérieure à 99,5 %. Des procédés hydrométallurgiques faisant appel à des bases et des acides forts sont généralement requis à cette fin. Un projet de recherche touche au recyclage de ces réactifs.

Enfin, nous discuterons de la possibilité de récupérer sélectivement plusieurs MCS moins connus typiquement trouvés dans certains concentrés sulfurés, notamment ceux de cuivre et de zinc.

La voie hydrométallurgique apparaît donc comme une façon novatrice et plus durable pour le Québec d'entrer dans les nouvelles filières des MCS, tout en favorisant une meilleure circularité des ressources en métaux.

Récupération des minéraux critiques et stratégiques à partir des rejets miniers par voie hydrométallurgique

Lucie Coudert, Samuel Teillaud, Marie Guittonny, Carmen Mihaela Neculita (IRME-UQAT), Marie-Odile Simonnot, Baptiste Laubie, Jean-Louis Morel (Université de Lorraine) et Nicolas Reynier (Ressources naturelles Canada)

Les besoins croissants de nos sociétés en production et stockage d'énergies vertes nécessitent un approvisionnement stable en minéraux critiques et stratégiques (MCS) tels que le cobalt (Co), le nickel (Ni) et les éléments de terres rares (ETR). De nombreux pays, dont la France et le Québec, évaluent actuellement les possibilités de sécuriser et de diversifier leur approvisionnement en MCS, notamment par l'extraction à partir de sources secondaires. En raison des volumes importants générés et des teneurs résiduelles en MCS non négligeables, les résidus miniers représentent une source secondaire potentielle. Des procédés de récupération des MCS existent, mais plus de recherches sont nécessaires pour améliorer leur faisabilité technologique et optimiser les coûts. Dans le cas des résidus miniers contenant des teneurs faibles en MCS, des procédés (bio) hydrométallurgiques pourraient être utilisés pour favoriser la mise en solution des éléments d'intérêt sous l'action de produits chimiques (lixiviation chimique) ou de bactéries (biolixiviation). Des étapes de préconcentration peuvent être requises pour les procédés de lixiviation chimique afin de concentrer les éléments d'intérêt et de réduire les frais d'exploitation. Cette préconcentration peut être réalisée à l'aide de procédés de séparation minéralurgique (filière métallurgique) ou grâce à des plantes ayant la capacité d'extraire les MCS à partir des résidus miniers et de les concentrer dans leurs parties aériennes (filière agromine). Des collaborations de recherche ont été récemment développées entre des chercheurs de l'Institut de recherche en mines et environnement (IRME) de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) et du Labex Ressources 21 de l'Université de Lorraine en vue de développer des procédés permettant d'extraire le Co et le Ni des rejets miniers, tout en diminuant leur charge potentielle en contaminants. D'autres travaux ont été réalisés en collaboration avec des chercheurs de CANMET afin d'évaluer le potentiel d'extraire les ETR présents dans des rejets des mines d'uranium par biolixiviation suivie d'une récupération sélective par échange ionique. Les sites miniers identifiés constituent des cas d'études uniques pour : 1) la récupération des MCS présents dans des résidus miniers, 2) la démonstration des avantages et des limites du point de vue économique et environnemental du retraitement de ces résidus, et 3) une meilleure compréhension de l'impact de la végétation sur la stabilité des contaminants problématiques présents dans ces résidus. L'identification des avantages et des limites du retraitement des résidus miniers pourrait nous mener à changer notre vision des parcs à résidus abandonnés ou inactifs en les considérant non pas comme un « passif environnemental », mais plutôt comme une « source secondaire ».

PSEM-MCS : un nouveau programme gouvernemental pour soutenir l'exploration des minéraux critiques et stratégiques au Québec

Jonathan Lafontaine (MERN)

Cette présentation a pour objectif d'informer les participants sur le nouveau programme de soutien d'exploration minière pour les minéraux critiques et stratégiques (PSEM-MCS), l'un des volets du Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques (PQVMCS). L'objectif de ce programme est de contribuer à l'avancement de projets de développement minéral de MCS en investissant dans l'évaluation de la qualité de minerais potentiels, tant pour estimer les substances primaires d'un gîte que pour mettre en valeur les substances secondaires.

Cette présentation clarifiera notamment les objectifs du programme, son fonctionnement, l'admissibilité des demandeurs et des projets, les périodes d'appels de propositions ainsi que l'évaluation des demandes.

