

DV 2016-03

RESUMES DES CONFERENCES ET DES PHOTOPRESENTATIONS, QUEBEC MINES 2016

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 



21 au 24 novembre 2016
Centre des congrès de Québec
QUEBECMINES.GOUV.QC.CA

L'INNOVATION EN TÊTE



RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES ET DES PHOTOPRÉSENTATIONS DV 2016-03



ENSEMBLE 
on fait avancer le Québec

Québec 

Coordonnateurs

Charlotte Grenier
Jean-Yves Labbé

Traduction et révision linguistique

Venetia Bodycomb
Michèle Mainville
Marie Racine

Révision des textes

Joanne Nadeau

Dessin

Marie-Eve Lagacé

Couverture, mise en page

HATEM+D
Marie-Eve Lagacé

Supervision technique

Charlotte Grenier

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.....	7
Résumés des photoprésentations.....	57
Acronymes	107

SÉANCE 1

Recherche et développements récents à l'Institut de recherche en mines et en environnement

Principaux enjeux environnementaux de l'industrie minière et origine de la création de l'IRME UQAT-Polytechnique.....	8
Contrôle des écoulements d'eau dans les haldes à stériles : étude de terrain menée à la mine Tio.....	8
Utilisation des inclusions de roches stériles pour favoriser la stabilité géotechnique des parcs à résidus : travaux menés à la mine Canadian Malartic.....	9
Traitement des eaux minières contaminées par les cyanures et leurs dérivés	9
Restauration des sites miniers en conditions nordiques : travaux aux mines Raglan et Meadowbank.....	10
Valorisation et gestion intégrée des rejets miniers aux mines Doyon et Westwood.....	10
Impacts des travaux de recherche réalisés et futurs défis de l'IRME UQAT-Polytechnique.....	11

SÉANCE 2

Perspectives économiques des ressources naturelles à l'horizon 2020

Perspectives économiques récentes en termes d'exploration minérale au Québec	11
--	----

SÉANCE 3

Les gisements porphyriques, de l'Archéen à aujourd'hui

Critères géologiques pour l'exploration des gîtes de cuivre porphyriques	12
Les systèmes porphyriques du Néoarchéen : cas des plutons alcalins tardi-orogéniques du craton du Supérieur.....	12
Chronologie de la mise en place du gisement aurifère Canadian Malartic dans le contexte de l'Abitibi-Sud : magmatisme, déformation, hydrothermalisme et leurs implications pour l'exploration aurifère	13
Le « milliard ennuyeux » : qu'en est-il des gîtes porphyriques protérozoïques?.....	14
Les gîtes de cuivre porphyriques dans le temps et dans l'espace.....	15
Le gîte d'Au-(Cu) Côté Gold (2740 Ma) dans la ceinture de roches vertes de Swayze en Ontario : nature et contexte d'un gîte aurifère magmatique-hydrothermal archéen	15

SÉANCE 4

Le leadership du Québec en restauration minière

Diverses approches pour améliorer la stabilité des sites d'entreposage des rejets miniers pendant l'exploitation et à la fermeture	16
--	----

Fonds Restor-Action Nunavik : mise à jour des travaux de réhabilitation et poursuite des travaux jusqu'en 2019.....	16
Restauration des sites abandonnés : bilan et plan d'action du MERN	17
Système de gestion des risques du MERN lié à la restauration minière.....	17
Vision et leadership en matière de restauration minière	18

SÉANCE 5

Technologies et procédés innovants de traitement des effluents miniers

Traitement des effluents miniers par les matériaux modifiés et les processus d'oxydation avancée ..	18
Utilisation de biosurfactants et de nanomatériaux comme nouveaux agents de réhabilitation d'effluents miniers ...	19
La technologie de cavitation : un changement de paradigme dans le traitement des effluents miniers.....	19
Défis de l'industrie minière en traitement des eaux et en recherche et développement	20

SÉANCE 6

Nouvelles données géoscientifiques et nouveau regard sur la géologie des sous-provinces d'Opinaca et de La Grande

Les nouvelles interprétations géologiques de la zone de contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca et leur importance pour l'exploration aurifère.....	20
L'architecture tectonique des sous-provinces d'Opinaca et de La Grande : synthèse des interprétations structurales et traitements géophysiques alternatifs	21
Résultats préliminaires de travaux de cartographie géologique dans un secteur au nord des monts Otish (Baie-James) : nouvelles extensions de la ceinture de la Haute Eastmain et perspectives d'exploration	21
Potentiel des minéralisations aurifères et des éléments du groupe du platine de la Sous-province de Nemiscau, Baie-James.....	22
Géologie de la région du lac Amisquioumisca (feuillets SNRC 32K07 et 32K08, parties des feuillets SNRC 32K01, 32K02 et 32K09)	22
Synthèse géologique de la mine Éléonore et guides pour l'exploration à l'échelle régionale, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur, Québec, Canada	23

SÉANCE 7

Recherche appliquée en exploitation minière : retombées positives du programme du FRQNT

Acquisition et analyse des données spectroradiométriques pour la cartographie minéralogique à la mine Canadian Malartic	23
---	----

Remblayage des chantiers et gestion des rejets solides pour un développement minier sécuritaire et durable : études de l'interaction entre les remblais et les structures encaissantes dans des mines profondes..... 24

Nouvelles technologies numériques pour la gestion (plus) intelligente du risque technique : exemples et valeur ajoutée 24

Expositions aux émanations de moteurs diesel dans les mines souterraines..... 25

Développement d'un vêtement de refroidissement individuel adapté au travail en mines profondes : évaluation des technologies existantes 25

Développement d'un analyseur portatif pour l'or par spectroscopie laser plasma 26

SÉANCE 8

Automatisation des équipements et des procédés : enjeux pour la main-d'œuvre de l'industrie minière

Automatisation, exploitation à distance et intégration : le secteur minier entre dans l'ère de la numérisation 26

L'automatisation d'un site minier : innovations et transformation de la nature du travail 27

Des solutions simples, pratiques et économiques pour répondre aux réalités de l'industrie minière 27

Comment augmenter la valeur ajoutée des heures de formation dispensées à son personnel pour une grande entreprise minière? 28

Le transfert de connaissances entre le Cégep de Sept-Îles et le secteur minier dans le contexte d'implantation de l'Industrie 4.0 : impact sur les techniciens miniers, les superviseurs et les gestionnaires 28

L'industrie minière du futur : aller au-delà de l'imagination 29

Mines du futur et Industrie 4.0 : impacts sur la formation... 29

SÉANCE 9

Les innovations en géophysique : intégration dans la chaîne de valeur de l'industrie minière

Assimilation quantitative des données géophysiques pour la mise à jour du modèle de teneur..... 30

Résultats d'une démarche « out of the black box » : l'indice Daniel..... 30

Outils de géophysique permettant de définir en temps réel la position et l'estimation de la nature du minerai dans les trous de production et galeries de développement des mines de métaux de base 31

Nouvelles méthodes interférométriques de surveillance sismique dans les mines 31

Évaluation de la vitesse des ondes de cisaillement pour études géotechniques : réduction de l'incertitude 32

Le projet Métaux terrestres 32

SÉANCE 10

Les énergies pour les mines : une diversité en développement

L'avenir énergétique dans l'industrie minière..... 33

Les systèmes de gestion de l'énergie : un outil pour la compétitivité des mines 33

L'éclairage à DEL : comment obtenir le meilleur d'une offre en évolution 34

Efficacité énergétique en fragmentation..... 34

Valeur de l'autoproduction dans le marché énergétique du Québec 35

Le projet diamantifère Renard : utilisation du gaz naturel liquéfié pour la production d'électricité, une approche innovante. La seule mine au Canada alimentée au gaz naturel liquéfié 35

SÉANCE 11

La relation avec des communautés autochtones au cœur de projets miniers

Les signataires de l'accord Raglan 20 ans plus tard 36

La mise en œuvre de l'Entente Troilus, une expérience positive 36

D'un taux de chômage de 98 % à 0 %..... 37

SÉANCE 12

Connaissances stratégiques et historiques des principaux camps miniers du Québec

Des Appalaches au Pontiac : les mines métalliques du Sud du Québec 38

Le camp minier de Matagami : 60 ans de succès 38

Du canot à l'hélicoptère : l'épopée du fer et de l'exploration minière de la Fosse du Labrador..... 39

Le camp minier de Val-d'Or, 100 ans d'histoire et de découvertes..... 40

Le camp minier de Noranda – Un événement fondateur pour l'industrie minière du Québec 40

La construction du camp minier de Chibougamau : contribution d'un personnage, Gilles O. Allard 41

SÉANCE 13

La géologie au Québec et au Canada : 175 ans d'histoire

Les commissions géologiques : fonction, forme et financement 41

1740-1841 : La géologie dans la foulée des Lumières, depuis la Nouvelle-France jusqu'à l'avènement du Canada-Uni	42
Les roches, c'est notre affaire.....	42
Nouveaux publics cibles : un virage qui s'impose chez les commissions géologiques nationales	43

SÉANCE 14

Résultats et retombées de cinq ans d'acquisition de connaissances dans la province géologique de Churchill sud-est

Potentiel géologique en éléments de terres rares dans le Nord-du-Québec et au Labrador : les leçons de Strange Lake et de sites plus étranges encore	43
Synthèse des résultats du programme GEM-2 dans la Zone noyau (Core Zone) au Québec et Labrador : évolution crustale au Précambrien	44
Preuves de la transition sur~ 40 Ma d'un bassin avant-arc continental à un bassin d'avant-pays dans la partie est de la Fosse du Labrador	44
Bilan des travaux récents dans la partie sud-est du Churchill et implications pour l'exploration.....	45
Nouvelles avancées sur la nature de l'Orogène des Torngat et son évolution tectonométamorphique	45
Le projet GEM-2 dans la région d'Hudson-Ungava : cartographie des dépôts de surface dans la Zone noyau pour soutenir l'exploration et la découverte au Québec et au Labrador	46
Géologie des dépôts de surface dans la partie sud-est de la Province de Churchill : résultats de quatre années (2012 à 2015) d'échantillonnage et de cartographie	46

SÉANCE 15

Le lithium – Symposium sur les minéraux de l'innovation énergétique

Portrait des minéralisations en lithium au Québec	47
Métallogénie des pegmatites lithinifères.....	47
Les avantages du procédé électromembranaire de Nemaska pour produire directement de l'hydroxyde de lithium de haute pureté.....	48
Les différentes chimies des batteries lithium-ion et leur usage industriel.....	49
Le boom du lithium et ses nouvelles possibilités : perspectives du marché	49

SÉANCE 16

Le vanadium – Symposium sur les minéraux de l'innovation énergétique

Structure du marché du vanadium et perspectives	50
---	----

Survol du potentiel vanadifère au Québec.....	50
Vanadium : métallurgie extractive.....	51

Les batteries à flux redox vanadium (VRFB) : leur fonctionnement, leurs avantages et inconvénients, leurs applications et usages et leur marché potentiel en Amérique du Nord

SÉANCE 17

Le graphite – Symposium sur les minéraux de l'innovation énergétique

Potentiel de minéralisation en graphite au Québec	52
Gîtes de graphite – Géologie, genèse et importance économique.....	52
Métallurgie extractive 101 – Le graphite et les minéraux industriels	53
Le marché du graphite naturel : passé, présent et futur.....	53
Utilisations du graphite dans les véhicules électriques et dans les systèmes de stockage d'énergie.....	54

SÉANCE 18

Les terres rares – Symposium sur les minéraux de l'innovation énergétique

Gîtes d'éléments de terres rares : genèse et exploration	54
Géologie et potentiel de mise en valeur des différents types de gîtes d'ETR	55
Aperçu du potentiel québécois pour les gîtes d'éléments de terres rares	55
Développement du modèle géométallurgique lors de la mise en valeur des gîtes de terres rares	56
Les défis économiques de la valorisation métallurgique pour les minéralisations contenant des éléments de terres rares	56

RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES

SÉANCE 1

Principaux enjeux environnementaux de l'industrie minière et origine de la création de l'IRME UQAT-Polytechnique

Michel Julien (Mines Agnico Eagle)

Les importantes ruptures de digues de parc à résidus survenues ces dernières années ont montré clairement que certains changements sont requis dans la façon dont les compagnies minières traitent les questions relatives aux rejets miniers. Tout d'abord, elles doivent réaliser que la gestion des rejets miniers est une activité intrinsèque (*core business*) à l'industrie minière. Ce faisant, l'industrie doit assumer son leadership dans le développement de ces ouvrages et reconnaître sa responsabilité sur ces questions. Les compagnies minières doivent ainsi s'entourer des meilleurs experts pour les aider dans la conception, les supporter durant la construction et l'exploitation, les aviser et les défier lorsque requis. Elles doivent aussi mettre en place les systèmes de gestion appropriés et s'assurer de respecter les meilleures pratiques dans ce domaine. Finalement, dans l'éventualité où les sociétés minières admettent la notion que ces infrastructures sont leurs propriétés et sous leur responsabilité, elles doivent promouvoir la création d'équipes internes solides et expérimentées, avec des professionnels de haut niveau comprenant bien les enjeux liés à la conception, à la construction et à l'exploitation de ces installations. À cet égard, des initiatives comme l'Institut de recherche en mines et environnement (IRME) UQAT-Polytechnique s'avèrent être des véhicules de choix permettant à l'industrie d'avoir accès et de développer des ressources de haut niveau, tout en facilitant les échanges entre les milieux universitaires et l'industrie. Le développement de nouvelles connaissances et d'innovations qui en découlent a une valeur ajoutée réelle pour l'industrie.

SÉANCE 1

Contrôle des écoulements d'eau dans les haldes à stériles : étude de terrain menée à la mine Tio

Benoît Plante (UQAT), Vincent Martin (Polytechnique), Dan Chen (Rio Tinto Fer et Titane), Bruno Bussière (UQAT), Marie-Lin Bréard-Lanoix (Polytechnique), Patrice Nadeau (Rio Tinto Fer et Titane), Fernando Medina (Polytechnique), Stefan Broda (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin), Adrien Dimech, Michel Aubertin, Thomas Pabst, Michel Chouteau (Polytechnique) et Bissé Poaty (UQAT)

Les haldes à stériles sont utilisées pour entreposer la roche encaissante, sans valeur économique, retirée par dynamitage des exploitations minières. Le mode de mise en place des roches stériles génère souvent des structures internes complexes dans les haldes, d'où une hétérogénéité des caractéristiques hydrogéologiques, géotechniques et géochimiques. Ces particularités font en sorte que la restauration des haldes contenant des stériles générateurs de drainage contaminé constitue un des principaux défis environnementaux pour l'industrie minière.

L'IRME UQAT-Polytechnique œuvre au développement d'une nouvelle approche de gestion des stériles et de restauration des haldes ayant pour objectif de contrôler les écoulements d'eau et la génération de drainage contaminé. Cette approche repose sur la construction des haldes par bancs et l'introduction de couches de contrôle des écoulements (CCE) inclinées et constituées de matériaux plus fins (usuellement plus denses), pour dévier les eaux d'infiltration hors des haldes par effet de barrière capillaire.

Afin d'évaluer cette nouvelle approche, une halde expérimentale a été construite sur le site de la mine Tio de Rio Tinto Fer et Titane, en collaboration avec IAMGOLD et Mine Canadian Malartic. La halde expérimentale, d'une hauteur maximale de 7 m, fait environ 65 m de longueur par 35 m de largeur. Principalement composée de stériles générateurs de drainage neutre contaminé, elle est recouverte par une CCE inclinée (pente de 5 %), laquelle est constituée de sable et d'anorthosite concassée non génératrice de contaminants. Le comportement hydrogéologique de la halde est étudié à partir des mesures de la teneur en eau volumique et de la succion. Des électrodes géophysiques sont aussi utilisées pour déterminer la résistivité (et la distribution de l'eau) à l'intérieur de la halde alors que des lysimètres placés à la base de la halde permettent de quantifier le débit et la qualité des eaux de drainage ayant percolé au travers des stériles. En dernier lieu, des câbles de fibre optique installés à trois profondeurs différentes dans la halde font un suivi des écoulements d'eau par la méthode DTS (*Distributed Temperature Sensing*), une technologie appliquée pour la première fois dans un tel contexte. Des simulations numériques ont été utilisées pour orienter la conception de la halde expérimentale et compléteront l'étude de son comportement hydrogéologique. La présentation fera état des principes sous-jacents à la méthode de conception proposée et décrira les étapes de conception, de construction et d'instrumentation de la halde expérimentale. Quelques résultats préliminaires obtenus à ce jour seront aussi présentés.

SÉANCE 1

Utilisation des inclusions de roches stériles pour favoriser la stabilité géotechnique des parcs à résidus : travaux menés à la mine Canadian Malartic

Carl Pedneault (Canadian Malartic), Michael James, Michel Aubertin, Faustin Saleh Mbemba, Karim Essayad, Gabrielle Boudrias (Polytechnique), Bruno Bussière (UQAT), Nicolas Pépin, Marielle Limoges et Mayana Kissiova (Golder)

L'exploitation minière et le traitement des minéraux peuvent produire de grandes quantités de rejets solides et liquides. Parmi ceux-ci, les rejets des concentrateurs qui sont traditionnellement entreposés en surface dans des parcs à résidus miniers, souvent ceinturés de digues, et les roches stériles qui sont placées dans des haldes. Ces structures sont parfois de grandes dimensions, soulevant des préoccupations quant à leur stabilité géotechnique.

Des travaux récents ont montré qu'il est possible d'utiliser les roches stériles pour améliorer la stabilité géotechnique des parcs à résidus, en les disposant à l'intérieur sous forme d'inclusions. Comme les roches stériles ont des caractéristiques hydrogéotechniques avantageuses, elles servent alors de matériau de renforcement et de drainage. Leur utilisation permet notamment de drainer l'eau et de dissiper plus rapidement les pressions interstitielles créées par le remplissage du bassin. La rigidité et la résistance à la rupture élevée des roches stériles leur confèrent aussi une bonne capacité de support. Ainsi, les inclusions de roches stériles peuvent jouer un rôle important pour assurer une meilleure stabilité des parcs à résidus miniers face aux sollicitations statiques et dynamiques.

Cette technique novatrice est actuellement mise en application à la mine Canadian Malartic, en Abitibi. Les particularités de la technique ainsi que les principaux avantages et les difficultés potentielles sont évaluées à partir d'une étude détaillée qui comprend des essais en laboratoire, des mesures *in situ* et des analyses numériques.

La présentation fera état des principes sous-jacents à la méthode et décrira le contexte particulier de l'utilisation des inclusions à la mine Canadian Malartic ainsi que les composantes de l'étude en cours. Quelques résultats préliminaires obtenus à ce jour seront aussi présentés.

SÉANCE 1

Traitement des eaux minières contaminées par les cyanures et leurs dérivés

Carmen M. Neculita (UQAT), Thomas Genty (Mines Agnico Eagle), Carolina Gonzalez-Merchan, Bruno Bussière (UQAT), Robin Potvin (Cegep-AT), Mario Drapeau, Patrick Laporte, Pierre-Olivier Gendron (Mines Agnico Eagle), Francois Séguin, Emmanuel Morel (Mabarex), Mustapha Benhammadi, Rayen Tanabene, Joey Isabelle et Mélinda Gervais (UQAT)

La cyanuration, technologie très utilisée pour la récupération de l'or, génère des eaux contaminées, surtout aux cyanures et aux métaux dissous, mais également en thiosels (composés métastables du soufre). Un des principaux problèmes des méthodes de décyanuration est la génération de produits intermédiaires toxiques, en raison de la présence des thiocyanates ($[SCN]^-$), et la difficulté d'éliminer à la fois les cyanures et les métaux. Quant aux sulfosels, les difficultés associées à ces composés sont autant liées à l'analyse qu'au traitement.

Le présent projet, une collaboration (2013-2017) entre l'IRME UQAT-Polytechnique, le Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue, Mines Agnico Eagle et Mabarex, a pour objet l'amélioration de l'efficacité du traitement des effluents cyanurés, notamment pour les contaminants suivants : 1) les cyanures, en limitant les effets causés par la présence des $(SCN)^-$; 2) les composés azotés (NH_3 , $[NO_2]^-$ et $[NO_3]^-$); 3) les métaux et les métalloïdes peu communs comme le Se, le Co, le Sb et l'As. Le projet étudiera également les sulfosels via l'analyse de la spéciation et le traitement de ces derniers. Il est prévu dans le projet : a) d'éviter la création de sous-produits de traitement toxiques pour un système biologique subséquent et un milieu récepteur; b) de privilégier les technologies qui constituent des solutions finales par la destruction ou la précipitation de formes stables des contaminants. Les principaux résultats obtenus montrent que : i) les ferrates liquides, par leur capacité d'oxydation et de coagulation, permettent le traitement de plusieurs contaminants (cyanures, $[SCN]^-$, NH_3 , métaux, sulfosels) dans les effluents cyanurés, et ce, à de faibles coûts, mais à des efficacités variables; ii) les réactifs de Fenton transforment le $(SCN)^-$ en cyanures libres; iii) la nitrification-dénitrification biologique, en présence de méthanol, permet le traitement simultané du $(SCN)^-$ et du $(NO_3)^-$. L'ensemble des résultats est documenté et publié dans des tribunes directement accessibles aux exploitants miniers canadiens. Les solutions issues de ce projet pourraient avoir un effet favorable sur la performance du traitement des effluents cyanurés. Enfin, les travaux de recherche vont permettre la formation de quatorze personnes, soit six stagiaires de niveau collégial, quatre stagiaires universitaires, deux étudiants au DESS, un étudiant à la maîtrise et un chercheur postdoctoral.

SÉANCE 1

Restauration des sites miniers en conditions nordiques : travaux aux mines Raglan et Meadowbank

Bruno Bussière, Vincent Boulanger-Martel, Fannie Lessard, Véronique Coulombe (UQAT), Louis Marcoux, Mélanie Côté (Mine Raglan), Patrice Gagnon (Mines Agnico Eagle) et Mostafa Benzaazoua (UQAT)

Un défi environnemental important de l'industrie minière est la restauration des aires d'entreposage de rejets miniers, particulièrement lorsque ces derniers ont un potentiel de génération de drainage contaminé (DMA ou DNC). Le défi devient encore plus grand lorsque les sites miniers sont situés en milieux nordiques où l'on doit composer avec un climat rigoureux, une accessibilité limitée à des matériaux d'emprunt ayant les propriétés désirées et une évolution du climat. Les travaux de recherche sont réalisés afin de permettre le développement des connaissances sur les méthodes de restauration en climat nordique. Dans cette présentation, l'accent sera mis sur les travaux de recherche en cours aux sites de la mine Raglan (Glencore) et de la mine Meadowbank (Mines Agnico Eagle).

À la mine Raglan, les principaux travaux de recherche visent à évaluer la performance in situ de différents recouvrements pour contrôler les principaux éléments des réactions menant à la contamination des eaux de drainage (température, flux d'oxygène et infiltration d'eau). Les matériaux de recouvrement à l'étude sont des matériaux concassés, des mélanges gravier-bentonite et des géomembranes. Des travaux portant sur la désulfuration environnementale des rejets miniers y sont également réalisés, en vue d'évaluer la faisabilité de produire une fraction désulfurée non génératrice de drainage contaminé qui serait éventuellement utilisée comme matériau de recouvrement. Enfin, d'autres travaux plus fondamentaux ont trait à l'influence de la température sur l'oxydation des rejets miniers pour mieux déterminer la température cible à atteindre en vue de contrôler la réactivité des sulfures.

À la mine Meadowbank, les travaux visent à évaluer la performance de recouvrements faits de stériles miniers non générateurs de drainage contaminé afin de contrôler la température du parc à résidus et de la halde à stériles. Les travaux sur le parc à résidus sont effectués au moyen de cellules expérimentales aménagées sur le terrain (10 m x 10 m) et instrumentées. Deux cellules testent des recouvrements isolants traditionnels (contrôle de la température des rejets) alors que la troisième a pour objectif de contrôler la température des rejets et les flux d'eau et d'oxygène à l'aide d'une couche de stériles fins compactés. En plus de l'analyse in situ du comportement thermohydrique des recouvrements, des travaux sont également réalisés pour évaluer la durabilité des matériaux utilisés et pour comprendre le comportement thermique du recouvrement (4 m de stériles non générateurs de drainage contaminé) installé sur la halde à stériles.

SÉANCE 1

Valorisation et gestion intégrée des rejets miniers aux mines Doyon et Westwood

Isabelle Demers (UQAT), Sylvain Lortie (IAMGOLD), Thomas Pabst (Polytechnique), Mamert Mbonimpa, Mostafa Benzaazoua, Médard Bouda, Nicolas Rey (UQAT) et Li Li (Polytechnique)

Doyon est une mine d'or située en Abitibi (Québec) qui fut exploitée entre 1978 et 2010, d'abord en surface, puis sous terre à partir de 1989. Les problématiques environnementales, et en particulier le potentiel de génération d'acide des rejets, n'ont été reconnues que tardivement, après le début des activités minières. Les parcs à résidus, les haldes à stériles, mais aussi les routes et les digues (construits avec des rejets) génèrent une importante quantité de drainage minier acide (DMA) qui doit être traité avant sa remise dans l'environnement.

La découverte du gisement Westwood à proximité du site et le démarrage de la production en 2010 offrent de nouvelles possibilités pour la réhabilitation de l'ancien site. L'objectif général consiste à restaurer les anciens parcs et haldes en utilisant les rejets produits par la nouvelle mine. De même, le remblayage de la fosse avec des rejets générateurs de DMA est perçu comme une façon prometteuse de résoudre un problème ancien, tout en diminuant la nécessité de construire des aires d'entreposage en surface, limitant ainsi l'empreinte environnementale.

Cette présentation vise à illustrer, en se basant sur le cas des mines Doyon et Westwood, les différentes possibilités de valorisation des rejets miniers lors de la restauration des sites. L'accent sera mis sur la restauration des aires d'entreposage génératrices de DMA, la désulfuration des rejets et leur utilisation dans des recouvrements, l'utilisation des boues de traitement dans la restauration et l'utilisation de l'ancienne fosse à ciel ouvert pour l'entreposage des résidus et des stériles produits par la mine Westwood.

SÉANCE 1

Impacts des travaux de recherche réalisés et futurs défis de l'IRME UQAT-Polytechnique

Pascal Lavoie (IRME UQAT- Polytechnique et Partenariat Canadian Malartic)

En mai 2013, cinq entreprises minières et deux universités se sont associées pour lancer un programme de recherche conjoint unique au Québec. Les sociétés Mines Agnico Eagle, Partenariat Canadian Malartic, Glencore (mine Raglan), Corporation IAMGOLD et Rio Tinto Fer et Titane ont ainsi unies leurs efforts à ceux de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue et de Polytechnique Montréal pour créer l'Institut de recherche en mines et environnement (IRME) UQAT-Polytechnique. En plus de l'avancement des connaissances dans plusieurs domaines liés à l'environnement, tels que la gestion des rejets miniers et la restauration minière, l'IRME UQAT-Polytechnique forme les experts de demain, via ses programmes de cycles supérieurs.

Depuis le début de l'IRME, près de 12 millions de dollars ont été investis dans de nombreux projets de recherche; certains sont terminés alors que d'autres sont en cours de réalisation. La plupart de ces projets reçoivent un financement de contrepartie d'organismes subventionnaires. Le levier obtenu jusqu'à présent pour chaque dollar investi est de 1,9. De plus, les travaux réalisés à l'IRME ont souvent une forte composante appliquée qui permet d'accélérer la mise en œuvre des technologies développées. La majorité des étudiants de l'IRME sont d'ailleurs directement impliqués sur les sites miniers durant leur programme d'études. Cela permet à ces derniers d'acquérir des compétences uniques qui favorisent leur employabilité. Depuis la création de l'IRME UQAT-Polytechnique, plus de 200 étudiants y ont été formés.

L'IRME UQAT-Polytechnique est à mi-mandat et le temps d'envisager le renouvellement est déjà venu. Les partenaires tiennent à ce que les travaux et les collaborations entrepris durant la première phase se poursuivent et s'accroissent, puisque les défis à relever demeurent nombreux. Parmi les défis les plus importants, on retrouve le traitement des eaux minières dans un contexte de changement au niveau de la réglementation, la gestion des rejets miniers via de nouvelles approches réduisant les risques environnementaux, l'adaptation des méthodes de restauration relativement aux changements climatiques, l'intégration des aspects environnementaux à toutes les étapes du cycle de vie de la mine, pour n'en nommer que quelques-uns. Ces questions ne pourront être résolues sans innovation, et c'est dans cet esprit que les partenaires actuels de l'IRME souhaitent la venue d'autres collaborateurs afin de donner encore plus d'ampleur aux programmes de recherche et d'en maximiser les retombées.

SÉANCE 2

Perspectives économiques récentes en termes d'exploration minérale au Québec

André Aubin et Roch Gaudreau (MERN)

Comme c'est sans doute le cas ailleurs dans le monde, l'exploration minérale est intimement reliée à la conjoncture du marché des métaux. Depuis 2012, les investissements dans le secteur minier ont très fortement diminué. Cette situation est beaucoup plus problématique lors de l'exploration et de la mise en valeur de nouveaux gisements.

Depuis le début de 2016, on observe un renversement de tendance. La présentation mettra en évidence plusieurs facteurs illustrant cette reprise anticipée de l'activité minière au Québec.

SÉANCE 3

Critères géologiques pour l'exploration des gîtes de cuivre porphyriques

Richard Sillitoe (consultant, Londres, Angleterre)

Une variété de caractéristiques géologiques, à l'échelle de la région et du gîte lui-même, est couramment employée en exploration pour les gîtes de cuivre porphyriques aux différentes étapes de sélection d'un secteur, d'évaluation d'un prospect et d'exploration détaillée. L'interprétation adéquate des anomalies géochimiques et géophysiques se fait en fonction de ces caractéristiques et du modèle qui s'ensuit. Les découvertes de gîtes de cuivre porphyriques faites de par le monde au cours de la dernière décennie ont été particulièrement tributaires du guidage minéralogique basé sur la diagraphie éclairée de carottes ou de déblais de forage récents ou historiques, suivi de vérifications par forage profond des modèles prévisionnels résultants. Toutefois, d'importantes contributions ont aussi été apportées par les levés géochimiques conventionnels et les levés géophysiques au sol à l'échelle du prospect.

SÉANCE 3

Les systèmes porphyriques du Néoarchéen : cas des plutons alcalins tardi-orogéniques du craton du Supérieur

Christophe Azevedo, Michel Jébrak (UQAM) et Andrea Amórtegui (MERN)

Actuellement, de plus en plus de gisements aurifères au cœur des ceintures de roches vertes apparaissent associés à des intrusions granitiques néoarchéennes allant des tonalites synvolcaniques précoces aux systèmes alcalins tardi-orogéniques. Dans la Sous-province volcano-plutonique de l'Abitibi, l'or associé aux plutons alcalins s'exprime sous différentes formes, des stockworks minéralisés au cœur de l'intrusion (Beattie) jusqu'aux minéralisations disséminées (Canadian Malartic), en passant par les remplacements de type skarn au contact de l'intrusion ainsi que dans les veines de quartz syntectoniques reliées (Lac Bachelor, East Sullivan). Ces petites intrusions porphyriques sont associées à des bassins sédimentaires détritiques et syntectoniques de type Temiskaming ainsi qu'à des grandes zones de failles qui se sont développées entre 2680 Ma et 2668 Ma en Abitibi. Ce magmatisme a collectivement été désigné comme sanukitoïdes lato sensu. Une compilation de 400 analyses de roches totales combinée à l'analyse in situ des éléments traces et des ETR des apatites de ces intrusions permet de reconnaître deux familles de plutons : 1) les sanukitoïdes stricto sensu (s. s.), qui sont en réalité des diorites mélanocrates riches en LILE et en ETR légères avec un Mg# élevé ayant subi un processus d'assimilation et de cristallisation fractionnée; 2) les plutons alcalins syénitiques plus différenciés, plus leucocrates, qui présentent généralement des rapports Sr/Y et La/Yb élevés et un rapport Eu/Eu* proche de l'unité.

Les deux groupes de plutons ont un caractère oxydé et se sont mis en place dans le même intervalle de temps, avec les mêmes contrôles structuraux. L'analyse des éléments majeurs souligne une large gamme de composition allant d'ultramafique à felsique, dans laquelle les granites alcalins sont plus riches en silice que les sanukitoïdes s. s. Les analyses in situ des apatites montrent que ces deux suites peuvent être clairement distinguées sur la base de leur contenu géochimique en éléments traces et en ETR. Alors que les sanukitoïdes s. s. présentent des teneurs élevées en ETR et un fractionnement moins important, le fractionnement des granites alcalins est plus important et leur teneur en ETR plus faible. La modélisation pétrologique de ces deux suites montre qu'elles peuvent refléter des chemins de différenciation distincts à partir de roches sources mantelliques préalablement enrichies. La cristallisation fractionnée a eu lieu lors de la remontée du magma et après la mise en place finale au niveau supérieur de la croûte. Le fractionnement des ETR lourdes indique que les sanukitoïdes s.s. et les granites alcalins traduisent respectivement la cristallisation fractionnée du clinopyroxène et de l'amphibole. La diversité des magmas évolués est donc le reflet de la durée du processus de cristallisation fractionnée, lui-même marqué par l'ajout de diverses quantités d'H₂O et de F.

L'or dans les sanukitoïdes s.s. se trouve principalement dans les intrusions reliées aux zones d'altération à magnétite ± hématite, à pyrite, à feldspath potassique, à séricite et à ankérite, sans fluorite. La minéralisation aurifère associée aux suites de granites alcalins se situe principalement en dehors de l'intrusion. Elle est caractérisée par la présence de minéralisation riche en tellurures, une vaste carbonatation, un métasomatisme potassique prononcé et un faible contenu en sulfures. Ces plutons peuvent contenir des minéraux de fluorine de manière abondante (Bachelor, Douay, Camflo) et un halo à magnétite caractéristique autour de l'intrusion. Les deux styles de minéralisation aurifère illustrent des comportements distincts de l'or dans ces magmas alcalins. Dans les intrusions de type sanukitoïde s.s., l'or reste associé avec le magma sec et est libéré à l'étape sub-solidus sous forme de microparticules dans le pluton. Bien que la teneur moyenne de ces concentrations magmatiques précoces soit alors en grande partie non économique, la remobilisation de l'or par des fluides riches en CO₂ peut provoquer la mise en place de gisements aurifères à caractère orogénique. Dans les granites alcalins, la destruction précoce de l'association mantellique lors d'une étape de remobilisation de fluides riches en H₂O et en F permet le transfert périplutonique des systèmes hydrothermaux minéralisés.

SÉANCE 3

Chronologie de la mise en place du gisement aurifère Canadian Malartic dans le contexte de l'Abitibi-Sud : magmatisme, déformation, hydrothermalisme et leurs implications pour l'exploration aurifère

Stéphane De Souza (UQAM), Benoît Dubé (CGC-Q), Vicki McNicoll (CGC-O), Céline Dupuis, Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q) et Robert Creaser (University of Alberta)

Le gisement aurifère Canadian Malartic (réserves prouvées et probables de 10,7 Moz; 343 Mt à 0,97 g/t Au) s'est développé immédiatement au sud et dans la Zone de faille de Larder Lake-Cadillac (ZFLLC), au contact entre les sous-provinces de l'Abitibi et du Pontiac. La minéralisation est principalement encaissée dans les roches sédimentaires du Groupe de Pontiac (~70 %) et des intrusions porphyriques (environ 2678 Ma) de monzodiorite à quartz et de granodiorite, lesquelles sont contemporaines aux roches sédimentaires du Groupe de Timiskaming (environ 2676 Ma), récemment documentées dans le secteur de Malartic, au nord de la ZFLLC, par Pilote *et al.* (2015). Le Groupe de Pontiac est constitué de grauwacke et de mudrock déformés par des plis P_2 et un clivage de plan axial S_2 à pendage vers le NE. L'âge de formation de ces structures est contraint à l'intervalle 2670-2660 Ma. Le gisement est situé dans la zone métamorphique à biotite-oligoclase, près de la transition vers la zone à grenat et à staurotide, au sud. Deux orientations principales sont reconnues pour les enveloppes minéralisées, NO-SE et E-O. Ces orientations correspondent à des zones de déformation D_2 dans des charnières de plis P_2 et à la Faille de Sladen. Cette dernière est une faille fragile-ductile à pendage vers le sud qui recoupe les intrusions de monzodiorite. Les roches minéralisées contiennent essentiellement de la pyrite disséminée (≤ 5 %) et sont caractérisées par une signature à Au-Te-W-Bi-Ag \pm Pb \pm Mo. Les principales altérations sont la carbonatation (calcite et dolomite), l'albitisation et l'altération potassique (biotite et microcline). Les zones minéralisées contiennent des veinules et des stockwerks de QZ-CC \pm AK, des veines de quartz aurifères laminées et bréchiques et des veines « pegmatitiques » à QZ-CB-TL-MI-FP. Dans la monzodiorite à quartz, l'altération hydrothermale est zonée avec une enveloppe distale à CC-HM et une altération proximale à FK-AB-DM-QZ-PY centrée sur la Faille de Sladen. La molybdénite, présente dans certaines zones aurifères et stériles, semble principalement associée aux dykes et aux sills de composition felsique et granodioritique. La molybdénite dans les zones minéralisées est datée à 2664 \pm 11 Ma (Re-Os). La présence d'altération potassique et de porphyres dans les zones aurifères est compatible avec une minéralisation magmatique-hydrothermale contemporaine au Timiskaming. Toutefois, la distribution des zones d'altération aurifères le long de la Faille de Sladen et dans le plan axial des plis P_2 de même que la forte carbonatation qui caractérise le système hydrothermal et l'âge Re-Os de la molybdénite indiquent l'existence d'une phase principale de

minéralisation aurifère et/ou de remobilisation contemporaine à la déformation (D_2) qui est de 3 à 10 Ma postérieure au magmatisme. La corrélation Au-Te, la nature de l'altération, l'association avec une faille fragile-ductile et l'âge des intrusions rappellent le contexte du gisement de Kirkland Lake. La présence d'intrusions contemporaines aux bassins sédimentaires du Timiskaming en association spatiale avec des failles fragiles-ductiles et des charnières de plis postérieurs au Timiskaming à proximité de la ZFLLC (<2 km) témoignent d'un environnement favorable pour la minéralisation aurifère.

Référence

PILOTE, P. – DAIGNEAULT, R. – DAVID, J. – McNICOLL, V., 2015 – L'architecture des groupes de Malartic, de Piché et de Cadillac et de la Faille de Cadillac, Abitibi : révision géologique, nouvelles datations et interprétations, Québec-mines, Résumé des conférences, DV 2015-03, page 37.

SÉANCE 3

Le « milliard ennuyeux » : qu'en est-il des gîtes porphyriques protérozoïques ?

Anne-Sylvie André-Mayer (Université de Lorraine)

Les gîtes porphyriques sont générés partout dans le monde depuis l'Archéen, bien que les exemples cénozoïques soient les plus abondamment préservés et que peu d'exemples aient été décrits durant la période dite du « milliard ennuyeux ». Cette période géologique, qui couvre un milliard d'années au Protérozoïque, soit entre 2000 et 1000 Ma, est caractérisée par la rareté des types de gîtes magmatiques-hydrothermaux (Meyer, 1981; Groves *et al.*, 2005; Goldfarb *et al.*, 2010).

Si l'on ne tient pas compte des déficits de données potentiels, les facteurs géologiques ayant influencé la présence temporelle des gîtes porphyriques seraient : la préservation inégale, les éventualités de mouvements des plaques et les changements séculiers à long terme du système Terre (Goldfarb *et al.*, 2010; Cawood et Hawkesworth, 2015).

L'enjeu de la préservation d'un gîte dans le temps peut être considéré à différentes échelles : selon les cycles de Wilson, les contextes tectoniques ou encore la profondeur de formation (Cawood et Hawkesworth, 2015). La plupart des gîtes porphyriques se forment dans les quelques kilomètres superficiels de la croûte, dans des environnements tectoniquement actifs et aux limites des plaques. Ils sont de plus observés durant les premières étapes de l'évolution des supercontinents, à la phase de convergence/subduction, dont le potentiel de préservation est considéré comme faible malgré l'important volume de croûte généré (Cawood et Hawkesworth, 2015). Toutes ces caractéristiques expliquent le faible taux de survie à long terme des gîtes porphyriques protérozoïques, qui ont été exhumés et érodés et qui ont subi au moins un cycle de Wilson (Groves *et al.*, 2005; Kerrich *et al.*, 2005).

Par ailleurs, le « milliard ennuyeux » semble présenter une distribution générale anormale en termes de types de roches, d'événements géologiques et de gîtes minéraux (Meyer, 1981; Goldfarb, 2010; Cawood et Hawkesworth, 2015). Les registres géologiques, comme les âges des zircons détritiques de par le monde et les âges métamorphiques observés pour le cycle rodinien, sont similaires à ceux observés lors de cycles de Wilson antérieurs ou postérieurs. Des études contradictoires argumentent respectivement pour une absence de marges passives dans le cas de la formation de la Rodinia, ce qui a mené certains auteurs à proposer un scénario de subduction à double vergence (Dalziel *et al.*, 2000; Cawood *et al.*, 2013), tandis que d'autres ont postulé que la subduction était épisodique et même que le Mésoprotérozoïque avait été caractérisé par des réductions dramatiques ou des interruptions temporaires des phénomènes de subduction (Silver et Behn, 2008).

La distribution des gîtes minéraux durant le « milliard ennuyeux » ou le cycle rodinien semble différente des cycles précédents, de l'Archéen au Paléoprotérozoïque, et des cycles qui ont suivi, du Néoprotérozoïque au Phanérozoïque. Nous pourrions postuler que les gîtes de type porphyrique,

qui se forment aux limites des plaques, ne sont pas nécessairement générés lors de chaque cycle de Wilson. Cela serait cohérent avec la distribution temporelle des gîtes d'or orogéniques, qui partagent les mêmes caractéristiques que les gîtes porphyriques et épithermaux durant le Mésoprotérozoïque, malgré leur niveau de formation plus profond durant la phase de collision.