SÉANCE 17

Avis de sécurité concernant la batterie Sandvik et offres de foreuses électriques à batterie de Sandvik

Harold Jonker (Sandvik)

Harold Jonker, directeur du secteur des foreuses souterraines au Canada, vous invite à une présentation sur les foreuses électriques à batterie de Sandvik. Sa conférence commencera par un avis de sécurité qui décrira un incident récent survenu au Canada touchant la batterie d'une foreuse souterraine de Sandvik.

Il nous fournira ensuite un aperçu des solutions innovantes offertes par les foreuses iSeries de Sandvik pour relever les défis auxquels sont confrontées les exploitations minières, comme la réduction de l'exposition des mineurs au front de taille (changeur de trépan de jumbo DD422iE et télécommande), le forage « numérique » (système d'automatisation DL422iE Platinum et DrillConnect ap) et l'automatisation du boulonnage (boulonneuse DS412iE). Pour conclure, il présentera Henrik Ager et la vidéo « La mine du futur est électrique ».

Projet Horne 5 – Le prochain projet minier d'importance en Abitibi

Luc Lessard (Ressources Falco)

Luc Lessard, président, chef de la direction et administrateur de Ressources Falco, vous invite à une présentation du projet Horne 5.

Le projet Horne 5 est un gisement d'or de classe mondiale situé en plein cœur de la ville de Rouyn-Noranda.

M. Lessard présentera l'ensemble des aspects du projet Horne 5, tels que ses partenaires importants, son équipe d'experts, ses données économiques robustes, les relations avec la communauté, l'environnement et les prochaines étapes.

Mine Odyssey, au cœur d'un camp minier centenaire

Patrick Mercier et Yoan Roy (Mine Odyssey)

La mine Odyssey s'inscrit dans le développement du camp minier du Partenariat Canadian Malartic qui appartient conjointement aux sociétés Yamana Gold et Mines Agnico Eagle. Ce partenariat gère et exploite également la plus grande mine d'or à ciel ouvert au Canada, soit la mine Canadian Malartic située à Malartic.

Les travaux de construction de la mine Odyssey sont en cours. Localisée à environ 3 km à l'est de l'entrée de la ville de Malartic, cette exploitation mettra en valeur la continuité du gisement des fosses Canadian Malartic et Barnat par l'entremise de quatre principales zones minéralisées en profondeur.

La première découverte dans le camp minier de Malartic remonte à 1923 par les frères Gouldie. La mise en production de la mine Odyssey débutera en 2023, soit 100 ans plus tard. Avec une production annuelle prévue de 500 000 onces, elle deviendra l'une des plus importantes mines d'or souterraines au Canada. On estime qu'elle sera en exploitation jusqu'en 2039.

Regard sur l'électrification des camions et des chargeuses-navettes

Guy Perreault (Sandvik)

Guy Perreault vous invite à cette présentation où il parlera du parcours d'électrification de Sandvik. Il discutera des avantages de la technologie d'échange de batterie et de connexion automatique de Sandvik, notamment de la sécurité, de la flexibilité et du coût d'utilisation de ce système.

SÉANCE 18

MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE : QUEL RÔLE POUR NOUS GUIDER DANS LA TRANSFORMATION DU SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE?

Utilité des outils de modélisation et de projection énergétiques

Normand Mousseau (Polytechnique Montréal)

La modélisation énergétique, particulièrement pour des usages prospectifs, a acquis une importance grandissante avec l'adoption par les États de cibles climatiques toujours plus contraignantes qui imposent des changements profonds et inédits aux systèmes énergétiques. En m'appuyant sur les *Perspectives énergétiques canadiennes 2021 : Horizon 2060* pilotées par l'Institut de l'énergie Trottier, je discuterai des façons d'utiliser ces modélisations pour mieux comprendre les enjeux de la transition tout en acceptant les limites de ces outils.

La définition des scénarios de modélisation : le cœur de l'approche

Valérie Quiniou-Ramus (Agence de la transition écologique)

Dans le cadre d'une démarche classique de prospective, l'Agence de la transition écologique a imaginé quatre scénarios types contrastés pour la France métropolitaine aboutissant tous à la neutralité carbone, mais en utilisant des voies différentes. Ces scénarios ne sont évidemment pas les seuls possibles et ils ont surtout pour objectifs de faire prendre conscience au citoyen de la nature des transformations et des choix à faire, quel que soit son niveau de responsabilité et d'implication dans la construction de ce cheminement. Dans cette présentation, nous reviendrons sur l'approche utilisée, de la mise en récit jusqu'à la modélisation, en passant par la consultation.

La modélisation énergétique du Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétiques

Richard Gagnon (MERN)

Le Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétiques du Québec propose un scénario de transition réaliste doté d'un budget transparent. Il présente 14 feuilles de route qui visent à aider le Québec dans l'atteinte de cibles précises.

Mais comment ce plan a-t-il été élaboré? Où nous mènera-t-il? Quels sont les outils de modélisation utilisés et en quoi la scénarisation de la transition énergétique est-elle nécessaire pour atteindre les objectifs établis? Ces thèmes seront abordés au cours de cette séance.

Le bouquet énergétique : un scénario optimal pour répondre aux enjeux de décarbonation

Sabrina Harbec (Hydro-Québec)
et Marc-André Goyette (Énergir)

L'électrification accrue des bâtiments jouera un rôle important dans l'atteinte des cibles de réduction des GES, mais cela pose plusieurs défis puisque le chauffage de l'eau et de l'espace exerce une pression importante sur le réseau d'Hydro-Québec lors des pointes de consommation hivernales. Hydro-Québec et Énergir présenteront ainsi la démarche ayant permis d'identifier l'utilisation de la combinaison énergétique (biénergie) alliant l'électricité et le gaz naturel comme le scénario optimal permettant d'utiliser la bonne énergie au bon usage et au meilleur coût.

Et si vous étiez un modélisateur, qu'est-ce que vous seriez tenté d'évaluer comme scénario?

Normand Mousseau (Polytechnique Montréal),
Valérie Quiniou-Ramus (Agence de la transition écologique),
Sabrina Harber (Hydro-Québec), Marc-André Goyette (Énergir) et Richard Gagnon (MERN)

Est-ce que le Québec est sur la bonne route? Quels sont les bons et les moins bons coups?

Venez vous exprimer lors de ce dernier atelier. Une série de questions vous seront adressées; cela sera l'occasion de voter, d'échanger vos idées et de formuler des critiques. Faites-nous part de vos commentaires et de vos questions avant l'atelier, elles seront au cœur des discussions.

SÉANCE 19

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE APPLIQUÉE AU QUÉBEC

Intelligence artificielle et succès en exploration minière

Ludovic Bigot, Shervin Azad, Frédéric Courchesne
et Vincent Dubé-Bourgeois (GoldSpot Discoveries)

Ces dernières années, le développement d'outils technologiques et l'accès à de volumineuses bases de données géoscientifiques publiques et privées a entraîné un changement de paradigme quant aux possibilités de l'évaluation du potentiel minéral, et cela tant à l'échelle régionale qu'à celle de la mine. Les outils d'intelligence artificielle (IA) permettent en particulier d'intégrer une multitude de données géoscientifiques avec une capacité inégalée et, potentiellement, d'en tirer des informations non conventionnelles ou « cachées ».

Depuis sa fondation en 2016, GoldSpot agit comme chef de file en mariant l'expertise géoscientifique traditionnelle aux outils technologiques et aux pratiques issues des sciences des données, tels que l'apprentissage machine et l'apprentissage profond, afin d'augmenter les succès en exploration minière et, plus globalement, de résoudre des problèmes géoscientifiques.

La présentation portera dans un premier temps sur la démythification de l'IA appliquée au domaine géoscientifique et permettra d'expliquer notamment les éléments fondamentaux de ces méthodes et les bonnes pratiques à utiliser, tout en mettant l'accent sur leurs limitations. Dans un second temps, nous ferons un survol des outils d'IA développés par GoldSpot et leurs applications dans des études de cas au Québec notamment. Ces outils comprennent, entre autres, LithoLens (outil d'analyse des photos de forage), la méthode de détection automatique d'affleurements à partir des images satellites ou encore les techniques de classification supervisée des données géochimiques en appui à l'interprétation géologique. La troisième et dernière partie de la présentation portera sur les perspectives de l'IA dans le domaine minier.

Cartographie géologique préliminaire des données magnétiques aéroportées par apprentissage automatique profond

Matthieu Cedou (INRS), Erwan Gloaguen (INRS-ETE), Martin Blouin (Solution Geolearn), Antoine Caté (SRK Consulting), Jean-Philippe Paiement (Mira Géosciences) et Shiva Tirdad (INRS-ETE)