Références

- CAWOOD, P.A. – HAWKESWORTH, C. J. – DHUIME, B., 2013 – The Continental Record and the Generation of Continental Crust. Geological Society of America, Boulder, CO, Bulletins.
- CAWOOD, P.A. – HAWKESWORTH, C.J., 2015 – Temporal relations between mineral deposits and global tectonic cycles. Dans : Jenkin GRT, Lusty PAJ, McDonald I, Smith MP, Boyce AJ, Wilkinson JJ (éditeurs), Ore deposits in an evolving Earth, Geological Society, London, Special Publications, 393, 9-21.
- DALZIEL, I.W.D. – SHARON., M. – GAHAGAN, L.M., 2000 – Laurentia-Kalahari collision and the assembly of Rodinia. The Journal of Geology, 108, 499-513.
- GOLDFARB, R.J. – BRADLEY, D. – LEACH, D.L., 2010 – Secular Variation in Economic Geology. Economic Geology, 105, 459-465.
- GROVES, D.I – CONDIE, K.C. – GOLDFARB, R.J. – HRONSKY, J.M.A. – Vielreicher, R.M., 2005 – Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold-bearing mineral deposits. Economic Geology, 100, 203-224.
- KERRICH, R. – GOLDFARB, R.J. – RICHARDS, J., 2005 – Metallogenic provinces in an evolving geodynamic framework. Economic Geology, 100th Anniv. Vol., 1097-1136.
- MEYER, C., 1981 – Ore-forming processes in geologic history. Economic Geology, 75th Anniv. Vol., 6-41.
- SILLITOE, R.H., 2010 – Porphyry Copper Systems. Economic Geology, 105, 3-41.
- SILVER, P.G. – BEHN, M.D., 2008 – Intermittent plate tectonics? Science, 319, 85-88.

SÉANCE 3

Les gîtes de cuivre porphyriques dans le temps et dans l'espace

Jeremy P. Richards (University of Alberta)

La vaste majorité des gîtes de cuivre porphyriques connus sont associés aux zones de subduction et au magmatisme d'arc phanérozoïques, dans la mesure où l'un est couramment utilisé comme preuve de l'autre. Mais récemment, une suite de gîtes porphyriques, incluant des types enrichis en Mo et en Au, a été reconnue dans des contextes tectoniques distaux ou de post-subduction, comme les arrières-arcs et les orogènes de collision. Ces gîtes présentent plusieurs similitudes avec les porphyres d'arc « normaux », bien que les magmas parents couvrent une gamme de compositions relativement plus alcalines (shoshonitiques). Ils sont généralement considérés comme étant issus d'un nouvel épisode de fusion d'une lithosphère préalablement modifiée par la subduction (lithosphère mantellique métasomatisée ainsi que cumulats et plutons de la croûte profonde dans les racines d'arcs). Puisque ces systèmes n'ont pas d'approvisionnement direct en nouveaux éléments volatils (particulièrement le S) en provenance de la zone de subduction, plusieurs d'entre eux sont relativement pauvres en S et la palette de gîtes peut s'élargir pour inclure certains types de gîtes d'oxydes de fer-cuivre-or associés à des intrusions. Leur nature sous-saturée en S permet également d'envisager qu'ils pourraient potentiellement mobiliser des éléments plus sidérophiles (Au et EGP) que les magmas d'arcs typiques saturés en S laisseraient derrière, soit dans le manteau ou la croûte inférieure; les gîtes associés peuvent donc être enrichis en Au ± EGP, en plus du Cu.

En plus de cette nouvelle reconnaissance de l'étendue des contextes tectoniques où les gîtes porphyriques (*lato sensu*) peuvent se former, un petit nombre de gîtes porphyriques est aussi présent dans les roches précambriennes, bien qu'ils soient extrêmement rares dans les roches archéennes. Plusieurs raisons ont été proposées pour expliquer cette rareté, notamment le potentiel de préservation très faible de gisements formés dans des contextes tectoniques convergents (un facteur indéniable) et l'existence de processus tectoniques différents au Précambrien, menant à des contextes de formation différents pour les gîtes minéraux. Il est notable que les gîtes de Mo porphyriques associés aux magmas felsiques sont plus communs au Précambrien que les gîtes de Cu porphyriques calcoalcalins typiques. Cela pourrait signifier que, même si les produits de fusion crustale plus réduits compatibles avec la formation de gîtes de Mo porphyriques ont pu se former au Précambrien, les magmas plus oxydés associés aux porphyres d'arc étaient moins répandus. Cela pourrait, à son tour, refléter le degré d'oxydation plus faible des zones de subduction au Précambrien, conséquence de l'oxydation retardée des eaux océaniques profondes jusqu'à la Grande Oxygénation au Néoprotérozoïque. Les conditions anoxiques des bassins océaniques profonds tout au long du Précambrien ont donné lieu à la subduction de plus petits volumes de soufre (fixé sous la forme de sulfures) dans la lithosphère altérée du plancher océanique et la génération de magmas saturés en sulfures qui n'étaient pas fertiles pour la formation de minéralisation magmatique-hydrothermale plus tardive (quoiqu'ils aient pu être fertiles pour la formation de sulfures orthomagmatiques).

SÉANCE 3

Le gîte d'Au-(Cu) Côté Gold (2740 Ma) dans la ceinture de roches vertes de Swayze en Ontario : nature et contexte d'un gîte aurifère magmatique-hydrothermal archéen

Daniel J. Kontak et Laura Katz (Université Laurentienne) et Benoît Dubé (CGC-Q)

Le gîte Côté Gold est un gîte d'Au-(Cu) à basse teneur (<1 g/t Au) et à fort tonnage (environ 270 Mt; +8 Moz Au) découvert récemment (2009-2010) et centré sur un complexe dioritique mis en place dans une tonalite dans la ceinture de roches vertes archéenne de Swayze dans le nord de l'Ontario. Cette découverte est importante puisqu'il s'agit du premier gîte aurifère d'importance dans cette partie de la Sous-province de l'Abitibi et qu'à un âge d'environ 2740 Ma, il définit un nouvel événement métallogénique aurifère. Le gîte est encaissé dans des intrusions multiphasées de tonalite, de diorite et de diorite quartzifère du complexe intrusif de Chester (CIC), une intrusion synvolcanique multiphasée qui prend la forme d'un laccolite. Les relations de recoupement indiquent une mise en place contemporaine au CIC et les données géochronologiques des zircons (datation U-Pb) permettent de circonscrire son âge à 2740 ± 1 Ma. Malgré leur association dans le temps et dans l'espace, la géochimie exclut la possibilité d'un simple lien pétrogénétique entre les phases, qui sont similaires, en termes de pétrologie, de texture et de géochimie, à des intrusions composites de type TTG pauvres en Al reconnues comme étant sous-jacentes à la minéralisation de type SMV. Le contexte du complexe est assigné à un environnement d'arrière-arc en fonction de la géochimie des métavolcanites mafiques coussinées d'affinité tholéiitique et contemporaines de la Formation d'Arbutus. Le CIC est aussi contemporain et en partie cogénétique avec les roches felsiques à intermédiaires de la Formation de Yeo, incidemment présentes en inclusions au sein du CIC. Ces caractéristiques, combinées aux textures observées (par ex. : granophyres, cavités miarolitiques, pegmatites) et les données de géobarométrie basées sur l'Al dans les hornblendes ($\leq 1,3 \pm 0,6$ kbar), suggèrent un contexte de haut niveau pour le CIC. La minéralisation, centrée sur un complexe de brèches dioritiques magmatiques-hydrothermales (riches en biotite), présente plusieurs phases d'hydrothermalisme : 1) de rares veines et brèches d'amphiboles riches en Au dans la partie sud; 2) une zone d'altération en biotite assez vaste qui constitue la phase principale, centrée sur les brèches hydrothermales à biotite enrichies en Au et en Cu – en s'éloignant des brèches, on observe des veines (stockwerks, veines en feuillet) et des zones disséminées; 3) une zone d'altération en muscovite assez répandue, mais contrôlée par la fracturation, enrichie en Au ± Cu; 4) une zone stérile d'altération en épidote dans les fractures et disséminée dans la partie nord; 5) une zone d'albitisation dans la partie centrale où les textures antérieures ont été oblitérées; 6) un remplacement de la biotite par la chlorite. Tous ces événements hydrothermaux, sauf la chloritisation, sont considérés comme s'étant produits en parallèle au magmatisme et montrent une zonation plus ou moins bien développée. L'âge de la bréchification, de l'altération et de la minéralisation est établie à environ 2740 Ma, basé sur des âges obtenus par datation U-Pb de la titanite hydrothermale et par datation Re-Os de la molybdénite associée à l'Au. Les caractéristiques du gîte Côté Gold suggèrent que sa formation est associée à la libération de fluides magmatiques-hydrothermaux enrichis en K et en Fe du CIC pendant son évolution dans un environnement de haut niveau, la minéralisation aurifère étant spatialement associée aux brèches magmatiques. L'incidence d'un fluide appauvri en ^{18}O , possiblement de l'eau de mer, durant la formation du gîte est suggérée par les valeurs calculées pour le $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (+4,7 ‰ à +6,1 ‰ à 350-400 °C) et serait cohérente avec le contexte présumé.

SÉANCE 4

Diverses approches pour améliorer la stabilité des sites d'entreposage des rejets miniers pendant l'exploitation et à la fermeture

Michel Aubertin, Michael James, Thomas Pabst (Polytechnique) et Bruno Bussière (UQAT)

Les ouvrages servant à la disposition des rejets miniers, tels les parcs à résidus et les haldes à stériles, doivent être conçus de façon à pouvoir supporter les charges critiques durant l'exploitation de la mine et après sa fermeture.

Divers incidents survenus récemment au Canada et ailleurs dans le monde montrent qu'assurer la stabilité géotechnique de ces ouvrages soulève encore de grandes difficultés. Plusieurs recommandations ont été formulées au fil des ans afin d'améliorer le comportement de tels ouvrages. Celles-ci incluent des approches relativement récentes, basées sur une gestion intégrée des rejets, afin de prendre en compte les facteurs qui perturbent le comportement géotechnique et géochimique des rejets de l'ouverture de la mine jusqu'à la fermeture et la restauration des sites. Ces techniques favorisent, par exemple, l'utilisation des rejets de concentrateur ou des stériles comme matériau de remblayage souterrain (et, dans certains cas, pour le remblayage des fosses), la désulfuration environnementale des résidus ainsi que diverses techniques d'épaississement et de densification. Une portion ou la totalité des roches stériles peuvent aussi être déposées dans les parcs à résidus sous forme d'inclusions servant de système renforcement, qui aident également au drainage et à la dissipation des pressions interstitielles.

Dans le même ordre d'idée, la mise en place des roches stériles doit être réalisée de façon à contrôler le comportement hydrogéotechnique et géochimique des haldes. Ceci implique une construction par bancs, avec une disposition sélective pour les fractions chimiquement actives et inactives. Le contrôle des infiltrations et des mouvements de l'eau peut aussi être amélioré par la compaction des couches de surface, qui seront inclinées vers l'extérieur afin de favoriser la diversion de l'eau et ainsi limiter les écoulements au cœur des haldes.

Cette présentation fera une revue des principaux facteurs qui perturbent la stabilité des sites d'entreposage des rejets miniers. On discutera aussi des divers critères de stabilité qui devraient être appliqués ainsi que de certains développements récents pouvant contribuer à améliorer le comportement des ouvrages.

SÉANCE 4

Fonds Restor-Action Nunavik : mise à jour des travaux de réhabilitation et poursuite des travaux jusqu'en 2019

André Gaumond (Redevances Aurifères Osisko) et Nancy Dea (Administration régionale Kativik)

À l'automne 2006, le Fonds Restor-Action Nunavik (FRAN) a été créé dans le but de participer, en coopération avec le gouvernement provincial et les communautés inuites locales, à la réhabilitation des sites miniers et d'exploration prioritaires dans la région du Nunavik.

Le FRAN regroupe plusieurs sociétés d'exploration minière œuvrant partout au Québec. La nouvelle génération de sociétés minières et d'exploration veut démontrer qu'en plus de s'être dotée de pratiques de gestion environnementale et de responsabilité sociale rigoureuses, elle est capable de gestes concrets pour procéder à la réhabilitation des sites prioritaires sélectionnés et s'assurer du respect des normes environnementales établies pour les travaux en cours et les activités futures.

Dans les années 1940 à 1980, d'importants programmes d'exploration minière ont été réalisés dans le nord du Québec, au-dessus du 55^e parallèle, plus précisément dans les fosses du Labrador et de l'Ungava. Avant 1976, quelques compagnies minières ont pris l'initiative de nettoyer les sites d'exploration une fois leurs campagnes d'exploration terminées, alors que d'autres ont tout simplement quitté les lieux en y abandonnant bâtiments, moteurs, boîtes de carottes, équipements lourds, réservoirs d'hydrocarbures, barils, batteries, etc.

La présence de tous ces débris sur le terrain inquiète grandement les Inuits et les Naskapis. La fragilité des écosystèmes arctiques, la menace causée par la fonte de la calotte glaciaire (déstabilisant les structures minières et l'entreposage des résidus) ainsi que les effets immédiats et à long terme sur la chaîne alimentaire sont des menaces directes pour la santé publique et environnementale.

Un inventaire d'un échantillon de 193 sites potentiels a été réalisé en 2001-2002; 90 sites sont alors confirmés comme étant des sites d'exploration minière abandonnés. Dix-huit sites sont classés comme nécessitant des travaux de nettoyage de grande envergure, vingt-sept des travaux de moyenne envergure et quarante-cinq des travaux de faible envergure.

En 2007, une entente de contribution officielle est ratifiée par l'Administration régionale Kativik (l'ARK), la Société Makivik, le MRNF et un consortium de sociétés minières connu sous le nom de Fonds Restor-Action Nunavik (FRAN). L'entente a pour but de fournir à l'ARK le financement et le soutien technique nécessaires pour réaliser les travaux de nettoyage et de réhabilitation des dix-huit sites miniers abandonnés de plus grande envergure.

De 2007 à 2012, des travaux de réhabilitation sont réalisés sur ces dix-huit sites. En 2012, une nouvelle entente a été signée afin de réaliser des travaux sur des sites nécessitant un nettoyage de moyenne envergure. Cette entente qui devait prendre fin en 2017 a été prolongée jusqu'en 2019.

Depuis la signature de l'entente initiale, les travaux de nettoyage réalisés par l'ARK ont été achevés sur seize des dix-huit sites prioritaires, les deux sites restants étant partiellement nettoyés. Le nettoyage des sites dits intermédiaires va bon train; les travaux sont terminés pour vingt-cinq des vingt-sept sites. Ces travaux requièrent un grand nombre de partenaires et une collaboration continue de la part des gouvernements, des autorités régionales et municipales ainsi que des sociétés minières et de plusieurs organismes nordiques.

SÉANCE 4

Restauration des sites abandonnés : bilan et plan d'action du MERN

Sophie Proulx (MERN)

Au 31 mars 2016, le Secteur des mines du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) a inscrit aux comptes publics un montant de 1,22 G\$ à titre de passif environnemental minier, soit 803,4 M\$ pour les sites miniers où le MERN a choisi d'agir et 418,3 M\$ pour les sites miniers où le MERN pourrait avoir à agir étant donné le statut financier précaire des responsables.

Actuellement, on trouve 499 sites miniers abandonnés sur le territoire québécois. De ce nombre, 263 sont des sites d'exploration minière qui ne requièrent que des travaux de nettoyage, 6 sont des carrières et des sablières et 230 sont des sites d'exploitation minière. De ces 230 sites d'exploitation minière, des travaux sont en cours sur 18 des sites les plus problématiques; l'entretien et le suivi doivent être assurés sur les 127 sites déjà restaurés et sécurisés; 39 restent à être restaurés; et 46 doivent être sécurisés.

Lors de l'annonce du Budget 2016-2017, le Gouvernement du Québec s'est engagé à diminuer le passif environnemental minier de 80 % d'ici 2022. Pour y parvenir, le MERN doit organiser sa démarche et s'assurer de son efficacité. La restauration des sites miniers est planifiée selon plusieurs facteurs environnementaux, dont l'impact sur le milieu en fonction de l'ampleur des impacts et de la vulnérabilité des récepteurs sensibles, mais également selon des facteurs organisationnels et économiques, dont l'utilisation du territoire, les opportunités d'association entre les sites à restaurer et le développement économique. Les impacts sur le milieu sont établis à partir de l'information disponible qui est mise à jour à mesure que les sites sont caractérisés. Un programme de qualification des firmes a d'ailleurs été mis sur pied afin de simplifier l'octroi des mandats de caractérisation environnementale, en évaluant d'abord les compétences des firmes candidates, puis en octroyant les mandats aux plus bas soumissionnaires. Ce processus permet d'accélérer la caractérisation des sites du passif environnemental et d'obtenir plus rapidement l'information requise pour la priorisation des sites miniers à restaurer.

En plus de respecter les trois sphères du développement durable, soit sociale, environnementale et économique, la restauration des sites miniers du passif environnemental doit employer des techniques efficaces et performantes à court, à moyen et à long termes, et pour lesquelles l'entretien et le suivi postrestauration seront réduits au minimum.

La démarche du MERN consiste à établir d'abord l'état environnemental du site, y compris la caractérisation des résidus miniers, pour ensuite élaborer les solutions de restauration possibles avant de sélectionner le scénario de restauration optimal, et de valider et d'optimiser le scénario de restauration sélectionné. Une fois le scénario de restauration optimisé, les plans et devis requis pour les travaux sont préparés et les autorisations et les permis requis sont obtenus. Par la suite, les travaux de mise en œuvre du scénario de restauration sont faits et des plans tels que construits sont émis. Le suivi postrestauration commence dès la fin des travaux.

SÉANCE 4

Système de gestion des risques du MERN lié à la restauration minière

Martine Paradis (MERN)

Le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) a pour mission de favoriser la mise en valeur, la conservation et la connaissance des ressources naturelles et du territoire, dans une perspective de développement durable et de gestion intégrée, au bénéfice des citoyens. La Direction de la restauration des sites miniers (DRSM) du MERN a pour mandat, entre autres, d'assurer la restauration des sites miniers inscrits à l'inventaire du passif environnemental minier.

Vu le nombre de sites miniers abandonnés sur lesquels l'État a choisi d'agir et les diverses problématiques qui leur sont associées, la DRSM doit administrer un portfolio de projets basé sur la priorisation des sites devant être restaurés. Elle doit appliquer des normes rigoureuses de gestion de projets afin de protéger l'environnement et de s'assurer que les projets sont menés de manière sécuritaire, efficace et efficiente. En plus de leurs impacts sur les communautés locales, les projets de restauration nécessitent des investissements importants, des décisions sur les concepts d'ingénierie et la coordination de travaux de construction d'envergure. Afin d'adopter des pratiques rigoureuses et pour outiller la prise de décision, la DRSM a intégré un système de gestion des risques dans la réalisation de ses projets de restauration. Cette pratique permet notamment de s'assurer que les plans d'exécution sont solides, en minimisant l'effet de biais optimiste dans la prise de décision.

Le processus inclut une grille de gestion des risques propre à l'organisation. Cette grille comprend différentes catégories d'impacts ayant une incidence sur un projet, comme l'échéancier, les coûts, les impacts sociaux et environnementaux à court et à long termes. Les risques liés au projet sont identifiés en fonction de ses contraintes externes et internes, puis catégorisés selon leur probabilité et leur impact, ce qui permet également d'établir quels risques requièrent une analyse plus poussée ou une action. Les séances d'analyse des risques sont un forum de discussion au sein de l'équipe qui permet d'identifier les risques associés à une prise de décision et la reconnaissance des opportunités qui méritent d'être explorées. Elles permettent également à des spécialistes dans différents champs d'expertise d'échanger et de mettre leurs idées en commun au profit du projet.

SÉANCE 4

Vision et leadership en matière de restauration minière

Jean Cayouette (Mines Agnico Eagle)
et Sandra Pouliot (Mine Canadian Malartic)

La restauration de site est une partie importante et parfois onéreuse du cycle complet d'un projet minier. La planification est bien sûr une étape cruciale menant au succès de la fermeture d'une propriété minière. D'un point de vue de développement durable, une fermeture de site minier réussie laisse la propriété dans un état physiquement et chimiquement stable à long terme, en plus d'apporter une contribution positive aux communautés environnantes.

Une restauration efficace passe par l'établissement d'objectifs de fermeture clairs et surtout pris en compte dès la phase d'évaluation du projet. C'est la clé pour minimiser les risques sociaux, environnementaux et financiers lorsque les activités sont définitivement interrompues. Ceci est particulièrement vrai pour les aires d'accumulation de roche non économique représentant souvent la part la plus importante de la planification de la fermeture. La restauration de site est aussi grandement facilitée par la mise en œuvre de bonnes pratiques d'exploitation tout au long de la vie de la mine, notamment un bon entretien des lieux, la réhabilitation progressive des zones perturbées ou, encore, le nettoyage des terrains contaminés.

Le propos de cette présentation est séparé en deux sections. La première fera le survol d'un projet minier dans une perspective de planification, d'exécution et de suivi efficace de sa fermeture. On y mettra en évidence le leadership nécessaire pour planifier à la fois et au même moment la fermeture d'un projet minier et sa mise en production. Dans un deuxième temps, nous aborderons les aspects plus techniques de la planification de la restauration, avec quelques exemples d'approche systématique menant à la sélection du concept de restauration pour les aires d'accumulation.

SÉANCE 5

Traitement des effluents miniers par les matériaux modifiés et les processus d'oxydation avancée

Carmen M. Neculita (UQAT)

La gestion responsable des effluents contaminés est une des grandes priorités des exploitants miniers, qui doivent équilibrer la nécessité d'optimiser l'efficacité, tout en maintenant les installations propres et durables. Parmi les contaminants majeurs dans ces effluents, on retrouve le drainage minier acide (DMA) ou le drainage neutre contaminé (DNC), les thiocyanates, l'azote ammoniacal et les sulfosels.

Les technologies disponibles, actives et/ou passives, présentent souvent des limites pour le traitement des effluents miniers au Canada, dont l'environnement est caractérisé par une saisonnalité très prononcée. Dernièrement, les matériaux modifiés (dolomite, cendre de bois) et les procédés d'oxydation avancée (ferrates, Fenton) ont reçu une attention particulière, étant perçus comme des moyens prometteurs. L'objectif de la modification des matériaux est d'améliorer la performance du traitement du DMA ou du DNC à plus long terme. Ainsi, nos résultats actuels montrent une efficacité très satisfaisante des matériaux modifiés dans le traitement du DNC lors d'une contamination au Ni et/ou au Zn. Dans les essais de type batch, la capacité de sorption de la dolomite mi-calcinée a doublé pour le Ni et septuplé pour le Zn, tandis que la capacité de sorption de la cendre de bois modifiée (par traitement hydrothermal) a triplé pour le Ni et le Zn. Les essais en cours et à venir visent l'évaluation de l'efficacité de ces matériaux dans le traitement d'autres types de contamination. En ce qui a trait aux composés oxydables, comme les cyanures et leurs dérivés, les procédés d'oxydation avancée peuvent s'avérer prometteurs pour réduire la durée et augmenter l'efficacité du traitement, mais peu de travaux de recherche sont disponibles sur ce sujet. Nos résultats actuels montrent des efficacités variables dans le traitement du thiocyanate, de l'azote ammoniacal et des sulfosels, dépendamment des contaminants en présence. Compte tenu de l'importance majeure des résultats pour les chercheurs et les utilisateurs, les travaux de recherche se poursuivent. Tous les résultats sont documentés et publiés dans des tribunes directement accessibles aux exploitants miniers canadiens. Ces travaux de recherche appliquée visent à permettre à l'industrie minière canadienne de demeurer un chef de file dans le domaine du développement minier durable.

SÉANCE 5

Utilisation de biosurfactants et de nanomatériaux comme nouveaux agents de réhabilitation d'effluents miniers

Catherine Mulligan (Université Concordia)

L'élimination des métaux des effluents miniers représente un défi. Différentes approches innovantes ont été utilisées pour décontaminer les effluents contenant des métaux. Bien que l'ultrafiltration permette d'éliminer les molécules à poids moléculaire élevé, ce procédé n'est pas efficace pour éliminer les polluants à poids moléculaire faible. Pour augmenter la taille de ces particules polluantes, un biosurfactant à base de rhamnolipides a été utilisé dans le cadre d'un procédé d'ultrafiltration micellaire des métaux lourds dans les eaux contaminées. Différentes conditions d'utilisation ont été étudiées et optimisées pour le cuivre, le zinc, le nickel, le plomb et le cadmium. Six eaux usées contaminées issues d'industries d'affinage de métaux ont été traitées avec deux membranes différentes. Les concentrations résultantes en métaux lourds dans les eaux traitées étaient toutes considérablement réduites et conformes à la réglementation fédérale canadienne.

Une autre étude a évalué l'utilisation d'un biosurfactant à base de rhamnolipides pour éliminer et réduire le chrome hexavalent dans les eaux contaminées. La concentration initiale en chrome, la concentration en rhamnolipides, le pH et la température ont tous un impact sur l'efficacité de la réduction. Une réduction complète par les rhamnolipides de la quantité initiale de Cr (VI) dans l'eau dans des conditions optimales (pH 6, concentration en rhamnolipides de 2 %, 25 °C) a été obtenue à une faible concentration en chrome (10 ppm).

Des expériences ont aussi été tentées pour étudier l'effet des rhamnolipides sur la décontamination du Cr (VI) dans l'eau à l'aide de nanoparticules de fer. Les nanoparticules de fer ont été produites en présence de différentes concentrations de rhamnolipides. Puis, les nanoparticules non modifiées ont été traitées à différentes concentrations de rhamnolipides et de cellulose carboxyméthylque. De plus, l'effet de la présence de rhamnolipides sur la décontamination par réduction du chrome hexavalent, Cr (VI), en chrome trivalent, Cr (III), a été examiné. À des concentrations de 0,08 g/L de fer et de 2 % (w/w) de rhamnolipides, la décontamination du chrome a augmenté de 123 % en 15 heures, comparativement à des solutions ne contenant que des nanoparticules de fer ou que des rhamnolipides.

Par ailleurs, l'applicabilité de nanoparticules bimétalliques (fer-cuivre) pour éliminer l'arsenic des eaux contaminées a aussi été étudiée. Des tests de sorption de l'arsenic en solution aqueuse à trois concentrations différentes ont été effectués en utilisant différentes doses de nanoparticules. Les nanoparticules synthétiques de Fe-Cu hybrides d'un diamètre moyen de 13,17 nm se sont avérées efficaces pour éliminer l'arsenic des solutions aqueuses. La poudre de nanoparticules de Fe-Cu a été efficace pour éliminer l'arsenic de l'eau sur une période de 18 mois et pourrait potentiellement être utilisée pour la décontamination de l'arsenic dans des environnements aquatiques à long terme.

Dans l'ensemble, selon le type de contamination en métaux, l'ajout de biosurfactants et/ou de nanoparticules peut s'avérer efficace pour le traitement d'effluents contaminés en métaux.

SÉANCE 5

La technologie de cavitation : un changement de paradigme dans le traitement des effluents miniers

Deepak Kirpalani (CNRC)

Les stratégies de gestion de l'eau, appliquées pour atténuer l'impact des activités minières, sont au cœur du développement, de l'exploitation et de la restauration des sites miniers. Les procédés d'oxydation avancée (POA) ont récemment attiré l'attention à titre de solutions potentielles pour le traitement des eaux minières.

La cavitation hydrodynamique, un nouveau POA, émerge rapidement comme une solution de gestion de l'eau permettant d'améliorer le recyclage des eaux de procédé et le traitement des effluents en aval, en raison de la facilité d'intégration du procédé, de sa modularité, du potentiel de développement et de sa capacité à éliminer plusieurs contaminants. La cavitation hydrodynamique est un procédé de vaporisation d'un liquide, de nucléation, de croissance et d'implosion de microbulles dans un liquide en écoulement résultant d'une diminution suivie d'une augmentation de la pression locale. La croissance et l'effondrement de microbulles concentrent et transfèrent l'énergie des conditions hydrodynamiques ambiantes à la vapeur à l'intérieur des bulles, produisant des pressions et des températures localisées extrêmement élevées. Ce procédé concentrateur d'énergie génère des radicaux libres de peroxyde très réactifs qui servent d'oxydants pour accentuer le traitement chimique.

Récemment, il a été démontré que le procédé de cavitation hydrodynamique serait une méthode pratique pour la génération *in situ* de bulles lors de la flottation. Dans l'optique d'une solution rentable, des procédés de cavitation, incluant la nucléation gazeuse et le dégazage provoqué par la cavitation, ont été appliqués aux circuits de flottation de l'usine de Copper Cliff d'Inco à Sudbury, afin d'améliorer l'agrégation de particules via le regroupement de bulles minuscules, d'accélérer l'attachement des particules aux bulles par coalescence et d'augmenter la récupération des particules fines et grossières en réduisant la consommation de réactifs (Zhou, 2009). Des procédés de cavitation hydrodynamique ont aussi été utilisés pour le recyclage des eaux usées de forage afin d'éliminer les fines particules métalliques, les huiles, les surfactants et les lubrifiants libérés lors des activités de forage. Typiquement, le traitement des eaux minières nécessite un ajustement du pH et l'ajout d'oxydants au moyen d'un traitement à la chaux éteinte et de l'ajout de sulfure d'hydrogène, de peroxyde d'hydrogène ou d'azote. Pour accélérer les réactions chimiques, Litwinienko et ses collaborateurs (2005) ont intégré la cavitation directement à l'étape de neutralisation, afin de convertir les composantes toxiques dissoutes dans les eaux usées en précipités insolubles.

Bien que la cavitation ait suscité beaucoup d'intérêt parmi les développeurs de technologie et les fabricants d'équipement, elle n'est pas encore très répandue dans l'industrie minière en raison de la compréhension limitée des contrôles des procédés de cavitation actuels. Mis à part la petite taille des bulles de vapeur et la forte intensité d'effondrement, plusieurs des caractéristiques distinctives qui différencient les procédés de cavitation d'autres procédés de génération de microbulles, comme les réactions chimiques et l'électrolyse, ne sont toujours pas bien maîtrisées. La présentation abordera les récentes avancées dans la compréhension des procédés de cavitation et explorera le potentiel de cette technologie pour le traitement des eaux minières.

SÉANCE 5

Défis de l'industrie minière en traitement des eaux et en recherche et développement

Thomas Genty (Mines Agnico Eagle)

Autant les exploitations minières que les nouveaux projets font face à de nombreux défis au niveau de la gestion de l'eau, notamment en raison de l'évolution des normes de rejets dans la réglementation, mais aussi du fait des contraintes liées à l'exploitation en région éloignée et à la géologie, en particulier dans le nord du Canada. Parmi les enjeux majeurs auxquels doit faire face l'industrie, on retrouve également la gestion de l'azote ammoniacal résultant soit des explosifs ou de la destruction des cyanures. Cet azote ammoniacal peut être une cause majeure de toxicité s'il n'est pas correctement géré. Enfin, d'un point de vue chimique, la gestion des eaux ayant de hautes teneurs en MDT (y compris le chlorure et les sulfates) est aussi problématique. D'un autre côté, l'enjeu majeur d'un point de vue technologique est aussi d'avoir des procédés robustes (adaptés aux variations de débit, de température ou de concentration), peu encombrants (souvent préassemblés) en raison des grandes distances à parcourir dans le Nord canadien, demandant le moins d'entretien possible et facile à mettre en marche et à arrêter. Dans cette optique, les partenariats de recherche et développement, en collaboration avec les organismes de recherche, permettent de trouver des pistes de solution. Par exemple, un projet de recherche en partenariat avec l'IRME UQAT et le CTRI a permis de valider l'application des procédés d'oxydation avancée par les ferrates de l'ammoniaque, des cyanures et des thiocyanates, mais aussi de dénitrification biologique.

SÉANCE 6

Les nouvelles interprétations géologiques de la zone de contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca et leur importance pour l'exploration aurifère

Jean Goutier (MERN), Joséphine Gigon (UQAT), Carl Guilmette, François Huot, Roman Hanes, Myriam Côté-Roberge, Nathan R. Cleven, Adina Bogatu, Antoine Rhéaume Ouellet et Jean-Philippe Fleury (UL)

Au Québec, les récentes mines d'or (ex. Canadian Malartic, Éléonore) se trouvent dans des environnements de roches métasédimentaires, à proximité de zones tectoniques majeures. La zone de contact entre les sous-provinces archéennes de La Grande (métavolcanique) et d'Opinaca (métasédimentaire) correspond à ce genre d'environnement. Cette zone, dans le secteur au sud des réservoirs La Grande et non loin de la route Transtaiga, s'étend sur près de 500 km. La découverte des indices ne remonte qu'au milieu des années 1990 et ils se trouvent soit dans la zone de contact, soit dans la Sous-province de La Grande. Les travaux récents de cartographie géologique (MERN), ainsi que les études tectonométamorphiques et métallogéniques (université Laval), donnent une image nouvelle de la zone de contact entre ces sous-provinces. Dans cette région, les guides d'exploration pour l'or sont les suivants : les secteurs avec des zones d'imbrications tectoniques; les secteurs avec une plus grande variété lithologique dans les niveaux métasédimentaires; la présence d'intrusions ultramafiques et de mudstone graphiteux; la présence d'arsénopyrite. Les évaluations de potentiel (Model Builder ou HyperCub) sont très utiles, mais limitées dans les secteurs où la densité de données est faible. Par exemple, les travaux de cet été ont permis de découvrir des bandes de métavolcanites, dont des basaltes coussinés, encore inconnues dans la Sous-province d'Opinaca.

La zone de contact est caractérisée par différents styles de contact. Par exemple, dans le secteur de l'indice aurifère Quentin (33H04), les amphibolites de La Grande sont directement en contact tectonique franc sur les paragneiss de l'Opinaca, alors que dans le secteur du lac Sakami (33F02), la zone est composée d'une série d'imbrications de La Grande sur l'Opinaca. À plusieurs endroits, des granites et des granodiorites se sont mis en place dans la zone de contact, masquant ainsi la zone de déformation. Les nouvelles observations montrent que certaines zones de cisaillement aurifères partent de la zone de contact et se prolongent dans l'Opinaca sur de grandes distances. Ces zones de cisaillement se reconnaissent par la présence d'intrusions ultramafiques sous forme de chapelet et de zones de mylonite ultramafique à hornblende, anthophyllite et phlogopite.

L'une des nouveautés est la reconnaissance d'ensembles de roches sédimentaires dans la zone de contact qui se distinguent des paragneiss de l'Opinaca par une plus grande abondance de hornblende dans les wackes et les paragneiss, la présence de conglomérats polygéniques, d'un mudstone graphiteux et de formations de fer, pouvant être aurifères (ex. indice Orfée). Sans être des bassins de type Timiskaming, ils seraient à la fois plus jeunes que les roches de l'Opinaca et de La Grande.

Nous n'observons pas de front métamorphique sur l'ensemble de la zone de contact étudiée. Le métamorphisme croît du NNO au SSE, passant du faciès des schistes verts à celui des granulites. Sur l'ensemble de l'Opinaca, l'agencement des faciès est asymétrique. Dans la partie Ouest, les premiers orthopyroxènes dans les paragneiss apparaissent jusqu'à 70 km du contact, alors dans le SO, ils n'apparaissent qu'à 10 km du contact. Dans la partie Est (ex. 33H02), le faciès des granulites affecte à la fois les roches de La Grande et d'Opinaca.

SÉANCE 6

L'architecture tectonique des sous-provinces d'Opinaca et de La Grande : synthèse des interprétations structurales et traitements géophysiques alternatifs

Nathan Cleven, Carl Guilmette (UL), Lylal Harris (INRS – Eau Terre Environnement) et Jean Goutier (MERN)

La définition actuelle des frontières entre les sous-provinces du craton du Supérieur repose sur l'observation géologique en surface de linéaments délimitant de part et d'autre des assemblages lithotectoniques montrant des différences fondamentales. Les sous-provinces de La Grande (roches volcano-plutoniques) et de l'Opinaca (roches métasédimentaires) partagent une longue frontière avec une histoire tectonique complexe. Cette présentation porte sur les traitements personnalisés accompagnés d'une réinterprétation géophysique des données des levés magnétiques et gravimétriques des gouvernements provincial et fédéral visant à mieux contraindre l'architecture crustale sous-jacente de la région d'Eyou Istchee Baie-James. Les levés gravimétriques fournissent un aperçu des contrastes à des profondeurs variables à l'aide des traitements de l'angle θ et de la détection de contours (« *worming* »). Ces traitements ont permis de définir les principales limites structurales qui ont une extension en profondeur et de reconnaître les structures profondes qui n'ont aucune expression en surface. Le traitement pseudogravimétrique des composantes à longue et à courte longueurs d'onde des données des levés magnétiques aéroportés détaillés permettent de visualiser comment l'architecture de la croûte profonde correspond à l'expression de la géologie en surface. Nous commenterons l'influence du développement progressif des structures majeures sur l'environnement tectonique régional, sur la nature du contact entre les sous-provinces étudiées et sur le contrôle que cette évolution aurait pu exercer sur les événements minéralisateurs précoces ou tardifs connus. Des structures majeures créant des patrons ou des motifs indicateurs de potentiel économique seront présentées et discutées.

SÉANCE 6

Résultats préliminaires de travaux de cartographie géologique dans un secteur au nord des monts Otish (Baie-James) : nouvelles extensions de la ceinture de la Haute Eastmain et perspectives d'exploration

Francis Talla Takam, Anne-Marie Beauchamp, Frédéric Massei et Hanafi Hammouche (MERN)

Récemment, le MERN a entrepris un levé géologique à l'échelle du 1/50 000 au nord des monts Otish, ainsi qu'un nouveau levé aéromagnétique de haute résolution pour compléter la couverture géophysique existante.

La région cartographiée, partiellement accessible par la route 167, chevauche les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca. Les roches de La Grande occupent le nord-est et le sud de la région. Il s'agit principalement de métasédiments et d'intrusions felsiques à intermédiaires qui englobent la ceinture volcanique de la Haute Eastmain (CVHE), située au sud. L'ouest de la région est dominé par un assemblage de paragneiss, de métatexites et de diatexites du Complexe de Laguiche, typique de l'Opinaca, très fréquemment injecté par des intrusions granitiques.

Les travaux ont permis d'améliorer les connaissances de la géologie et du potentiel minéral de la région cartographiée par : a) la redéfinition du contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, qui revêt une grande importance pour le contrôle des minéralisations aurifères; b) la détermination de la nature intrusive du contact entre la CVHE et les roches tonalites et dioritiques au sud; c) la délimitation des extensions de la CVHE; d) la mise à jour et la révision de plusieurs zones décimétriques à métriques de sulfures massifs et semi-massifs.

La CVHE a été prolongée de plus de 15 km à l'est et élargie de 4 km au sud. De nombreuses zones rouillées et minéralisées pouvant atteindre par endroit 3 m de large et 5 m de long ont été observées dans les métavolcanites mafiques. Les sulfures (pyrite-pyrrhotite-chalcopryrite) qui atteignent rarement 10 % y sont disséminés ou en amas. La minéralisation apparaît également le long des veines de quartz ou est reliée aux zones de fractures. Quelques minces bandes de formations de fer sont également associées à ces roches. De nouvelles bandes kilométriques de roches volcaniques et volcanoclastiques felsiques ont été découvertes. En plus de la minéralisation disséminée ou en amas, elles comprennent des zones décimétriques de sulfures massifs ou semi-massifs, avec parfois plus de 25 % PO, 15 % PY et des traces de CP. Plusieurs filons-couches et dykes de gabbro et de roches ultramafiques sont également présents.

La région recèle un potentiel intéressant pour plusieurs types de minéralisations : Au filonien, SMV à Cu-Zn \pm Au \pm Ag, Cu-Au porphyrique, Ni-Cu-EGP dans les ultramafites, métaux rares (Li, Cs, Ta) dans les pegmatites, diamant (proximité du gisement Renard).

Les travaux d'acquisition se poursuivront vers le sud, y compris la cartographie du roc et des dépôts du Quaternaire.

SÉANCE 6

Potentiel des minéralisations aurifères et des éléments du groupe du platine de la Sous-province de Nemiscau, Baie-James

Daniel Bandyayera et Yannick Daoudene (MERN)

La région étudiée se situe à cheval entre trois sous-provinces archéennes du Nord-du-Québec, soit la Sous-province de La Grande au nord, celle de Nemiscau au centre et celle de l'Opatca au sud. La Sous-province de Nemiscau est de type métasédimentaire, alors que celles de La Grande et de l'Opatca sont de type gneisso-plutonique.

Le contact entre les sous-provinces de Nemiscau et Opatca est marqué par la présence d'une ceinture de roches volcano-sédimentaires (4-7 km x 80 km), la Ceinture de Colomb-Chaboulié, dont l'orientation varie d'ouest en est, passant de NE-SO à E-O, et qui constituerait la bordure sud de la Sous-province de Nemiscau. La Ceinture de Colomb-Chaboulié contient des roches volcaniques mafiques, intermédiaires et felsiques, injectées par des intrusions mafiques et ultramafiques. Cette ceinture est connue pour son potentiel en nickel-cuivre magmatique; les premières découvertes par Noranda Exploration Company datent de la fin des années 1950. Elle abrite le gîte Horden dont les ressources historiques décrites comme des réserves probables sont estimées à 1 238 333 tonnes à 1,91 % Cu et 0,4 % Ni. La minéralisation en Ni-Cu est associée aux filons-couches de gabbro, de pyroxénite et de péridotite. Nos travaux ont conduit à la découverte de trois indices d'EGP-Ni-Cu dans des intrusions de gabbro et de pyroxénite contenant de 1 à 10 % de sulfures finement disséminés. La teneur la plus élevée est de 797 ppb Pd.

La Ceinture de Colomb-Chaboulié présente également des minéralisations en Au-Cu-Ag de type volcanogène. Celles-ci se présentent généralement sous forme de lentilles ou d'amas centimétriques à métriques de sulfures massifs à semi-massifs, riches en pyrrhotite et en pyrite, généralement stratiformes dans l'empilement volcanique. Certains de ces amas sulfurés montrent des faciès bréchiques, avec des fragments lithiques plus ou moins arrondis. Le caractère synvolcanique d'une partie de ces amas sulfurés est étayé par la présence de fragments lithiques aux imprégnations de sulfures non continues dans la matrice.

Au nord, au contact entre les sous-provinces de Nemiscau et de La Grande, nos travaux ont aussi mis à jour des zones minéralisées qui présentent certaines similitudes avec des gîtes de type épithermal, dans une séquence métasédimentaire bien préservée. Le système d'altération comprend : 1) des zones de fortes altérations en aluminosilicates (cordiérite-andalousite) et en grenat; 2) une surabondance de veines, de fractures et de concrétions métagénétiques à grenat et à tourmaline, concordantes ou discordantes au litage et localement boudinées; 3) des altérations à quartz-tourmaline-sulfures, proximales aux zones minéralisées; 4) des horizons métriques de conglomérats polygéniques, altérés et minéralisés. L'ensemble de ces altérations présente plusieurs aspects semblables aux zones de remplacement métagénétique observées dans le toit des zones aurifères du gisement aurifère Roberto, de la propriété Éléonore.

SÉANCE 6

Géologie de la région du lac Amisquioumisca (feuilles SNRC 32K07 et 32K08, parties des feuilles SNRC 32K01, 32K02 et 32K09)

François Leclerc, Emmanuel Caron-Côté et Julie Vallières (MERN)

Le levé géologique au 1/50 000 réalisé à l'été 2016 dans la région du lac Amisquioumisca (Baie-James) couvre les feuilles SNRC 32K07 et 32K08 ainsi qu'une partie des feuilles SNRC 32K01, 32K02 et 32K09. Le secteur cartographié est situé dans la Sous-province de l'Opatca et est limité au sud par la ceinture de roches vertes de Matagami-Chibougamau et au nord par celle de Frotet-Evans. Les plus vieilles lithologies de la région, d'âge néoarchéen, sont composées de roches volcaniques mafiques à felsiques amphibolitiques et de paragneiss à biotite ± grenat attribués au Complexe de Rocher. Nos travaux ont permis de démontrer l'extension de ces unités jusqu'au sud-ouest du lac Amisquioumisca. Les plus vieilles intrusions correspondent aux « gneiss gris » de l'Opatca, de composition dioritique et tonalitique avec biotite et hornblende, situés au sud et au nord-est du lac Poncheville (2702 ±3 Ma). L'ensemble du secteur est caractérisé par plusieurs intrusions foliées à gneissiques de compositions variées (2693-2686 Ma) : a) diorite et diorite quartzifère, b) tonalite, c) monzodiorite et monzonite, d) granodiorite et granite. Ces roches comprennent des enclaves d'amphibolites foliées à gneissiques et subissent localement la migmatite. Elles sont recoupées par des dykes de composition granitique à texture pegmatitique. Au sud du lac Poncheville, la Suite mafique-ultramafique de Poncheville désigne des intrusions tardi-tectoniques de 1-2 kilomètres de diamètre dont la composition varie de la pyroxénite au gabbro et, plus localement, jusqu'au granitoïde riche en quartz. Nos travaux ont permis de mettre au jour une nouvelle unité de syénite à hornblende tardi-tectonique à l'est du lac Amisquioumisca, contenant localement de la fluorite. Les dykes de diabase protérozoïques appartiennent à quatre groupes distincts en fonction de leur orientation respective : a) NNE-SSO; b) NE-SO (Senneterre); c) NNO-SSE (Mistassinil); d) N-S. La déformation régionale archéenne présente trois incréments nommés D1, D2 et D3. La déformation D1 comprend une foliation tectono-métamorphique et une gneissosité [S1] ainsi que des plis ouverts à isoclinaux (P1) orientés NO-SE à N-S. Ces fabriques sont plissées et transposées dans la schistosité S2 E-O de plan axial à des plis isoclinaux P2. Des patrons d'interférence entre les plis P1 et P2 apparaissent à l'échelle de l'affleurement ainsi qu'à l'échelle régionale, comme le suggèrent les levés aéromagnétiques détaillés. La zone de cisaillement NO-SE à mouvement oblique dextre de Nottaway traverse la portion ouest du secteur à l'étude et sa zone de dommage s'étend latéralement sur 10 km. Plusieurs autres zones de cisaillement parallèles présentent ce mouvement oblique dextre, attribué à D3, puisqu'il provoque à la fois la virgation (c.-à-d. rotation) et le décalage des structures antérieures D1 et D2. La région présente un potentiel pour trois types de minéralisation : a) Cu-Zn stratiforme associée aux lambeaux d'amphibolites et de paragneiss (PY-CP-SP disséminées), b) Ni-Cu-EGP magmatique associée à la diorite du Complexe de Rocher et aux roches de la Suite mafique-ultramafique de Poncheville (PY, PO, CP et PD disséminées) et c) Cu-Au ± Mo porphyrique associée aux zones de contact entre les enclaves d'amphibolite et la tonalite du Pluton de Nipukatasi ou la diorite quartzifère du Pluton de Gobeil (PO-PY-CP-SP-MO).

SÉANCE 6

Synthèse géologique de la mine Éléonore et guides pour l'exploration à l'échelle régionale, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur, Québec, Canada

Arnaud Fontaine (INRS – Eau Terre Environnement), Benoît Dubé (CGC-Q), Michel Malo (INRS – Eau Terre Environnement), Jackson Simon, Vicki McNicoll (CGC-O), Eric Fournier et Christine Beausoleil (Goldcorp)

La mine Éléonore est la première mine d'or de classe mondiale du territoire d'Eeyou Istchee Baie-James. En production commerciale depuis avril 2015, la mine contient actuellement des réserves de 5,35 millions d'onces à 5,87 g/t d'or, des ressources mesurées et indiquées de 0,81 million d'onces à 5,49 g/t d'or et des ressources inférées de 2,28 millions d'onces à 7,11 g/t d'or.

Situé à 1,5 km au sud du contact entre les sous-provinces d'Opinaca (paragneiss, migmatites et intrusions) et de La Grande (socle tonalitique, ceintures volcano-sédimentaires et intrusions), le gisement est majoritairement encaissé dans des wackes (<2675 Ma). La minéralisation principale est représentée par plusieurs corridors plurimétriques d'orientation NNO-SSE formant une enveloppe subverticale d'une largeur de 70 à 80 m et d'une extension verticale d'au moins 1,4 km. Ces corridors ont une signature métallique similaire en Au-As-Sb-W-Bi-Sn-Mo et comprennent des styles de minéralisation variés, y compris : i) un réseau de veinules et de veines de quartz-dravite-arsénopyrite-pyrrhotite en association avec des zones de remplacement à quartz-microcline-phlogopite-arsénopyrite (zone 5050); ii) des veines de quartz-diopside-schorl-löllingite-arsénopyrite ou des zones de silicification et des brèches hydrothermales à microcline ainsi que des veines de quartz-actinolite (zones 6000, 7000, 8000 et HW); iii) des schistes à biotite et à actinolite (zone du Lac); iv) des zones de remplacement à phlogopite, à actinolite et à diopside (zone du Nord).

Les travaux de cartographie en surface et dans les galeries souterraines, la modélisation en 3D et la géochronologie U-Pb ont permis de mieux contraindre la chronologie des événements structuraux et des processus métamorphiques, magmatiques et hydrothermaux. La datation U-Pb des pegmatites (environ 2620 Ma et 2600 Ma) et de la tonalite-granodiorite de Cheechoo (environ 2612 Ma) a permis d'établir plusieurs événements aurifères. Les analyses lithogéochimiques, LA-ICPMS (*in situ* des sulfures) et d'isotopes stables du soufre (*in situ* des sulfures) et de l'oxygène (de l'altération hydrothermale) suggèrent que l'action de fluides métamorphiques et magmatiques serait à l'origine du vaste système hydrothermal aurifère.

La diversité des roches encaissantes et des minéralisations aurifères à Éléonore et dans les alentours (propriétés Cheechoo et Sirios) indique qu'une zone de 10 km le long du contact Opinaca-La Grande, en particulier dans la sous-province du La Grande, est prometteuse pour l'émergence d'un nouveau district aurifère. Cela est probablement dû : i) à une activité hydrothermale liée à des événements métamorphiques et magmatiques de longue durée; ii) et à une déformation polyphasée permettant, localement, la formation de pièges structuraux et stratigraphiques hôtes de la minéralisation et la préservation, en tout ou en partie, des zones aurifères, notamment dans les zones de plus faible pression (comme les charnières de plis).

SÉANCE 7

Acquisition et analyse des données spectroradiométriques pour la cartographie minéralogique à la mine Canadian Malartic

Kalifa Goïta, Mickaël Germain, Jérôme Théau (UdeS), Benoît Plante (IRME UQAT-Polytechnique), Caroline-Emmanuelle Morisset (Golder Associés), Kevin Siebels, Étienne Clabaut, Javier-Garcia Serna (UdeS) et Loïc Bécane (IRME UQAT-Polytechnique)

Les premiers résultats d'une recherche en cours sur la cartographie minéralogique à l'aide de la télédétection seront exposés. Le site d'étude est la mine Canadian Malartic en Abitibi-Témiscamingue. Deux campagnes de mesure ont été réalisées au-dessus de la mine en novembre 2015 et en juillet 2016. Pour la première campagne, un capteur hyperspectral (Pika II de Resonon) fonctionnant entre 400 et 900 nm a été utilisé à bord d'un avion pour survoler le site de la mine. Cette opération coïncidait avec l'échantillonnage de roches dans la fosse et sur les haldes. Lors de la seconde campagne, les survols ont été faits à l'aide d'un véhicule aérien sans pilote (drone). Les capteurs utilisés étaient le Pika II VIS (400-900 nm) et le Pika II NIR (900-1 700 nm). Les mesures ont été prises au-dessus de la fosse et des haldes. Simultanément, plusieurs échantillons ont été prélevés et des mesures spectroradiométriques ont été réalisées au sol à l'aide d'un ASD et d'un spectromètre d'Ocean-Optics. Une image du site prise du satellite WorldView-3 de DigitalGlobe a été acquise à la fin de la seconde campagne. Elle comprend 16 bandes spectrales, y compris les ondes courtes infrarouges, qui sont particulièrement indiquées pour l'environnement minier. Nous présenterons les travaux réalisés sur le terrain ainsi que les résultats déjà acquis. Il s'agit notamment des résultats comparatifs des spectres mesurés à l'aide des différentes plateformes et de l'analyse préliminaire du démixage spectral des images (WorldView-3, capteurs Pika) pour caractériser la lithologie et les minéraux.

SÉANCE 7

Remblayage des chantiers et gestion des rejets solides pour un développement minier sécuritaire et durable : études de l'interaction entre les remblais et les structures encaissantes dans des mines profondes

Li Li, Michel Aubertin (Polytechnique), Bruno Bussière, Mamert Mbonimpa, Mostafa Benzaazoua (UQAT), Robert Chapuis et Richard Simon (Polytechnique)

Le remblayage des chantiers miniers est devenu une opération courante pour plusieurs mines souterraines à travers le monde. Les connaissances du comportement hydro-géotechnique des remblais et de leurs interactions avec les structures encaissantes (murs rocheux et barricades) sont toutefois limitées, de sorte que la conception des chantiers remblayés et des barricades se fait souvent d'une façon empirique et incertaine, avec les risques que cela peut entraîner. Ceci est particulièrement le cas des mines profondes où les applications du remblayage peuvent s'avérer très complexes.

L'objectif du projet de recherche est d'améliorer les connaissances sur le comportement hydro-géotechnique des remblais (hydrauliques et en pâte) cimentés en interaction avec les structures encaissantes afin de réduire l'empirisme (et les incertitudes) dans la conception des chantiers remblayés et des barricades dans des mines à grande profondeur. La réalisation du projet, mené avec l'aide financière du FRQNT, vise à rendre la conception des chantiers remblayés plus sécuritaire (et économique dans certains cas) pour les mines à grande profondeur. Ceci favorisera l'utilisation du remblai, réduira la quantité de rejets déposés en surface et diminuera leur impact environnemental à la fermeture des activités minières.

Dans cette présentation, les principaux enjeux associés au remblayage des chantiers et aux interactions entre les remblais et les structures encaissantes seront exposés. Les travaux réalisés à ce jour, et ceux en cours, seront présentés et discutés.

SÉANCE 7

Nouvelles technologies numériques pour la gestion (plus) intelligente du risque technique : exemples et valeur ajoutée

Roussos Dimitrakopoulos (Université McGill)

La gestion du risque technique au sein d'un complexe minier est abordée en examinant plusieurs exemples. Un complexe minier peut être envisagé comme une entreprise intégrée, débutant par l'extraction de matériaux d'un groupe de mines, l'usinage et le traitement de ces matériaux par le biais de différentes installations de traitement interreliées par différentes méthodes de manipulation et de transport des matériaux, le tout menant à une série de produits commercialisables livrés à différents clients et/ou au marché au comptant. Les incertitudes sous-jacentes (stochasticité) reliées aux matériaux produits dans les mines constituent un enjeu critique pour cette entreprise intégrée. Les technologies existantes ne gèrent pas explicitement le risque, ce qui mène à un rendement sous-optimal.

La gestion du risque technique est abordée dans le cadre de l'optimisation simultanée des complexes miniers faisant l'objet d'incertitudes, en visant à maximiser la valeur pour les actionnaires, à gérer le risque de façon intelligente et à intégrer certains aspects pertinents du développement durable. Basé sur l'optimisation stochastique, de nouvelles méthodes élaborées et testées (des exemples seront présentés) montrent, comparativement aux approches antérieures : i) une meilleure fiabilité au niveau de l'atteinte des objectifs de production de l'entreprise; ii) une plus grande quantité de métal produite à partir de la même ressource minérale découlant d'une meilleure capacité à comprendre la connectivité spatiale des matériaux à haute teneur; iii) une valeur économique sensiblement plus importante que celle des approches existantes, puisque les nouvelles technologies intelligentes permettent de gérer directement le risque. Ces éléments ont une incidence sur l'entreprise et, indirectement, sur les actionnaires.

SÉANCE 7

Expositions aux émanations de moteurs diesel dans les mines souterraines

Maximilien Debia, Caroline Couture (Université de Montréal), Pierre-Éric Njanga (ÉTS), Eve Neesham-Grenon (Université de Montréal), Hugo Coulombe (IAMGOLD), François Couture, Guillaume Lachapelle (Mines Agnico Eagle) et Stéphane Hallé (ÉTS)

L'exposition aux émanations de moteurs diesel (EMD) est une préoccupation majeure pour le secteur minier, et tout particulièrement pour les mines souterraines étant donné la présence de véhicules lourds à moteur diesel dans ces lieux confinés. Les EMD constituent un mélange complexe de contaminants. Ils ont été associés à des maladies cardio-pulmonaires et classés cancérigènes pour l'humain par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) en 2012. Le gouvernement du Québec a récemment modifié son règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines afin que l'exposition professionnelle des mineurs soit limitée à moins de 400 µg/m³ de carbone total, tel que mesuré selon la méthode 5040 du National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Le projet de recherche en cours vise à dresser le portrait le plus exhaustif possible de l'exposition professionnelle aux EMD dans le milieu des mines souterraines, pour déterminer conséquemment les conditions favorables à la maîtrise de cette exposition et préciser des stratégies de contrôle appropriées.

Des résultats préliminaires issus d'une première série d'investigations conduites dans une mine d'or souterraine dans la province de Québec seront présentés. Des concentrations moyennes en poste fixe (mesures stationnaires) de 390 µg/m³ en carbone total, de 320 µg/m³ en carbone élémentaire et de 200 µg/m³ en poussières combustibles respirables ont été obtenues. Dans la zone respiratoire des travailleurs (mesures personnelles), les concentrations mesurées sont de 320 µg/m³ en carbone total, de 190 µg/m³ en carbone élémentaire et de 360 µg/m³ en poussières combustibles respirables. Les expositions les plus élevées ont été détectées pour les mineurs conventionnels, les opérateurs de chargeuse navette et les opérateurs de foreuse jumbo. Le ratio moyen carbone total/carbone élémentaire était de 1,3 pour les mesures stationnaires et de 1,9 pour les mesures personnelles. La variabilité observée pour le ratio carbone total/carbone élémentaire (jusqu'à 5,8) est signe qu'il y a des interférences avec du carbone organique non associé aux émanations de moteur diesel (par exemple, le brouillard d'huile). En se basant uniquement sur la mesure de carbone total, ces interférences peuvent biaiser l'analyse du risque associé à cette exposition.

SÉANCE 7

Développement d'un vêtement de refroidissement individuel adapté au travail en mines profondes : évaluation des technologies existantes

Stéphane Hallé, Sylvie Nadeau, Ludwig Vinches, Chady Al-Sayed, Valérie Tuyêt Mai Ngô (ÉTS)

L'exploitation minière à des niveaux souterrains allant au-delà de 2 km entraîne des conditions environnementales extrêmes. La température de l'air est généralement comprise entre 30 et 40 °C, à laquelle s'ajoute une humidité relative supérieure à 70 %. Ces conditions représentent à la fois un frein à la productivité et un danger pour la santé des mineurs et peuvent conduire à des accidents du travail. Le maintien de conditions de confort thermique acceptables dans les mines profondes basé uniquement sur la ventilation générale implique des coûts d'investissement et d'exploitation prohibitifs. Par conséquent, l'élaboration d'autres méthodes de refroidissement est nécessaire et prioritaire pour le développement du secteur minier québécois.

Une revue critique de la littérature, de même qu'une étude de terrain menée sous la forme de mesures des conditions environnementales, d'entrevues semi-dirigées et d'observations auprès de 20 mineurs, a permis d'étudier les contraintes et les exigences du travail en mines profondes. L'étude a également permis d'établir les critères ergonomiques de conception d'un équipement de refroidissement individuel ainsi que la réceptivité des mineurs à porter un tel équipement. Par la revue critique de la littérature, les différentes technologies de refroidissement individuelles actuellement disponibles ont été également étudiées.

Unanimement, les mineurs souhaitent une solution de refroidissement. Lors de la conception d'un tel vêtement, la compatibilité de celui-ci avec les équipements de protection individuels actuellement utilisés, l'autonomie du système de refroidissement, son poids et son efficacité ne sont que quelques facteurs importants à considérer et à évaluer. Les technologies de refroidissement existantes incluent l'utilisation de matériaux à changements de phase, le soufflage d'air à travers un vêtement et le refroidissement par liquide caloporteur ou par modules thermoélectriques. Aucune technologie de refroidissement actuellement sur le marché n'est parfaitement compatible avec les conditions qui règnent dans les mines profondes. Cependant, la combinaison de deux ou plusieurs technologies dans un système hybride unique pourrait être la solution à un vêtement de refroidissement optimisé pour les mines profondes. Les résultats de recherche permettent d'évaluer l'efficacité et l'efficacité de vêtements de refroidissement individuels adaptés aux mines profondes.

SÉANCE 7

Développement d'un analyseur portatif pour l'or par spectroscopie laser plasma

Marcel Laflamme, Marc Constantin, Kheireddine Rifai, Maryline Castello, Blandine Nguengang Kamwa (UL), François Vidal (INRS – Énergie, Matériaux, Télécommunications), Mohamad Sabsabi, Alain Blouin et Paul Bouchard (CNRC)

Jour après jour, de nombreux échantillons de roches sont prélevés dans les mines d'or pour analyse en laboratoire afin de déterminer les teneurs de la minéralisation. Les délais pour l'obtention des résultats des analyses sont généralement de 48 heures ou plus. De tels délais forcent les exploitants miniers à prendre des décisions opérationnelles avant de connaître les résultats des analyses ou de retarder l'avancement des travaux. Dans les deux cas, les décisions prises peuvent entraîner des coûts importants pour la mine. La mesure en temps réel de la teneur en or dans la roche permettrait de résoudre cette problématique. Une telle approche pourrait être rendue possible grâce à une technologie émergente, soit la spectroscopie laser plasma (SLP), laquelle permettrait de fournir une analyse des teneurs en or *in situ* et en temps réel. Les principes de la technologie SLP, les stratégies actuelles d'échantillonnage dans les mines en activité (front de taille, godets, copeaux de forage et autres) ainsi que certains résultats préliminaires obtenus en laboratoire seront passés en revue. Le tout mènera à la présentation des bases d'une stratégie d'échantillonnage fiable adaptée à la SLP en milieu minier et pour différents types et teneurs de minéralisation aurifère.

SÉANCE 8

Automatisation, exploitation à distance et intégration : le secteur minier entre dans l'ère de la numérisation

Michel Serres (ABB Canada)

Nous assistons aujourd'hui à une transformation de l'industrie minière, conséquence du développement des applications de caractérisation, de modélisation et de planification, y compris les logiciels de maintenance et de gestion financière, et du développement des réseaux de communication sans fil. Le concept de la mine numérique ouvrira la voie à de nouvelles orientations. Quelle place occupe l'industrie minière au chapitre des percées technologiques et de son intégration?

La notion d'automatisation disparaît au profit du développement de plateformes intégrant diverses suites logicielles et la notion d'information en temps réel demeure une réalité. Comment tirer parti de ces informations en ce qui concerne l'intégration, l'amélioration et la sécurité pour l'ensemble des acteurs au sein d'un site minier? ABB dévoilera aujourd'hui ses solutions, sa vision de la numérisation de l'industrie minière et les répercussions qui en découleront au plan culturel et en matière de formation.

SÉANCE 8

L'automatisation d'un site minier : innovations et transformation de la nature du travail

Luc St-Arnaud (Goldcorp, Éléonore)

L'innovation, une des valeurs fondamentales de Goldcorp, s'illustre par les nombreux choix technologiques faits lors de la planification et de la mise en service de la mine Éléonore. Les bénéfices remarquables aux plans de la sécurité, de la productivité, de la réduction des risques et des coûts améliorent la durabilité globale de l'entreprise. L'engagement des travailleurs et des cadres de tous les niveaux est essentiel et est facilité par la formation et leur implication à chacune des étapes.

SÉANCE 8

Des solutions simples, pratiques et économiques pour répondre aux réalités de l'industrie minière

Yolaine Lavoie (Meglab)

L'équipe de Meglab travaille en collaboration avec ses clients pour développer des solutions novatrices et adaptées aux réalités de leurs activités telles que le positionnement du personnel et des équipements, l'automatisation de la ventilation, le contrôle à distance et l'automatisation de la cage. Le travail d'équipe jumelé à un ensemble d'expertises complémentaires permet aux ingénieurs, aux techniciens et aux opérateurs de développer ensemble de nouvelles idées ou encore d'adapter des technologies aux applications minières afin d'optimiser les systèmes de production.

SÉANCE 8

Comment augmenter la valeur ajoutée des heures de formation dispensées à son personnel pour une grande entreprise minière?

Pierre Guimont et Patrick Roy (Mines Agnico Eagle)

Dans une entreprise minière, les besoins de formation sont multiples. De l'accueil des nouveaux employés à la formation technique sur les équipements et procédés, en passant par les besoins de développement des gestionnaires, toutes les heures de formation sont importantes. Afin d'accroître la valeur ajoutée des heures de formation, les sociétés minières doivent introduire de nouvelles stratégies de formation qui font une plus grande place à la réalité virtuelle. C'est le cas d'Agnico Eagle qui fait usage de stratégies technologiques telles que la formation en ligne et par simulateur afin de faciliter l'intégration de sa main-d'œuvre et d'optimiser les heures de formation offertes à ses employés.

SÉANCE 8

Le transfert de connaissances entre le Cégep de Sept-Îles et le secteur minier dans le contexte d'implantation de l'Industrie 4.0 : impact sur les techniciens miniers, les superviseurs et les gestionnaires

Luc Faucher (Cégep de Sept-Îles)

Depuis 2013, l'ITMI (Institut technologique de maintenance industrielle) consacre une importante partie de son volet recherche à l'Industrie 4.0. Les projets, tous menés en collaboration avec les entreprises, permettent aux superviseurs et aux gestionnaires d'avoir un portrait détaillé des lignes de production. En obtenant les informations en temps réel grâce à des outils personnalisés de gestion ou via l'émission d'alertes courriel, il devient plus facile d'intervenir rapidement pour corriger les défaillances. Également, les projets de recherche ont une incidence dans la formation puisque l'ITMI, un centre collégial de transfert de technologie (CCTT), mise sur la participation des professeurs et des étudiants dans les projets, assurant ainsi un transfert de connaissance optimal pour former les futures générations de techniciens.

SÉANCE 8

L'industrie minière du futur : aller au-delà de l'imagination

Jean Vavrek (ICM)

Les exemples d'une industrie ou d'une région dont le leadership et le potentiel sont confrontés à des forces disruptives, et même à l'extinction, sont nombreux. La possibilité de transformer un secteur, de maintenir son statut ou de devenir un leader incontournable est envisageable, mais beaucoup moins évidente. Quel est le contexte de notre secteur? Quel est l'impact et où se situent les possibilités offertes par l'automatisation avec un grand A? Comment saisir cette chance unique de différenciation et de leadership?

SÉANCE 8

Mines du futur et Industrie 4.0 : impacts sur la formation

Robert Marquis (INMQ)

Les impacts de l'Industrie 4.0 se font de plus en plus sentir dans plusieurs secteurs d'activité, le secteur minier n'y échappant pas. Les nouvelles technologies, la robotisation, l'Internet des objets, les métadonnées et l'analytique transformeront assurément la nature du travail dans les mines, les besoins de main-d'œuvre et les compétences recherchées par les entreprises minières. Cette présentation dressera un portrait des changements qui ont cours à l'échelle mondiale et qui ont un impact sur les compétences recherchées en ce début de 21^e siècle. Elle proposera des pistes de réflexion liées aux besoins anticipés de formation pour combler les emplois du futur qui, pour la plupart, n'existent pas encore.

SÉANCE 9

Assimilation quantitative des données géophysiques pour la mise à jour du modèle de teneur

Erwan Gloaguen, Lorenzo Perozzi, Antoine Côté, Nathalie Schnitzler, Abderrezak Bouchedda, Shiva Tirdad, Bernard Giroux et Pierre-Simon Ross (INRS – Eau Terre Environnement)

La quantité de mesures directes et indirectes des teneurs de minerais économiques sont de plus en plus importantes. Comme le prouve le Défi Gold Rush d'Integra Gold, il y a une volonté de la communauté à se tourner vers de nouvelles technologies permettant de traiter de manière optimale cet afflux de données dans le but d'améliorer la précision des modèles de teneur et de mieux planifier les cibles de forage. C'est dans cette perspective que la Chaire de recherche du Canada en assimilation de données géophysiques et géologiques pour la modélisation stochastique géologique a été fondée en 2013. Durant cette présentation, nos développements méthodologiques appliqués à des cas réels seront exposés. Le premier présente nos résultats de prédiction de la teneur en nickel à Voisey's Bay (Terre-Neuve-et-Labrador), contraint par des données diagraphiques et sismiques entre forages. Le deuxième projet démontre la possibilité d'utiliser les données de résistivité électrique de surface et en forage afin de mieux caractériser les lentilles minéralisées du gisement de Lalor (Manitoba). Enfin, les derniers travaux présentés concerneront le traitement par machine d'apprentissage de données chimiques et physiques en forage pour prédire les teneurs ainsi que l'altération pour deux gisements de SMV situés au Manitoba et au Québec.

SÉANCE 9

Résultats d'une démarche « out of the black box » : l'indice Daniel

Michel Allard, Normand Dupras, Pascal Lessard, Robert Namour et Robert Boucher (Glencore Canada)

En 2015, le groupe d'exploration de Glencore Matagami a mis à jour un nouvel amas de sulfures volcanogènes enrichi en zinc et en cuivre dans le canton de Daniel. Selon la carte géologique du MERQ (Pilote *et al.*, 2011), ce dépôt se trouve dans le domaine nord du camp de Matagami, au nord la grande Faille Allard. Les unités encaissantes du dépôt font partie du Groupe d'Enjarlan-Bapst, un assemblage de roches archéennes composées de volcanites de signature calco-alkaline. Cet environnement géologique est totalement distinct de celui encaissant les autres dépôts de Matagami. De plus, comme tout le secteur est recouvert d'une épaisse couche de sédiments glaciaires, l'équipe d'exploration n'aurait pu parvenir à cette découverte sans miser sur une approche adaptée et innovatrice.

La démarche débute en 1999, lorsque Noranda teste une série de systèmes électromagnétiques aériens sur le dépôt Caber. La conclusion de ces essais est que le MEGATEM, fonctionnant à une fréquence de 90 Hz, est le système le plus performant dans l'environnement de Matagami. À la suite du nouveau levé aérien sur l'ensemble du camp, un groupe d'anomalies MEGATEM faibles et diffuses sont détectées dans le canton de Daniel. Le suivi au sol d'une de ces anomalies avec un levé classique FL-TDEM a précisé la géométrie du conducteur profond. Un sondage réalisé en 2001 sur cette anomalie confirme cette interprétation, en recoupant une mince bande de sulfures de près d'un mètre contenant 1 % de cuivre dans des tufs felsiques cisailés, à une profondeur de 200 m, et sous plus de 100 m de mort-terrain.

En 2012, une campagne d'échantillonnage du socle et du till par forage sonique est entreprise. Au total, 41 forages espacés de 1 à 1,5 km ont été réalisés entre le 24 février et le 28 mars. Deux très fortes anomalies de till, une en cuivre et une en zinc, furent obtenues près de l'indice Daniel, rehaussant dès lors le potentiel du secteur.

En 2015 un levé SQUID décéla une surprenante anomalie pour laquelle le sommet de la source fut « interprété à une profondeur de 400 m ». Le forage DAN-15-25 qui suivit recoupa une zone de 7,60 m à 4,72 % Zn et 0,67 % Cu dans des sulfures massifs à semi-massifs à plus de 500 m sous la surface.

Cette nouvelle découverte a été possible grâce à une relecture de la géologie régionale et à une suite de levés géochimiques et géophysiques non conventionnels au secteur de Matagami.

Référence

PILOTE, P. – DEBREIL, J.-A. – WILLIAMSON, K. – RABEAU, O. – LACOSTE, P., 2011 – Révision géologique de la région de Matagami. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; Résumé des conférences et des photoprésentations, Québec Exploration 2011, DV 2011-03, page 13.

SÉANCE 9

Outils de géophysique permettant de définir en temps réel la position et l'estimation de la nature du minerai dans les trous de production et galeries de développement des mines de métaux de base

Pierre Gaucher (Instrumentation GDD), Frédéric Gaucher (VALE Technology Development), Circé Malo Lalande et Estelle Dion (Instrumentation GDD)

Un des grands défis associés à l'exploitation minière de gisements souterrains consiste à creuser les galeries de façon à suivre la veine ou la lentille de minerai et ainsi éviter la dilution, c.-à-d. laisser le plus de stériles en place. Il n'est pas toujours évident de « suivre » le minerai, car les forages à percussion dans lesquels sont insérés les explosifs ne permettent pas de récupérer une carotte de roche comme c'est le cas en exploration, d'où l'impossibilité de déterminer la teneur. La sonde SSW permet de définir en 3D et en temps réel la position du minerai et d'adapter le plan d'exploitation en fonction des limites réelles du minerai.

Le système SSW a été développé par Instrumentation GDD en 2000. Cette sonde géophysique s'insère dans les trous de production et permet de mesurer en temps réel et simultanément la signature magnétique et électromagnétique de la roche avoisinante. L'équipe d'exploitation peut donc valider la présence ou non de minerai associé à des sulfures massifs, optimiser son dynamitage et augmenter jusqu'à 10 % la teneur du minerai à l'usine, selon le cas. Le système SSW fait partie intégrale des opérations minières de plusieurs mines canadiennes et internationales. Parmi celles-ci, on retrouve les mines Nickel Rim South, Fraser et Raglan (Glencore).

À l'époque, la sonde SSW ne pouvait être utilisée que dans les trous de production. Cette année, Instrumentation GDD a développé une sonde plus étroite pouvant être insérée dans les trous de type Jumbo. Cette sonde permet, entre autres, d'indiquer la direction en temps réel pour retrouver une veine rapidement à peu de frais, lorsque les travaux de développement ont perdu la trace de cette dernière. La sonde SSW-Jumbo a été testée au cours de l'été à la mine Coleman (VALE) afin de détecter la présence de conducteurs électromagnétiques à proximité d'une galerie en développement (niveau 5850). Le levé a permis de définir plusieurs conducteurs de part et d'autre de la galerie qui sont associés à des veines riches en EGP.

SÉANCE 9

Nouvelles méthodes interférométriques de surveillance sismique dans les mines

Philippe Dales, Pascal Audet (Université d'Ottawa) et Gerrit Olivier (Institute of Mine Seismology, Hobart, Tasmanie)

Bien que la sismologie des tremblements de terre ait mené à plusieurs avancées dans la détection et la localisation de sources impulsives, très peu de travail a été consacré aux autres types de sources persistantes. Dans les environnements miniers, ces sources persistantes dominent typiquement le bruit de fond du champ d'ondes et créent des difficultés quand vient le temps d'appliquer des techniques de surveillance sismique sensibles, comme la détection et la localisation automatique des tremblements de terre ainsi que la corrélation croisée du bruit ambiant en imagerie sismique intermittente. Nous avons adapté une méthode de localisation acoustique populaire, connue sous l'acronyme SRP-PHAT (*Steered Response Power with Phase Transform*), afin de détecter et de localiser différents types de sources sismiques. Cette méthode, qui utilise une approche par formation de faisceau, se sert de fonctions de corrélation croisée dans le cadre d'une recherche basée sur la probabilité maximale pour localiser les sources d'énergie sismique. Nous démontrerons l'efficacité de cette technique en détectant et en localisant des sources impulsives (événements microsismiques) et d'autres sources persistantes (comme les foreuses ou les concasseurs de minerai) dans plusieurs environnements de mines souterraines en activité. Nous montrerons ensuite les différentes façons dont ces renseignements peuvent être utilisés pour surveiller l'état des contraintes dans le massif rocheux et ultimement guider les opérations minières.

SÉANCE 9

Évaluation de la vitesse des ondes de cisaillement pour études géotechniques : réduction de l'incertitude

Gabriel Fabien-Ouellet (INRS – Eau Terre Environnement et Thermoroc)

La vitesse de propagation des ondes de cisaillement (V_s) dans les sols est une propriété intéressante lors des études géotechniques. Étant donné son lien direct avec le module d'élasticité des matériaux G_{max} , la mesure de V_s est utilisée dans plusieurs applications : étude de potentiel de liquéfaction des sols, évaluation de l'état de compaction, profilage du roc, étude de l'amplification sismique lors de tremblement de terre et bien d'autres. L'intérêt principal de la vitesse de cisaillement est qu'elle peut être mesurée de façon continue en profondeur sur une grande surface à l'aide de méthodes sismiques non intrusives. Plusieurs méthodes existent aujourd'hui : analyse des ondes de surface (MASW), sismique réfraction des ondes SH, sismique réflexion des ondes SV ou SH. Chacune de ces méthodes prises séparément comporte de nombreuses incertitudes et limites. Dans cette présentation, nous montrons comment combiner l'ensemble de ces méthodes afin de réduire l'incertitude et d'obtenir une estimation plus fiable de V_s . En effet, l'acquisition des données sismiques pour les levés MASW, de sismique réfraction et de sismique réflexion est très similaire. Il est ainsi possible lors de la prise de mesures d'acquérir des données afin de procéder au traitement conjoint des ondes de surface (MASW), des réfractions et des réflexions. Un traitement conjoint permet de tirer avantage de chacune des méthodes : les ondes de surface offrent une mesure très précise des couches superficielles, les réflexions permettent de bien déterminer la profondeur des interfaces et les réfractions de mieux estimer la vitesse au roc. Puisque chacune de ces méthodes apporte une information redondante, l'incertitude sur l'estimation de V_s est grandement réduite. Nous présenterons cette méthodologie par deux études de cas. Le premier cas montre son application pour l'estimation du profil des ondes V_s en profondeur lors d'une étude de l'amplification sismique des sols. Pour ce levé, comme chaque type d'onde donne une information complémentaire, il fut possible d'obtenir une estimation beaucoup plus précise de la vitesse moyenne des ondes de cisaillement sur 30 mètres requise par le Code national du bâtiment. La deuxième étude établit comment les réflexions et réfractions SH peuvent être combinées pour détecter des ondes de fracture dans le roc. En somme, ces exemples illustrent qu'un traitement combiné permet d'appliquer les méthodes sismiques de façon rigoureuse dans un plus grand nombre de contextes, et ce, avec une meilleure précision.

SÉANCE 9

Le projet Métaux terrestres

Phil Thurston, Harold. L. Gibson, Bruno Lafrance et John Ayer (Université Laurentienne)

Un obstacle majeur au succès de l'exploration minérale est la détection de régions de petite taille présentant un enrichissement majeur en métaux dans de plus vastes régions géologiquement semblables, mais moins enrichies. Les modèles actuels n'offrent pas les moyens de distinguer ces régions enrichies en métaux, car l'enrichissement est en fonction des différences d'évolution et de l'interaction des grands éléments tectoniques comme les structures dans la croûte profonde, les trajectoires des fluides (aussi bien magmatiques que thermiques) ainsi que les liens et interactions avec le manteau. Les recherches du projet Métaux terrestres seront à l'échelle des systèmes minéralisés dans lesquels les métaux sont issus, mobilisés, transportés, concentrés et préservés. Les systèmes minéralisés, et pour la première fois les équivalents moins dotés, seront « imagés » à l'échelle de la croûte terrestre et du manteau afin d'identifier les caractéristiques géologiques, géochimiques et géophysiques les plus importantes ainsi que les processus responsables de l'enrichissement en métaux.

SÉANCE 10

L'avenir énergétique dans l'industrie minière

Martin Imbleau (Gaz Métro)

La production minière, au Québec et dans le monde, fait face à plusieurs défis, comme demeurer compétitive et obtenir l'acceptabilité sociale nécessaire à la poursuite de ses activités. Au moment où l'on tente de redéfinir l'énergie dans les contextes actuels de la géopolitique mondiale et celui de la transition énergétique, le choix de la source d'énergie constitue un facteur déterminant pour assurer la viabilité des sociétés minières.

En Amérique du Nord, le gaz naturel sous sa forme liquéfiée connaît une popularité croissante auprès des sociétés minières. Actuellement l'une des sources d'énergie les plus économiques, le gaz naturel offre des avantages considérables pour cette industrie. En outre, de nouvelles possibilités énergétiques se dessinent, notamment en couplant une source renouvelable, telle que l'énergie éolienne, avec du gaz naturel.

À travers différentes études de cas, votre conférencier, Martin Imbleau, vous présentera sa vision de l'énergie dans l'industrie minière.

SÉANCE 10

Les systèmes de gestion de l'énergie : un outil pour la compétitivité des mines

Patrice Martineau (Hydro-Québec)

Plusieurs mines bénéficient des pratiques d'amélioration continue de la performance énergétique soutenues par la norme ISO 50 001 pour améliorer leur position concurrentielle.

Cette conférence exposera les facteurs clés de succès et les étapes permettant de capter les potentiels d'amélioration visant à éliminer le gaspillage de l'énergie et à en optimiser l'usage de façon systématique.

L'offre d'Hydro-Québec en appui financier et en accompagnement technique visant la mise en œuvre ou l'amélioration des systèmes de gestion de l'énergie sera également présentée.

SÉANCE 10

L'éclairage à DEL : comment obtenir le meilleur d'une offre en évolution

Patrice Martineau (Hydro-Québec)

La technologie de l'éclairage à DEL évolue rapidement : technologie émergente au début des années 2000, son adoption s'est accélérée en 2010 pour devenir un marché mondial de plus de 20 milliards de dollars en 2016.

Même si l'offre, la performance et la qualité des produits ont évolué, il demeure complexe de réaliser des projets d'éclairage à DEL en ayant l'assurance de répondre aux exigences et aux besoins des différents intervenants dans l'entreprise.

Afin de réduire cette complexité, Hydro-Québec s'est allié au Design Lights Consortium (DLC), un organisme sans but lucratif qui intervient dans le marché, notamment en établissant des critères de performance de la technologie DEL.

Cette présentation vous permettra de mieux comprendre les critères de performance les plus importants à prendre en compte au moment de choisir un équipement d'éclairage et de découvrir les outils offerts afin d'opter pour les produits les mieux adaptés à vos besoins. Une attention particulière sera portée aux critères et aux produits relatifs au secteur minier.

Les appuis financiers offerts par Hydro-Québec pour les projets d'éclairage efficace et les principales exigences de ses programmes seront également présentés.

SÉANCE 10

Efficacité énergétique en fragmentation

Ivan Mullany (Hatch)

Stratégies d'efficacité énergétique : Quelle est la meilleure combinaison pour votre projet?

La situation économique de plusieurs sociétés dans l'industrie minière se dégrade en raison des teneurs des minerais de plus en plus basses, des coûts croissants et des prix des métaux en baisse. En parallèle, les attentes des communautés et des gouvernements sont de plus en plus élevées en ce qui a trait à la responsabilité environnementale et sociale des exploitants miniers. Les investisseurs quant à eux sont à la recherche de croissance soutenue de la valeur de leurs actifs et des dividendes qu'ils rapportent. Lors du traitement de minerais à basse teneur, il est estimé que le concassage et le broyage du minerai requis pour libérer les minéraux désirés accaparent au moins 50 % de l'énergie et des coûts engagés sur le site. Globalement, cela représenterait environ 3 % de la consommation d'électricité mondiale. Le simple fait d'accroître la productivité énergétique d'un site minier permet de générer de la valeur pour les actionnaires.

En 2014, la coalition CEEC (*Coalition for Energy Efficient Comminution*) a soutenu le développement de courbes de consommation d'énergie en fragmentation afin de promouvoir l'amélioration des procédés. La base de données qui sous-tend les courbes a plus que triplé dans la dernière année et représente maintenant plus de 1 800 Mt/an de matériel rocheux. Le fait de présenter les données sous la forme de courbes de consommation d'énergie permet aux exploitations de mesurer leur rendement opérationnel de base et de cartographier les améliorations potentielles utilisant des stratégies comme le sautage plus judicieux, le classement, l'augmentation du concassage, la sélection d'équipements alternatifs et l'optimisation du schéma de traitement. Plusieurs solutions techniques peuvent être appliquées, comme l'ingénierie des teneurs, l'optimisation de la fragmentation, l'efficacité de la classification, les circuits innovateurs et les nouveaux équipements. Les courbes de consommation d'énergie du CEEC tentent de quantifier ces améliorations, de classer les opportunités et de créer un incitatif au changement. Le résultat net est une productivité énergétique améliorée, ainsi qu'une augmentation du bénéfice et de la valeur pour les actionnaires. Des études de cas seront présentées pour refléter les gains de productivité possibles à la suite de l'application de meilleures pratiques.

SÉANCE 10

Valeur de l'autoproduction dans le marché énergétique du Québec

Benoît Pepin (Rio Tinto)

La présentation explorera le marché de l'énergie du Québec ainsi que les possibilités d'approvisionnement. Quels sont les orientations de la Politique énergétique 2030 du gouvernement du Québec et les moyens d'action retenus par ce dernier ayant le plus d'incidence sur la grande industrie? Quelle est la vision actuelle de l'autoproduction? Qu'est-ce qu'Hydro-Québec entrevoit pour la prochaine décennie? D'où viendront nos approvisionnements additionnels en électricité?

SÉANCE 10

Le projet diamantifère Renard : utilisation du gaz naturel liquéfié pour la production d'électricité, une approche innovante. La seule mine au Canada alimentée au gaz naturel liquéfié

Yves Perron (Les Diamants Stornoway)

La mine Renard de Stornoway, la première mine de diamant du Québec, se situe au cœur de la région de la Baie-James, à 350 km au nord de la communauté de Chibougamau. Cette mine est la seule exploitation minière au Canada fonctionnant avec une centrale énergétique alimentée au gaz naturel liquéfié (« GNL »). La présentation fera le point sur les infrastructures énergétiques mises en place à la mine Renard de même que sur la logistique entourant l'approvisionnement en gaz naturel liquéfié. Les nombreux avantages liés à l'utilisation de ce type d'énergie comme solution de remplacement seront présentés, en particulier les bénéfices en matière de coûts d'exploitation et d'émissions dans l'environnement par rapport à l'option d'une centrale au diesel.

SÉANCE 11

Les signataires de l'accord Raglan 20 ans plus tard

Amélie Rouleau (Mine Raglan) et Jean-Marc Séguin (Société Makivik)

Récit des expériences du passé et vision de l'avenir après 20 ans d'exploitation dans le cadre de l'accord Raglan, la première entente sur les répercussions et les avantages (ERA) au Canada. Ratifié en 1995, l'accord Raglan a été révisé en vue des 25 prochaines années, en consultant les partenaires d'affaires, les communautés inuites de Salluit et de Kangiqsujuaq et la Société Makivik; plusieurs des leçons apprises et des possibilités relevées seront présentées. L'objectif consiste à établir une vision commune en vue de développer des compétences de travail, de respecter de l'environnement, de faire croître des entreprises locales et de partager de la richesse. Un vidéo de trois minutes sera présenté afin de démontrer concrètement l'acceptabilité sociale et le caractère responsable des activités de la mine Raglan.

SÉANCE 11

La mise en œuvre de l'Entente Troïlus, une expérience positive

Andy Baribeau (Gouvernement de la Nation Crie) et François Biron (consultant indépendant)

Le gisement cupro-aurifère Troïlus a été découvert en 1987 par la compagnie Kerr Addison à la suite de trois années de travaux de prospection. Localisé à environ 125 km au nord de la ville de Chibougamau (Québec), le gisement Troïlus a été exploité de janvier 1997 à juin 2010 par la Corporation minière Inmet. Les travaux de fermeture et de réhabilitation ont débuté en 2008, deux ans avant la fermeture. Ils sont toujours en cours et se poursuivront encore quelques années. Le projet minier a fait l'objet d'une entente sur les répercussions et les avantages (Entente Troïlus) qui a été signée en 1996 avec la communauté crie de Mistissini. L'entente favorisait la formation, le respect de l'environnement, l'emploi de personnel et l'embauche d'entrepreneurs autochtones locaux.

La mise en œuvre de l'entente a permis une exploitation et une fermeture harmonieuse et respectueuse du site minier. Les deux parties ont grandement bénéficié du travail d'équipe. L'exploitation de Troïlus a permis à Inmet et à ses employés d'exploiter une mine pendant une période de 14 ans dans un contexte de développement durable avec une communauté crie.

Le succès de l'entente repose sur la confiance mutuelle entre les parties qui s'est établie au début des activités d'exploitation. Le comité de mise en œuvre, créé pour la gestion de l'entente, a joué un rôle très important pour gérer les conflits et trouver des solutions à tous les problèmes d'application.

La formation de tous les employés, y compris les employés cris, a été déterminante dans la culture de l'entreprise. Les employés ont appris à connaître et à apprécier une autre culture et ainsi travailler en harmonie tous ensemble.

Pour la communauté de Mistissini, les résultats de l'entente furent très positifs. Plus de 225 Cries de Mistissini ont été formés et engagés dans divers postes au sein des opérations de la mine. La participation des représentants cris au comité de mise en œuvre a grandement contribué au succès de tous les aspects de l'entente. Les membres de la communauté ont profité d'un emploi stable pendant plusieurs années et ils sont fiers d'avoir accompli quelque chose pour leur famille. En plus de gagner un salaire respectable, les membres de la communauté ont acquis plusieurs compétences diverses qu'ils peuvent utiliser aujourd'hui non seulement dans d'autres sites miniers, mais également dans leur communauté.

Les retombées économiques non négligeables pour la communauté ont permis de développer des entrepreneurs qui ont rendu des services à la mine Troïlus et à l'extérieur de la communauté de Mistissini.

La cohabitation avec la culture crie a été bénéfique à l'ensemble des travailleurs de Troïlus. Les Cries ont mis de l'avant les aspects de communication, de dialogue et de partage avec les autres employés. Des activités culturelles cries ont été organisées au site de la mine pour familiariser les non autochtones aux traditions et aux spécialités culinaires cries. Ceci a permis d'établir un climat de respect et d'estime mutuels dans le travail de tous les jours pour les équipes de production.

Le rôle du Conseil de bande de Mistissini a été primordial pour maintenir les bonnes relations au sein du comité de mise en œuvre en appuyant les travaux du comité et ses recommandations.

SÉANCE 11

D'un taux de chômage de 98 % à 0 %

Jerry Asp (C3 Alliance Corp.)

Lorsque j'ai mis sur pied la Tahltan Nation Development Corporation (TNDC) en 1985, le taux de chômage dans nos réserves était de 98 % en hiver et de 65 % en été.

Quatre-vingts pour cent de nos membres vivaient de l'aide sociale. Nous avons de sérieux problèmes de consommation d'alcool et de drogues, le taux de suicide était élevé et le niveau d'éducation très bas.

En 2006, la nation tahltane jouissait d'un taux d'emploi de 100 % en été et de 95 % en hiver.

Notre taux de suicide était tombé à zéro et nous avons mis en place des programmes d'aide et de prévention pour l'alcool et les drogues... non seulement dans les communautés, mais aussi dans les milieux de travail.

Les seules personnes bénéficiant de l'aide sociale étaient les mères monoparentales, les personnes handicapées et les Anciens. Et nous avons dû remettre 65 000 \$ de notre budget de bien-être social au ministère des Affaires indiennes pour les exercices financiers 2004/2005 et 2005/2006.

Nous avons vu graduer 21 compagnons charpentiers, 6 soudeurs, 3 mécaniciens d'équipement lourd, des douzaines de camionneurs et de conducteurs de machinerie lourde avec des permis de classe 1, 3 chefs cuisiniers, du personnel de cuisine, différentes catégories d'employés de bureau, allant jusqu'aux chefs de bureau et aux gestionnaires de camp. Et le nombre de diplômés de l'école secondaire ne cesse d'augmenter.

Comment avons-nous réussi?

Vision – Passer d'un taux de chômage de 98 % à une situation de plein emploi

Stratégie – Chercher les réponses hors de la réserve; travailler avec les promoteurs intéressés au développement des ressources

Véhicule – Un véhicule pour transformer la vision en réalité

Avant d'entreprendre des négociations sur quelque projet que ce soit, les Tahltans ont d'abord rédigé la Politique tahltane de développement des ressources, qui se décline en huit éléments et qui est entrée en vigueur le 7 avril 1987.

Avant qu'un projet de développement de ressources puisse démarrer sur le territoire de la bande tahltane, le promoteur du projet et le conseil de bande tahltan doivent conclure une entente de participation au projet qui englobe ses huit principes directeurs.

Si l'entente tient compte des huit éléments de la politique, alors nous croyons que les Tahltans, les promoteurs et tous les autres Canadiens bénéficieront de retombées équitables pour chaque projet de développement des ressources qui va de l'avant et que les activités se dérouleront de façon harmonieuse au sein du territoire traditionnel de la bande tahltane.

TNDC aujourd'hui

- ▶ Exercice financier 2014/2015 : 23,7 millions de dollars en revenus
- ▶ 13,4 millions de dollars versés en salaires
- ▶ 75 % des employés sont des Tahltans
- ▶ 90 % de tous les employés sont des membres des Premières nations

8 divisions et 27 coentreprises

- ▶ Aviation
- ▶ Construction et lignes électriques
- ▶ Communications et technologies de l'information
- ▶ Environnement
- ▶ Services de camp et exploration
- ▶ Transport et carburant
- ▶ Forage et dynamitage
- ▶ Ingénierie

SÉANCE 12

Des Appalaches au Pontiac : les mines métalliques du Sud du Québec

Michel Gauthier (UQAM et Gardin)

L'exploitation de mines métalliques débute dès le XVIII^e siècle avec le fer des marais de la Mauricie et le fer titané de Charlevoix. Au début du XIX^e, c'est l'or dans la Beauce, puis le cuivre dans la plaine du Saint-Laurent et les Appalaches qui prennent le relais. En 1850, la plus importante mine de cuivre de l'Empire britannique se trouve à Acton Vale. Dans les Appalaches la pyrite démarre, puis la chromite. On y entreprend l'exploitation du nickel qui migre vers Sudbury. En Outaouais, c'est d'abord le fer. À la fin du XIX^e, on y amorce l'exploitation de nickel magmatique et d'amas sulfurés volcanogènes. En 14-18, la plus grosse mine de molybdène de la planète se trouve à Quyon. Les années 1950 marquent l'apogée des mines métalliques du Sud du Québec. À Sherbrooke, il y a plusieurs exploitations de Cu-Zn-Pb-Ag-Au. À Oka, on découvre un nouveau minerai de niobium, le pyrochlore, dont le procédé d'extraction sera une première mondiale. L'exploitation d'amas sulfurés polymétalliques se poursuivra jusqu'en 1968 sur l'île du Grand-Calumet, dans le Pontiac, et jusqu'en 1975 à Stratford dans les Appalaches. Le potentiel de ce riche territoire est loin d'être épuisé et l'exploration s'y poursuit en harmonie avec les populations locales.

SÉANCE 12

Le camp minier de Matagami : 60 ans de succès

Michel Allard, Normand Dupras, Pascal Lessard, Robert Namour et Robert Boucher (Glencore Canada)

En 1956, le Mattagami Lake Syndicate survole la région pour réaliser un levé électromagnétique aéroporté (AEM). En juin 1957, lors du suivi d'une anomalie électromagnétique et magnétique coïncidente, le premier sondage recoupe 60 mètres de sulfures sous 15 mètres de mort-terrain. Peu de temps après, les travaux d'autres sociétés mènent à la découverte de quatre nouveaux gisements. Les activités aux mines Mattagami Lake et Orchan débutent simultanément en octobre 1963.

En 1972, à la suite d'un levé AEM, le gîte Phelps Dodge n° 1 est découvert à 30 km à l'ouest de la mine Mattagami Lake, dans un secteur aujourd'hui connu sous le nom de Camp Ouest.

En 1976, c'est le début des activités minières à la mine Norita, située sur le Flanc Nord, 19 ans après sa découverte.

En 1978, Noranda acquiert une participation de 100 % dans la mine Mattagami Lake et consolide la plupart des terrains du camp minier de Matagami.

Vers la fin des années 1970, en raison de l'épuisement des réserves, d'importants programmes d'exploration souterraine sont réalisés aux mines Orchan et Mattagami Lake, mais sans succès. Les deux mines ferment leurs portes en 1982 et en 1984 respectivement. Durant cette même période, un programme d'exploration systématique est entrepris par Noranda, permettant d'établir une base de connaissances pour l'ensemble du camp minier.

Des cibles sont définies en utilisant le facteur métal et l'épaisseur de la Tuffite Clé sur le Flanc Sud et en considérant les meilleures possibilités sur le Flanc Nord. Le programme de forage stratigraphique réalisé par la suite à l'échelle du camp met à jour les gisements Isle-Dieu et Norita Est en 1985.

À mesure que les travaux de forage deviennent de plus en plus profonds, et de plus en plus coûteux, tous les efforts sont faits dans le but de raffiner l'établissement des cibles d'exploration. L'ouverture de la mine Isle-Dieu en profondeur se traduit par une grande amélioration des paramètres d'exploration, l'intégration des données et l'utilisation d'outils informatiques. En 1989, l'investigation d'une cible profonde permet d'établir la présence d'altération et de failles synvolcaniques, ce qui mène à la découverte du gisement Orchan Ouest à une profondeur de 1 200 mètres.

Avec la délimitation d'Orchan Ouest, une autre étape est franchie dans la compréhension des contextes géologiques des gisements. En utilisant une stratégie similaire, le gisement Bell-Allard est découvert en 1992 à une profondeur de 1 160 mètres. L'analyse structurale et la distribution spatiale des gisements ont été déterminantes pour cette découverte.

Vers le milieu des années 1990, la lithogéochimie, la modélisation numérique en 3D de la Tuffite Clé et les levés électromagnétiques en sondage sont les outils privilégiés pour rechercher des systèmes d'évènement similaires en profondeur.

Des travaux d'exploration sont aussi effectués par Noranda et par d'autres sociétés dans le Camp Ouest à proximité, et ce, pendant une grande partie de la décennie 1990. La présence d'une interface favorable à laquelle sont associés des indices de zinc, dans une stratigraphie similaire à celle de Matagami, y est établie. En 1994, BHP découvre le gîte Caber et le système minéralisé de Caber Nord, mais laisse toutefois tomber l'option en 1997. Depuis, la propriété a changé de main à de nombreuses reprises.

À la fin de l'année 1999, n'ayant aucune nouvelle source de minerai en vue dans un avenir prévisible, il a été décidé de survoler à nouveau le camp de Matagami en utilisant la meilleure technologie AEM disponible. Après avoir testé tous les systèmes AEM existants sur le gîte Caber (non affleurant, profondeur de ~125 mètres), le système MEGATEM de Fugro, à 90 Hz, est choisi comme étant le plus performant dans l'environnement de Matagami. Le camp en entier est l'objet d'un levé aéroporté vers la fin de l'année 1999.

Quelques mois plus tard, le deuxième sondage ciblant une anomalie MEGATEM prioritaire (niveau 1) recoupe 66,65 mètres de sulfures à une teneur de 15,47 % Zn et de 1,56 % Cu, à une profondeur de 125 mètres sous la surface. Cette intersection est située dans un secteur où l'on croyait que le contact favorable de la Tuffite Clé avait été érodé. Le gisement a été nommé, de façon appropriée, « Persévérance ».

En 2006, deux gisements constitués de multiples lentilles sont découverts dans la partie sud du Camp Ouest. Les gisements Bracemac et McLeod, situés à 2 km l'un de l'autre, ont été mis en valeur et sont toujours exploités aujourd'hui.

Au cours de la dernière décennie, Glencore Canada (anciennement Noranda inc., puis Falconbridge ltée et plus récemment, Xstrata Canada) a investi énormément d'énergie en exploration. La découverte en 2015 d'un nouveau gîte de métaux de base dans le canton de Daniel démontre encore une fois l'excellent potentiel d'exploration du camp de Matagami.

SÉANCE 12

Du canot à l'hélicoptère : l'épopée du fer et de l'exploration minière de la Fosse du Labrador

Serge Perreault (SOQUEM) et Thomas Clark (UQAT-MERN)

La Fosse du Labrador, qui s'étend sur plus de 1 600 km de la baie d'Ungava au Nunavik au réservoir Manicouagan sur la Côte-Nord, est l'hôte de deux camps miniers actifs : celui de Schefferville dans la Province de Churchill et celui du triangle ferrugineux, Wabush-Labrador City-Fermont, dans la Province de Grenville. Depuis le début des années 1950, le développement de ces deux camps miniers est axé sur l'exploitation d'immenses ressources minérales de fer. Le camp de Schefferville, actif entre 1954 et 1982 et réanimé en 2011, est connu pour ses gisements de minerais de fer tout-venant, ou de « *direct shipping ore* », composés principalement d'hématite et d'hydroxydes de fer (gœthite, limonite, etc.). Celui du triangle ferrugineux, dont le minerai de fer nécessite une concentration, tire profit de l'hématite spéculaire et de la magnétite depuis le début des années 1960.

La première mention de minerai de fer est attribuable au jésuite Pierre Babel qui a exploré l'intérieur de la péninsule du Labrador entre 1866 et 1870. Au cours de son expédition de 1894-1895, se déplaçant en canot et en traîneau à chiens, le légendaire géologue de la Commission géologique du Canada, Albert Peter Low, fournit les premières descriptions générales des unités géologiques de la Fosse du Labrador. Il est également le premier à mentionner le potentiel économique en fer des formations ferrugineuses. L'exploration minière moderne débute avec la découverte de minerais de fer tout-venant dans la région de Schefferville par F. W. James et J. E. Gill en 1929. L'expansion des services aériens, avec l'arrivée de l'hydravion au cours des années 1930 et de l'hélicoptère à la fin des années 1950, rendra accessible cet immense territoire à l'exploration minière et à la cartographie géologique. Ces moyens de transport ont permis à des géologues comme J. A. Retty, T. Griffis et A. Moss et des bâtisseurs comme R. Geren de marquer l'exploration et le développement minier de la région.

Suscitées par une importante croissance domestique et mondiale pour les métaux au cours des années 1950 et 1960, les différentes campagnes d'exploration pour le fer ont mené à la découverte de prospectifs de cuivre, de zinc, de nickel et d'or à la grandeur de la Fosse du Labrador. Alors que l'exploration pour le fer déclinait au cours des années 1970, l'exploration pour l'uranium connut un certain succès avec la mise au jour de plusieurs prospectifs uranifères dans la portion occidentale de la Fosse. Au cours de la deuxième moitié des années 1980, les compagnies d'exploration minière ont concentré leurs activités sur les éléments du groupe du platine, le nickel et le cuivre. Entre 2005 et 2012, la demande croissante de la Chine pour les métaux favorise une nouvelle vague d'exploration pour le fer, les terres rares et l'uranium. À Schefferville, certaines mines de fer fermées en 1982 sont rouvertes et, pour la première fois depuis 1976, une nouvelle mine de fer est mise en production dans la région de Fermont. Après une disette de quelques années au niveau des investissements en exploration, la Fosse du Labrador connaît présentement un regain pour l'exploration des gîtes magmatiques contenant des éléments du groupe du platine, du nickel et du cuivre. Avec le développement de nouvelles technologies en exploration, l'acquisition de nouvelles connaissances géoscientifiques et l'application de modèles métallogéniques et de potentiel minéral, il est permis de croire que des gisements d'autres substances que le fer seront exploités dans la Fosse du Labrador au cours des prochaines décennies.

SÉANCE 12

Le camp minier de Val-d'Or, 100 ans d'histoire et de découvertes

Pierre Pilote (MERN)

Le territoire abitibien est peuplé depuis plusieurs siècles par les Algonquins. C'est toutefois en 1898 que l'Abitibi est annexée à la province de Québec, en vertu de négociations avec Québec et d'un décret du gouvernement fédéral de Sir Wilfrid Laurier, premier ministre du Canada à l'époque. La colonisation et le développement de l'Abitibi sont étroitement associés à la construction, de 1905 à 1913, du deuxième chemin de fer transcontinental, celui du Grand Tronc Pacifique devant relier Québec et Winnipeg. En 1911, le tronçon ouest du chemin de fer atteint Amos, à partir de l'Ontario. La jonction des tronçons est et ouest du transcontinental a lieu en 1913, à 40 km à l'est de Senneterre. Les premières localités se développent le long d'un réseau de gares érigées près des croisements avec des rivières ou à proximité des lacs : La Sarre, Taschereau (jadis nommée O'Brien), Amos et Senneterre sont alors desservies par le train. Les personnes qui peuplent ce nouveau territoire, des fermiers, des prospecteurs, des mineurs, des ouvriers, des marchands, proviennent de partout : du Québec (Bas-Saint-Laurent, Mauricie, Laurentides, Montréal), de l'Ontario, de l'Italie, de l'Ukraine, de la Pologne, etc.

Entre 1910 et 1930, au début de la colonisation, les lacs et les cours d'eau qui rejoignent le chemin de fer constituent les principales voies de transport pour se rendre, entre autres, d'Amos à Val-d'Or. Le service régulier de transport des marchandises et des passagers est assuré le long de la rivière Harricana par des bateaux tels le S.S. Sullivan et le S.S. Siscoe. En 1936, A. Fecteau (Fecteau Transport Aérien) installe une base d'hydravions près de Senneterre, alors le terminus du réseau ferroviaire. La consécration officielle du nom de Val-d'Or date de 1935. Dès 1936, on peut circuler en voiture entre Val-d'Or, Dubuisson, Malartic, Rivière-Héva et Amos. Un lien ferroviaire rejoindra finalement Senneterre à Val-d'Or en 1937. L'ouverture de la route Senneterre-Mont-Laurier, en 1940, rend l'Abitibi accessible par automobile à partir de Montréal.

L'intérêt des prospecteurs pour l'Abitibi commence au début du siècle dernier dans le nord-est ontarien, avec les ruées minières dans les régions de Cobalt (1903) et de Porcupine-Timmins (1909). Pour la région de Val-d'Or, cette ruée découle de la découverte de filons aurifères sur les rives du lac De Montigny en 1911, sur le site de ce qui allait devenir la mine Sullivan (1934-1967). Cette découverte attire de nombreux prospecteurs dans la région, lesquels trouvent rapidement plusieurs autres indices d'or : Greene-Stabell (1914), Siscoe (1915), Lamaque (1923, exploitée de 1932 à 1985) et Sigma (1933, mine exploitée de 1936 à 2002). La mine Lamaque fut de 1952 à 1985 le plus important producteur d'or au Canada. La production d'or totale des camps miniers de Val-d'Or et de Malartic atteint plus de 26 millions d'onces. Il est intéressant de noter que certaines de ces mines font toujours l'objet de travaux d'exploration avancés (Sigma-Lamaque) ou sont à nouveau en production (Canadian Malartic).

Du côté des prospecteurs, des entrepreneurs et des hommes d'affaires qui ont marqué leur époque, mentionnons, entre autres, J. O'Sullivan, H. Authier, A. O. Dufresne, S. Siscoe, J. P. Norrie, G. Commanda, R. C. Clark, P. Beauchemin, A. Fecteau, G. Dumont, C. Carbonneau, R. M. Smith. En ce qui concerne les études géologiques, J. Obalski, J. A. Bancroft, L. V. Bell, M. E. Wilson, H. C. Gunning, J. W. Ambrose, G. W. H. Norman, J. I. Sharpe, M. Latulippe et L. Imreh ont contribué à élaborer nos connaissances et à préciser le potentiel économique du territoire. Les histoires et les contributions de certaines de ces personnes seront abordées au cours de cette présentation.

SÉANCE 12

Le camp minier de Noranda – Un événement fondateur pour l'industrie minière du Québec

Gérald Riverin (Ressources Yorbeau) et David Comba (administrateur corporatif)

L'histoire du camp minier de Noranda s'inscrit dans une suite d'événements qui débute dans les années 1880 lors de la découverte d'importants gisements de nickel et de cuivre à Sudbury, suivie des découvertes de Cobalt, de Timmins et de Kirkland Lake au début du siècle dernier. Elle est indissociable de l'histoire du gisement de la mine Horne, découvert grâce à la persistance du prospecteur Edmund Horne et de ses bailleurs de fonds de New Liskeard, en Ontario. À partir de la région du lac Témiscamingue, celui-ci a effectué plusieurs expéditions en canot et en raquettes dans des conditions logistiques difficiles entre 1911 et 1923. Les premiers résultats encourageants n'ont été obtenus que plus de dix ans après sa première expédition au lac Osisko, et le trou de découverte a été foré douze ans après ce premier voyage.

La découverte de Horne a non seulement mené au développement d'une importante mine de classe mondiale, mais a aussi permis la construction d'une fonderie et d'une affinerie de cuivre au Québec, favorisant le développement de plusieurs autres mines plus petites. En effet, plusieurs mines de métaux de base de moindre importance n'auraient peut-être jamais vu le jour sans la présence de la fonderie. La construction de cette dernière, effectuée en moins de trois ans et en même temps que la mise en valeur du gisement Horne, s'avère par conséquent un événement fondateur pour la région ainsi que pour l'industrie minière du Québec.

La production totale du camp de Noranda s'élève à plus de 130 millions de tonnes de minerai, provenant d'une quarantaine de mines de métaux de base et d'or. La moitié de cette production est attribuable à deux mines seulement, soit les mines Horne et Quémont. Globalement, 25 % des mines ont produit 80 % du minerai total. La prospection de base est directement responsable de plus de 54 % des mines découvertes; cependant, depuis 1944, aucune découverte économique n'est attribuable à la prospection de base, les concepts géologiques ayant pris la relève. À ce jour, on remarque néanmoins que les nouvelles technologies géophysiques n'ont pas encore eu vraiment d'impact positif sur le nombre de découvertes.

Au-delà de statistiques impressionnantes, l'histoire du camp Noranda recèle aussi de nombreuses anecdotes d'exploration qui rendent hommage aux pionniers ayant marqué l'industrie minière du Québec. Certaines de ces anecdotes seront présentées, ainsi qu'une réflexion sur les conditions qui ont permis l'émergence du camp minier de Noranda.

SÉANCE 12

La construction du camp minier de Chibougamau : contribution d'un personnage, Gilles O. Allard

Réal Daigneault (CONSOREM/UQAC)

La région de Chibougamau comprend un ensemble de gisements, certains aurifères (Norbeau, Joe Mann), d'autres de type SMV (Lemoine, Scott), mais surtout une famille particulière de gisements filoniens de Cu-Au historiquement débattus sur leur origine et leur classification. Ces derniers font spécifiquement partie du camp minier du Lac Doré. Ils sont contenus dans des fractures communément d'orientation SE au sein du Complexe du Lac Doré. Au total, ces gisements (19 mines) ont produit 734 000 tonnes de cuivre et plus de 3 millions d'onces d'or entre 1955 et 1997; la région de Chibougamau étant considérée comme l'un des principaux producteurs de cuivre de l'Est du Canada dans les années 70.

La naissance et le développement d'un camp minier sont le résultat d'un ensemble de facteurs, y compris la fertilité minérale d'un territoire, mais aussi les stratégies d'exploration et donc forcément les acteurs que sont les entreprises et leur personnel. Une découverte est rarement attribuable à un seul homme. Toutefois, certains personnages ont marqué le cours des événements en contribuant significativement par leurs idées, leur persévérance et leur détermination. Gilles O. Allard est l'un de ces personnages.

Durant les saisons 1954 et 1955, Gilles Allard met au jour le fameux **Complexe du Lac Doré**, une immense intrusion litée archéenne maintenant bien connue pour son potentiel minéral. En 1955, il devient le directeur de l'exploration pour la Chibougamau Mining and Smelting (CMS). Après une campagne d'exploration hivernale sans précédent sur la glace du lac Chibougamau, avec 21 foreuses en action et plus de 168 000 pieds de forage réalisés sous des températures frôlant les -55 °C, il trouve en 1957 une structure NE, en changeant la stratégie d'exploration, permettant la découverte des mines Henderson I et Henderson II, puis de Portage.

De 1966 à 1987 (21 saisons), il a réalisé de vastes levés cartographiques pour le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN), contribuant alors à la formation de plusieurs dizaines d'étudiants et de nombreux assistants de terrain qui ont fait carrière en géologie économique. En 1966, ses travaux avec le MRN révèlent la présence de vanadium dans la Zone litée du Complexe du Lac Doré, qui deviendra par après un gisement de classe mondiale.

Il a été un fervent promoteur de la géologie de la région de Chibougamau. Ses idées et ses conseils ont permis de générer une quantité innombrable de travaux d'exploration qui ont mené à d'autres découvertes significatives à l'origine du camp minier de Chibougamau.

Le parc Allard, localisé dans la ville de Chibougamau, permet de rendre hommage à l'homme. L'affleurement exceptionnel qui s'y trouve incarne le patrimoine géologique de Chibougamau et sera préservé pour les générations futures.

SÉANCE 13

Les commissions géologiques : fonction, forme et financement

Murray Duke (Ottawa)

Les gouvernements diffusent de l'information géoscientifique afin d'avancer les objectifs politiques depuis plus de 200 ans. La cartographie géologique systématique a été entreprise d'abord en France et en Angleterre vers la fin du 18^e siècle, en vue de promouvoir l'exploitation minière et l'agriculture. En 1823, la Caroline du Nord est la première à fonder une commission géologique financée par un gouvernement en Amérique du Nord, et plusieurs états américains ont rapidement suivi cet exemple. La plupart se sont avérés des exercices ponctuels de courte durée. La première commission géologique nationale a été mise sur pied en Grande-Bretagne en 1835, suivie par le Canada en 1842. Dans la deuxième moitié du 19^e siècle, les gouvernements ont commencé à prendre conscience que l'information géoscientifique était un besoin permanent et des organisations de cartographie géologique permanentes (OCG) ont pris naissance dans plusieurs juridictions. Aujourd'hui, la plupart des pays comptent une OCG et dans les fédérations, on voit typiquement des commissions aux deux niveaux : national et provincial ou par état.

La fonction première d'une OCG est de servir de fournisseur d'information géoscientifique intégrée afin de soutenir le développement et la mise en œuvre de politiques gouvernementales et la prise de décisions dans l'industrie, la société civile et la population en général. L'implication gouvernementale est justifiée par le fait que cette information a toutes les caractéristiques économiques d'un bien public. Bien qu'au départ, la plupart des OCG axaient leurs efforts sur le développement des ressources minérales et énergétiques, le champ d'action de plusieurs d'entre elles s'est élargi pour inclure les ressources hydriques, les risques naturels, la protection environnementale, les changements climatiques et l'aménagement du territoire.

Le contexte institutionnel des OCG varie d'un pays à l'autre. En Amérique du Nord et en Australie, la majorité des OCG sont des unités intégrées aux ministères gouvernementaux. En Europe, les agences statutaires sont plus répandues. L'OCG de la Grande-Bretagne, de la Nouvelle-Zélande, de l'Afrique du Sud et de la Lettonie sont des sociétés d'État. La forme organisationnelle choisie reflète les attentes en matière d'imputabilité, de réceptivité politique, de crédibilité et d'impartialité, d'équilibre entre les produits publics et privés et de sources de financement. Typiquement, les OCG reçoivent au moins 80 % de leur financement de sources gouvernementales et au moins 50 % par affectation budgétaire; le financement privé dépasse rarement les 20 %. Toute tentative visant à financer les fonctions fondamentales par la génération de revenus se solde généralement par un échec – ce qui n'est pas surprenant étant donné leurs caractéristiques de bien public.

SÉANCE 13

1740-1841 : La géologie dans la foulée des Lumières, depuis la Nouvelle-France jusqu'à l'avènement du Canada-Uni

Michel Gauthier (UQAM et Gardin)

C'est une histoire très riche et généralement méconnue. Elle démarre en canon dans les années 1740 avec l'apport de grands naturalistes européens venus en Amérique du Nord. Elle a culminé en 1752, au moment où Guettard fait paraître à Paris la carte des ressources minérales du Canada et de la Louisiane. C'est François Gaultier, « médecin du roy » (en fait naturaliste en chef de la Nouvelle-France vers 1750), qui envoyait régulièrement ses informations et ses collections à Paris.

De 1753 à 1815, les guerres franco-anglaises et américaines perturbent cette quête scientifique. Les écoles anglaises et françaises évoluent en parallèle. Le deuxième et surtout le troisième président américain, tous deux ayant séjourné en France et côtoyé les Lumières, sont influencés par ces deux écoles. En conséquence, l'expédition américaine de 1803 en Louisiane, solidement appuyée par des francophones originaires de la vallée du Saint-Laurent, poursuit la quête scientifique de Jefferson, émule de Cuvier. Avec l'avènement de la Pax britannica en 1815, les sciences naturelles deviennent une passion mondiale. Ainsi est fondée, en 1827, la Société pour l'encouragement des sciences et des arts au Canada. Les officiers britanniques en poste n'échappent pas à cet engouement et notent des informations géologiques. Le retour des turbulences militaires suspend ce nouvel envol jusqu'à la fusion des deux Canada en 1841. C'est sur ce riche terreau scientifique centenaire que s'établiront les assises d'une nouvelle agence gouvernementale, la Commission géologique du Canada.

SÉANCE 13

Les roches, c'est notre affaire

Robin Riddihough (CGC)

Vingt-cinq ans avant la Confédération, la Commission géologique du Canada (CGC) a été établie sous William Logan dans le but de découvrir, de cartographier et de faire connaître aux Canadiens les ressources naturelles du territoire qui les entoure. À mesure que le Canada prenait de l'expansion, la CGC était là pour décrire les paysages qui le caractérisent, les ressources qui s'y trouvent et les personnes, les animaux et les plantes qui y vivent. Ses travaux d'exploration, ses cartes, ses images et ses spécimens ont contribué à façonner la « vision » du Canada. Ils ont influencé notre histoire et notre politique, ainsi que l'art et l'imaginaire collectif.

De la CGC sont nés le Musée canadien de l'histoire, le Musée canadien de la nature et le Musée des sciences et de la technologie du Canada. Au fil des ans, elle a aussi donné le jour aux agences fédérales qui ont établi la topographie de notre pays et ont guidé et stimulé le développement de nos ressources. Bien que les provinces et territoires aient pris en main certaines de ses activités, elle demeure la seule agence fédérale et le seul centre d'expertise qui est responsable de documenter la géologie et les ressources sur l'ensemble du territoire et des zones extracôtières du Canada.

SÉANCE 13

Nouveaux publics cibles : un virage qui s'impose chez les commissions géologiques nationales

Donna Kirkwood (CGC)

La recherche scientifique collaborative des commissions géologiques nationales est importante pour tous les pays, mais davantage au Canada en raison de sa taille, de son étendue dans des régions éloignées comme l'Arctique et de sa dépendance aux ressources naturelles comme moteur économique. Cela est aussi vrai aujourd'hui que ce l'était il y a 175 ans, lorsque les premiers relevés géologiques du pays ont été réalisés. Depuis plus d'une décennie, nous assistons à un changement quant au rôle des commissions géologiques nationales et celles-ci ont apporté certaines modifications programmatiques. Par contre, sommes-nous bien positionnés pour répondre aux enjeux mondiaux auxquels nous faisons face aujourd'hui?

Au Canada, le développement sécuritaire passe dorénavant par la protection du public et de l'environnement contre les aléas naturels et anthropiques. L'expertise géoscientifique est de plus en plus mise à profit pour l'aménagement du territoire et le développement durable des ressources minérales, énergétiques et hydriques.

La Commission géologique du Canada, tout comme ses partenaires à l'international, évalue et revoit la pertinence des programmes scientifiques et l'importance des résultats pour contribuer aux enjeux d'aujourd'hui. Connaissances, données et informations scientifiques – rigoureuses, impartiales et de renommée mondiale – devraient s'appliquer désormais à l'évaluation environnementale en amont et en aval de tous les projets de développement d'infrastructure.

La tendance actuelle est vers l'accessibilité à toutes les données, à tous les rapports et à toutes les archives scientifiques dans un format numérique pour augmenter la valeur de la prise de décision. En 2015, un sondage pancanadien a révélé que les ressources naturelles et l'environnement ainsi que la recherche scientifique offrent des jeux de données parmi les plus populaires auprès de la population canadienne.

Comment pouvons-nous contribuer à la culture scientifique et augmenter la confiance des Canadiens, tout en rejoignant l'ensemble des parties prenantes aux décisions : la société civile, le secteur privé et les fonctions publiques?

SÉANCE 14

Potentiel géologique en éléments de terres rares dans le Nord-du-Québec et au Labrador : les leçons de Strange Lake et de sites plus étranges encore

Andrew Kerr (Memorial University et Geological Survey of Newfoundland and Labrador), Stephen Amor (Geological Survey of Newfoundland and Labrador) et Derek Wilton (Memorial University)

La région située entre la baie d'Ungava et la côte du Labrador est l'un des derniers grands territoires inexplorés du Canada au sud du 60^e parallèle. Cette présentation aborde les caractéristiques des gîtes d'éléments de terres rares (ETR) connus dans cette région et les techniques d'exploration potentielles sous l'angle de la géochimie et de la minéralogie distinctives de ces gîtes.

Le gîte de Strange Lake figure probablement parmi les plus grands inventaires de ressources en ETR au monde et est particulièrement renommé pour son abondance relativement élevée d'ETR lourdes dites « critiques ». En y regardant de plus près, on dénote deux zones d'enrichissement distinctes situées de part et d'autre de la frontière Québec-Labrador, encaissées dans un petit complexe granitique hyperalcalin d'âge mésoprotérozoïque (~1240 Ma). Les roches encaissantes sont très inhabituelles et renferment plusieurs minéraux rares, notamment des zirconsilicates. La minéralisation en Zr-Nb-ETR se compose de multiples zones pegmatitiques et aplitiques fortement enrichies au sein de roches granitiques plus ou moins enrichies, qui possèdent aussi localement un potentiel comme minerai à basse teneur. La genèse du gisement fait toujours l'objet d'un vif débat, mais il est admis que les magmas parents étaient extraordinairement enrichis en ETR, même si des processus hydrothermaux ont contribué par la suite à augmenter les teneurs. Les données isotopiques suggèrent que les ETR à Strange Lake proviennent en grande partie de magmas issus du manteau juvénile au Mésoprotérozoïque plutôt que de la croûte continentale plus âgée. Plusieurs autres suites ignées hyperalcalines et mésoprotérozoïques dans la région contiennent également une minéralisation en ETR, mais de natures très variées. Plus particulièrement, mentionnons les roches sous-saturées à néphéline (~1330 Ma) qui contiennent aussi de l'eudialyte, un minéral plutôt rare, et les gîtes inhabituels d'ETR légères-Be qui sont encaissés dans des roches métavolcaniques d'âge similaire.

Les données aéromagnétiques régionales révèlent la présence de plusieurs signatures annulaires qui, dans certains cas, ont été confirmées comme représentant des centres ignés mésoprotérozoïques; toutefois, ce type de signature est extrêmement subtil à Strange Lake. La radiométrie aéroportée ciblant les anomalies riches en thorium s'est également avérée un outil d'exploration efficace à une échelle intermédiaire. La géochimie de l'environnement secondaire demeure probablement l'outil d'exploration régionale le plus puissant, puisqu'un patron de dispersion long et très bien défini est associé au gîte de Strange Lake. Toutefois, l'utilisation plus répandue de ces méthodes est freinée par le manque de données complètes pour les ETR dans les sédiments de lacs au Québec et par le défi que pose le nivellement des bases de données de part et d'autre de la frontière interprovinciale. Il est aussi possible d'avoir recours à des minéraux réfractaires porteurs de Zr et d'ETR en tant que minéraux indicateurs directs, comme on le fait déjà en exploration pour les kimberlites. Les minéraux inhabituels comme l'eudialyte (enrichie en Zr-ETR), la gittinsite (hôte du Zr à Strange Lake), et la gérénite (minéral d'ETR lourdes à Strange Lake) demeurent détectables à grande distance de leurs sources, et ce, dans les dépôts meubles qui ne montreraient que des valeurs de bruit de fond pour les ETR lors de l'analyse géochimique en vrac. Les méthodes d'analyse minéralogique de type MLA au microscope électronique à balayage peuvent faciliter l'identification quantitative rapide de tels minéraux indicateurs pour l'exploration régionale.

SÉANCE 14

Synthèse des résultats du programme GEM-2 dans la Zone noyau (Core Zone) au Québec et Labrador : évolution crustale au Précambrien

David Corrigan, Mary Sanborn-Barrie, Natasha Wodicka, Nicole Rayner (CGC-O), Chris McFarlane (University of New Brunswick), Isabelle Lafrance, Daniel Bandyayera, Carl Bilodeau (MERN) et Annick Morin (CGC-Q)

Présentation des résultats préliminaires des résultats d'analyses U-Pb TIMS (ionisation thermique) et SHRIMP (*sensitive high-resolution ion microprobe*) ainsi que U-Pb LA-ICPMS (ablation au laser), à partir de zircons extraits d'une trentaine de protolites divers provenant de la Zone noyau et des zones environnantes. Six unités géologiques ont aussi été analysées par la méthode Sm-Nd pour déterminer l'âge modèle du Nd et le degré de contamination crustale. Ces analyses, intégrées dans le cadre du programme de cartographie géologique de la Zone noyau effectué par le MERN et découlant d'une collaboration fédérale-provinciale sous l'auspice du programme GEM-2 (Géocartographie pour l'énergie et les minéraux), permettent de mieux cerner nos connaissances sur l'évolution crustale et tectonique à grande échelle de la Zone noyau. Historiquement, il a été reconnu que la Zone noyau formait un bloc crustal à caractère gneissique et à prédominance archéenne bordé par la Fosse du Labrador à l'ouest; par le Complexe du lac Lomier et les Gneiss de Tasiuyak à l'est; par le Front du Grenville au sud. Dans sa partie occidentale, à l'ouest de la zone de cisaillement du lac Turcotte, les gneiss archéens formant le socle sous-jacent de la Zone de Rachel-Laporte sont assignés à la « Zone noyau non subdivisée », mais pourraient aussi bien faire partie de la marge de la Province du Supérieur.

Entre la zone de cisaillement du lac Turcotte et les gneiss du lac Lomier et de Tasiuyak, la Zone noyau est formée de blocs crustaux distincts, séparés par des zones de cisaillement sub-verticales au déplacement à prédominance latéral. Au moins cinq zones de cisaillement (Abloviaq, Falcoz, Moonbase, rivière George, lac Tudor) séparent au moins trois blocs à caractère unique. Il s'agit des domaines **i**) de la rivière George, **ii**) de Mistinibi-Raude) et **iii**) de Ford-Henrietta. Le domaine de la rivière George, situé entre la zone de cisaillement du même nom et celle du lac Turcotte, comprend une ceinture verte archéenne et sa racine plutonique d'environ 2,73-2,56 Ga (Ceinture de Tunulic) ainsi que le Batholite de De Pas (1,84-1,81 Ga). Entre les zones de cisaillement de la rivière George et de Moonbase se trouve le domaine Mistinibi-Raude, qui consiste en des roches volcaniques et sédimentaires d'environ 2,38-2,32 Ga et des plutons associés. À l'est de la zone de cisaillement de Moonbase, les âges du domaine gneissique de Ford-Henrietta varient entre 2,9 et 2,65 Ga. Ces âges sont plus jeunes que ceux du bloc Saglek au Labrador, suggérant donc une provenance exotique relative à ce dernier.

SÉANCE 14

Preuves de la transition sur~ 40 Ma d'un bassin avant-arc continental à un bassin d'avant-pays dans la partie est de la Fosse du Labrador

Renato Henrique-Pinto (UL)

L'Orogène du Nouveau-Québec (ONQ) est une ceinture supracrustale paléoprotérozoïque qui a subi un remaniement lorsque le craton du Supérieur est entré en collision avec le terrane de la Zone noyau durant l'orogénèse transhudsonienne. Au sein de l'ONQ, la Fosse du Labrador regroupe des séquences sédimentaires et volcaniques au faciès des schistes verts (Supergroupe de Kaniapiskau) interprétées comme représentant la marge de divergence du craton du Supérieur et un domaine océanique potentiel, tandis que le Groupe de Laporte, composé de successions similaires métamorphosées à des degrés plus élevés, demeure d'origine incertaine. Certains modèles concurrents suggèrent que le Groupe de Laporte serait soit une tranche plus profonde, à un faciès métamorphique plus élevé, de la Fosse du Labrador, ou encore un terrane exotique. Des travaux d'échantillonnage, de pétrographie et de géochronologie de zircons détritiques par la méthode U-Pb SHRIMP réalisés à grande échelle jettent un nouvel éclairage qui permet d'élucider la provenance sédimentaire et l'environnement de mise en place pour ces deux zones.

Les zircons détritiques du Supergroupe de Kaniapiskau présentent des âges antérieurs à 2,5 Ga (2570,3 ± 3,7 Ma, âge de déposition maximal), soit une signature typique du craton archéen du Supérieur, avec un pic principal à ~ 2,72 Ga. Il y a un écart de plus de 150 Ma entre les âges des zircons détritiques et l'âge de déposition interprété, suggérant un environnement divergent comme une marge de divergence passive.

Au contraire, les zircons détritiques du Groupe de Laporte présentent des âges antérieurs à 1,8 Ga, avec un âge de déposition maximal de 1834 ± 2,4 Ma et un pic d'âge dominant à 1,84 Ga. La présence de pics d'âge à 2,2-2,4 Ga suggère que le terrane exotique de la Zone noyau est la principale région source, alors que les âges de monazites métamorphiques, antérieurement datées à 1793 ± 2 Ma, indiquent une période de déposition relativement courte.

La présence de l'arc magmatique de type andin du Batholite de De Pas vient étayer l'interprétation d'une subduction à vergence est vers 1860-1830 Ma. De plus, le décalage entre les âges de cristallisation et de déposition au sein du Groupe de Laporte est signe de contextes de convergence et de collision, avec une transition d'un bassin avant-arc continental (cycle I) à un bassin de collision d'avant-pays (cycle II), sur une période d'environ 40 Ma, qui marque la consolidation du supercontinent de Columbia au nord-est de la Laurentie.

SÉANCE 14

Bilan des travaux récents dans la partie sud-est du Churchill et implications pour l'exploration

Isabelle Lafrance et Benoit Charette (MERN)

Le sud-est de la Province de Churchill (SEPC) est constitué de trois grandes entités lithotectoniques. La Zone noyau, au centre, correspond à un bloc archéen déformé et remanié au Paléopro-térozoïque. Elle est bordée par des roches paléopro-térozoïques déformées lors des orogènes du Nouveau-Québec, à l'ouest, et des Torngat, à l'est. La cartographie au 1/250 000 réalisée depuis 2011 a fait évoluer notre compréhension des contextes géologiques et démontré la présence d'environnements favorables à plusieurs types de minéralisation.

La Zone de Rachel-Laporte, localisée dans la partie orientale de l'Orogène du Nouveau-Québec, est majoritairement constituée des métasédiments et d'amphibolites paléopro-térozoïques de la Supersuite de Laporte. Longtemps considérés comme équivalents en partie aux roches de la Fosse du Labrador, les récents travaux indiquent plutôt que les métasédiments du Laporte se distinguent par leur épaisseur apparente plus importante et leur composition plus homogène. Ces séquences supracrustales représentent une cible d'envergure régionale, particulièrement en ce qui concerne les amas sulfurés à Zn-Cu. De nombreuses zones rouillées, y compris des lentilles de sulfures massifs associées à des altérations hydro-thermales, ont été observées aux contacts entre les différentes lithologies du Laporte. Une nouvelle unité de roches calcosilicatées et de gneiss carbonatés enrichis en Nb, en Ta et en terres rares (Suite de Préville) représente aussi un contexte intéressant étant donné sa position dans le prolongement structural du Complexe de Le Moine, hôte de nombreux gîtes en ces mêmes éléments.

La Zone noyau représente un substratum archéen remanié au Paléopro-térozoïque et recoupé par plusieurs unités intrusives protérozoïques. Son évolution géologique est complexe et elle comprend plusieurs blocs lithotectoniques de composition et d'âge différents. Plusieurs types de gîtes peuvent se former en conditions métamorphiques élevées, tels que les SEDEX. Un indice de Pb-Zn dans une métatexite confirme d'ailleurs ce potentiel. La présence d'une importante ceinture volcanique bimodale (Tunulic, 3-14 km x 100 km) dans la Zone de cisaillement de la rivière George suggère un fort potentiel pour les gîtes d'or et autres métaux associés aux cisaillements et à l'hydrothermalisme. La présence du Batholite de De Pas dans le même secteur offre un contexte particulièrement favorable à la circulation de fluides minéralisés. Les zones de brèches et d'altération intense localement observées dans le De Pas suggèrent aussi un environnement propice aux gîtes d'oxydes de fer-cuivre-or (IOCG) alors que la présence de zones d'assimilation magmatique laisse entrevoir la possibilité de minéralisations aurifères de type orogénique ou de filons à métaux rares.

Les gîtes de terres rares font la renommée du SEPC depuis plusieurs années; d'autres anomalies et un indice ont été découverts en association avec l'unité de syénite du De Pas ainsi que dans les lamprophyres de la Suite de Fayot. Dans le secteur sud-est de la région du lac Jeannin, plusieurs indices contigus font ressortir la possibilité de la mise en place d'un porphyre à Cu-Mo-Au associé à des minéralisations épithermales à Au-Ag. Enfin, les indices de Ni-Cu dans les intrusions mafiques mésopro-térozoïques de la Suite de Soisson prennent une nouvelle envergure étant donné la corrélation d'âge qui a été faite récemment avec l'intrusion de Voisey's Bay par la Commission géologique du Canada.

SÉANCE 14

Nouvelles avancées sur la nature de l'Orogène des Torngat et son évolution tectonométamorphique

Benoit Charette (MERN), Carl Guilmette (UL) et Isabelle Lafrance (MERN)

L'Orogène des Torngat représente une ceinture de métamorphisme de forte intensité associée à la collision oblique impliquant la Zone noyau et le craton nord-atlantique (Labrador et Groenland) entre 1870 et 1820 Ma. Cette ceinture transpressionnelle à double vergence est formée d'un assemblage de roches d'arc magmatique, de prisme sédimentaire et de marge continentale ayant atteint des conditions métamorphiques au faciès des granulites, avec localement un métamorphisme rétrograde au faciès des amphibolites le long de cisaillements régionaux.

L'influence de cette collision continentale sur le socle archéen de la Zone noyau et sa couverture supracrustale était jusqu'à récemment mitigée. Les récentes campagnes de cartographie de MERN, appuyées par des projets de recherche académiques, démontrent que l'orogène des Torngat a remobilisé la marge est de la Zone noyau, laquelle a été enfouie à des conditions de croûte moyenne durant la collision.

Les récents travaux de cartographie dans la portion ouest de l'orogène soulignent qu'un complexe d'orthogneiss et de paragneiss métamorphisé au faciès des granulites (Complexe de Sukaliuk) pourrait représenter le socle archéen de la Zone noyau et sa couverture sédimentaire remobilisés lors de la collision continentale. Les zircons détritiques analysés dans les paragneiss du Sukaliuk indiquent un âge de déposition paléopro-térozoïque, supportant une corrélation avec les paragneiss observés dans la partie est de la Zone noyau et assignés au Groupe de Lake Harbour. De plus, les évidences de terrain et les âges métamorphiques obtenus à partir des métasédiments du Complexe de Sukaliuk ainsi que de ceux de la Zone noyau indiquent un même événement de migmatitisation, contemporain à l'orogène des Torngat. Les résultats d'une étude tectonométamorphique suggèrent que l'ensemble de cette région représente une section de croûte moyenne étant restée sous des conditions de fusion partielle durant près de 60 Ma, pour ensuite subir une exhumation très lente.

À l'est du Complexe de Sukaliuk, le Complexe de Lomier, formé de roches intrusives granulitiques paléopro-térozoïques et de lambeaux de paragneiss, pourrait être associé à un environnement d'arc magmatique continental ou, encore, à des intrusions tardives synchrones à la collision. Les récentes données géochronologiques et isotopiques supportent qu'entre 1870 et 1840 Ma, ces intrusions se sont mises en place dans des métasédiments d'âge paléopro-térozoïque, possiblement associés à ceux de la Zone noyau, puis ont été rapidement métamorphisées.

Bien qu'il soit dorénavant évident que des conditions de haute température soient responsables de la fusion partielle de l'ensemble de ce secteur, plusieurs incertitudes demeurent en ce qui concerne les mécanismes ayant favorisé ces conditions ainsi que les environnements de formation de certains blocs et leur association à la plaque inférieure ou supérieure lors de la collision.

SÉANCE 14

Le projet GEM-2 dans la région d'Hudson-Ungava : cartographie des dépôts de surface dans la Zone noyau pour soutenir l'exploration et la découverte au Québec et au Labrador

Roger Paulen, Beth McClenaghan (CGC-O), Jessey Rice, Martin Ross (University of Waterloo), Heather Campbell (Geological Survey Newfoundland and Labrador), Hugo Dubé-Loubert (MERN), Martin McCurdy (CGC-O), Stephen Amor (Geological Survey Newfoundland and Labrador), Richard Fortin (CGC-O), Grant Hagedorn (University of Guelph) et Jean Veillette (retraité, CGC-O)

La cartographie du socle rocheux et l'exploration minière dans le Nord-du-Québec et au Labrador sont difficiles puisque la géologie du socle rocheux n'y est pas bien documentée et que dans certains secteurs, le socle est recouvert de sédiments glaciaires déposés par une séquence complexe d'écoulements glaciaires associés à une ligne de partage des glaces mouvante. Dans plusieurs secteurs du Nord-du-Québec et du Labrador, il n'y a aucune carte géologique des dépôts de surface, aucune donnée sur la géochimie des tills et aucune connaissance des minéraux indicateurs. Ce manque d'information se traduit par une mauvaise compréhension de l'épaisseur des dépôts meubles, de l'histoire glaciaire et des mécanismes de dispersion, ce qui entrave ultimement les travaux d'exploration minière.

Afin de combler ces lacunes de connaissances et de soutenir l'exploration minière, la CGC dans le cadre du programme GEM-2 et en collaboration avec le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec (MERNQ) et la *Geological Survey of Newfoundland and Labrador* (GSNL) réalise de nouveaux levés cartographiques des dépôts de surface et de nouvelles études géochimiques des dépôts de surface dans le cadre d'un programme de cartographie régionale intégré, centré sur les roches archéennes de la Zone noyau, entre l'Orogène des Torngat à l'est et l'Orogène du Nouveau-Québec à l'ouest. Ces travaux axés sur les dépôts de surface généreront de nouvelles données géoscientifiques régionales qui serviront à augmenter sensiblement le bagage de connaissances géologiques et à soutenir l'exploration et le développement responsable des ressources naturelles. Les buts et objectifs spécifiques qui seront abordés dans cette présentation portent sur la documentation d'une meilleure compréhension du centre glaciaire du Labrador de l'Inlandsis laurentidien et l'élaboration de nouveaux modèles de dispersion glaciaire au sein de la Zone noyau, qui permettront d'améliorer l'efficacité et le taux de réussite en exploration au Québec et au Labrador.

SÉANCE 14

Géologie des dépôts de surface dans la partie sud-est de la Province de Churchill : résultats de quatre années (2012 à 2015) d'échantillonnage et de cartographie

Hugo Dubé-Loubert (MERN-UQAM), Virginie Daubois (MERN), Martin Roy (UQAM), Roger Paulen, Beth McClenaghan, Jessey Rice (CGC-O), Charley Duran et Philippe Pagé (UQAC)

Les régions ayant été perturbées par les grandes glaciations du Quaternaire représentent encore aujourd'hui un obstacle à la cartographie du socle rocheux et à l'exploration minière. L'épaisseur de sédiment quaternaire couvrant le sud-est de la Province géologique de Churchill est considérable, masquant par endroit d'importantes superficies du roc. Devant ce cas de figure, l'application des outils de prospection glacio-sédimentaire s'avère être complémentaire au projet de cartographie de la roche en place.

Le Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec (BCGQ) a entrepris, à l'été 2012, une campagne de levés du Quaternaire menée en complémentarité d'un projet de cartographie du socle rocheux. Au cours des campagnes 2012 à 2015, plus de 1 200 échantillons (till et esker) ont été prélevés. Des analyses géochimiques, effectuées sur la fraction fine de la matrice des tills, et des concentrés de minéraux lourds ont été réalisées afin de documenter le potentiel minéral, et ce, pour différents contextes métallogéniques.

Cet échantillonnage a été appuyé par une cartographie en détail des dépôts de surface à l'échelle de 1/250 000 et d'un inventaire des marques d'érosion glaciaire. La géomorphologie et la nature des sédiments de surface de la zone d'étude montrent que la région a connu une mosaïque complexe de conditions sous-glaciaires se traduisant par des distances de transport effectives fortement contrastées selon les secteurs. Cette région est également caractérisée par une séquence d'écoulements complexe associée à la proximité et à l'évolution des lignes de partage glaciaire du secteur Labrador-Québec de la calotte laurentidienne.

Les résultats analytiques et cartographiques ont permis de circonscrire quelques secteurs ayant un potentiel pour des gîtes de type Ni-Cu magmatique, de sulfures volcanogènes métamorphisés, d'or et d'éléments de terres rares. Un projet commencé récemment, portant sur la signature en éléments traces des sulfures de ces secteurs, en collaboration avec la Chaire de recherche du Canada en métallogénie magmatique de l'UQAC, devrait permettre de préciser la nature de la source de ces minéralisations.

SÉANCE 15

Portrait des minéralisations en lithium au Québec

Fabien Solgadi (MERN) et Serge Perreault (SOQUEM)

Le lithium est un élément considéré comme stratégique pour le Québec, car il permet en particulier de fabriquer des accumulateurs électriques. Avec l'arrivée sur le marché de voitures électriques, la demande en lithium devrait donc s'accroître. À l'échelle mondiale, le lithium est principalement extrait à partir de saumure au Chili et en Argentine, une production peu coûteuse, permettant généralement la récupération de plus d'une substance. Au Québec les principaux gîtes de lithium sont concentrés en Abitibi et à la Baie-James et correspondent à des pegmatites granitiques recoupant des roches encaissantes d'âge archéen. Dans la plupart des cas, ces pegmatites sont génétiquement associées à des granitoïdes hyperalumineux (granite de type S). Le lithium étant fortement incompatible avec les minéraux comme le feldspath ou le quartz, il y a enrichissement des liquides magmatiques par cristallisation fractionnée. Il est possible de distinguer les pegmatites en fonction des métaux rares qu'elles contiennent. Seul le type LCT (lithium-césium-tantale) est intéressant pour l'exploitation du lithium. D'autres classifications peuvent être utilisées et sont basées sur les minéraux porteurs de lithium. Les principaux minéraux sont des silicates d'aluminium et de lithium tels que le spodumène, la pétalite et la lépidolite ou plus rarement de l'amblygonite, un phosphate d'aluminium et de lithium.

Au total, 39 indices et gîtes de lithium sont répertoriés au Québec. On notera cependant que seul le gisement de Québec Lithium a été exploité entre 1955 et 1965. Ce gisement, situé à La Corne au nord de Val-d'Or en Abitibi, a produit 907 200 tonnes de minerai à 1,4 % LiO_2 . Depuis quelques années, d'autres gîtes ont été mis en valeur en Abitibi et à la Baie-James et contiennent des ressources intéressantes économiquement. Par exemple, le gîte Autier en Abitibi et les gîtes James Bay Lithium, Moblan, Rose Lithium-Tantale et Whabouchi à la Baie-James.

L'utilisation du lithium dans l'industrie des piles et des accumulateurs exige que ce dernier soit d'une grande pureté et, de ce fait, demande des étapes de purification lors de son extraction du spodumène. En conclusion, le Québec peut devenir un joueur important pour la production de lithium sur l'échiquier mondial, les défis étant principalement d'ordre métallurgique.

SÉANCE 15

Métallogénie des pegmatites lithinifères

Robert Linnen (University of Western Ontario)

La classification la plus largement acceptée pour les pegmatites est basée sur les familles pétrogénétiques; les pegmatites lithinifères font partie de la famille LCT, qui fait référence à Li-Cs-Ta. La plupart des pegmatites LCT qui présentent un intérêt économique font partie de la classe des pegmatites à éléments rares, qui est elle-même subdivisée en sous-types, les plus importants étant le sous-type complexe et celui à albite-spodumène. Le sous-type complexe est une source de Li, de Ta et dans un seul cas, à la mine Tanco, de Cs. D'ailleurs, la majeure partie du Ta et une quantité non négligeable du Li dans le monde proviennent de pegmatites complexes. Étant donné leur zonation complexe, l'extrême diversité des minéraux qu'on y trouve et leur importance économique, d'innombrables études ont été réalisées sur ce sous-type. Par contre, le sous-type albite-spodumène a reçu beaucoup moins d'attention scientifique. Ces pegmatites ont une minéralogie simple, ne sont typiquement pas zonées, mais représentent néanmoins une source importante de Li.

Deux principaux modèles pétrogénétiques ont été évoqués pour expliquer l'abondance d'éléments incompatibles (« rares ») dans les pegmatites à éléments rares : les produits de fusion anatectique et la cristallisation fractionnée extrême. Bien qu'il existe beaucoup de preuves sur le rôle de la cristallisation fractionnée extrême à certains endroits, l'absence de granites sources du même âge que les pegmatites dans d'autres régions soulève la question à savoir si certaines pegmatites sont d'origine anatectique.

La plupart des pegmatites LCT de calibre mondial sont associées à des zones de cisaillement et la roche hôte est communément une metabasite. Il pourrait s'agir là d'un facteur important. Les metabasites sont des roches compétentes et leur comportement plus cassant pourrait contribuer à la formation de corps pegmatitiques plus épais, donc plus intéressants économiquement. Au sein des champs ou des essaims de pegmatites, la cristallisation fractionnée provoque des changements systématiques de la composition chimique des minéraux dans les pegmatites, qui peuvent être utilisés comme vecteurs de fractionnement vers les pegmatites d'intérêt économique accru. On parle ici du contenu en Rb-Cs du feldspath potassique, du contenu en Li-Rb-Cs-Ta de la muscovite, du contenu en Mn du grenat et du contenu en Li-Mn de la tourmaline. À plus petite échelle, la lithogéochimie est un outil puissant qui permet de localiser les pegmatites LCT enfouies. En effet, la présence d'une zonation d'anomalies en Li, en Rb et en Cs dans la roche totale en s'approchant de pegmatites complexes est déjà bien établie et une diminution du Li en s'approchant de pegmatites à albite-spodumène a aussi été observée. Enfin, une nouvelle technique en voie de développement utilise la composition chimique des minéraux dans les fractures. La biotite et les amphiboles dans les metabasites à proximité de pegmatites à éléments rares montrent toutes deux des enrichissements en Li. Toutefois, la chlorite tapissant les fractures est aussi fortement enrichie en Li, un fait qui s'avère extrêmement prometteur comme vecteur d'exploration.

SÉANCE 15

Les avantages du procédé électromembranaire de Nemaska pour produire directement de l'hydroxyde de lithium de haute pureté

Jean-François Magnan (Nemaska Lithium)

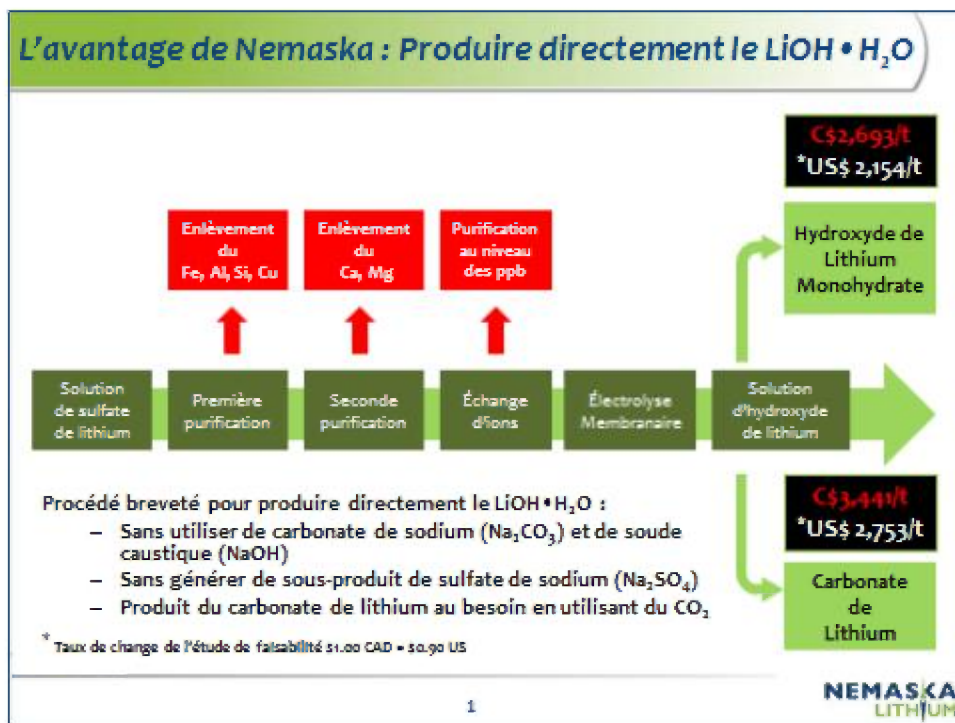
Le procédé conventionnel de production de carbonate de lithium de niveau technique, un procédé chimique, date de 1954 (brevet canadien No 504477A). Ce procédé produit seulement du carbonate de lithium (Li_2CO_3) de basse pureté, en ajoutant du carbonate de sodium (Na_2CO_3) à une solution de sulfate de lithium (Li_2SO_4). La réaction résultante est la suivante : $\text{Na}_2\text{CO}_{3(aq)} + \text{Li}_2\text{SO}_{4(aq)} = \text{Li}_2\text{CO}_{3(s)} + \text{Na}_2\text{SO}_{4(aq)}$

La réaction a comme sous-produit du sulfate de sodium (*salt cake*) en quantité plus importante que le carbonate de lithium de basse pureté produit (lequel contient une partie des impuretés auparavant dans le carbonate de sodium). Pour obtenir un carbonate de lithium de haute pureté, un second procédé chimique de purification est nécessaire.

En outre, un autre procédé chimique est nécessaire pour convertir le carbonate de lithium en hydroxyde de lithium. C'est pourquoi l'hydroxyde de lithium a toujours eu historiquement une valeur commerciale plus grande que son précurseur, le carbonate de lithium.

Lorsque le procédé conventionnel de production du carbonate de lithium a été inventé, il n'y avait pas de contraintes environnementales. Le sous-produit de sulfate de sodium était envoyé dans le ruisseau ou la rivière les plus proches de l'usine, avec des conséquences maintenant inacceptables sur l'environnement. Une solution récurrente pour éliminer le sulfate de sodium généré par les diverses industries chimiques est d'électrolyser le Na_2SO_4 afin de produire du NaOH et de l'acide sulfurique dilués. Ce procédé est techniquement viable et il est pratiqué par certains industriels, mais n'arrive pas à concurrencer avec le procédé industriel chlore-alcali, un procédé hautement optimisé à grande échelle pour produire des millions de tonnes de soude caustique (NaOH) et de chlore gazeux (Cl_2) annuellement, à partir du chlorure de sodium (NaCl).

Nemaska Lithium a développé un procédé pour produire directement l'hydroxyde de lithium en solution aqueuse (LiOH) à partir du sulfate de lithium (Li_2SO_4). Celui-ci résout non seulement les problèmes environnementaux liés au procédé conventionnel de production de carbonate de lithium, mais produit un hydroxyde de lithium monohydrate ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) de haute pureté à un coût très concurrentiel par rapport aux pairs de l'industrie. Il réduit aussi drastiquement l'usage de réactifs chimiques ainsi que les émissions directes de gaz à effet de serre.



SÉANCE 15

Les différentes chimies des batteries lithium-ion et leur usage industriel

Tomas Bibienne (UdeM)

La première batterie à base de lithium dite primaire (c.-à-d. non rechargeable) a été développée dans les années 70 et a servi de source d'énergie dans de nombreuses applications (montre, calculatrice, appareil médical). Le développement parallèle de matériaux inorganiques pouvant réagir de façon réversible avec les métaux alcalins (p. ex. le lithium) a rapidement ouvert la voie aux batteries lithium rechargeables. Dans ces dernières, le lithium métal était utilisé comme anode et un composé d'insertion pouvant intercaler réversiblement les ions lithiums composait la cathode. Un sel de lithium dissous dans un composé organique jouait le rôle d'électrolyte liquide. Cependant, le dépôt non uniforme du lithium durant l'utilisation rendait ces batteries trop dangereuses par risque d'apparition de courts-circuits internes. Pour remédier au problème du plaquage irrégulier du lithium lors du cyclage, il a été proposé de remplacer ce dernier par un autre matériau comme le graphite qui peut insérer réversiblement le lithium. Les batteries lithium-ion ont ainsi vu le jour et les premiers modèles ont été commercialisés par Sony dans les années 90. Ces batteries lithium-ion n'ont cessé de s'améliorer et elles offrent aujourd'hui de fortes densités d'énergies volumiques et massiques, ce qui en fait l'un des systèmes de stockage d'énergie les plus intéressants, que ce soit pour les utilisations mobiles légères (p. ex. téléphones, ordinateurs) ou pour les véhicules tout électriques ou hybrides. Au début des années 2000, une autre solution au problème du lithium métal a été proposée : la substitution de l'électrolyte liquide par un électrolyte polymère. Ces batteries lithium métal polymère, fonctionnant à 80 °C, se retrouvent aujourd'hui dans certains véhicules en partage (Bluecar) de plusieurs grandes villes. Dans le but d'offrir des batteries toujours plus performantes, d'autres technologies sont en cours de développement (p. ex. lithium-air ou lithium-soufre), mais les défis technologiques sont encore nombreux avant d'envisager leur commercialisation.

Dans cet exposé, l'historique retraçant l'évolution des différentes batteries à base de lithium sera présenté. Certaines technologies seront décrites plus en détail et une discussion sera proposée sur les possibilités qui s'offrent au niveau du Québec pour participer activement à la recherche et au développement des futurs systèmes de stockage d'énergie.

SÉANCE 15

Le boom du lithium et ses nouvelles possibilités : perspectives du marché

Alex Laugharne (CRU Consulting, New York, É.-U.)

Le cours du lithium a fait un bond spectaculaire récemment. Lors de cette allocution, Alex Laugharne, l'un des principaux experts-conseils de CRU — le plus important fournisseur au monde d'information relative aux métaux et au domaine minier des 40 dernières années — se penchera sur les raisons qui expliquent cette hausse marquée et évaluera la durée de cet engouement. Tourné vers l'avenir, il s'intéressera aux facteurs qui feront augmenter la demande en lithium au cours des dix prochaines années, au rythme de cette croissance et aux régions qui seront touchées. Il se prononcera sur la question de l'approvisionnement et passera en revue le portefeuille de projets. Il abordera également l'importance de la position du Québec dans l'avenir de la production de ce métal. Enfin, il établira les répercussions des prévisions à l'égard de l'offre et de la demande sur les cours futurs et s'attardera sur les facteurs de réussite des nouveaux projets ainsi que sur les risques et les incertitudes d'importance qui sous-tendent la vision de CRU.

SÉANCE 16

Structure du marché du vanadium et perspectives

Terry T. Perles (TTP Squared, Pittsburgh, É.-U.)

Cette conférence passe en revue l'état de l'industrie mondiale du vanadium et souligne ses répercussions sur les marchés pour les années à venir. Les réserves et les ressources de vanadium sur la planète seront définies et la production actuelle de ce métal sera quantifiée et examinée selon le volume produit par pays, les sources de matières premières essentielles à sa production et les coûts reliés aux procédés de production. La consommation actuelle de vanadium par pays et par utilisation sera examinée. L'équilibre entre l'offre et la demande en vanadium au cours des dernières années de même que son impact sur les niveaux d'inventaire seront aussi abordés. Des projections seront aussi faites quant aux variations de la production et de la consommation mondiales de vanadium ainsi qu'aux fluctuations des stocks qui en résulteront sur les marchés au cours des prochaines années.

SÉANCE 16

Survol du potentiel vanadifère au Québec

Patrick Houle (MERN)

De nombreux travaux d'exploration ont été effectués sur des minéralisations vanadifères au Québec. Plusieurs indices et gîtes de vanadium ont été découverts, principalement dans les provinces géologiques du Supérieur et de Grenville, mais également dans la province géologique de Churchill ainsi que dans celle des Appalaches. Ces gîtes sont pour la plupart associés à des minéralisations de fer-titane, mais se trouvent parfois associés à des minéralisations uranifères.

La province de Québec possède potentiellement l'une des importantes ressources de vanadium non exploitées au monde : le Complexe anorthositique du Lac Doré (CLD), situé dans la région de Chibougamau. Au cours des dernières années, l'exploration pour le Fe-Ti-V a été exclusivement axée sur le flanc sud du CLD. Toutefois, un anticlinal, représenté par le Pluton de Chibougamau, divise la zone litée en Fe-Ti-V en deux flancs distincts, soit nord et sud. La présentation vise à montrer l'emplacement des gisements, des gîtes et des indices en vanadium connus par province géologique au Québec et à confirmer le potentiel de découverte de gisements d'oxydes de fer et titane avec vanadium associés au flanc nord du CLD.

SÉANCE 16

Vanadium : métallurgie extractive

Réjean Girard (IOS Services Géoscientifiques)
et Todd Richardson (AMG Vanadium)

Le vanadium est un métal sidérophile polyvalent, lequel est ubiquiste dans la nature. Remplaçant le fer dans de nombreux minéraux, ce métal ne forme pas de minéraux spécifiques en quantité notable, et ne peut en conséquence être concentré par minéralurgie. La principale source de vanadium est la titanomagnétite extraite de complexes lités, tels ceux du Lac Doré ou du Bushveld. Celle-ci peut facilement être concentrée, mais ne contient que 1-2 % V_2O_5 . La récupération du vanadium de cette magnétite nécessite qu'il soit extrait de la structure cristalline, par pyrométallurgie et hydro-métallurgie. Le principal mode d'extraction, comptant pour près de 80 % de la production mondiale, commence par la fusion (*smelting*) de la titanomagnétite en condition réductrice et la coulée d'une fonte de fer riche en vanadium. Cette fonte est ensuite soufflée à l'oxygène pour être affinée en acier et de là former un laitier (*slag*) riche en vanadium. Le laitier est traité par rôttissage alcalin, menant à la formation d'un vanadate de sodium soluble dans l'eau. Le matériel est lessivé, et le vanadium solubilisé précipite par l'ajout d'un sel d'ammoniaque et est affiné en V_2O_5 . Le vanadium est ainsi un sous-produit de l'affinage de l'acier et sa production est inélastique relativement aux fluctuations du marché. Diverses variantes du procédé de fusion seront revues, dont le procédé développé dans les années 1970 pour traiter le minerai du Lac Doré. Le second procédé, pour lequel le vanadium est un produit primaire, consiste au rôttissage alcalin direct du concentré de titanomagnétite. Pour ce faire, la titanomagnétite est rôtie en conditions oxydantes avec un sel alcalin dans le but de produire un vanadate de sodium. Le reste du procédé est similaire à celui du traitement du laitier vanadifère, mais à plus grande échelle. Le fer et le titane ne sont ici que des résidus devant être enfouis. Chacune des deux familles de procédés a des avantages et des inconvénients qui seront passés en revue. Finalement, le pentoxyde de vanadium produit doit être converti en ferrovanadium pour être utilisé comme additif dans l'acier ou faire l'objet de divers traitements hydrométallurgiques pour être purifié et transformé en réactifs chimiques, tels que l'électrolyte des piles de stabilisation de réseaux.

SÉANCE 16

Les batteries à flux redox vanadium (VRFB) : leur fonctionnement, leurs avantages et inconvénients, leurs applications et usages et leur marché potentiel en Amérique du Nord

Patrick H. J. Mercier, Giovanna Gonzales-Calienes
et Christina Bock (CNRC)

Un état de situation sur la technologie des VRFB sera présenté. Après une explication détaillée du fonctionnement de ce type de batterie, les avantages inhérents à la VRFB seront décrits : sa longue durée de vie (de 5 à 25 ans) avec une quantité quasi illimitée de cycles (>10 000–20 000); l'empreinte écologique la plus restreinte parmi les technologies de stockage d'énergie; la possibilité d'être déchargée pendant de longue période, sans pour autant avoir d'effet néfaste sur la performance. Le fait que les deux électrodes et l'électrolyte soient constitués d'un seul matériau est aussi un avantage unique. Cela permet un transport et un entreposage d'électrolyte moins coûteux, plus simple et pratique. De plus, la capacité de stockage d'énergie d'une VRFB est indépendante de sa puissance nominale; il suffit d'augmenter la taille du réservoir d'électrolyte afin d'accroître la capacité de stockage.

Bien que développée dans les années 1980, la VRFB n'a connu un déploiement commercial qu'au début des années 2000, en raison de ses principaux inconvénients, soit un coût de production relativement élevé et une densité en énergie et en puissance plus faible par rapport aux autres technologies de stockage d'énergie. Hormis les systèmes hydroélectriques (qui demeurent, sans équivoque, les moins chers et les plus utilisés), les batteries Li-ion constituent 25 % des nouvelles installations de stockage d'énergie implantées dans le monde en 2007–2016, soit la plus grande part de marché comblée par des batteries.

L'ingrédient le plus coûteux d'une VRFB est le pentoxyde de vanadium (V_2O_5) de haute qualité requis dans la fabrication de l'électrolyte. Le coût du V_2O_5 compte pour 30 % à 40 % du coût total d'une VRFB. Afin de concurrencer la batterie Li-ion, il est estimé qu'il faudrait réduire le coût d'une VRFB de ~55 % (de 600–750 \$ US/kWh à ~350 \$ US/kWh). Néanmoins, depuis cinq ans (2011–2016), la consommation de vanadium dans les VRFB s'est significativement accrue, passant de < 1 à 3,5 kt V (6 kt V_2O_5). Cela est sans doute relié à la demande ciblée pour la VRFB dans les applications de nivellement de charge dans les réseaux électriques. À cet effet, le CNRC mène présentement une étude de marché unique au Canada, laquelle a pour but de quantifier la demande prévue en VRFB pour des applications relatives au stockage d'énergie, visant la sécurité et la modernisation du réseau électrique en l'Amérique du Nord.

SÉANCE 17

Potentiel de minéralisation en graphite au Québec

N'golo Togola (MERN)

Le Québec présente un bon potentiel pour les minéralisations en graphite. Plusieurs indices et gîtes de graphite se trouvent dans la Province géologique de Grenville, notamment dans les régions de l'Outaouais et des Laurentides ainsi que dans le Nord-du-Québec. Ceux-ci sont associés à des unités de roches méta-sédimentaires (paragneiss, quartzite, marbre calcitique, marbre dolomitique).

Les plus importants gisements de graphite au Québec sont ceux du lac des Îles au sud de Mont-Laurier (Laurentides), du lac Knife au nord de Fermont et du lac Guéret au sud-ouest du réservoir Manicouagan. Le secteur de Saint-Michel-des-Saints dans Lanaudière offre également un bon potentiel pour les minéralisations de graphite.

De nombreux indices et gîtes de graphite ont été découverts dans le secteur de Mont-Laurier. La minéralisation graphitreuse est associée à des bandes de marbre dolomitique ou calcitique ou de paragneiss de la ceinture métasédimentaire centrale du sud-ouest de la Province de Grenville. Les horizons minéralisés en graphite sont compris dans des niveaux d'épaisseur variable de roches calcosilicatées, de quartzite ou de gneiss à biotite-grenat. La mine Timcal (gisement du lac des Îles), située au sud de Mont-Laurier est la seule mine de graphite exploitée au Québec depuis 1989. Les réserves prouvées du gisement sont de 5,2 Mt à 7,42 % Cg.

Dans le secteur de Fermont (Nord-du-Québec), les horizons minéralisés en graphite sont constitués de schiste à biotite-graphite ou de gneiss quartzo-feldspathique à biotite-graphite-kyanite. La minéralisation sous forme de paillettes de 1-5 mm est disséminée à massive et est parfois accompagnée de sulfures (pyrite, pyrrhotite). Elle se retrouve aussi dans le gneiss quartzo-feldspathique sous forme de veines ou de lentilles pouvant atteindre des teneurs de 5 à 10 % de graphite. Le secteur de Fermont renferme le gisement de graphite du lac Knife; les ressources mesurées et indiquées du gisement sont évaluées à 9,6 Mt à 14,7 % Cg tandis que les ressources présumées sont de 3,2 Mt à 13,2 Cg.

De nombreux gîtes de graphite ont été découverts au sud-ouest du réservoir Manicouagan (Nord-du-Québec). Les zones minéralisées en graphite sont associées à des niveaux de schiste à quartz-graphite-sulfures, de schiste à amphibole chloritisée, de paragneiss à biotite-grenat, de gneiss quartzo-feldspathique, de quartzite et de formations de fer rubané. Le secteur du réservoir Manicouagan renferme le gisement de graphite du lac Guéret; les réserves prouvées du gisement sont de 18,9 Mt à 17,9 % Cg tandis que les réserves probables sont de 43,9 Mt à 16,9 % Cg.

Dans le secteur de Saint-Michel-des-Saints (Lanaudière), les roches encaissantes de la minéralisation graphitreuse sont des paragneiss à biotite en alternance avec des horizons de paragneiss à grenat. Le graphite se présente en paillettes fines à grossières disséminées dans la roche, avec parfois des sulfures (pyrrhotite). Le secteur de Saint-Michel-des-Saints renferme le gisement de graphite Tony; les ressources minérales combinées des zones Sud-Est et Sud-Ouest de ce gisement sont de l'ordre de 26,3 Mt à une teneur de 3,73 % Cg (ressources indiquées) et de 19,2 Mt à une teneur de 3,67 % Cg (ressources présumées).

SÉANCE 17

Gîtes de graphite – Géologie, genèse et importance économique

George Simandl (British Columbia Geological Survey)

La plupart des gîtes de graphite peuvent être divisés en trois grandes catégories, en fonction des caractéristiques de la minéralisation en graphite qu'ils contiennent : graphite microcristallin, graphite cristallin en paillettes et veines de graphite (en blocs). La majorité des gîtes de graphite microcristallin se forment par maturation de la matière organique dans les roches sédimentaires (horizons de charbon), suivie d'un épisode de métamorphisme régional ou de contact atteignant le faciès des schistes verts ou un faciès inférieur à ce dernier. Le graphite microcristallin, principalement utilisé dans les graisses et les lubrifiants de forgeage, n'a pas d'utilité connue dans les applications de haute technologie.

Les veines de graphite économiquement exploitables sont typiquement encaissées dans des successions sédimentaires métamorphisées au faciès des granulites où de petites intrusions ignées se sont mises en place. L'exploitation des veines de graphite, comme celles des mines au Sri Lanka, nécessite des méthodes souterraines et exige une main-d'œuvre importante. La morphologie du graphite, les textures en remplissage des espaces ouverts et les modèles thermodynamiques indiquent que ces veines sont le résultat de la précipitation de fluides C-H-O.

La plupart des projets d'exploration ciblent les gîtes de graphite cristallin en paillettes. Les faibles concentrations de graphite cristallin en paillettes dans les marbres et les paragneiss sont probablement issues au départ de la maturation de matière organique dans des sédiments, suivie par la graphitisation à des conditions de pression et de température approchant ou atteignant le faciès des granulites. Les zones riches en graphite dans les gîtes cristallins disséminés (par ex. : la mine Asbury au Québec et le gîte AA en Colombie-Britannique) sont spécifiquement situées au contact des marbres-paragneiss ou près de ceux-ci et dans les charnières de plis. Ces zones sont caractérisées par des textures porphyroblastiques dans les marbres, par une minéralogie typique des skarns aux contacts ou près de ceux-ci et par une concentration décroissante de la scapolite dans les paragneiss en s'éloignant des contacts. Dans ces contextes, l'enrichissement en graphite est probablement le résultat : a) d'un mélange de fluides produits par les réactions de décarbonation dans les marbres et de déshydratation dans les paragneiss ou de fluides issus de pegmatites ou d'autres intrusions mineures; b) du refroidissement de fluides C-H-O. La présence de minéraux typiques de faciès inférieurs à celui des granulites (par ex. : la prehnite et la clinzoïsite) dans certaines veines et portions à haute teneur des gîtes de graphite disséminés en paillettes suggère des températures de formation post-pic métamorphique (rétrograde).

L'augmentation prévue de l'utilisation du graphite naturel dans les applications de haute technologie a transformé le graphite en une substance convoitée; toutefois, les paramètres techniques et économiques fondamentaux des gîtes individuels doivent être pris en considération lorsque vient le temps de prioriser les cibles d'exploration et de mise en valeur.

Les zones enrichies des gîtes de graphite cristallin en paillettes sont particulièrement intéressantes pour les pays industrialisés, du fait que leur teneur est relativement élevée, qu'elles peuvent être exploitées par des méthodes à ciel ouvert (donc moins exigeantes en main-d'œuvre) et qu'elles procurent du matériel critique pour les applications de haute technologie.

SÉANCE 17

Métallurgie extractive 101 – Le graphite et les minéraux industriels

Jean L'Heureux (Mason Graphite)

La métallurgie extractive regroupe toutes les activités industrielles requises pour extraire un minéral de valeur, comme le fer, l'or, le graphite ou le lithium, d'un minerai. Le procédé est conçu de sorte à maximiser la récupération et la pureté du concentré final, ce qui, en plus des défis techniques, appelle au choix des meilleurs compromis entre la récupération, la pureté et les coûts.

Un procédé de métallurgie extractive combine généralement plusieurs étapes et technologies différentes de libération et de séparation.

Un concassage est habituellement réalisé avant la première étape de libération pour réduire les roches provenant de la mine à une taille adaptée à l'équipement de libération.

La libération consiste à briser les liens entre les particules du minéral de valeur et la gangue qui les retient prisonnières. Cette opération est réalisée dans différents types de broyeurs, avec ou sans additifs de broyage; le type de broyeur sera choisi en fonction des propriétés mécaniques du minerai, comme sa dureté, et de la dimension requise des particules à la sortie, laquelle dépendra du minéral de valeur et des opérations de séparation subséquentes. Dans le cas des métaux de base, les particules peuvent être broyées très finement, car elles seront éventuellement fondues ou dissoutes pour être reformées. Pour certains minéraux industriels, comme le graphite naturel, il peut être nécessaire de préserver autant que possible la taille originale des grains, car ce sera aussi leur taille finale.

Quant à la séparation, elle consiste à mettre à profit les différences de propriétés entre les particules du minéral de valeur et celles de la gangue, pour les trier et obtenir en fin de procédé un concentré et un rejet. Les différences peuvent être soit de nature physique, par exemple la densité, la forme ou la conductivité électrique, soit de nature chimique, par exemple la réactivité avec d'autres substances, l'hydrophobicité ou la solubilité dans certains solvants.

Habituellement, des traitements additionnels sont requis en fin de procédé, comme la filtration et le séchage d'un concentré en pulpe, la précipitation d'un soluté, le classement des grains par tailles, etc. Les résidus du procédé de concentration devront être disposés, avec ou sans traitement.

Dans le cas du graphite naturel, une fois le concentré de première transformation obtenu, une deuxième transformation est nécessaire pour modifier ses propriétés et le rendre utilisable dans des applications de pointe comme les batteries Li-ion.

SÉANCE 17

Le marché du graphite naturel : passé, présent et futur

Andrew Miller (Benchmark Mineral Intelligence, Londres, Angleterre)

La production de graphite naturel sera revue et analysée à l'échelle mondiale et les tendances de la consommation seront présentées pour les principaux marchés du graphite naturel. La nouvelle demande pour différents produits dérivés du graphite tels que le graphite sphérique, le graphite expansible (expandable), le graphite expansé (expanded) et le graphène sera évaluée et son impact sur le marché du graphite sera approfondi.

De nombreux projets de développement de capacité sont en cours dans plusieurs pays afin que la production puisse soutenir la demande future. Les défis et les possibilités de l'industrie du graphite seront examinés dans ce contexte de croissance de la demande.

Finalement, un regard indépendant sur les prix du graphite sera présenté.

SÉANCE 17

Utilisations du graphite dans les véhicules électriques et dans les systèmes de stockage d'énergie

Jean-Yves Huot (CNRC)

Le graphite affiche des propriétés uniques qui expliquent son utilisation dans plusieurs systèmes de stockage d'énergie ou de génération d'énergie telle que la pile à combustible. L'importance de ces propriétés sera présentée pour quelques applications spécifiques.

Le graphite est très utilisé dans les batteries Li-ion des voitures électriques et également dans les batteries des voitures hybrides telles que la batterie acide plomb et la batterie NiMH. Dans les batteries Li-ion, le graphite est le matériau actif des électrodes négatives (anodes), mais peut également être utilisé comme additifs dans les électrodes positives (cathodes). Le rôle du graphite naturel dans les batteries Li-ion et ses principales caractéristiques comme anode et comme additifs seront examinées et discutées.

Le graphite sert également d'additifs dans plusieurs autres systèmes de stockage d'énergie, tels que les piles primaires et autres accumulateurs électrochimiques. Les principales propriétés du graphite seront revues pour quelques systèmes électrochimiques. Le graphite est aussi un matériau important dans plusieurs composants des piles à combustible à membrane polymère. Le cas spécifique des plaques bipolaires sera examiné.

Finalement, l'avenir du graphite dans les véhicules électriques et les systèmes de stockage d'énergie sera discuté en considérant l'évolution des véhicules électriques, le développement de nouvelles anodes pour les batteries Li-ion et la production de dérivés du graphite tels que le graphène.

SÉANCE 18

Gîtes d'éléments de terres rares : genèse et exploration

Anthony Williams-Jones (Université McGill)

Dans une large mesure, les éléments de terres rares (ETR) doivent leur concentration primaire à de faibles degrés de fusion partielle d'un manteau enrichi en éléments volatils (CO_2 et F). En raison de leur nature fortement incompatible, les ETR sont préférentiellement concentrés dans les magmas carbonatitiques et silicatés sous-saturés en silice, mais enrichis en éléments alcalins qui en résultent, par exemple les syénites à néphéline, avec d'autres éléments incompatibles comme les éléments à forte liaison atomique (*High Field Strength Elements* ou HFSE), le Zr et le Nb. L'intégration des ETR dans les magmas silicatés est facilitée par le ratio Na + K/Al élevé et la formation de complexes fluorés. L'enrichissement en ETR peut aussi se produire dans les magmas granitiques qui se forment à partir d'une croûte inférieure ayant subi de l'altération métasomatique par des fluides mantelliques. La plupart des gîtes d'ETR se retrouvent donc dans des contextes de rift continental, bien qu'on en retrouve aussi dans tout environnement tectonique qui offre une fenêtre à un manteau enrichi subissant de la fusion partielle limitée.

Les processus magmatiques après la mise en place jouent un rôle essentiel pour concentrer les ETR à des niveaux potentiellement économiques. Dans le cas des magmas silicatés hyperalcalins, la cristallisation fractionnée est le mécanisme de concentration dominant. Les magmas sous-saturés en silice peuvent produire des intrusions litées, où les derniers aliquotes de liquide cristallisent en couches de minéraux riches en ETR et en HFSE comme l'eudialyte, tandis que la cristallisation terminale de magmas saturés en silice peut produire des pegmatites avec des quantités économiques de niobium, d'yttrium et de fluor. Les gîtes de Nechalacho dans les Territoires du Nord-Ouest et de Strange Lake au Québec en sont de bons exemples. L'immiscibilité des liquides fluorés-silicatés est un mécanisme d'enrichissement magmatique qui a récemment été reconnu, après avoir été observé à Strange Lake. Ce mécanisme permettrait le fractionnement préférentiel des ETR dans le liquide fluoré par des facteurs allant jusqu'à 100.

Contrairement aux roches silicatées hyperalcalines, il existe de plus en plus d'indications que la minéralisation économique en ETR dans les carbonatites ne cristallise pas directement du magma, mais plutôt d'un fluide hydrothermal ou carbo-hydrothermal exsolvé du magma. Ce dernier est aussi fortement enrichi en ETR légères, alors que la minéralisation encaissée dans des roches silicatées peut renfermer jusqu'à 50 % d'ETR lourdes. Ceci s'explique soit : 1) parce que les carbonatites représentent des degrés de fusion partielle encore plus faibles que les roches silicatées alcalines associées, ce qui privilégie l'intégration des ETR légères encore plus incompatibles; 2) parce que les magmas carbonatitiques se forment par séparation de liquides immiscibles où les ETR légères se fractionnent de manière préférentielle relativement aux magmas silicatés conjugués; 3) parce que le fluide exsolvé mobilise préférentiellement les ETR légères.

Les processus hydrothermaux peuvent concentrer davantage les ETR après cristallisation dans les roches silicatées et dans les carbonatites, compte tenu de la disponibilité de ligands appropriés pour le transport des métaux (par exemple, les chlorures et les sulfates), et à l'extrême, forment des gîtes qui peuvent être très éloignés de leurs racines ignées. Finalement, durant la météorisation tropicale et équatoriale, dans des secteurs de relief important, les ETR peuvent être mobilisés des roches ignées hyperalcalines sous-jacentes (typiquement des granites) par des acides humiques, comme c'est le cas en Chine méridionale, et concentrés à nouveau en aval par adsorption à la surface des minéraux argileux ou par précipitation de minéraux secondaires.

Dans cette présentation, les caractéristiques des processus de formation des gîtes d'ETR décrits ci-dessus seront abordées en faisant référence à quelques exemples au Canada et ailleurs dans le monde et des stratégies pour l'exploration des ETR seront proposées.

SÉANCE 18

Géologie et potentiel de mise en valeur des différents types de gîtes d'ETR

George Simandl (British Columbia Geological Survey)

La Chine a commencé à produire des éléments de terres rares (ETR) dans les années 1980 et est devenue le plus grand producteur d'ETR vers le milieu des années 1990. Le gouvernement chinois a imposé des quotas d'exportation sur les ETR au début des années 2000, puis les a grandement réduits en 2010 et en 2011, ce qui a provoqué une disparité entre les prix pour les oxydes de terres rares (OTR) en Chine par rapport au reste du monde et révélé le risque de possibles ruptures d'approvisionnement. Une ruée en exploration pour les ETR, à laquelle un grand nombre de sociétés juniors d'exploration a participé, s'en est suivie partout dans le monde ainsi que des corrections de prix subséquentes. Plus de 550 projets d'exploration ou de mise en valeur actifs étaient dénombrés en 2012 à l'échelle mondiale; la plupart de ceux-ci visaient des indices minéralisés déjà connus. Environ la moitié de ces projets ont fait l'objet de campagnes de forage alors que près d'une centaine étaient considérés à l'étape de l'exploration avancée, de la préfaisabilité, de la faisabilité ou de la construction.

À l'heure actuelle, plus de 427 indices d'ETR sont répertoriés au Canada. La plupart sont situés en Ontario (142), au Québec (103), à Terre-Neuve-et-Labrador (52) et en Colombie-Britannique (44). Toutefois, peu de ces indices et gîtes sont présentement l'objet d'activités d'exploration ou de mise en valeur, ou l'ont été récemment.

Dans le monde, la plupart des ressources d'ETR identifiées sont concentrées dans les gîtes associés aux carbonatites, aux roches ignées hyperalcalines, aux pegmatites, aux veines de monazite ± apatite, aux argiles d'adsorption ionique enrichies en ETR, aux placers et à certains sédiments océaniques profonds. Les ETR peuvent aussi être un sous-produit de la production d'engrais phosphatés, du traitement des minerais uranifères, de l'extraction minière des placers de Ti-Zr, de l'exploitation des gisements d'oxydes de fer-cuivre-or de type Olympic Dam et de l'alumine.

Sur le plan du tonnage et de la valeur totale de production (en \$ US), la majeure partie des ETR qui arrive sur le marché provient de gisements associés aux carbonatites, mais les gisements d'argiles d'adsorption ionique sont une source importante d'ETR lourdes. De petites quantités d'ETR proviennent de placers et d'un gisement associé à une intrusion hyperalcaline. Plusieurs gîtes connus d'ETR encaissés dans des roches hyperalcalines qui n'avaient pas encore été mis en valeur en raison de problèmes métallurgiques font présentement l'objet d'études de préfaisabilité ou de faisabilité; les communiqués de presse des compagnies minières indiquent que les principaux enjeux métallurgiques ont été résolus.

Les cibles idéales pour la mise en valeur de gîtes d'ETR seraient situées dans des juridictions politiquement stables qui suivent les règles de l'Organisation mondiale du commerce et qui ont une vision favorable de l'industrie minière, comme le Canada et l'Australie. Les infrastructures, la teneur en ETR, le ratio ETR lourdes vs ETR légères de la minéralisation, le tonnage, la profondeur et la géométrie des zones de minerai potentielles, la minéralogie et la métallurgie favorable sont quelques-uns des facteurs techniques clés qui devraient être pris en compte pour prioriser les projets potentiels de mise en valeur.

SÉANCE 18

Aperçu du potentiel québécois pour les gîtes d'éléments de terres rares

Anne-Aurélien Sappin et Georges Beaudoin (UL)

Les éléments de terres rares (ETR) sont des métaux stratégiques, vitaux à la croissance économique globale en raison de leur utilité dans une multitude d'industries de haute technologie (p. ex., énergie, transport et télécommunication). L'essentiel de la production et des réserves mondiales en métaux rares est en Chine. Cependant, le Québec contient des ressources substantielles en ETR, en particulier les plus recherchés (Eu, Tb, Nd, Pr et Dy), qui sont en cours d'évaluation et qui pourraient contribuer à la future production mondiale.

Les nombreux indices et gîtes d'ETR au Québec sont subdivisés en six principaux types selon leur association lithologique. Quatre de ces types sont d'origine primaire, leur formation résultant de processus ignés et/ou hydrothermaux. Les deux autres sont d'origine secondaire, leur formation résultant du lessivage et de processus sédimentaires. Au Québec, les gîtes primaires sont les plus abondants. Ils sont associés à des complexes de carbonatite, à des roches ignées hyperalcalines, à des gîtes d'oxydes de fer-cuivre-or ou à des roches ignées hyperalumineuses/métalumineuses et des skarns. De l'Archéen au Mésozoïque, ils se sont mis en place principalement dans des environnements intracontinentaux en extension, à proximité de structures crustales majeures. Ces gîtes sont des cibles privilégiées pour l'exploration minière, en particulier les gîtes associés aux roches ignées hyperalcalines et les gîtes d'oxydes de fer-cuivre-or-éléments de terres rares qui sont riches en ETR de plus haute valeur. Plusieurs gîtes primaires sont d'ailleurs à des stades d'exploration et de développement relativement avancés, tels que les gîtes Ashram (Fosse du Labrador) et Montviel (Province du Supérieur), tous deux associés à des carbonatites paléoprotozoïques, les gîtes Strange Lake (Zone noyau) et Kipawa (Province de Grenville) mis en place lors d'épisodes de magmatisme alcalin au Mésoprotozoïque et la minéralisation en ETR associée au gîte d'oxydes de fer-cuivre-éléments de terres rares-(or) Kwjibo (Province de Grenville) formée au Néoprotozoïque. Au contraire, les gîtes secondaires, plus rares sur le territoire québécois, se sont formés du Paléozoïque au Cénozoïque dans des environnements silicoclastiques continentaux et marins ou dans des argiles. Malgré la plus faible abondance de ce type de gîtes, leur présence témoigne de la grande diversité des minéralisations en ETR dans la province.

SÉANCE 18

Développement du modèle géométallurgique lors de la mise en valeur des gîtes de terres rares

Jean-François Wilhelmy (COREM), Serge Perreault (SOQUEM), Sylvie Lévesque et Patrick Laflamme (COREM)

Au stade de l'exploration avancée, le modèle géométallurgique évolue beaucoup, particulièrement lors des premiers essais métallurgiques. Au départ, ce modèle est fortement influencé par la compréhension géologique et les premières analyses chimiques. Dès cette étape, dans le cas du gîte de Kwyjibo, le Mineral Liberation Analyzer (MLA) a été utilisé, d'abord pour l'étude de lames minces polies issues des carottes de forage, puis pour la minéralogie appliquée lors des essais métallurgiques subséquents.

Dans le cas des propriétés de terres rares, les éléments de valeurs sont distribués, en très faibles concentrations, parmi plusieurs minéraux, voire plusieurs familles de minéraux. Les principaux minéraux porteurs de terres rares dans le minerai de Kwyjibo étaient l'apatite, la britholite, l'allanite et l'andradite. La variabilité des compositions minérales a été déterminée par microsonde. Les distributions élémentaires (des terres rares dans les minéraux) dans les souches et dans les différents concentrés produits chez COREM ont été mesurées par MLA.

Le schéma de traitement proposé initialement a évolué au cours des premières étapes de la mise en valeur de la propriété, tant par une meilleure caractérisation de la zone minéralisée que par une meilleure connaissance des rendements potentiels des diverses options de traitement développées à l'échelle du laboratoire, puis à l'échelle pilote. Dans le cas du gîte de Kwyjibo, ces essais avaient pour but de produire un concentré magnétique, un concentré de phosphates porteur de terres rares et un concentré de silicates porteur de terres rares. Une étape de lixiviation, à l'acide chlorhydrique (HCl), était finalement appliquée sur les concentrés.

La minéralogie appliquée a permis de faire le lien entre les données géologiques et les résultats métallurgiques, par exemple :

- ▶ en caractérisant les impacts d'une maille de broyage uniforme sur un ensemble de minéraux différents, à concentrer par des procédés différents;
- ▶ en fournissant des informations permettant de comprendre les taux de récupération des différentes phases minérales et les teneurs des terres rares à valoriser dans chacun des concentrés.

L'intégration des travaux du COREM et des connaissances géologiques du gîte acquise depuis 2011 a permis de préciser une vision géométallurgique suffisamment développée pour maintenant orienter les futurs travaux métallurgiques.

SÉANCE 18

Les défis économiques de la valorisation métallurgique pour les minéralisations contenant des éléments de terres rares

Jordan Zampini et Alain Dorval (Norda Stelo)

Il y a présentement plusieurs projets de terres rares qui sont à différents stades d'étude ou de développement. Ces projets sont pour la plupart, soit au ralenti ou simplement inactifs. Chaque projet comporte des caractéristiques spécifiques qui représentent des avantages ou des difficultés économiques à surmonter. Cette présentation fait un survol d'une variété de procédés métallurgiques pour le traitement de terres rares et se penche sur les problématiques et les défis pour rendre certains projets économiquement viables.

Après une mise en contexte sur les utilisations potentielles des terres rares, les notions de terres rares critiques et de « *basket value* » seront présentées, de même qu'une vue globale de projets en cours.

Il y aura sûrement des projets qui tireront mieux que d'autres leur épingle du jeu lors d'une reprise éventuelle du marché des terres rares. Tout est une question de solutions mixtes aux défis techniques, économiques et stratégiques.

Norda Stelo a un porte-folio enviable d'accompagnement de clients qui étudient la valorisation de minéralisations contenant des terres rares. L'accumulation et l'analyse de données publiques recueillies au cours des dernières années serviront à éclairer le propos de cette présentation.

RÉSUMÉS DES PHOTOPRÉSENTATIONS

G11	La restauration minière au Gouvernement de Québec (MERN).....	62
G12	La mesure du radium dans les rejets et effluents miniers.....	62
G13	Veines d'or orogénique à proximité du contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, Eeyou Istchee Baie-James.....	63
G14	Caractérisation des minéralisations aurifères le long du contact La Grande-Opinaca dans le secteur du lac Sakami, Eeyou Istchee Baie-James	63
G15	L'architecture tectonique des sous-provinces d'Opinaca et de La Grande : synthèse des interprétations structurales et traitements géophysiques alternatifs	64
G16	Étude du contexte tectonométamorphique du Complexe de Laguiche, Sous-province d'Opinaca, Eeyou Istchee Baie-James.....	64
G17	Une contribution de la ceinture paraautochtone dans la genèse de pegmatites grenvilliennes à éléments de terres rares encaissées dans la ceinture allochtone?	65
G18	La ceinture de roches vertes de Colomb-Chaboullié, entre la Sous-province d'Opatoca et la Sous-province de Nemiscau, Baie-James – Résultats préliminaires	65
G19	Le contact Nemiscau-La Grande : nouveau site d'altérations hydrothermales de type Éléonore.....	66
G20	Caractérisation pétrologique et géochimique des intrusions mafiques et ultramafiques de la Ceinture de Colomb-Chaboullié (Baie-James)	66
G21	Étude structurale et métamorphique du Complexe d'Attic (phase 3), Québec : datations U-Pb.....	67
G22	Étude de la zone de faille du lac Fiedmont	67
G23	Modélisation de la dynamique sismique de la Faille de Cadillac – Influence des lithologies et du bâti structural	68
G24	Typologie des intrusions porphyriques et relation avec la déformation et la minéralisation aurifère dans le secteur est de Val-d'Or	68
G25	Géologie de la région de Val-d'Or–Val Senneville–Obaska	69
G26	Géologie de la région de Wemotaci, Grenville ouest, Québec (SNRC 31P11, 31P12, 31P13 et 31P14).....	69
G27	Géologie et potentiel économique de la partie nord-ouest du réservoir Manicouagan, Province de Grenville (SNRC 22N06, 22N10, 22N11 et 22N14)	70
G28	Géologie et potentiel économique de la région du lac Nemiscau : secteur ouest de la rivière Rupert (SNRC 32N06, 32N07 et 32N11).....	70
G29	Géologie de la région des lacs Sakami et Ewart (SNRC 33G04, 33G05 et 33F02).....	71
G30	Géologie et potentiel minéral des régions du lac Emmanuel et du lac Léran, au nord des monts Otish (Baie-James)	71
G32	Présentation des données géophysiques publiées en 2015-2016.....	72
G34	Géologie de la région du lac Amisquioumisca (SNRC 32K07 et 32K08, parties des SNRC 32K01, 32K02 et 32K09)	72
G36	Compilation géologique de la région du lac Biencourt, Bas-Saint-Laurent	73
G37	Ntshuku et Tunulic : comparaisons pétrologiques et géochimiques.....	73

G38

Pétrographie et géochimie des filons-couches mafiques et ultramafiques de la Zone de Gerido dans la région des lacs Qamaniik, Fosse du Labrador, Nunavik, Québec 74

G39

La Suite mafique-ultramafique de Nuvulialuk : une nouvelle séquence ophiolitique dans l'arrière-pays de la Zone noyau, sud-est de la Province de Churchill (Québec) 74

G40

Pétrographie métamorphique d'une intrusion mafique-ultramafique, Zone noyau, Province de Churchill sud-est, Nunavik 75

G41

Étude gravimétrique dans le secteur de Kuujuaq, Québec 75

G42

Thermométrie du Cisaillement de la Rivière Georges : contraintes applicables à l'exhumation de la Zone noyau, Province de Churchill sud-est 76

G43

Caractérisation du gradient métamorphique dans la croûte moyenne de l'Orogène du Nouveau-Québec : discontinuités, style et implications tectoniques 76

G44

Spectroscopie du plasma produit par laser (LIBS) pour l'analyse de l'or dans des échantillons miniers 77

G45

Quantification des paramètres morphologiques des grains d'or provenant de sédiments meubles 77

G46

Où est l'or sur la propriété ROC dans le secteur de Lebel-sur-Quévillon 78

G47

Composition des grains de magnétite et d'hématite du socle rocheux et du till glaciaire dans le secteur du gîte uranifère Kiggavik au Nunavut : application pour établir la provenance des sédiments et pour l'exploration minière 78

G48

Développement d'un protocole pour la création d'un matériau de référence pour valider le comptage de grains d'or dans l'étude minéralogique des sédiments glaciaires 79

G49

Automatisation du comptage optique de grains d'or dans la fraction fine de tills glaciaires par méthode multispectrale 79

G50

Géologie, géophysique et minéralogie du gîte de silice du lac de la Tour (Saint-Urbain, Québec) 80

G51

La Carbonatite de Saint-Honoré : columbitisation, enrichissement géochimique et formation de halite 80

G52

Variabilité minéralogique du dépôt de magnétite vanadifère du Complexe du Lac Doré (Chibougamau) : implications et applications pour le développement d'un modèle géométallurgique 81

G54

Les unités stratigraphiques à potentiel élevé pour la minéralisation de type SMV dans la région de Chapais-Chibougamau 81

G55

Le potentiel en minéralisations de type SMV sur le flanc nord de l'Anticlinal de Chibougamau : résultats préliminaires 82

G56

Le projet « Silver High Grade » : une brèche hydrothermale multiphasée à Cu, à Au et à Ag d'origine magmatique dans le Pluton de Chibougamau 82

G57

Cartographie du Quaternaire et analyses du transport glaciaire en contexte d'écoulements polyphasés à l'aide d'un levé satellitaire de type Pléiade 83

G59

Application du réacteur plasma à lit fluidisé pour le traitement de pegmatite riche en lithium 83

G60

Les différentes chimies des batteries lithium-ion et leur usage industriel 84

G62

Matériaux mésoporeux fonctionnalisés pour l'extraction sélective de terres rares 84

G65	Les gîtes, gisements ou indices de Fe-Ti ± P ± V dans les anorthosites et roches associées au Québec.....85
G66	La pierre architecturale et la pierre concassée dans les régions de Sept-Îles, de Baie-Comeau et de Forestville (Côte-Nord); de Stanstead, de Coaticook et de Sainte-Catherine-de-Hartley (Cantons de l'Est); de Cabano, de Dégelis et de Saint-Marc-du-Long (Témiscouata); de Saint Antonin (Rivière-du-Loup); de La Tuque.....85
G67	Potentiel de minéralisation en graphite au Québec86
G68	Prospection glaciocédimentaire et cartographie du Quaternaire dans la région de Clova, partie ouest de la Province de Grenville86
G69	Prospection glaciocédimentaire et cartographie du Quaternaire de la région du lac Evans et de la rivière Rupert (portions des SNRC 32 K et 32 N).....87
G70	Cartographie des dépôts du Quaternaire au sud-est de la baie Abatagouche : résultats préliminaires87
G71	Inventaire des ressources en granulats de la région de Kangiqsualujuaq88
G71	Inventaire des ressources en granulats de la région de Saint-Magloire88
G72	Géologie des dépôts de surface dans la partie sud-est de la Province de Churchill : résultats de quatre années (2012 à 2015) d'échantillonnage et de cartographie89
G73	Signatures en éléments traces des sulfures provenant de dépôts de till et d'esker de la Province du Churchill, Nord-du-Québec : une nouvelle stratégie pour définir la source des minéralisations et établir le potentiel métallogénique en contexte glaciaire.....89
G74	Géologie du Quaternaire de la vallée du Saint-Laurent et des régions adjacentes des Appalaches et des Laurentides – Une première québécoise.....90
G76	Rétablissement autonome de la biodiversité boréale sur les sites miniers : une approche d'ingénierie inverse basée sur l'assemblage de traits fonctionnels90
G77	Potentiel de translocation et de toxicité de résidus miniers acidogènes envers les espèces végétales et microbiennes indigènes.....91
G78	La réhabilitation minière à faible coût et à faible empreinte de carbone; l'exploitation des principes de succession végétale et des associations plantes-microorganismes pour la végétalisation sans amendement et sans préparation du site91
G79	Dynamique des populations microbiennes sous les arbres et arbustes ayant naturellement colonisé un site minier aurifère inactif depuis plusieurs décennies92
G80	Vers la pleine exploitation du microbiome de nos arbustes indigènes pour optimiser leur développement sur les sites miniers les plus hostiles.....92
G81	Valorisation du résidu minier (oxyde UGS) de Rio Tinto Fer et Titane en catalyseurs93
G83	Détermination du coefficient de diffusion de l'oxygène dans les matériaux gelés.....93
G84	Analyses comparatives d'identifications minéralogiques par imagerie hyperspectrale LWIR.....94
G91	Le projet Or de l'Initiative géoscientifique ciblée (2015-2020) : objectifs principaux et travaux en cours au Québec et ailleurs94
G92	Caractérisation des minéralisations à Au-Cu-Ag-Zn de la zone 5, gisement Horne, Rouyn-Noranda, Québec – Nouvelles observations et résultats préliminaires.....95
G93	Pyrite nodulaire dans les argilites graphiteuses du gisement LaRonde Penna, Abitibi, Québec – Implications quant aux processus aurifères synvolcaniques95

G94

Géologie du projet aurifère Amaruq – Résultats préliminaires et implications pour l’exploration des gisements d’or associés aux formations de fer en terrains archéens et protérozoïques 96

G95

Principaux contrôles structuraux sur la nature et la distribution de l’or dans les successions volcano-sédimentaires précambriennes polytectonisées – Exemple de la zone Whale Tail du projet Amaruq 96

G96

Empreinte minéralogique et géochimique des minéralisations aurifères de la zone Whale Tail du projet Amaruq et applications à la définition de vecteurs d’exploration 97

G97

Géologie du gisement d’or de classe mondiale Meadowbank – Contributions aux connaissances sur les gisements d’or encaissés dans les formations de fer rubanées précambriennes 97

G98

Environnements de dépôt des formations de fer rubanées archéennes de type Algoma et leurs implications sur la minéralisation aurifère – Étude de cas des dépôts de Meadowbank, de Meliadine, de Musselwhite et de Beardmore-Geraldton 98

G99

Géologie du gisement d’or Vault et implications pour l’exploration aurifère dans les ceintures de roches vertes précambriennes... 98

G100

Géochimie du till sur le prospect d’Amaruq, Nunavut : résultats préliminaires de la remobilisation d’un gîte aurifère 99

G101

Études des écoulements glaciaires et des dépôts associés : cas d’Amaruq, Nunavut..... 99

G102

Synthèse géologique de la mine Éléonore et guides pour l’exploration à l’échelle régionale, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur, Québec, Canada..... 100

G103

Perception des Québécois sur l’exploitation de ressources minérales : résultat du sondage de septembre 2016 à l’échelle du Québec..... 100

G104

Évaluation du potentiel de réservoir géothermique à l’interface socle-bassin : analyse de la fracturation et de la perméabilité des grès de base du Groupe de Potsdam 101

G105

Gîtes IOCG et affiliés le long de la Laurentie : implications pour la Province de Grenville au Québec 101

G106

Survol des activités sur les minéralisations de Ni-Cu-Cr-EGP associées aux roches mafiques et ultramafiques dans le cadre des programmes Initiative géoscientifique ciblée (IGC) et Géocartographie de l’énergie et des minéraux (GEM) : une perspective québécoise 102

G107

Comportement non CHARAC : un outil pour l’identification des événements magmatiques potentiellement minéralisés 102

G108

Mobilité des terres rares au sein d’un système hydrothermal à oxydes de fer-Cu-Au : le Complexe gneissique de Bondy, Province de Grenville, Canada 103

G109

Potentiel de l’hydrogéochimie des eaux de surface pour l’exploration minérale..... 103

G110

Interprétation des amas de sulfures massifs stériles 104

G111

Étude prédictive du potentiel minéral pour les gîtes d’or orogénique du secteur de la Baie-James en utilisant le classificateur binaire HyperCube® 104

G118

Projet de géoparc de Charlevoix - une région sculptée par le ciel?..... 105

G121

Caractéristiques géochimiques et isotopiques du gisement de terres rares de Kipawa, Québec 105

G122

La nature de la minéralisation en ETR du gîte Ashram, Complexe carbonatitique d’Eldor au Québec..... 106

La restauration minière au Gouvernement du Québec (MERN)

Direction de la restauration des sites miniers (MERN)

Dans son budget 2016-2017, le Gouvernement du Québec s'est engagé à diminuer le passif environnemental minier de 80 % d'ici 2022. Au 31 mars 2016, le MERN a inscrit aux comptes publics un montant de 1,22 G\$ à titre de passif environnemental minier, soit 803,4 M\$ pour les sites miniers où le MERN a choisi d'agir et 418,3 M\$ pour les sites miniers où le MERN pourrait avoir à agir étant donné le statut financier précaire des responsables.

On trouve sur le territoire québécois 499 sites miniers abandonnés. De ces 499 sites, 263 sont des sites d'exploration minière qui ne requièrent que des travaux de nettoyage, six sont des carrières et sablières et 230 sont des sites d'exploitation minière. De ces 230 sites d'exploitation minière, des travaux sont en cours sur 18 des sites les plus problématiques; l'entretien et le suivi doivent être assurés sur les 127 sites déjà restaurés et sécurisés; 39 restent à être restaurés; et 46 doivent être sécurisés.

Plusieurs projets d'envergure de restauration minière de sites abandonnés ont vu le jour dans les dernières années. Dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue, la restauration du site Aldermac a été réalisée entre 2008 et 2011 pour un montant d'environ 15 M\$. Dans la partie nord du site, une nappe surélevée avec un recouvrement monocouche a été utilisée afin de limiter les apports en oxygène aux résidus miniers et ainsi limiter l'oxydation des résidus miniers. Dans la partie sud, un confinement au moyen d'un recouvrement multicouche avec géomembrane, suivi d'une remise en végétation, a été utilisé pour restreindre les apports en eau dans les résidus miniers et ainsi limiter la contamination des eaux de surface et souterraines. Dans la même région, les travaux de restauration sur l'ancien site minier Siscoe ont eu lieu en 2014 et en 2015, au coût approximatif de 2 M\$. Ces derniers ont consisté au nivellement des parcs à résidus miniers et à l'aménagement de fossés pour améliorer le drainage de surface. Les résidus miniers ont été recouverts d'une monocouche granulaire et le site a été remis en végétation.

La restauration du site Eustis, situé dans la région de l'Estrie, a eu lieu entre 2008 et 2010 pour un coût d'environ 6 M\$. Le site a été restauré à l'aide d'un recouvrement multicouche avec géomembrane qui couvre les trois parcs à résidus ainsi qu'une cellule expérimentale de boues de désencrage qui a été utilisée pour recouvrir les résidus miniers.

Le site minier Barvue, situé dans la municipalité de Barraute en Abitibi-Témiscamingue, est le plus récent site minier abandonné à avoir été restauré. Les travaux se sont échelonnés en quatre phases, de 2012 à 2016, pour un montant d'environ 38 M\$. Les travaux de restauration ont d'abord consisté à la stabilisation et au reprofilage des digues de confinement du parc à résidus. Ensuite, les résidus miniers épanchés le long des berges du ruisseau Marcotte ont été excavés et entreposés sur l'aire d'accumulation. Le parc à résidus a été confiné par la mise en place d'un recouvrement multicouche avec géomembrane et l'ensemble du site a été remis en végétation.

La mesure du radium dans les rejets et effluents miniers

Claire Dalencourt et Dominic Larivière (UL)

Les procédés d'extraction et de raffinage dans le domaine minier génèrent d'importantes quantités de rejets solides et liquides, qui sont soumis à des contrôles environnementaux stricts avant d'être rejetés, stockés ou valorisés. Étant omniprésent dans l'environnement, l'uranium, et par conséquent ses descendants, est présent en teneurs variables dans l'ensemble du cycle de traitement du minerai. Parmi les descendants de l'uranium, le radium est un radioélément préoccupant, car il peut être facilement lixivié et ainsi se retrouver dans les eaux, et potentiellement dans notre alimentation.

Les méthodes actuelles de mesure du radium sont relativement longues et plus appropriées à la mesure dans des matrices très diluées telles que les eaux de rivière. Lorsque l'on souhaite mesurer le radium dans des rejets solides, on est confronté à la forte teneur en minéraux qui peuvent venir surestimer la mesure.

Pour pallier à ce problème, nous présentons ici une méthode permettant la séparation totalement sélective du radium afin d'obtenir une mesure précise et fiable : l'extraction sur résine cationique. Contrairement aux méthodes actuellement préconisées par l'EPA (*Environmental Protection Agency*), cette dernière supprime les interférences telles que le strontium et le baryum, tout en étant analysable très rapidement par ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma to Mass Spectroscopy*).

Il est ainsi possible d'analyser de faibles quantités de radium de l'ordre de 40 fg en seulement quelques heures, malgré des matrices présentant une forte charge ionique.

Veines d'or orogénique à proximité du contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, Eeyou Istchee Baie-James

Roman Hanes, François Huot, Nathan R. Cleven (UL), Jean Goutier (MERN) et Georges Beaudoin (UL)

De nombreux indices de veines d'or orogénique sont distribués à proximité du contact nord-ouest entre les sous-provinces archéennes de La Grande et d'Opinaca (LGO), dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James. Les indices les plus significatifs répertoriés dans le secteur de La Grande-Sud, La Grande-Est et Poste Le Moyne ont été étudiés en détail. Les veines sont encaissées dans des roches volcano-sédimentaires et intrusives de la Sous-province de La Grande qui sont intensément déformées et métamorphisées aux faciès des schistes verts ou des amphibolites. Ces veines sont généralement associées à des zones de cisaillement subparallèles au contact LGO. De multiples générations de veines comprennent des veines précoces dominées par un assemblage à quartz-carbonates, qui sont recoupées par des veines à quartz-tourmaline-carbonates. Il a été possible de classer les différents types de veines selon leur géométrie : des veines de cisaillement (centrales, obliques), des veines liées à des fractures de type Riedel, et des veines d'extension (planaires, en échelons). Généralement, les veines sont caractérisées par une faible quantité de sulfures. La pyrrhotite, la pyrite et l'arsénopyrite dominant et sont accompagnées d'une quantité variable de chalcopyrite, de galène et de sphalérite. L'or natif apparaît en inclusions dans les sulfures, dans les fractures des sulfures et sous la forme de grains libres dans le quartz, accompagné localement par des tellurures. Généralement, la biotitisation, la séricitisation et la carbonatitisation caractérisent l'altération principale. Localement, la tourmaline et les sulfures remplacent la roche encaissante. De minces halos d'albite sont développés autour des veines dans les roches intrusives. Les observations de terrain et l'analyse structurale indiquent une mise en place contemporaine pour tous les types de veines dans chaque secteur. Dans les secteurs de La Grande-Sud et La Grande-Est, les veines sont associées à la compression N-S qui est caractérisée par des zones de failles inverses abruptes accompagnées de transpression dextre. La déformation progressive est responsable de la transposition des veines d'extension. Dans le secteur de Poste Le Moyne, les veines ont été formées lors de l'événement de compression ENE-OSO caractérisé par le mouvement oblique senestre. La transposition partielle et la crénulation des veines sont associées aux zones de cisaillement tardives obliques dextres. Nos interprétations préliminaires indiquent que les veines ont été formées et partiellement déformées lors de la fin de l'événement régional D3.

Caractérisation des minéralisations aurifères le long du contact La Grande-Opinaca dans le secteur du lac Sakami, Eeyou Istchee Baie-James

Jean-Philippe Fleury, François Huot (UL), Jean Goutier (MERN) et Nathan R. Cleven (UL)

Le gîte aurifère Matamec, situé à l'ouest du lac Sakami dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James (feuillet SNRC 33F02), fait l'objet de campagnes d'exploration par Métaux stratégiques du Canada et Matamec. Ces travaux ont permis de définir deux zones aurifères substantielles, soit les zones 25 et 26. L'assemblage lithologique, métamorphisé au faciès des amphibolites et déformé selon une schistosité régionale OSO à ENE, regroupe des roches volcano-sédimentaires du Groupe de Yasinski (2751-2725 Ma) appartenant à la Sous-province de La Grande, avec localement des lambeaux de formation de fer. Cet assemblage est recoupé d'intrusions tonalitiques, mais présente aussi un fort étirement.

L'étude vise à caractériser les types de minéralisations aurifères du secteur du lac Sakami, particulièrement celles des zones 25 et 26, afin de situer temporellement l'événement minéralisateur dans son contexte géologique et de concevoir un modèle métallogénique de la mise en place de l'or. De plus, ce travail permettra de tester l'hypothèse selon laquelle les zones 25 et 26 appartiennent aux sous-provinces d'Opinaca et de La Grande. L'échantillonnage des unités géologiques effectué durant l'été 2016 permettra : 1) de corréliser les différentes roches aux entités régionales; 2) de définir les assemblages minéralogiques des roches fraîches, altérées et/ou minéralisées; 3) de déterminer la nature, l'intensité et la chronologie des altérations associées à l'or; 4) de déterminer la composition isotopique de l'O et du S; 5) de contraindre certains événements géologiques à partir des données géochronologiques (U-Pb, Re-Os).

La zone 25, avec des teneurs moyennes de 2 à 3 g/t Au sur une épaisseur allant de 10 à 50 m, est un niveau concordant orienté NO-SE et incliné à 50 ° vers le SO. Elle est constituée de paragneiss à grains fins, foliés et composés principalement de quartz, de plagioclase et de biotite, probablement dérivés de wacke. La minéralisation aurifère est associée à une fine dissémination d'arsénopyrite et de pyrrhotite et à des zones d'altérations complexes. Les altérations dominantes sont une silicification intensive ainsi que la présence de veines à biotite-quartz et à séricite-quartz plus tardives. Les paragneiss sont parfois recoupés par des dykes pegmatitiques à quartz-feldspath potassique-albite-tourmaline dont certains sont anomaux en or (0,4 g/t à 2,5 g/t).

La minéralisation aurifère de la zone 26 est encaissée dans un mince niveau de formation de fer au faciès des silicates et des oxydes, interlité avec des volcanites mafiques du La Grande. La roche se compose d'une alternance de niveaux à quartz-plagioclase, à magnétite, à grunérite-hédénbergite-chlorite et, localement, à biotite-grenat. La minéralisation se présente sous forme de pyrrhotite (1-20 %) et d'arsénopyrite (1-5 %), parfois associée avec de la magnétite disséminée, en amas et en veinules.

G15

L'architecture tectonique des sous-provinces d'Opinaca et de La Grande : synthèse des interprétations structurales et traitements géophysiques alternatifs

Nathan Cleven (UL), Lyal Harris (INRS-Eau Terre Environnement), Carl Guilmette (UL) et Jean Goutier (MERN)

La définition actuelle des frontières entre les sous-provinces du craton du Supérieur repose sur l'observation géologique en surface de linéaments délimitant de part et d'autre des assemblages lithotectoniques montrant des différences fondamentales. Les sous-provinces de La Grande (roches volcano-plutoniques) et d'Opinaca (roches métasédimentaires) partagent une longue frontière avec une histoire tectonique complexe. Nous vous présentons des traitements personnalisés accompagnés d'une réinterprétation géophysique des données des levés magnétiques et gravimétriques des gouvernements provincial et fédéral visant à mieux contraindre l'architecture crustale sous-jacente de la région d'Eeyou Istchee Baie-James. Les levés gravimétriques fournissent un aperçu des contrastes à des profondeurs variables à l'aide des traitements de l'angle thêta et de la détection de contours (« *worming* »). Ces traitements ont permis de définir les principales limites structurales qui ont une extension en profondeur et de reconnaître les structures profondes qui n'ont aucune expression en surface. Le traitement pseudogravimétrique des composantes à longues et à courtes longueurs d'onde des données des levés magnétiques aéroportés détaillés permettent de visualiser comment l'architecture de la croûte profonde correspond à l'expression de la géologie en surface. Nous commenterons l'influence du développement progressif des structures majeures sur l'environnement tectonique régional, la nature du contact entre les sous-provinces étudiées et le contrôle que cette évolution aurait pu exercer sur les événements minéralisateurs précoces ou tardifs connus. Des structures majeures créant des patrons ou des motifs indicateurs de potentiel économique seront présentées et discutées.

G16

Étude du contexte tectonométamorphique du Complexe de Laguiche, Sous-province d'Opinaca, Eeyou Istchee Baie-James

Myriam Côté-Roberge, Carl Guilmette, (UL), Jean Goutier (MERN) et Nathan Cleven (UL)

Un tout nouvel enthousiasme gagne la Baie-James depuis la découverte de gisements d'or d'envergure, comme celui de Roberto (mine Éléonore). Cependant, le manque de connaissance sur la nature du contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, de même que sur les processus tectoniques actifs à l'Archéen, limite la compréhension de la mise en place des minéralisations. Le projet d'étude a pour objectif de préciser l'évolution métamorphique du Complexe de Laguiche, appartenant à la Sous-province d'Opinaca, et d'y déterminer les épisodes de déformation. Le complexe lui-même est marqué par une fusion partielle importante, une grande quantité d'intrusions granitiques ainsi que quelques petites injections ultramafiques recoupant une épaisse séquence sédimentaire.

La description de lames minces provenant d'échantillons de paragneiss du secteur à l'étude a permis la caractérisation du métamorphisme. L'assemblage plagioclase + quartz + biotite ± grenat ± cordiérite ± muscovite ± sillimanite ± staurotite observé indique un métamorphisme de hautes températures et de basses pressions. Les isogradés tracés montrent un gradient augmentant du faciès des schistes verts au nord-ouest jusqu'à celui des amphibolites supérieur vers le sud. Quatre épisodes de métamorphisme sont définis pour la région de la Sous-province d'Opinaca étudiée. Le premier épisode concorde avec la croissance de minéraux précinématiques. Le deuxième correspond à la formation des paragneiss à partir de wackes pendant la déformation tectonique, le troisième au développement de minéraux de hautes températures et de basses pressions, alors que le quatrième est associé à la rétrogradation de l'ensemble de la région jusqu'au faciès des schistes verts. Une vingtaine d'échantillons a été sélectionnée pour des calculs thermobarométriques multiéléments.

L'interpolation du pourcentage de mobilisat et de l'intensité de la déformation, le gradient de l'anomalie magnétique ainsi que les mesures structurales prises sur le terrain ont permis la définition de six domaines structuraux. L'intensité de la déformation observée en affleurement, tout comme le pourcentage de mobilisat présent dans les paragneiss, augmente de façon générale vers le sud de la région d'étude, bien que certains secteurs près du contact avec la Sous-province de La Grande montrent également une déformation importante. Trois événements de déformation sont observés. Un premier événement synchrone à la formation des paragneiss est responsable du développement de la foliation principale, alors qu'un deuxième événement conduit à la formation de plis régionaux. Le troisième épisode replisse ces derniers, provoquant l'ondulation de leurs charnières et la variabilité dans les plongements mesurés.

Une contribution de la ceinture parautochtone dans la genèse de pegmatites grenvilliennes à éléments de terres rares encaissées dans la ceinture allochtone?

François Turlin (Université de Lorraine), Olivier Vanderhaeghe (Université Toulouse III Paul Sabatier), Félix Gervais (Polytechnique), Abdelali Moukhsil (MERN), Anne-Sylvie André-Mayer (Université de Lorraine), Fabien Solgadi (MERN), Armin Zeh (Goethe Universität Frankfurt), Etienne Deloule (Université de Lorraine), Marie-Camille Caumon et Alexandre Crépon (Université de Lorraine)

La Province de Grenville (Québec) s'est formée par la succession d'accrétions au Mésoproterozoïque le long de la marge sud-est de Laurentia, suivie de l'orogénèse grenvillienne, dont la phase Ottawa a eu un effet sur la ceinture allochtone (CA) entre 1090 et 1020 Ma et la phase Rigolet sur la ceinture parautochtone (CP) entre 1005 et 980 Ma. Cette orogénèse a conduit au chevauchement des terrains accrétés sur la marge de Laurentia. Cette province est riche en indices d'éléments de terres rares (ETR) magmatiques, associées à des complexes alcalins et hyperalcalins, à des syénites et à des carbonatites, mais également à des essaïms de filons de pegmatites, comme dans la région du lac Okaopé (centre de la Province de Grenville, Québec).

Dans cette région de la CA, sept pegmatites à ETR, dont la minéralisation est portée par la monazite ou par l'allanite, ont été identifiées. Leurs relations à leur encaissant respectif (contact discordant sans collecte *in situ* de liquide de fusion partielle) et l'absence de déformation dans ces filons suggèrent : 1) une source profonde et 2) une mise en place tardi-orogénique, confirmée par les âges de deux pegmatites à monazite de 1003,9 ± 4,7 Ma et de 1005,4 ± 4,4 Ma, soit au début de la phase Rigolet, perturbant la CP affleurant au Nord.

Les âges modèles du Hf obtenus sur ces mêmes grains s'étalent entre 2,05 et 2,19 Ga; ils sont plus vieux que les âges modèles du Sm-Nd connus dans la CA et légèrement plus jeunes que ceux dans la CP. Leurs signatures en $\delta^{18}\text{O}$ (environ 95 % des données), essentiellement supérieures aux signatures mantelliques (définies à 5,3 ± 0,6 ‰), suggèrent une cristallisation à partir de matériel supracrustal.

En conclusion, 1) la mise en place des dykes au début de la phase Rigolet, 2) l'architecture de la chaîne (où la CP se trouve structuralement en dessous de la CA) et 3) les zircons montrant un lien génétique avec un matériel plus âgé que celui des terrains accrétés et encaissants suggèrent une contribution importante du Parautochtone dans la formation de ces indices d'ETR ainsi que sa fusion partielle sous l'Allochtone à 1005 Ma, l'âge de cristallisation de ces dykes.

La ceinture de roches vertes de Colomb-Chaboulié, entre la Sous-province d'Opatoca et la Sous-province de Nemiscau, Baie-James – Résultats préliminaires

Sarah Galloway, Pierre-Simon Ross (INRS-Eau Terre Environnement), Daniel Bandyayera et Yannick Daoudene (MERN)

La ceinture de roches vertes de Colomb-Chaboulié forme une bande étroite d'orientation NE-SO à E-O, dominée par les assemblages volcaniques et sédimentaires. Cette ceinture est située dans la zone de contact entre la Sous-province d'Opatoca et la Sous-province de Nemiscau, qui font toutes deux partie de la Province du Supérieur, dans le secteur de la Baie-James. Malgré une campagne de cartographie au 1/50 000 par le MERN en 2015, l'association de la ceinture à une des deux sous-provinces demeure incertaine. Le faciès métamorphique dans la ceinture est celui des amphibolites. La déformation tectonique est faiblement à fortement intense, en particulier le long de zones de cisaillement d'étendue régionale.

L'objectif principal du projet de maîtrise de la première auteure à l'INRS est d'en apprendre davantage sur les caractéristiques géologiques et le contexte tectonique des assemblages volcaniques de la ceinture de roches vertes de Colomb-Chaboulié, à partir de la cartographie, de la pétrographie et de la lithogéochimie. Un objectif secondaire est d'établir l'origine des indices et de la présence de sulfures massifs à métaux précieux dans les roches volcaniques de la ceinture, puisqu'il n'est pas établi si les sulfures sont d'origine volcanogène ou tectonique.

Au cours de l'été, une cartographie a été effectuée à l'échelle du 1/20 000 dans la partie centrale de la ceinture (dans le secteur de la route de la Baie-James) afin de décrire les différents faciès volcaniques et la minéralisation associée. Un profil N-S a été abondamment échantillonné pour la lithogéochimie et des échantillons supplémentaires ont été prélevés ailleurs pour caractériser les unités non représentées dans le profil. Une cartographie détaillée d'un des affleurements montrant les sulfures massifs a été réalisée.

Trois unités volcaniques ont été identifiées dans le secteur d'étude. L'unité dominante est un basalte massif à coussiné, alors que les autres unités sont principalement composées d'andésite porphyrique coussinée à massive et de roches volcanoclastiques intermédiaires à felsiques. Ces dernières peuvent localement comprendre des roches sédimentaires. Des conglomérats polymictes sont également présents et, au-delà du secteur d'étude, on observe des quartzites et des formations de fer. Ces roches sont recoupées par des gabbros et autres intrusions mafiques à ultramafiques, qui font l'objet d'un autre projet de maîtrise pour leur potentiel en Ni-Cu-EGP (Pape Doudou Tague, UQAC).

La minéralisation de sulfures massifs, semi-massifs et en filonnets est rencontrée dans certains niveaux stratigraphiques, surtout dans les basaltes coussinés du nord de la ceinture. Sur le terrain, seuls des sulfures de fer sont visibles, mais des valeurs en or et en argent sont mentionnées dans les travaux historiques des compagnies et dans les travaux du MERN en 2015. Les relations de terrain suggèrent que les sulfures sont d'origine synvolcanique plutôt que syntectonique.

Les travaux futurs incluront la comparaison des données lithogéochimiques de cette ceinture de roches vertes avec celles de la ceinture de Frotet-Evans plus au sud, dans la Sous-province de l'Opatoca, et avec celles de petites ceintures de roches vertes présentes plus au nord, dans la Sous-province de Nemiscau.

Le contact Nemiscau-La Grande : nouveau site d'altérations hydrothermales de type Éléonore

Noémie Arsenault, Damien Gaboury (UQAC),
Yannick Daouene et Daniel Bandyayera (MERN)

Le but de cette étude est la caractérisation de l'altération hydrothermale et de la minéralisation située au contact entre deux sous-provinces du Supérieur, soit Nemiscau et La Grande. La minéralisation est présente dans un environnement sédimentaire de faciès métamorphique moyen et les altérations distales et proximales ressemblent fortement au contexte du gisement Éléonore, exploité par Goldcorp.

Le secteur à l'étude, située à environ 140 km au sud-ouest de la mine Éléonore, est une zone de 200 m x 150 m où la densité d'affleurements a permis un échantillonnage et une cartographie détaillée. La principale zone minéralisée, concordante à la stratification N-S (litage S0), s'étend sur 15 m en longueur et sur 2 m en épaisseur. Des zones minéralisées secondaires de plus petite dimension, également concordantes à la stratification, sont présentes. Ces zones contiennent des veines sulfurées (pyrite et pyrrhotite) en stockwerk, avec par endroit des sulfures semi-massifs et/ou des sulfures disséminés. Les roches hôtes de la minéralisation sont des wackes conglomératiques et des wackes. La déformation est faible, car il est possible d'observer des structures sédimentaires primaires, comme des figures de charge et du granoclassement, permettant de déduire un sommet à l'est. Cependant, les roches encaissantes montrent des structures de schistosité et de foliation orientées NE-SO et à fort pendage. Les roches sédimentaires ont évolué pour former des paragneiss recoupés par des pegmatites à tourmaline, suggérant un métamorphisme important. Aucune fusion partielle n'est observée dans ces paragneiss.

Un phénomène intéressant observé sur ce terrain est la forte altération hydrothermale associée aux zones minéralisées. Dans les zones sulfurées, des enveloppes centimétriques à métriques symétriques et concordantes à la stratification sont bien définies par des pourcentages anormalement élevés (jusqu'à 30 %) en minéraux riches en aluminium (cordiérite, andalousite, grenat). De plus, des veinules de quartz-tourmaline avec une couronne d'altération se sont développées tardivement. Ces veines orientées E-O avec un fort pendage ne semblent pas déformées. Tous ces éléments pointent en direction d'une zone hydrothermale importante développée au sein d'une discontinuité majeure. Ce secteur constitue donc une cible avec un fort potentiel minéral aurifère.

Caractérisation pétrologique et géochimique des intrusions mafiques et ultramafiques de la Ceinture de Colomb-Chaboullié (Baie-James)

Pape Doudou Tague, Philippe Pagé (UQAC),
Daniel Bandyayera (MERN) et Sarah-Jane Barnes (UQAC)

La ceinture volcano-sédimentaire de Colomb-Chaboullié (feuillet SNRC 32K13, 32N03 et 32N04) est située dans la région de la Baie-James, entre les sous-provinces archéennes du Nemiscau au nord et d'Opatca au sud. Elle est constituée de basaltes amphibolitisés, d'andésites, de volcanoclastites felsiques à intermédiaires ainsi que de filons-couches ou d'intrusions de gabbros, de pyroxénites et de péridotites. Ce projet de maîtrise entrepris en juin 2016 a pour principaux objectifs : 1) de déterminer les caractéristiques pétrographiques des intrusions mafiques et ultramafiques de la ceinture de Colomb-Chaboullié, 2) de préciser leur composition chimique, 3) d'évaluer leur potentiel économique et 4) d'établir le contexte de leur mise en place ainsi que celui des minéralisations associées.

Le levé géologique de la ceinture de Colomb-Chaboullié mené par le MERN en 2015 à l'échelle de 1/50 000 et nos observations de terrain lors d'une cartographie plus détaillée (échelle de 1/20 000) réalisée à l'été 2016 montrent que les roches intrusives mafiques et ultramafiques sont dominées par des faciès gabbroïques à grain moyen à grossier, généralement massifs et mélanocrates, métamorphisés à divers degrés. Les faciès gabbroïques contiennent localement des enclaves felsiques de tailles variables (≤ 30 cm) et une minéralisation en sulfures disséminés pouvant aller jusqu'à ~ 5 %. Les pyroxénites sont massives alors que les péridotites contiennent de nombreuses veines de magnétite. Par endroits, certains faciès gabbroïques semblent montrer un litage magmatique. De manière générale, la fabrique des roches (schistosité) est orientée parallèlement à la direction générale de la ceinture, soit NE-SO à E-O.

Concernant la minéralisation, les gabbros de la ceinture de Colomb-Chaboullié présentent des assemblages caractéristiques de sulfures magmatiques (pentlandite, pyrrhotite, chalcopryrite, \pm pyrite). Parallèlement, des indices historiques d'or ($\leq 2,5$ g/t), de nickel-cuivre ($\leq 0,33$ % Ni et $\leq 1,4$ % Cu), de platine et de palladium (≤ 251 ppb Pt et ≤ 797 ppb Pd) sont aussi associés aux intrusions gabbroïques.

Les travaux lithogéochimiques et pétrographiques à venir visent à préciser le cadre géotectonique de la mise en place de ces intrusions mafiques et ultramafiques ainsi que l'influence des enclaves felsiques sur la saturation en soufre des magmas mafiques.

Étude structurale et métamorphique du Complexe d'Attic (phase 3), Québec : datations U-Pb

Nicolas Revelli (UQAM), Jean David (MERN),
Alain Tremblay, Giselle Sauvé et Claudie Lefebvre Fortier (UQAM)

La Province du Supérieur regroupe plusieurs sous-provinces amalgamées aux environs de 2,72 Ga et de 2,68 Ga qui sont composées principalement de roches intrusives felsiques de type TTG et de ceintures de roches vertes. Bien que la géologie de ces terrains soit relativement bien comprise, la nature de leurs contacts demeure débattue. Par exemple, sur la base des données sismiques, le contact entre les sous-provinces de l'Abitibi et d'Opatoca a été interprété comme une suture représentant la trace d'une zone de subduction archéenne. Des travaux antérieurs à la présente étude montrent toutefois que ce contact n'est pas marqué par une déformation particulièrement intense et/ou un contraste métamorphique significatif, suggérant ainsi que ces deux sous-provinces ne représentent en réalité qu'une seule et même portion de croûte archéenne exposant des domaines crustaux différents. De même, de nombreux secteurs de l'Abitibi exposent des roches intrusives de type TTG au cœur de vastes antiformes ceinturées de roches vertes. C'est le cas du Complexe d'Attic, délimité par le Front de Grenville à l'est et par une ligne subméridienne passant par Lebel-sur-Quévillon et Senneterre à l'ouest. Le Complexe d'Attic présente des caractéristiques géologiques comparables aux domaines crustaux observés dans l'Opatoca et pourrait donc constituer une fenêtre structurale exposant une série crustale représentant le « socle » des séries abitibiennes dont la structuration aurait été dominée par des processus de tectonique verticale. L'objectif de ce doctorat, entrepris au début de l'été 2014 en partenariat avec le MERN, est de vérifier une telle hypothèse.

La partie est du Complexe d'Attic – le granite de Doussin et sa séquence supracrustale – a été étudiée durant l'été 2016. Dans la région, les gneiss tonalitiques du Batholite de Josselin ont subi l'intrusion d'un granite « tardif » non déformé, qui a en grande partie oblitéré les structures précoces. Cependant, le levé magnétique haute résolution de cette région suggérerait l'existence d'une relique du Batholite de Josselin sur les bordures sud et est du granite de Doussin où affleurent encore des gneiss tonalitiques. Les données géochronologiques U-Pb de dix échantillons du Complexe d'Attic permettent d'esquisser une chronologie préliminaire et, par conséquent, de mettre en relation les différentes phases intrusives entre elles et la déformation. Les phases intrusives déformées (plutons de Holmes et batholite de Josselin) se sont mises en place aux alentours de 2720-2730 Ma avec des âges hérités autour de 2760-2780 Ma et semblent dès lors systématiquement plus vieilles que les roches vertes encaissantes appartenant au Groupe de Quévillon (environ 2714-2718 Ma). Un âge de 2686 Ma a été obtenu pour le granite de Tonnancourt, première phase intrusive non déformée, alors que le granite de Doussin, également exempt de déformation, a un âge de 2660 Ma. Finalement les différents échantillons de migmatites ont des âges situés entre 2720 et 2660 Ma.

Étude de la zone de faille du lac Fiedmont

Jonathan Marleau, Jade Brossard (UQAM), Pierre Pilote et Pierre Lacoste (MERN)

Notre étude s'inscrit dans le cadre de la campagne de cartographie du MERN réalisée dans la région de Val-d'Or–Senneville–Obaska en 2016 couvrant une partie des feuillets SNRC 32C03-04-05. Elle consiste en la cartographie d'un groupe d'affleurements (32C05-SE), présentant un intérêt important pour la compréhension de la géologie régionale et situé à mi-chemin entre les lacs Senneville et Fiedmont. Ces affleurements sont le résultat du décapage réalisé par les sociétés TSR-Noront Ressources en 2007-2008 sur deux zones distinctes : 1) la zone sud mesure 100 m par 15 m et est orientée SE-NO; 2) la zone nord est de dimensions comparables, mais orientée E-O.

Ces affleurements présentent des caractéristiques qui résument bien l'évolution géologique et structurale de la région. En effet, ce secteur est métamorphisé du faciès des schistes verts supérieur à celui des amphibolites. La lithologie principale est un basalte présentant les morphofaciès coussinés, massifs et bréchiques. Les coussins sont sévèrement déformés (ratio épaisseur/longueur de 1/20) et présentent communément des formes en molaires. Les bordures de coussins sont minéralisées en sulfures et contiennent des quantités variables de porphyroblastes de grenats. À la suite de notre cartographie détaillée, des horizons volcanoclastiques et une coulée massive ont été observés, permettant d'interpréter une polarité stratigraphique vers le sud-ouest. De plus, une zone de cisaillement importante traverse l'affleurement. Plusieurs familles de dykes de composition et d'orientation variables ont été notées.

Les objectifs de cette étude comprennent : 1) la description de la séquence volcanique et de ses différents morphofaciès; 2) la description des caractéristiques de l'épisode métamorphique régional (faciès des schistes verts supérieur au faciès des amphibolites); 3) la réalisation d'un inventaire détaillé des différentes familles de dykes et des veines minéralisées en les caractérisant à l'aide d'analyses lithogéochimiques; 4) la description des éléments structuraux et des indicateurs cinématiques le long de la zone de cisaillement, dans le but d'établir le synchronisme de la mise en place des nombreux épisodes de dykes et des minéralisations filoniennes. L'analyse des différents types de minéralisations permettra de préciser le potentiel économique du secteur. Les informations obtenues sur ces affleurements serviront à l'élaboration de la séquence des événements géologiques qui se sont produits dans le secteur. Grâce aux éléments tirés de cette étude, il sera possible de mieux comprendre certains aspects de la géologie régionale et de contribuer à sa connaissance générale.

Modélisation de la dynamique sismique de la Faille de Cadillac – Influence des lithologies et du bâti structural

Pierre Bedeaux, Silvain Rafini, Réal Daigneault (UQAC) et Pierre Pilote (MERN)

Les gisements aurifères orogéniques associés aux failles majeures sont distribués de façon hétérogène et rassemblés en amas. Leur mise en place résulte d'une interaction de la transition ductile-cassante entre le mouvement des failles, l'activité sismique et l'hydrothermalisme, produisant des cycles d'ouverture/fermeture de la perméabilité structurale. Le tracé d'une faille sismique est découpé en segments qui sont successivement activés au cours du glissement incrémental de la faille. Plusieurs études ont analysé les modifications de la contrainte de Coulomb au pourtour d'un segment de faille sujet à la rupture sismique. Certaines zones se rapprochent du seuil de rupture ou s'en éloignent. Les zones se rapprochant de la rupture désignent des secteurs où se concentrent la micro-sismicité suivant le séisme majeur ainsi que le drainage de fluides pressurisés. Ces deux éléments s'entre-tiennent mutuellement et permettent de maintenir une augmentation de la perméabilité structurale. Ces zones de décharge potentielle correspondent empiriquement à des champs aurifères déjà reconnus. La présente étude propose d'évaluer l'influence de plusieurs paramètres sur la géométrie de ces zones consécutive à la rupture sismique : 1) les contrastes rhéologiques; 2) la proximité de failles secondaires; et 3) l'orientation de la foliation régionale par rapport aux contraintes. L'influence de répliques sismiques et la combinaison de doublet sont également étudiées.

La partie orientale de la Faille de Cadillac constitue un secteur d'étude idéal pour tester ces différents paramètres, grâce à ses nombreux gisements aurifères reconnus, notamment le camp de Malartic, et l'importante connaissance de la géologie environnante. La Faille de Cadillac peut être découpée en plusieurs segments sismiques séparés par des points d'inflexion, des barrières comme des failles sécantes, ou des nœuds structuraux. La Faille possède une histoire structurale complexe avec plusieurs événements de déformation, dont un décrochement dextre tardif contemporain du principal épisode aurifère. À l'aide du modèleur géomécanique UDEC, il est possible de simuler en plan le changement de la contrainte de Coulomb au pourtour de segments activés pendant le décrochement. Le modèle est paramétré et calibré sur les données géologiques disponibles : tracé et importance relative des différentes failles, ensembles lithologiques, tailles des segments, environnement géodynamique, et distribution spatiale des occurrences aurifères connues.

Les résultats suggèrent que le bâti architectural joue un rôle majeur dans la distribution des zones de décharge hydrothermale potentielles. Les failles de premier et second ordre constituent des barrières délimitant ces zones. Au contraire, la rhéologie des grands ensembles géologiques influence peu la contrainte de Coulomb. L'activation d'un segment est-ouest pendant le décrochement ainsi que les répliques sismiques sur deux failles de second ordre à proximité génèrent des zones de décharge potentielles coïncidant avec la majorité des gisements aurifères du camp de Malartic.

Typologie des intrusions porphyriques et relation avec la déformation et la minéralisation aurifère dans le secteur est de Val-d'Or

Alizée Lienard (UQAC), Pierre Pilote (MERN), Réal Daigneault (CERM-UQAC) et Lucie Mathieu (CONSOREM-UQAC)

Le camp minier de Val-d'Or se situe dans la partie sud-est de la Province du Supérieur, dans la Ceinture de roches vertes de l'Abitibi (Feuillet 32C04). Cette ceinture est constituée d'un assemblage de roches volcaniques, sédimentaires et plutoniques, globalement métamorphosée au faciès des schistes verts. Elle est bordée au nord par la Sous-province d'Opatika, au sud par la Sous-province de Pontiac, à l'ouest par la Zone structurale de Kapuskasing et à l'est par la Province de Grenville.

À l'été 2016, des travaux de cartographie détaillée et d'échantillonnage ont été réalisés sur un ensemble d'affleurements situés à environ 2 km à l'est de la mine Sigma et de la ville de Val-d'Or. Le secteur étudié se trouve dans le segment est de la Zone volcanique sud, plus précisément dans la Formation de Val-d'Or, laquelle fait partie du Groupe de Louvicourt. Ces affleurements sont situés au sud du batholite de Bourlamaque. La cartographie avait pour but : 1) de documenter la pétrologie des lithologies volcaniques (basaltes coussinés, tufs andésitiques) et des suites intrusives rencontrées et 2) d'examiner leur comportement structural par rapport à la déformation régionale, aux différents types d'altérations (SMV et minéralisation aurifère) et au métamorphisme. Ces affleurements exposent plusieurs familles d'intrusion de compositions variées (mafique, intermédiaire ou felsique) et d'aspects distincts (à grain fin ou encore porphyrique avec phénocristaux de feldspath et/ou de quartz). Les observations de terrain montrent la présence d'un faciès lamprophyrique (au sens large). La nature exacte de cette dernière lithologie sera précisée à l'aide d'études pétrologiques et géochimiques détaillées.

La prise de mesures structurales a accompagné la cartographie. L'ensemble des observations permettra d'aborder le synchronisme et l'âge de la mise en place des différentes familles d'intrusions, par rapport à la déformation régionale, au métamorphisme et à la minéralisation aurifère filonienne classique de type « veine de quartz-tourmaline » rencontrée dans ce secteur. Les observations structurales préliminaires indiquent la présence de failles et de zones de cisaillement métriques à décamétriques. Plusieurs de ces cisaillements, communément orientés E-O, montrent un mouvement décrochant dextre syn- à post-intrusif, appuyé par les évidences d'entraînement observées chez certains dykes et les linéations d'étirement à faible plongée. Ce type de mouvement en décrochement est également décrit pour la Zone de faille de Cadillac-Larder-Lake.

En ce qui concerne la minéralisation aurifère en général, la présence de dykes felsiques et de lamprophyres est à considérer, car de tels dykes sont communément associés spatialement aux gisements d'or. Des dykes similaires ont également été observés à la mine Sigma.

La géochimie et l'étude des lames minces permettront d'approfondir plusieurs des thématiques décrites plus haut et de mieux situer ces affleurements et leur histoire dans le contexte géologique régional. Ces éléments feront partie d'un mémoire de maîtrise en cours de réalisation à l'UQAC, avec le support du MERN.

Géologie de la région de Val-d'Or–Val Senneville–Obaska

Pierre Pilote, Pierre Lacoste (MERN), Pierre Bedeaux, Alizée Lienard (UQAC), Mehdi Guemache, Jean David, (MERN) et Réal Daigneault (CERM-UQAC)

Notre équipe a cartographié la région de Val-d'Or–Val Senneville–Obaska (VVO), située dans la partie méridionale de la Sous-province de l'Abitibi, à l'échelle de 1/20 000 au cours de l'été 2016. Cette campagne de cartographie, ayant pour objet la révision des groupes de Malartic, de Louvicourt et d'Aurora, a couvert la demie est du feuillet SNRC 32C04, le quart nord-ouest de 32C03 et le quart sud-est de 32C05. Elle permettra de faire le lien avec les travaux antérieurs réalisés dans les parties ouest et nord-ouest du Groupe de Malartic et ceux dans le secteur immédiat de Val-d'Or.

La région de VVO est constituée de roches volcaniques (les groupes de Malartic, de Louvicourt et d'Aurora) et sédimentaires (groupes de Cadillac, de Garden Island et de Pontiac) d'âge archéen. Cette région correspond à l'extension des unités volcaniques retrouvées à l'est de Val-d'Or, réputées pour leur fertilité en gîtes de sulfures massifs volcanogènes et aurifères. Les groupes de Malartic et de Louvicourt contiennent les formations de La Motte-Vassan (2714 +/- 2 Ma), de Dubuisson (2708 +/- 2 Ma), de Jacola (2706 +/- 2 Ma), de Val-d'Or (2704 +/- 2 Ma) et de Héva (2702 +/- 2 Ma). Ces formations présentent des extensions et des puissances très variées. L'orientation générale des surfaces stratigraphiques est également variable, passant de ONO-ESE dans la partie nord-ouest de la carte à E-O dans la partie sud. Une schistosité S1, modérément à intensément développée, est communément subparallèle à la stratification S0. Les linéations d'étirement sont contenues dans la fabrique S1; elles plongent de façon modérée à abrupte vers l'est.

Dans la partie nord de cette région (SNRC 32C05-SE), le Groupe volcanique d'Aurora (GA), l'unité dominante, est séparé du Groupe de Malartic par une étroite bande de roches sédimentaires nommée Groupe de Garden Island. Le GA est constitué de laves ultramafiques, mafiques et felsiques, coïncées entre les intrusions de Pascalis-Tiblemont à l'est et de La Corne à l'ouest. Les surfaces stratigraphiques sont communément orientées N-S et ondulantes, avec un pendage faible de 20 ° à 35 ° vers l'est. Les linéations d'étirement montrent une faible plongée vers l'ENE. Les contacts entre ces groupes sont tous le site de failles importantes. Pour l'instant, nous proposons que cette région soit l'équivalent stratigraphique des lithologies appartenant à la Formation de Lanaudière (âge de 2716 à 2718 Ma), retrouvées au nord du batholite de La Corne.

Cette région est parcourue par des cisaillements et des failles longitudinales d'envergure, orientés ONO à E-O et à pendage nord abrupt : Rivière Héva, Manneville Sud, Senneville et Cadillac. Ces failles sont spatialement associées à plusieurs mines et indices aurifères et contiennent des dykes ou des stocks de composition monzonitique et/ou tonalitique d'âges très variés, allant de pré- à post-tectonique. Les diversités observées dans les styles et les âges de ces minéralisations aurifères illustrent clairement l'existence de plusieurs épisodes de minéralisation, qui ont atteint leur apogée à des époques distinctes.

Trois vastes intrusions, le pluton syn-volcanique de Bourlamaque (2700 Ma, suite diorite-tonalite), le batholite de La Corne (tardi- à post-tectonique, 2680-2642 Ma) et le pluton de Pascalis-Tiblemont (âge indéterminé, suite diorite-tonalite), ainsi que plusieurs petites masses satellites isolées recoupent et perturbent profondément l'architecture volcanique et structurale initiale. Le métamorphisme régional est au faciès des schistes verts, sauf entre les intrusions de La Corne et de Pascalis-Tiblemont où il atteint le faciès des schistes verts supérieur à amphibolites (soit sur l'ensemble du feuillet 32C05-SE).

Géologie de la région de Wemotaci, Grenville ouest, Québec (SNRC 31P11, 31P12, 31P13 et 31P14)

Abdelali Moukhsil et Gabriel Côté (MERN)

Un levé géologique a été réalisé dans la région de Wemotaci au nord-nord-ouest de la ville de La Tuque, dans la Province de Grenville. Un récent levé aéromagnétique de haute résolution, combiné à la cartographie, nous a permis de définir et de circonscrire plusieurs unités géologiques et d'interpréter différentes discontinuités.

Les roches cartographiées sont composées de suites plutoniques labradorienne (de Dugré, 1674 Ma) et pinwarienne (de Hibbard, 1468 Ma) constituées d'opdalite, d'enderbite, de charnockite, de jotunite et de monzodiorite. La région contient également des orthogneiss, des monzogranites, des diorites et des tonalites de la Suite magmatique de Lacoste d'âge elsonien (1450 à 1365 Ma); des roches supracrustales elsoniennes comme le Complexe de Wabash (< 1,20 Ga, à grenat ± graphite ± sillimanite); des quartzites, des roches calcosilicatées et, en quantités mineures, des grenatites (felsiques) et des marbres. Le Complexe de Wabash contient une nouvelle unité qui est composée de formations de fer de type silicaté et sulfuré avec des rubans millimétriques à centimétriques de chert et des niveaux de grenatite à sulfures. La formation de fer est associée à des amphibolites (volcanites mafiques) et à des roches felsiques à intermédiaires (volcanites felsiques?; roches fragmentaires, tuf à lapilli?). Un volume important de syénites roses et grises, avec ou sans néphéline et/ou à orthopyroxène, est présent par endroits, soit sous forme de dyke ou en batholites bien circonscrits. Ces derniers sont également constitués de gabbronorite avec ou sans oxydes de Fe-Ti±P. Des dykes de gabbronorite, de gabbro et de leuconorite ont également été cartographiés dans la région.

Les intrusions de syénite et les gabbronorites de la région étant fortement magnétiques, il est facile de les cartographier à partir des données aéromagnétiques. Les bordures de ces intrusions sont constituées de mangérite et de charnockite qui peuvent être porphyriques et mégacristallines (jusqu'à 50 % de phénocristaux de feldspath potassique). Toutes les roches cartographiées sont généralement injectées par des filons et/ou des dykes de pegmatite granitique plus ou moins enrichie en terres rares.

Les roches de la région de Wemotaci ont atteint le faciès prograde des granulites de moyenne pression (orthopyroxène + clinopyroxène + plagioclase + grenat dans les roches mafiques et sillimanite + grenat + feldspath K + quartz dans les paragneiss à biotite). À noter que ces roches sont rétrogradées localement au faciès des amphibolites (amphibole, plagioclase, grenat).

Hormis les intrusions syénitiques, les roches de la région sont très déformées et présentent des plis isoclinaux et des structures en dôme et bassin. Plusieurs failles majeures (chevauchements, cisaillements) ont été observées sur le terrain et ont été également interprétées des cartes aéromagnétiques.

La cartographie a permis la découverte de plusieurs nouvelles cibles d'exploration pour plusieurs substances minérales comme les terres rares, les oxydes de fer, de titane et de phosphore, le Cu et le Ni ainsi que des minéraux industriels (graphite et sillimanite).

Géologie et potentiel économique de la partie nord-ouest du réservoir Manicouagan, Province de Grenville (SNRC 22N06, 22N10, 22N11 et 22N14)

Guillaume Mathieu et Carl Bilodeau (MERN)

Ce nouveau levé géologique a été réalisé à l'été 2016 dans la partie nord-ouest du réservoir Manicouagan, situé à environ 65 km au sud-ouest de l'ancienne municipalité de Gagnon, dans le secteur des rivières Mouchalagane et Seignelay. Le projet visait l'acquisition de nouvelles connaissances géologiques et métallogéniques dans cette région méconnue de la Province de Grenville. La carte géologique a été réalisée en tenant compte du récent levé aéromagnétique de haute résolution, à l'échelle de 1/50 000 dans des secteurs accessibles par voies navigables et à l'échelle de 1/125 000 dans les secteurs accessibles par hélicoptère. Les résultats nous ont permis de définir et de circonscrire plusieurs unités géologiques et de mettre en valeur le potentiel économique de certaines zones déjà reconnues pour leurs minéralisations.

La région cartographiée regroupe des roches de deux principaux terranes retravaillés lors d'épisodes orogéniques successifs au Protérozoïque : la ceinture parautochtone et la zone imbriquée de Manicouagan (ZIM). Le Parautochtone est constitué de roches intermédiaires à felsiques variablement migmatitisées et de métagabbros, dont les âges et la lithogéochimie sont comparables à ceux de la Province archéenne du Supérieur. Ces roches sont surmontées par le Groupe de Gagnon, une séquence métasédimentaire formée de marbre et de roches calcosilicatées, de formations de fer, de quartzite, d'amphibolite et de paragneiss variablement fusionnés, formant parfois de vastes zones de migmatites. La ZIM est essentiellement composée de roches mafiques à intermédiaires d'âge labradorien (1650-1630 Ma), très déformées, migmatitisées et recristallisées, de l'anorthosite de Seignelay (1690 Ma) et d'intrusions felsiques plus tardives.

Les roches sont empreintes d'une foliation intense (phase D2) transposant les fabriques antérieures et définissant des plis isoclinaux. Cette phase regroupe également des tectonites en L, particulièrement abondantes dans la ZIM, dues au transport du terrane vers le nord-ouest lors de la première phase de l'orogénèse grenvillienne (1090-1060 Ma). La marge de la ZIM correspond à une zone de déformation intense (mylonites, gneiss droits) reprise par un clivage (phase D3) définissant des plis ouverts et une recristallisation avancée des roches. D'autres zones de déformation intense ont été retrouvées dans d'autres secteurs comme la zone ceinturant l'anorthosite de Seignelay. Le métamorphisme régional est de moyenne à haute pression, variant du faciès des amphibolites jusqu'à celui des granulites. Des roches de faciès plus élevés ont possiblement été prélevées dans la ZIM.

Géologie et potentiel économique de la région du lac Nemiscau : secteur ouest de la rivière Rupert (SNRC 32N06, 32N07 et 32N11)

Yannick Daudene et Daniel Bandyayera (MERN)

Le levé géologique du secteur ouest de la rivière Rupert, mené durant l'été 2016, couvre un secteur de la Jamésie situé à environ 190 km au nord de Matagami, entre le lac Nemiscau à l'est et la route de la Baie-James à l'ouest. Au sud et à l'ouest de la région cartographiée affleurent les unités métasédimentaires de la Sous-province de Nemiscau, alors que le nord-est expose les roches intrusives du terrain du lac Champion, une extension vers le sud de la Sous-province gneisso-plutonique de La Grande.

Les unités métasédimentaires du Nemiscau, métamorphisées au faciès des amphibolites et des granulites, sont partiellement fondues à divers degrés et injectées par des intrusions de granite souvent pegmatitique. Localement, des lambeaux de roches mafiques amphibolitiques sont observés. Sous cette couverture métasédimentaire affleurent par endroits des complexes de roches intrusives variablement migmatitisés et déformés, de composition dioritique à tonalitique. Le contact avec le terrain gneisso-plutonique du lac Champion est caractérisé par la présence de bandes kilométriques de coulées volcaniques mafiques, auxquelles sont associées des horizons tufacés, intermédiaires à felsiques, et des intrusions ultramafiques. Le terrain du lac Champion est quant à lui composé de diorite, de tonalite et de granodiorite déformées et recoupées par des intrusions peu ou pas déformées de granodiorite et de granite. L'ensemble des roches archéennes de la région est recoupé par différentes familles de dykes de diabase orientés E-O, N-S, NO et NE.

Les roches archéennes montrent une déformation diffuse et relativement homogène, caractérisée par la présence d'une foliation intense, généralement est-ouest et souvent à fort pendage. L'ensemble rocheux de la Sous-province de Nemiscau est caractérisé par une géométrie en dômes et bassins et il est recoupé par des zones de cisaillement assez discrètes.

Nos travaux indiquent que la zone de contact Nemiscau-La Grande constitue un métallotecte important de la région, au même titre que la bordure nord et sud-ouest Opinaca-La Grande. Une zone kilométrique montrant des altérations hydrothermales à cordiérite, à grenat, à tourmaline et à sulfures dans une séquence de conglomérats et de wackes a été découverte dans la zone de contact entre le Nemiscau et le terrain du lac Champion. Ces zones de remplacement métasomatique présentent plusieurs aspects comparables aux altérations qui caractérisent le toit des zones aurifères de la propriété Éléonore. Des zones minéralisées (sulfures disséminés) au sein de lentilles de roches volcaniques et des formations de fer ont été également mises au jour.

Géologie de la région des lacs Sakami et Ewart (SNRC 33G04, 33G05 et 33F02)

Jean Goutier (MERN), Joséphine Gigon (UQAT)
et Myriam Côté-Roberge (UL)

La région des lacs Sakami et Ewart est située au sud des réservoirs Robert-Bourassa et La Grande 3 dans la municipalité d'Eyou Istchee Baie-James. Cette région a été cartographiée à l'échelle du 1/50 000 dans le cadre de la synthèse géologique de la partie nord des sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, dans la portion nord-est de la Province du Supérieur. Grâce à un plus grand nombre d'affleurements, aux données aéromagnétiques à haute résolution et à la compilation des travaux de l'industrie, il a été possible de modifier de façon significative la carte géologique de la région. De plus, plusieurs secteurs ponctuels dans les feuillets adjacents (33F01, 33F03, 33F07, 33F08, 33F09, 33F10) ont aussi été visités, soit pour la géologie structurale, soit pour l'étude des minéralisations aurifères. Cette région est dominée par des paragneiss dérivés de wacke plus ou moins migmatisés dans lesquels des intrusions néoarchéennes de nature généralement felsique se sont injectées. Des intrusions ultramafiques de faible dimension se sont mises en place le long de grandes structures. Elles sont généralement moins déformées que les roches encaissantes et métamorphisées au même faciès. Mais, certaines de ces intrusions sont mylonitisées et se situent à proximité de zones aurifères connues. Elles se caractérisent alors par une texture foliée à rubanée, avec un assemblage riche en hornblende, en anthophyllite et en phlogopite. Les roches de la Sous-province de La Grande sont en contact tectonique avec celles de la Sous-province d'Opinaca. Dans la partie est, une tonalite mésoarchéenne chevauche les roches métasédimentaires, alors que dans la partie ouest, la zone de contact est caractérisée par une série d'imbrications du La Grande sur l'Opinaca. Le métamorphisme archéen varie globalement du nord (schistes verts) au sud (faciès des amphibolites supérieur), avec des wackes peu métamorphisées au nord et des paragneiss très migmatisés dans certaines zones au sud du secteur. Les principales modifications sont : la subdivision des paragneiss en fonction du pourcentage de mobilisat; le suivi de nouveaux niveaux de basaltes coussinés, d'amphibolites et de formations de fer; la présence de niveaux métriques de conglomérat polygénique, de mudstone graphiteux et de mylonite d'intrusions ultramafiques; le suivi de longues zones de cisaillement affectant à la fois les roches du La Grande et de l'Opinaca. Les résultats des analyses géochimiques nous indiqueront si les différentes zones d'altération observées contiennent des minéralisations aurifères.

Géologie et potentiel minéral des régions du lac Emmanuel et du lac Léran, au nord des monts Otish (Baie-James)

Francis Talla Takam, Frédéric Massei,
Anne-Marie Beauchamp et Hanafi Hammouche (MERN)

Un levé géologique au 1/50 000 a été réalisé durant l'été 2015 au nord des monts Otish. Ces travaux, appuyés par de nouveaux levés aéromagnétiques de haute résolution, couvrent neuf feuillets SNRC : 33A09, 33A10, 33A15, 33A16, 23D11 à 23D15.

Le terrain cartographié est situé dans la portion nord-est de la Province du Supérieur et s'étale sur les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca. Les roches d'âge néoarchéen sont recoupées par des essaims de dykes mafiques tardi-archéens à paléoprotérozoïques.

La Sous-province de La Grande occupe le nord-est et le sud du terrain. Elle est composée de métasédiments à biotite ± grenat ± amphibole ± sillimanite et d'intrusions felsiques et intermédiaires. Au sud, un ensemble de diorite, de diorite quartzifère et de tonalite est en contact avec la bande volcanique de la Haute Eastmain, composée de métavolcanites mafiques à felsiques. Cette ceinture de roches vertes est surmontée par du granite pegmatitique à muscovite + grenat ± tourmaline.

L'ouest du terrain est dominé par un assemblage de paragneiss, de métatexites et de diatexites de la Sous-province d'Opinaca. Ce dernier, caractérisé par une paragenèse à biotite + orthopyroxène ± grenat ± hornblende, est fréquemment injecté par des intrusions granitiques.

Une grande intrusion porphyroïde potassique s'étend une vaste superficie à l'est, témoignant d'un magmatisme tardi-archéen et post-tectonique.

Le grain tectonique de la région est grossièrement E-O à ENE-OSO. Dans la Sous-province de La Grande, la déformation ductile est importante, particulièrement près du contact entre les volcanites et l'ensemble dioritique à tonalitique. La foliation dans la bande volcanique a un pendage modéré à fort vers le sud, avec des linéations d'étirement et minérales plongeant à environ 50 degrés vers le SE. La déformation est moins intense dans les métasédiments de l'Opinaca. Des linéations à faible plongée vers l'est sont perceptibles dans les rubans de quartz et dans le mobilisat.

La migmatitisation dans les métasédiments témoigne d'un métamorphisme de haute température. Celui-ci varie du faciès des amphibolites à celui des granulites. Ce dernier est souligné par la présence d'orthopyroxène, notamment dans l'Opinaca.

Plusieurs zones décimétriques à métriques de sulfures massifs et semi-massifs ont été mises à jour et/ou révisées dans la ceinture de roches vertes de la Haute Eastmain. La région recèle un potentiel fort intéressant pour divers types de minéralisations : Au orogénique (comme le gisement Eastmain); SMV à Cu-Zn-Au-Ag; Cu-Au porphyrique; Ni-Cu-EGP dans les roches ultramafiques; métaux rares (Li, Cs, Ta) dans les pegmatites. De plus, le gisement Renard (diamant) est situé dans la région d'étude.

Présentation des données géophysiques publiées en 2015-2016

Rachid Intissar et Siham Benahmed (MERN)

Géologie Québec a poursuivi ses levés géophysiques aéroportés à grande échelle dans différentes provinces géologiques durant l'année 2015-2016, notamment dans le Grenville et le Supérieur. Le nombre de kilomètres linéaires parcourus au cours de la dernière année est de l'ordre de 278 000 km. Le but ultime de ces levés de haute résolution est de fournir un outil de soutien à la cartographie géologique autant pour les projets de Géologie Québec que pour les sociétés privées et à favoriser l'exploration minière. Ces données permettent également de stimuler l'investissement privé en exploration avec la génération de cibles d'intérêt.

Les résultats de ces récents levés ont été publiés par Géologie Québec dans les rapports suivants :

- ▶ DP 2016-02 : levé aéromagnétique couvrant en partie ou en totalité 21 feuillets SNRC au 1/50 000 dans le secteur ouest de la Grande rivière de la Baleine, Province du Supérieur. Ce levé a été réalisé par la société Geo Data Solutions GDS inc.;
- ▶ DP 2016-04 : levé aéromagnétique couvrant en partie ou en totalité 14 feuillets SNRC au 1/50 000 dans le secteur des monts Otish, Province du Supérieur. Ce levé a été réalisé par la société EON Géosciences;
- ▶ DP 2016-05 : levé aéromagnétique couvrant en partie ou en totalité 30 feuillets au 1/50 000 dans le secteur de la rivière Delay, Province du Supérieur. Ce levé a été réalisé par la société Novatem inc.;
- ▶ DP 2016-06 : levé aéromagnétique couvrant en partie ou en totalité 26 feuillets au 1/50 000 dans le secteur de la rivière Romaine, Province de Grenville. Ce levé a été réalisé par la société Sander Geophysics Limited.

Géologie de la région du lac Amisquioumisca (SNRC 32K07 et 32K08, parties des SNRC 32K01, 32K02 et 32K09)

François Leclerc, Emmanuel Caron-Côté et Julie Vallières (MERN)

Le levé géologique au 1/50 000 réalisé à l'été 2016 dans la région du lac Amisquioumisca (Baie-James) couvre les feuillets SNRC 32K07 et 32K08 ainsi qu'une partie des feuillets SNRC 32K01, 32K02 et 32K09. Le secteur cartographié est situé dans la Sous-province de l'Opatca et est limité au sud par la ceinture de roches vertes de Matagami-Chibougamau et au nord par celle de Frotet-Evans. Les plus vieilles lithologies de la région, d'âge néoarchéen, sont composées de roches volcaniques mafiques à felsiques amphibolitiques et de paragneiss à biotite ± grenat attribués au Complexe de Rocher. Nos travaux ont permis de démontrer l'extension de ces unités jusqu'au sud-ouest du lac Amisquioumisca. Les plus vieilles intrusions correspondent aux « gneiss gris » de l'Opatca, de composition dioritique et tonalitique avec biotite et hornblende, situés au sud et au nord-est du lac Poncheville (2702 ± 3 Ma). L'ensemble du secteur est caractérisé par plusieurs intrusions foliées à gneissiques de compositions variées (2693-2686 Ma) : a) diorite et diorite quartzifère, b) tonalite, c) monzodiorite et monzonite, d) granodiorite et granite. Ces roches comprennent des enclaves d'amphibolites foliées à gneissiques et subissent localement la migmatite. Elles sont recoupées par des dykes de composition granitique à texture pegmatitique. Au sud du lac Poncheville, la Suite mafique-ultramafique de Poncheville désigne des intrusions tardi-tectoniques de 1-2 kilomètres de diamètre dont la composition varie de la pyroxénite au gabbro et, plus localement, jusqu'au granitoïde riche en quartz. Nos travaux ont permis de mettre au jour une nouvelle unité de syénite à hornblende tardi-tectonique à l'est du lac Amisquioumisca, contenant localement de la fluorite. Les dykes de diabase protérozoïques appartiennent à quatre groupes distincts en fonction de leur orientation respective : a) NNE-SSO; b) NE-SO (Senneterre); c) NNO-SSE (Mistassini); d) N-S. La déformation régionale archéenne présente trois incréments nommés D1, D2 et D3. La déformation D1 comprend une foliation tectono-métamorphique et une gneissosité (S1) ainsi que des plis ouverts à isoclinaux (P1) orientés NO-SE à N-S. Ces fabriques sont plissées et transposées dans la schistosité S2 E-O de plan axial à des plis isoclinaux P2. Des patrons d'interférence entre les plis P1 et P2 apparaissent à l'échelle de l'affleurement ainsi qu'à l'échelle régionale, comme le suggèrent les levés aéromagnétiques détaillés. La zone de cisaillement NO-SE à mouvement oblique dextre de Nottaway traverse la portion ouest du secteur à l'étude et sa zone de dommage s'étend latéralement sur 10 km. Plusieurs autres zones de cisaillement parallèles présentent ce mouvement oblique dextre, attribué à D3, puisqu'il provoque à la fois la virgation (c.-à-d. rotation) et le décalage des structures antérieures D1 et D2. La région présente un potentiel pour trois types de minéralisation : a) Cu-Zn stratiforme associée aux lambeaux d'amphibolites et de paragneiss (PY-CP-SP disséminées); b) Ni-Cu-EGP magmatique associée à la diorite du Complexe de Rocher et aux roches de la Suite mafique-ultramafique de Poncheville (PY, PO, CP et PD disséminées); et c) Cu-Au ± Mo porphyrique associée aux zones de contact entre les enclaves d'amphibolite et la tonalite du Pluton de Nipukatasi ou la diorite quartzifère du Pluton de Gobeil (PO-PY-CP-SP-MO).

Compilation géologique de la région du lac Biencourt, Bas-Saint-Laurent

Robert Thériault et Claude Dion (MERN)

Des travaux de révision géologique couvrant l'équivalent d'environ trois feuillets à l'échelle du 1/20 000 (portions de 21N09-NE, de 21N16-SO, de 21N16-NO, de 21N16-NE et de 22C01-SO) ont été réalisés en juin 2016 dans la région du lac Biencourt, à environ 60 km au sud-est de Trois-Pistoles, au Témiscouata.

La région cartographiée fait partie du Synclinorium de Connecticut Valley-Gaspé de la Ceinture de Gaspé et est constituée principalement de roches sédimentaires (\pm volcanoclastiques) siluro-dévonniennes déposées dans un bassin intracratonique formé après l'Orogenèse taconique. Les unités cartographiées appartiennent aux groupes de Cabano, de Chaleurs et de Fortin, à la Formation de Témiscouata ainsi qu'aux Grès de Gaspé. Elles sont localement injectées de filons-couches de gabbro appartenant à la Suite intrusive de Lemieux. Les séquences sédimentaires, orientées NE-SO, sont caractérisées par une succession de plis ouverts de même orientation. Deux importantes failles de chevauchement NE-SO à vergence vers le nord-ouest sont présentes dans le secteur, soit les failles de Témiscouata et de Sainte-Florence.

Le Groupe de Cabano se trouve dans la partie nord-ouest de la région. Il est constitué d'interstratifications de mudstone et de wacke lithique gris. Le Groupe de Chaleurs affleure dans la région d'étude sous forme d'une longue (>60 km) et étroite (3 à 4 km) bande de roches volcano-sédimentaires (bande du lac Auclair), constituée des formations de Lac Raymond, de Pointe-aux-Trembles, d'Awantjish, de Val-Brillant (nommée Robitaille au SO), de Sayabec, de Saint-Léon et de Lac Croche. La Formation de Lac Raymond, constituée d'interstratifications de siltstone et de wacke gris verdâtre, occupe la partie nord-est de la bande. Elle est remplacée graduellement vers le sud-ouest par les formations de Pointe-aux-Trembles et de Val-Brillant, constituées respectivement de niveaux de tuf à cendres et à lapilli (et/ou de conglomérat volcanique) et de bancs d'arénite quartzitique blanchâtre. La base du Val-Brillant contient localement des niveaux de mudstone noir que nous assignons à la Formation d'Awantjish. La Formation de Sayabec consiste en des niveaux de calcaire fossilifère, alors que les formations de Saint-Léon et de Lac Croche sont formées d'interstratifications de siltstone et de grès laminaire et de niveaux de calcaire fossilifère et de grès dolomitique, respectivement. Au sud-est de la Faille de Témiscouata, l'on trouve une épaisse séquence de siltstone et de clayshale calcareux (\pm wacke) appartenant à la Formation de Témiscouata, laquelle est surmontée par les wackes et siltstones verdâtres de la Formation de York River (Grès de Gaspé). Finalement, le Groupe de Fortin, présent au sud-est de la Faille de Sainte-Florence, est constitué d'interstratifications de siltstone et de wacke.

Bien qu'aucun indice minéralisé n'ait été observé durant les travaux de cartographie, il existe tout de même un certain potentiel pour les gîtes non métalliques (silice de la Formation de Val-Brillant). En 1993, un indice d'or (Rivière Horton) a été découvert dans le secteur. La minéralisation se présente sous forme de veinules de pyrite aurifère recoupant un grès et un conglomérat de la Formation de Robitaille.

Ntshuku et Tunulic : comparaisons pétrologiques et géochimiques

Rémi Germain (UQAM), Isabelle Lafrance, Benoit Charette et Pierre Lacoste (MERN)

La Ceinture de Tunulic et le Complexe de Ntshuku représentent deux séquences volcano-sédimentaires situées dans le centre-sud du sud-est de la Province de Churchill. Plus spécifiquement, ces unités se trouvent dans la Zone noyau, un ancien craton archéen déformé et remobilisé au Paléoproterozoïque, laquelle est bordée, à l'est et à l'ouest respectivement, par les orogènes des Torngat et du Nouveau-Québec. Malgré le fait qu'elles soient séparées par la Zone de cisaillement de la rivière George (ZCRG), les deux séquences supracrustales aux lithologies similaires sont situées relativement près géographiquement. L'objectif de cette étude est de vérifier si elles sont reliées ou s'il s'agit de deux microcontinents d'origine et d'âge différents. Les descriptions de terrain, l'étude pétrographique et la lithogéochimie seront utilisées à ces fins.

Confinée dans la ZCRG, la Ceinture de Tunulic, découverte en 2013 par le MERN, fait plus de 100 km de longueur par 2 à 14 km de largeur. Elle comprend trois unités : 1) une unité de metabasalte, de volcanites felsiques et de volcanoclastites felsiques à intermédiaires; 2) une unité de métasédiments; 3) une unité de métagabbro. Les âges de zircons provenant d'échantillons de tufs à cristaux varient entre 2565 Ma et 2719 Ma.

Le Complexe de Ntshuku (30 km par 6 km) se situe à l'est de la ZCRG. Ce complexe volcano-sédimentaire est recoupé par endroit par la Suite de Pallatin, qui a été datée de manière incertaine à 2332 Ma. Il est composé de quatre unités principales : 1) une unité de schistes et de gneiss œillés; 2) une unité de métavolcanoclastites; 3) une unité de marbres impurs, de roches calcosilicatées et de métavolcanites; 4) une unité de métasédiments. Les travaux de terrain indiquent aussi la présence de filons-couches de gabbro. Une coupe transversale a été réalisée afin de recueillir des échantillons de ces lithologies, dans le but de les comparer avec ceux prélevés dans la Ceinture de Tunulic lors des campagnes de cartographie régionale précédentes.

La présence de ceintures volcaniques bimodales de grande envergure au sein du Churchill représente un contexte intéressant pour les gîtes de sulfures massifs volcanogènes ainsi que pour ceux d'or orogénique dans les zones de cisaillement. D'ailleurs, un indice d'or (jusqu'à 8,1 g/t) encaissé dans une lentille d'arsénopyrite massive et plusieurs zones rouillées sont présents dans le Ntshuku. La caractérisation de ces ceintures permettra de mieux comprendre la géologie de la région.

Pétrographie et géochimie des filons-couches mafiques et ultramafiques de la Zone de Gerido dans la région des lacs Qamaniik, Fosse du Labrador, Nunavik, Québec

Marie-Pier Bédard (UL), Michel G. Houlé (CGC-Q) et François Huot (UL)

Dans le secteur à l'étude de la Fosse du Labrador, au nord-ouest de Kuujuaq, les filons-couches mafiques et ultramafiques de Montagnais sont injectés principalement dans les formations de Baby et d'Hellancourt. La région étudiée semble représenter une succession homoclinale où la stratigraphie évolue vers l'est, et où au moins une répétition structurale est interprétée. Le métamorphisme régional est généralement au faciès des schistes verts moyen et les textures ignées sont bien préservées. Par contre, la minéralogie primaire est seulement préservée localement.

Trois types d'intrusions ont été reconnus : mafiques (IM), ultramafiques (IUM) et mafiques à ultramafiques (IMUM). Les IM sont composées de gabbroïte aphyrique massive, localement litée et à textures variées, y compris localement des faciès pegmatitiques. La minéralogie primaire est constituée d'augite, d'hypersthène, de bytownite et de plus ou moins d'ilménite, avec l'apparition de quartz bleuté vers la partie sommitale. Les IUM sont des webstérites à cumulats d'olivine montrant localement une texture poëcilitique à oïcristaux d'hypersthène. La phase intercumulus est principalement constituée d'augite. Les IMUM consistent en une séquence mafique-ultramafique où la partie ultramafique se compose, de la base au sommet, d'une unité gabbroïte surmontée d'une webstérite, d'une péridotite poëcilitique à oïcristaux d'augite et, finalement, par une alternance de niveaux de péridotite composée de mésocumulats d'olivine serpentinisée avec des augites intercumulus et de webstérite composée d'augite dans une matrice serpentinisée. En contrepartie, la partie mafique est composée de gabbroïte avec l'apparition de quartz bleuté vers la partie sommitale. La minéralogie primaire de cette unité n'est pas préservée, mais les textures s'apparentent à celles observées dans les IM.

Les trois types d'intrusions montrent des affinités tholéïtiques où l'enrichissement en FeO est plus important dans les IM. Les IM et IMUM sont différenciées, contrairement aux IUM qui ne montrent aucune variation majeure. À partir du contact inférieur des IM, les concentrations en MgO passent de ~8 % à 14 % et les valeurs du Cr/V de ~1,1 à 10,6, puis les concentrations en MgO diminuent progressivement vers le sommet jusqu'à ~4 % MgO et les valeurs du Cr/V jusqu'à ~0,2. De manière similaire, les concentrations en MgO de la partie basale des IMUM passent rapidement de ~9 % à 18 % et la valeur du Cr/V de ~1,6 à 5,1, puis les concentrations en MgO atteignent jusqu'à ~34 % et la valeur du Cr/V ~26,7 dans la partie ultramafique. Dans la partie mafique sommitale, les concentrations en MgO diminuent jusqu'à ~5 % et la valeur du Cr/V ~3,6. Dans les IUM, les concentrations en MgO sont beaucoup moins variables, passant de ~19 % à 24 % et les valeurs du Cr/V de ~13,0 à 16,8.

En nous basant sur la pétrographie et la lithogéochimie, nous pouvons suggérer que les trois types d'intrusions semblent faire partie d'une même suite magmatique. Cependant, une étude plus approfondie de la géochimie, combinée à la chimie minérale, permettra de vérifier cette interprétation.

La Suite mafique-ultramafique de Nuvulialuk : une nouvelle séquence ophiolitique dans l'arrière-pays de la Zone noyau, sud-est de la Province de Churchill (Québec)

Rocío Pedreira Pérez, Philippe Pagé (UQAC), Daniel Bandyayera (MERN) et Sarah-Jane Barnes (UQAC)

La Suite mafique-ultramafique de Nuvulialuk (SMUN) est localisée dans la Zone noyau (sud-est de la Province de Churchill), à proximité du couloir de déformation de Blumath. Ce couloir qui sépare la Zone noyau (faciès des schistes verts et des amphibolites) de l'Orogène des Torngat (faciès des granulites) pourrait représenter une ancienne zone de suture. La SMUN est formée de plusieurs corps kilométriques orientés grossièrement nord-sud et distribués le long du couloir de déformation de Blumath.

La cartographie détaillée et l'échantillonnage des corps de la SMUN ont été effectués durant l'été 2014. Les observations de terrain ainsi que l'étude pétrographique au microscope ont permis d'identifier quatre faciès : i) péridotitique, ii) pyroxénitique, iii) gabbroïte, iv) amphibolitique. La pétrographie au microscope montre que les roches de la SMUN sont généralement très altérées, déformées et recristallisées. La lithogéochimie sur roche totale des éléments majeurs et mineurs suggère que les roches de la SMUN résultent d'un processus de cristallisation fractionnée à partir d'une seule série magmatique. Cette série semble être composée, en plus des roches mafiques et ultramafiques de la SMUN, par des roches mafiques définies initialement comme appartenant au Groupe de Lake Harbour (séquence de roches volcano-sédimentaires paléoprotozoïques).

La nature des roches de la Suite mafique-ultramafique de Nuvulialuk et l'interprétation de son contexte géotectonique de formation suggèrent que ces roches correspondent vraisemblablement à une séquence ophiolitique incluant une portion de la section crustale cumulative. Par contre, une origine mantellique pour certains échantillons n'a pu être confirmée avec certitude. Le contexte géotectonique de la SMUN est similaire à un environnement tectonique avant-arc qui évolue vers un contexte d'arc insulaire. L'interprétation que le couloir de déformation de Blumath constitue une ancienne zone de suture semble avérée.

Puisque la Suite mafique-ultramafique de Nuvulialuk correspond à une séquence ophiolitique, son potentiel économique est davantage limité. La SMUN contient une minéralisation sulfurée (assemblage Pn-Po-Cpy ± Py), mais le contenu en sulfures est toujours inférieur à 1 % (à l'exception de l'indice Phiroda, qui en contient 3 %). Pour une séquence ophiolitique, le potentiel économique repose essentiellement sur la présence de gisements de chromite et de SMV de type Chypre dans les séquences volcaniques qui recouvrent la portion plutonique de la croûte. Éventuellement, les ophiolites peuvent aussi contenir des gisements d'EGP de faible dimension. Par contre, l'évolution vers un contexte d'arc insulaire n'est pas favorable à la formation de gisements de chromite et d'EGP comme le seraient des magmas de type boninitique.

G40

Pétrographie métamorphique d'une intrusion mafique-ultramafique, Zone noyau, Province de Churchill sud-est, Nunavik

Pierre-Hugues Lamirande, François Huot, Carl Guilmette (UL), Carl Bilodeau (MERN), David Corrigan et Vicki McNicoll (CGC-O)

Les levés régionaux du MERN à l'été 2015 ont permis de cartographier une unité intrusive mafique-ultramafique litée et métamorphisée, située à environ 80 km au nord-ouest de Kuujjuaq, dans le Domaine de la Baie-aux-Feuilles (Zone noyau). Cette unité est constituée de deux intrusions principales (13 km x 5 km et 5 km x 3 km) encaissées dans les gneiss felsiques à intermédiaires du Complexe de Kaslac. L'âge des intrusions et des gneiss est à déterminer.

La majeure partie des intrusions consiste en un protolite gabbroïque riche en magnétite dont le métamorphisme a provoqué la croissance de porphyroblastes centimétriques de grenats poeciloblastiques à couronne de hornblende et de plagioclase pouvant atteindre 50 % en proportion modale. Ils sont localement accompagnés d'un faible pourcentage de mobilisat tonalitique. La deuxième lithologie en importance est un métagabbro granoblastique formé d'une alternance de lits primaires décimétriques, leucocrates à mélanocrates et à texture mouchetée, localement recoupés par des veines mélanocrates boudinées. On observe jusqu'à 25 % de porphyroblastes centimétriques de grenats poeciloblastiques, spatialement associés à du clinopyroxène et de la hornblende. On retrouve localement de fins grenats millimétriques en couronne autour des minéraux mafiques. Un ensemble comprenant des gabbros, des gabbronorites et des norites, localement lité et contenant très peu de grenats, fait également partie de l'intrusion. Les pyroxénites et les péridotites sont des composantes très mineures. Le complexe intrusif est injecté en majeure partie par des roches felsiques à orthopyroxène et des granitoïdes à phénocristaux de feldspath, formant des niveaux métriques parallélisés et, localement, des brèches magmatiques dans les différents faciès mafiques.

Le projet a pour objectifs de caractériser les différents faciès cartographiés et de déterminer la nature du métamorphisme en matière de conditions de pression et de température. Il sera également établi si certains des assemblages observés découlent d'un métasomatisme précoce. Pour ce faire, une étude pétrographique détaillée (paragenèses, associations minérales, réactions et cartes compositionnelles micro-XRF) sera réalisée. Des données lithogéochimiques, des calculs thermobarométriques multi-équilibres et des data-tions (U-Pb des zircons et Lu-Hf des grenats) compléteront les observations. Ultimement, nous proposerons un cadre géodynamique de mise en place pour définir si l'intrusion constitue la racine d'un ancien arc magmatique ou est plutôt associée à un évènement d'extension crustale précambrien.

G41

Étude gravimétrique dans le secteur de Kuujjuaq, Québec

Aurélié Gicquel, Lyal Harris, Bernard Giroux (INRS-Eau Terre Environnement) et Damien Forestier (Université de Montpellier 2)

Une étude gravimétrique et aéromagnétique a été menée au nord de la Fosse du Labrador, au Québec, afin de déterminer la profondeur du sous-sol et sa géométrie et d'établir la présence d'intrusions dans le socle archéen du craton du Supérieur ou dans la couverture sédimentaire paléoprotérozoïque de la Fosse de Labrador. Les intrusions de granites « chauds » ou de carbonatites radiogéniques (uranium et terres rares notamment) entraînent des flux de chaleur localement plus élevés qui pourraient représenter un fort potentiel de production d'énergie géothermique profonde et contribuer ainsi à fournir une source d'énergie dans cette région où l'alimentation électrique des villages de Kuujjuaq et de Tasiujaq repose actuellement sur des génératrices à diesel. Trois levés gravimétriques ont été réalisés pour affiner les données préexistantes. La modélisation des profils a montré une profondeur de socle de 5 à 6 km et des intrusions probables de carbonatites permettant d'expliquer les anomalies gravimétriques négatives dans la région étudiée.

Thermométrie du Cisaillement de la Rivière Georges : contraintes applicables à l'exhumation de la Zone noyau, Province de Churchill sud-est

Marc-Antoine Vanier, Carl Guilmette, Antoine Godet (UL), Lyal Harris (INRS- Eau Terre Environnement), Benoit Charrette, Isabelle Lafrance (MERN) et Nathan R. Clevin (UL)

Le sud-est de la Province de Churchill est divisé en trois domaines lithotectoniques : l'Orogène des Torngat (1,87-1,82 Ga), l'Orogène du Nouveau-Québec (1,82-1,77 Ga) et la Zone noyau qui est intercalée entre les orogènes. Cette dernière correspond majoritairement à une croûte moyenne d'âge archéenne à paléoprotérozoïque, remobilisée lors de collisions paléoprotérozoïques et recoupée par le Batholite de De Pas (BDP) (1,860-1,805 Ga). En bordure de cette intrusion polyphasée se trouvent des décrochements d'échelle crustale : la zone de cisaillement de la Rivière George (ZCRG) et celle du Lac Tudor (ZCLT). Bien que la cinématique de ces zones en décrochement dextre ait été reconnue et que l'âge de la déformation soit actuellement contraint entre 1,82 et 1,77 Ga, le rôle de ces corridors de déformation dans le contexte tectonique local demeure peu connu. La nature en transpression, l'évolution thermique durant la déformation et la période d'activité des principaux cisaillements ont fait l'objet de peu de travaux à ce jour. La ZCRG montre une vaste gamme de structures suggérant une activité continue pendant son exhumation. Les objectifs de ce projet de maîtrise sont : de documenter les structures et microstructures, de déterminer les processus et les températures associées et de limiter la durée des épisodes de déformation. Cela permettra de mieux définir l'évolution et la migration des mécanismes de déformation.

Le projet a commencé par des travaux de terrain en collaboration avec le MERN à l'été 2016, y compris l'échantillonnage de mylonites et de gneiss. L'étude des indicateurs cinématiques en lames minces permettra de mieux décrire le sens des mouvements relevés sur le terrain. Une analyse des mesures structurales sera effectuée selon des domaines structuraux définis d'après le traitement du levé aéromagnétique. Des échantillons seront sélectionnés pour une étude thermométrique. L'application du thermomètre TitaniQ ainsi que la mesure de l'angle d'ouverture des axes optiques du quartz permettront de quantifier les conditions de température durant la déformation. L'âge minimal de la déformation de la ZCRG sera contraint par des datations U-Pb d'intrusions montrant des relations de recoupe-ment. Les nouvelles données générées pourront être jumelées au gradient et aux âges métamorphiques afin de mieux délimiter le parcours P-T-t-D de la Zone noyau. Ces nouvelles informations sur l'évolution tectonique de la Zone noyau permettront de définir plus précisément les styles tectoniques de la Province de Churchill sud-est et contribueront à la compréhension de la déformation de la croûte moyenne en contexte de collision oblique.

Caractérisation du gradient métamorphique dans la croûte moyenne de l'Orogène du Nouveau-Québec : discontinuités, style et implications tectoniques

Antoine Godet, Marc-Antoine Vanier, Carl Guilmette (UL), Loïc Labrousse (UPMC) et Benoit Charette (MERN)

Le sud-est de la Province de Churchill (SEPC) consiste en un ensemble de marges cratoniques et de microcontinents assemblés et déformés lors de l'orogénie transhudsonnienne, au Paléoprotérozoïque. L'Orogène du Nouveau-Québec (ONQ) (1,82-1,77 Ga) occupe la partie ouest de cette province et résulte de la collision oblique entre les cratons du Supérieur et un microcontinent d'origine débattue, la Zone noyau (ZN). L'ONQ est lui-même subdivisé en deux principaux ensembles lithotectoniques : la Fosse du Labrador (FL) et la Zone de Rachel-Laporte (ZRL). La FL est interprétée comme représentant la marge de rift du Supérieur et la ZRL comme sa section distale plus fortement déformée et métamorphisée, bien que sa nature soit présentement remise en question (Henrique-Pinto et al., en préparation). La présente contribution résume les résultats d'une étude pétrographique et thermobarométrique de la Zone de Rachel-Laporte (ZRL) et de la ZN occidentale (SNRC 24B). Les échantillons décrits sont des amphibolites à grenat et des paragneiss à grenat ± aluminosilicates. Les paragenèses estimées aux pics métamorphiques sont $QZ + PG + BO + GR + IM \pm FK \pm MV \pm SM \pm RL$ pour les métasédiments et $HB + QZ + PG + GR + IM \pm RL$ pour les metabasites. Les premières estimations quantitatives des pics métamorphiques obtenues par l'outil AvgPT du logiciel Thermo-Calc concordent avec les observations de terrain : les conditions supra-solidus semblent généralisées dans la ZN tandis qu'elles ne s'observent que localement dans la ZRL. La ZRL aurait ainsi atteint majoritairement le faciès des amphibolites (5,9-7,4 kbar, 521-660 °C) et localement le faciès des amphibolites supérieur, tandis que la ZN aurait atteint le faciès des amphibolites supérieur (7,0-8,3 kbar, 725-823 °C) et, ponctuellement, celui des granulites. Le degré de métamorphisme de type barrovien semble continu entre les deux domaines et présente une augmentation de 2 kbar et de 300 °C des conditions aux pics de l'ouest vers l'est (segment de 50 km). Ces observations indiquent que la juxtaposition de la ZRL et de la ZN est antérieure au pic métamorphique. Or, de récentes études indiquent que le pic métamorphique dans la section orientale de la ZN est lui-même antérieur à la collision Supérieur-ZN (Charette *et al.*, 2016, supportant l'hypothèse que la ZRL pourrait s'être déposée en marge de la ZN et non du Supérieur. Des datations en cours de grenats, de zircons et de monazites, reliées à l'approche thermobarométrique et à des modélisations par équilibre de phases serviront à produire des chemins P-T-t-D pour toute la SEPC, retraçant ainsi l'histoire métamorphique et géodynamique de cette province. Cette étude fait partie intégrante du projet de doctorat initié par l'auteur principal en collaboration avec le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles et supporté par le programme GEM-2.

Références

- CHARETTE, B. – GUILMETTE, C., 2016 – Thermobarométrie et géochronologie de l'Orogène des Torngat et de la marge est de la Zone noyau - Province de Churchill Sud-Est: Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec.
- HENRIQUE, R. – GUILMETTE, C. – BILODEAU, C. – McNICOLL, V. – CORRIGAN, D., in press, – Evidence for transition from a continental forearc to a collisional pro-foreland basin: detrital zircon provenance analysis in the Labrador Trough, Canada.

Spectroscopie du plasma produit par laser (LIBS) pour l'analyse de l'or dans des échantillons miniers

Maryline Castello, Blandine Nguengang Kamwa (UL), Kheireddine Rifai (UL et CNRC-NRC Boucherville), Marcel Laflamme, Marc Constantin (UL), Mohamad Sabsabi, Alain Blouin, Paul Bouchard (CNRC-NRC Boucherville), François Vidal (INRS-Énergie Matériaux Télécommunications) et Kostantinos Fytas (UL)

Le Québec compte de nombreuses mines produisant pour environ 1,5 milliard de dollars d'or annuellement. Bien que l'industrie minière entretient plusieurs milliers d'emplois directs, elle est confrontée à des défis importants tels que la baisse des teneurs des gisements et une plus grande complexité de minéralisation avec des niveaux d'impuretés plus élevés. Tous ces facteurs augmentent les coûts d'exploration et de production.

La fluorescence à rayons X, utilisée avec succès pour un certain nombre de métaux de base tels que le cuivre, le zinc et le nickel, est inadéquate pour les gisements aurifères qui nécessitent une limite de détection de 50 à 100 fois plus basse.

Il a été proposé d'utiliser la spectroscopie du plasma produit par laser (LIBS) pour l'analyse des teneurs en or in situ et en temps réel. Dans cette recherche, la faisabilité de la méthode a été testée avec succès sur une panoplie d'échantillons synthétiques simulant différents types de matrices minéralogiques contenant de l'or (quartz, pyrite, etc.).

La technique LIBS standard a permis d'obtenir une limite de détection d'environ 0,8 ppm sur différents types d'échantillons. Ce résultat est en adéquation avec l'application désirée requérant une limite de détection d'environ 1 ppm. Afin de parvenir à développer et à améliorer cette technique, le projet combine plusieurs domaines d'expertises : la géochimie, la physique et la statistique.

Une étude chimiométrique de type ACP (analyse à composante principale) des mesures effectuées sur les échantillons synthétiques montre une division des données selon deux types de matrices : siliceuse et ferreuse. Ces effets de matrices peuvent brouiller le signal. Pour les réduire, et ainsi corriger ce problème, différentes normalisations du signal de l'or ont été testées.

Afin de mettre en place une base de données caractéristique des mines d'or et d'y associer les courbes de calibrations appropriées, une analyse par fluorescence X a été effectuée sur les échantillons miniers dans le but de les caractériser géochimiquement en obtenant leurs concentrations en éléments majeurs.

Une analyse statistique multivariable sera combinée aux résultats obtenus par LIBS et par fluorescence X, pour déterminer la stratégie de prise de mesures et, de ce fait, obtenir une confiance dans la mesure obtenue selon les différentes lithologies.

Finalement, la cartographie de la surface des carottes de forage combinée à une analyse statistique sur les données LIBS permettra de définir une stratégie efficace d'analyse des échantillons miniers sur le terrain.

Quantification des paramètres morphologiques des grains d'or provenant de sédiments meubles

François-Xavier Masson, Georges Beaudoin et Denis Laurendeau (UL)

L'étude de la morphologie des grains d'or dans les sédiments est une technique commune pour retracer la source de la minéralisation. Cependant, la forme n'est connue que de façon qualitative. Le but de cette étude est de développer une méthode pour mesurer de manière quantitative les paramètres de forme des grains d'or dans les sédiments meubles.

Les méthodes utilisées pour ce projet sont : 1) le microscope électronique à balayage; 2) le microscope à rayons X 3D à haute résolution; 3) la reconstruction des formes par « space carving ». Ces méthodes seront jumelées à des logiciels de reconstruction en 3D et à des algorithmes pour visualiser le grain et mesurer les paramètres morphologiques.

Les principaux facteurs à calculer sont : l'indice de sphéricité, l'émoissé, la rugosité et les indices d'aplatissement de Corey, de Cailleux et de Shilo, car ils varient selon le type d'environnement de dépôt, le mode de transport et la distance parcourue. De plus, des logiciels de traitement d'images sont nécessaires pour obtenir un modèle en trois dimensions du grain d'or à partir de photographies : i) VisualSFM utilise la reconstruction par « *Clustering Views for Multi-View* » (CMVS) pour créer un nuage de points en 3D avec l'attribution de couleurs et de coordonnées dans l'espace pour chaque point; ii) Meshlab reconstruit des surfaces par la méthode de Poisson; iii) Blender permet d'appliquer une texture directement sur la surface.

Les travaux se focaliseront sur des grains provenant des domaines glaciaires, fluviaux, éoliens et latéritiques afin de couvrir l'ensemble des environnements de dépôt utilisés en exploration minérale. L'évolution morphologique des particules d'or sera observée selon un profil de dépôt pour retracer l'histoire des grains en fonction de leur mode de transport, dans le but d'estimer une distance à la source pour localiser la zone minéralisée.

Où est l'or sur la propriété ROC dans le secteur de Lebel-sur-Quévillon

Clémence Maltais-Hardy (UQAM), Jean-François Desbiens-Lévesque (SOQUEM), Alain Tremblay (UQAM) et Serge Perreault (SOQUEM)

La propriété ROC, appartenant à SOQUEM, est située entre Matagami et Lebel-sur-Quévillon dans la Sous-province de l'Abitibi. Depuis 2015, plusieurs travaux de prospection et de décapage ont été effectués, menant à la découverte de l'indice aurifère OPUS. Voici certaines des meilleures teneurs aurifères obtenues sur cet indice :

- ▶ 5,09 g/t* Au sur 0,8 m
- ▶ 4,43 g/t* Au sur 0,2 m
- ▶ 4,06 g/t* Au sur 0,7 m

L'indice OPUS est interprété comme faisant partie des volcanites de la Formation de Rivière Bell. L'indice est situé dans un dyke granitique d'environ 1,5 m d'épaisseur, contenant jusqu'à 10 % de pyrite disséminée. Ce dyke, injecté dans une séquence de tufs et de laves mafiques, boudiné et folié est orienté selon la foliation principale NE-SO. Il a la particularité d'être affecté par corridor de cisaillement (0,5 m d'épaisseur) riche en biotite et orienté E-O. Ce corridor s'exprime en surface par un clivage ardoisier et appartient à la transition entre une déformation ductile et cassante. Dans ce corridor de déformation, le dyke est caractérisé par des teneurs aurifères plus faibles : 660 ppb sur 0,4 mètre et 585 ppb sur 0,6 mètre. Des veines de quartz d'épaisseur millimétrique, boudinées et orientées selon la foliation principale (NE-SO) recoupent le dyke. L'unité encaissante du dyke est recoupée par de nombreuses veinules de magnétite.

L'or est présent de façon très ponctuelle sur l'affleurement décapé. La distribution des teneurs aurifères anormales est étroitement liée aux veines de magnétite, injectées dans les volcanites mafiques, avec un enrichissement en biotite relié au corridor de déformation, et aux veinules de quartz présentes dans le dyke felsique. L'objectif de cette thèse de baccalauréat est d'évaluer les hypothèses relatives à la présence de l'or à l'indice OPUS. Pour ce faire, quinze échantillons ont été prélevés sur l'indice lors de travaux à l'été 2016 pour en tirer des lames minces. L'examen des lames minces permettra de préciser la distribution de l'or dans les échantillons. L'or est-il présent sous forme native ou à l'intérieur de grains de pyrite?

La propriété ROC comprend plusieurs secteurs intéressants avec des teneurs aurifères anormales; les résultats de cette recherche permettront de raffiner les techniques d'exploration pour le secteur.

* teneur aurifère préliminaire

Composition des grains de magnétite et d'hématite du socle rocheux et du till glaciaire dans le secteur du gîte uranifère Kiggavik au Nunavut : application pour établir la provenance des sédiments et pour l'exploration minière

Sheida Makvandi, Georges Beaudoin (UL), Beth McClenaghan (CGC-O) et David Quirt (AREVA Resources Canada)

Des grains de magnétite et d'hématite (n = 271) provenant de roches ignées, métasédimentaires et sédimentaires du socle dans le secteur du gîte uranifère Kiggavik, associé à une discordance dans la partie nord-est de la région de Thelon au Nunavut, et 575 grains provenant des tills glaciaires sus-jacents ont été analysés pour déterminer leur composition en éléments traces par microanalyse électronique à l'aide d'un analyseur EPMA (*electron probe micro-analyzer*) et par ablation au laser et spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (LA-ICP-MS). Les échantillons du socle rocheux du secteur de Kiggavik proviennent d'une grande variété de lithologies, notamment de granites, de leucogranites, de deux syénites distinctes, de métagrauwackes, de quartzites et de quartzarénites. L'intégration d'études pétrographiques avec les données sur la composition chimique des minéraux a permis de déterminer quatre origines pour les oxydes de fer dans le socle à Kiggavik : métamorphique, hydrothermale, météorique et diagénétique. La magnétite est rarement présente dans les roches sédimentaires du socle à Kiggavik puisque, dans la plupart des cas, elle a été partiellement ou entièrement remplacée par l'hématite. Les quartzarénites renferment de l'hématite métamorphique détritique qui provient principalement du socle igné de Kiggavik ainsi que de l'hématite issue de processus de météorisation et/ou de diagenèse qui s'est formée par remplacement *in situ* des minéraux précurseurs comme la magnétite, l'ilménite et/ou les sulfures et les silicates de fer.

Les données sur la composition chimique des oxydes de fer ont été étudiées par analyse discriminante par les moindres carrés partiels (*partial least squares* ou PLS) afin de distinguer les différentes compositions de magnétite et d'hématite qui sont caractéristiques des différentes lithologies du socle à Kiggavik. Une teneur élevée en U distingue l'hématite présente dans les métagrauwackes et les quartzites des oxydes de fer des autres lithologies. L'analyse discriminante PLS permet d'établir que les éléments Si, Ca, Pb, Zr, Al, Ge, Nb, Ga, Mn, Mg, Ti, Co, Y U, V, Ni et Cr sont des éléments discriminants pour les oxydes de fer dans ces lithologies. L'analyse discriminante par PLS démontre également que des concentrations plus faibles en Si, en Ca, en Al, en Mn, en Mg, en Ti, en Zn, en Co et en Ni différencient les oxydes de fer de Kiggavik de la magnétite provenant de gisements de type porphyrique, d'oxydes de fer-cuivre-or (IOCG), d'oxydes de fer-apatite et de Fe-Nb-ETR de type Bayan Obo.

Les sous-espaces définis par les variables latentes dans le cadre de l'analyse discriminante par PLS des échantillons du socle ont été utilisés pour classer les sources d'oxydes de fer présents dans les tills à Kiggavik et démontrent que la magnétite et l'hématite sont principalement issues des lithologies locales, avec une faible proportion provenant de sources non identifiées. Les modèles discriminants (PLS) suggèrent que les formations de fer rubanées associées aux sulfures massifs volcanogènes (SMV) pourraient être une source potentielle pour une partie des grains d'oxydes de fer non classés dans les tills de Kiggavik. Cette étude révèle que la magnétite et l'hématite sont des minéraux efficaces pour étudier la provenance et pour faire de l'exploration minière dans des environnements enrichis en uranium.

Développement d'un protocole pour la création d'un matériau de référence pour valider le comptage de grains d'or dans l'étude minéralogique des sédiments glaciaires

Jean-François Boivin, Paul L. Bédard, Michael Higgins (UQAC) et Réjean Girard (IOS Services Géoscientifiques)

Le socle rocheux étant peu exposé pour de grands secteurs du Québec, la découverte de nouveaux gisements aurifères requiert des méthodes d'exploration indirectes telles que le comptage de grains d'or dans les tills glaciaires. Cette méthode est couramment utilisée puisque la répartition, l'abondance et la morphologie des grains d'or fournissent des informations sur la proximité d'une source minéralisée, permettant de guider les méthodes d'exploration. Cependant, il n'existe actuellement aucun matériau de référence permettant de certifier l'efficacité des laboratoires lors du comptage de grains d'or. Le contrôle de la qualité étant une obligation réglementaire dans tout projet d'exploration, cette lacune doit être corrigée pour que la méthode ne soit plus considérée comme artisanale.

L'adaptation de protocoles de fabrication de matériaux de référence géochimique a servi de base à l'élaboration du protocole de décompte des grains d'or dans les tills. Il a été estimé que le matériau de référence idéal devrait contenir plus de 20 grains d'or rigoureusement comptés et identifiés, d'une taille de 30-250 micromètres, de façon à générer un signal significativement plus élevé que le bruit de fond canadien. Ceci permettrait d'atteindre une incertitude raisonnable de 10 à 20 %.

Le matériau produit ne vise que le décompte des grains d'or, et non la concentration en or. Des grains d'or provenant du parc à résidu de la mine Montauban ont été mélangés à une matrice de minéraux lourds typique et divisés pour former des sous-échantillons de 1 à 2 g. Les concentrés sont alors examinés par microtomographie aux rayons X. Cette technique permet de visualiser la distribution de l'or dans le matériau, d'imager leur morphologie et leur taille ainsi que de caractériser l'homogénéité de chacun des sous-échantillons, la reproductibilité et les incertitudes statistiques du nombre de grains d'or.

Les résultats préliminaires démontrent que : 1) l'évaluation minéralogique visuelle (hand picking) n'identifie pas tous les grains d'or présents dans le matériau de référence, menant à la sous-estimation de leur abondance; 2) la méthode utilisée de séparation des sous-échantillons n'est pas optimale en matière de reproductibilité; 3) la microtomographie aux rayons X ne donne pas une réponse aussi claire que celle envisagée, ne permettant pas une résolution spatiale suffisante pour un temps d'acquisition raisonnable. Bien que l'incertitude des sous-échantillons soit supérieure à celle visée (10-20 %), ce matériau de référence s'avère un premier jalon dans la quantification de l'incertitude du comptage de grains d'or.

Automatisation du comptage optique de grains d'or dans la fraction fine de tills glaciaires par méthode multispectrale

Alexandre Néron, L. Paul Bédard (UQAC), Réjean Girard (IOS Service Géoscientifique) et Michael Higgins (UQAC)

L'étude de la dispersion des grains d'or dans les sédiments glaciaires demeure une des méthodes les plus efficaces pour localiser les minéralisations non affleurantes. Cependant, la grande majorité des grains d'or présent dans les gisements aurifères ont une taille inférieure à 50 micromètres, ce qui est la limite inférieure d'efficacité des méthodes de décompte visuel. L'étude de la fraction fine n'est généralement pas fiable considérant que la récupération est aléatoire tout autant que le processus de comptage au microscope bino-culaire. Récemment, le procédé ARTGold^{md} a introduit une procédure robuste permettant la récupération des particules fines jusqu'à 5 micromètres, avec une récupération de 90 % de la fraction de 30 micromètres. Depuis, le nombre de grains comptés, à l'aide d'une routine automatisée sur un microscope à balayage électronique, a été multiplié par dix, ce qui a de nombreux effets sur la planification des campagnes d'échantillonnage et l'interprétation des résultats.

Le décompte des grains d'or au microscope bino-culaire est dépendant de l'expérience de l'opérateur, réduisant la reproductibilité, la précision et l'exactitude du résultat. Cette problématique est exacerbée pour l'examen de la fraction très fine (< 50 micromètres) pratiquement indiscernable pour l'opérateur. Une méthode automatisée de comptage de grains d'or est en cours de développement pour assurer la reproductibilité de la méthode.

La méthode consiste à saupoudrer la fraction fine en une monocouche sur un papier collant et de balayer l'échantillon avec un microscope à champ sombre équipé d'une platine motorisée et d'une caméra multispectrale fonctionnant dans le spectre visible. Un traitement numérique en temps réel d'images de bandes différentes permet de discriminer les grains d'or des autres grains de silicates et de sulfures. Une fois les grains localisés, le porte échantillon est transféré dans un microscope électronique pour être analysé et imagé à très fort grossissement afin de confirmer leur nature et leur morphologie. Bien que la méthode de reconnaissance automatique des grains d'or demeure en développement et en qualification, les résultats préliminaires montrent un taux de reconnaissance de plus de 95 % avec moins de 10 % de faux positifs.

Géologie, géophysique et minéralogie du gîte de silice du lac de la Tour (