Les données magnétiques aéroportées sont régulièrement traitées et interprétées afin de produire des cartes géologiques préliminaires. L'apprentissage automatique a le potentiel de réaliser cette tâche de manière rapide et objective, la cartographie étant, à bien des égards, comparable à un problème de segmentation pouvant être résolu par un réseau neuronal convolutif. Comme cette méthode requiert un jeu de données de haute qualité, nous avons développé un processus d'augmentation des données utilisant en entrée un modèle géologique et pétrophysique 3D (susceptibilité magnétique). Ce processus utilise un algorithme de statistiques multipoints pour créer un grand nombre de modèles géologiques et un algorithme de simulation gaussienne séquentielle pour peupler ces modèles avec des valeurs de susceptibilité magnétique cohérente. Enfin, la réponse magnétique aéroportée de ces modèles pétrophysiques est calculée et associée à la géologie de surface correspondante. Ce processus a été appliqué au modèle géologique et magnétique 3D du secteur de la mine Canadian Malartic afin d'obtenir un important jeu de données synthétiques comprenant les données magnétiques aéroportées et les lithologies associées dans le but d'en réaliser la segmentation. Un réseau neuronal convolutif a été entraîné sur ce jeu de données synthétiques pour en isoler les formes, détecter les contacts et réaliser une cartographie géologique préliminaire. L'algorithme produit également des cartes d'attention soulignant les contacts des structures à différentes échelles. Un algorithme de regroupement a également été utilisé sur les représentations profondes du réseau neuronal afin de fournir une segmentation semi-supervisée de la zone d'étude. La validation a été conduite sur une portion du jeu de données synthétiques et montre que cette méthode est efficace pour la cartographie automatique de données magnétiques aéroportées. Nous avons également appliqué cet apprentissage à des zones adjacentes à la zone d'étude sans réentraîner l'algorithme. Sur ces zones, le regroupement a segmenté les anomalies magnétiques et produit une carte géologique pertinente. De plus, la carte d'attention isolant les contacts à plus petite échelle produit une représentation pertinente des données d'entrée, isolant les structures à plus petite échelle. La qualité des résultats valide de manière empirique la méthode d'augmentation des données proposée. De même, elle démontre que l'utilisation de réseaux neuronaux convolutifs est utile pour la cartographie géologique préliminaire. Par conséquent, cette méthode peut être implémentée dans tous les secteurs où existe un modèle géologique et pétrophysique 3D pouvant servir à l'entraînement de l'algorithme d'apprentissage profond, et dans les zones présentant le même contexte géologique.

Comparaison de la performance d'algorithmes d'apprentissage machine appliqués à la cartographie prédictive

Dominique Genna (CONSOREM-UQAC), Jean-Philippe Paiement (Mira Géosciences) et Martin Blouin (Solution Geolearn)

L'intelligence artificielle (IA) est de plus en plus utilisée afin d'optimiser plusieurs aspects de l'exploration minérale. Son utilisation est encouragée par la croissance continue des banques de données et par le nombre grandissant d'algorithmes d'apprentissage machine (AM) disponibles. Ce projet vise à poser les lignes directrices de l'utilisation de l'AM en cartographie prédictive. Ses objectifs incluent : 1) l'identification du pouvoir de discrimination des couches de données brutes du SIGÉOM et des produits dérivés et 2) la comparaison de plusieurs algorithmes d'AM. Le territoire choisi pour cette étude chevauche les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca (SNRC 33G06 et 33G11) qui comprennent des lithologies ignées et sédimentaires ainsi qu'une ceinture volcano-sédimentaire. Les données d'entrée brutes sélectionnées pour cette étude comprennent : le MNE (modèle numérique d'élévation), les images LANDSAT, le levé magnétométrique et la géochimie des sédiments de fond de lac. Les produits dérivés des couches brutes incluent une sélection de variables statistiques et texturales sur des fenêtres mobiles de 3x3, 5x5 et 10x10 cellules (100 m x 100 m). Trois jeux de données d'apprentissage ont été bâtis et testés avec deux types de points d'entraînement : les affleurements de géofiches et les échantillons lithogéochimiques. Un protocole de simplification et d'unification des codes lithologiques des géofiches du SIGÉOM a été développé et permet une reclassification objective de la couche d'entrée lithologique (ici en 8 classes). Au total, 6 algorithmes d'AM non supervisés (*K-Means* et *segGAN*), semi-supervisés (*segGAN* conditionnel) et supervisés (*Random Forest*, réseau de neurones et *Extreme Gradient Boosting*) ont été utilisés et ont mené à plus de 45 simulations. Les résultats indiquent que, sur le territoire à l'étude, les données brutes (levé magnétométrique et le MNE) sont suffisantes pour prédire les grands ensembles géologiques avec un algorithme relativement simple et non supervisé comme *K-Means*. L'utilisation des produits dérivés (variables statistiques et texturales) apporte un pouvoir discriminant supplémentaire, mais fonctionne seulement avec des algorithmes plus complexes et paramétrables comme le *Random Forest* et le *Extreme Gradient Boosting*. Ces algorithmes permettent en plus de générer des cartes de probabilités par lithologie, lesquelles peuvent ensuite être valorisées. Il est délicat d'évaluer la performance des algorithmes pour la cartographie prédictive. L'évaluation repose ici sur 1) le respect des données d'apprentissage (justesse et précision) et 2) la correspondance avec la carte géologique du MERN (bruit, indice de similarité structurelle et évaluation d'images neurales). Il en ressort que les algorithmes *Random Forest* et *Extreme Gradient Boosting* fournissent les prédictions les plus justes et les plus précises.

Application d'un algorithme de détection automatique d'événements de productivité dans une mine québécoise

Léo Boivert (Newtrax)

En pratique, les systèmes de suivi de la productivité dans les mines souterraines sont souvent entravés par le manque d'informations en temps réel ainsi que par les erreurs introduites par la collecte manuelle des données. Cette présentation portera sur l'application d'un algorithme de détection automatique des événements de productivité dans les équipements de halage d'une mine souterraine du Québec ainsi que sur l'infrastructure informatique impliquée. Le contexte sera présenté dans un premier temps, suivi d'une description du système et des leçons tirées de son utilisation, pour terminer par les améliorations qui lui seront apportées prochainement.

Application des auto-encodeurs au débruitage des mesures géoélectriques en exploration minérale

Charles Bérubé (Polytechnique Montréal)
et Pierre Bérubé (Abitibi Géophysique)

La polarisation provoquée (PP) est une méthode géophysique électrique couramment utilisée en exploration minérale parce qu'elle est sensible au contenu de la roche en minéraux conducteurs métalliques (p. ex. pyrite) et non métalliques (p. ex. graphite). La profondeur d'investigation de la méthode de PP est limitée par le rapport signal sur bruit (S/B) caractérisant le voltage mesuré par des électrodes connectées à la surface du sol. Dans le contexte actuel où les gisements à découvrir sont profondément enfouis ou recouverts de mort terrain, causant une diminution des voltages mesurés, de nouvelles méthodes d'amplification du S/B sont souhaitées. Le but de cette étude est d'amplifier le S/B des données géoélectriques par post-traitement. Pour atteindre ce but, nous avons développé un réseau neuronal de type auto-encodeur et l'avons entraîné à modéliser le phénomène de polarisation des roches minéralisées, tel que mesuré sur le terrain. L'auto-encodeur est constitué de deux modules. Premièrement, un module d'encodage probabiliste compresse les courbes de voltage en une variable aléatoire suivant une loi normale. Le module d'encodage est constitué d'une couche d'entrée avec 20 neurones (correspondant à la dimension des courbes de voltage), suivi de deux couches à connexions complètes. Deuxièmement, un module de décodage reconstruit les courbes de voltage à partir de la variable aléatoire. Le module de décodage est constitué de façon que l'auto-encodeur soit symétrique. Les paramètres de l'auto-encodeur sont optimisés par rétropropagation du gradient en considérant 1 600 319 courbes de voltage issues de 110 levés de PP réalisés au Canada, aux États-Unis et au Kazakhstan entre 2018 et 2021. Après l'entraînement, le réseau neuronal peut encoder toutes nouvelles courbes de voltage et les décoder selon la forme idéale du phénomène de polarisation. Nous démontrons quatre applications de l'auto-encodeur dans cette présentation : (1) débruitage probabiliste des données de PP, (2) évaluation du S/B, (3) détection automatique des données aberrantes et (4) génération de courbes de voltage synthétiques. Les propriétés de débruitage de l'auto-encodeur sont comparées à diverses méthodes de base pour un ensemble de données indépendant de celui utilisé pour l'entraînement.

ACRONYMES

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

CGC-O : Commission géologique du Canada, Ottawa

CGC-Q : Commission géologique du Canada, Québec

CNRC : Conseil national de Recherche Canada

COREM : Consortium de recherche en minéralogie

CHU de Québec-UL : Centre hospitalier universitaire de Québec - Université Laval

CTRI : Centre technologique des résidus industriels

IAMGOLD : IAMGOLD Corporation

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

IRME UQAT: Institut de recherche en mines et environnement UQAT

MERN : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

UQAC : Université du Québec à Chicoutimi

UQAM : Université du Québec à Montréal

UQAT : Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

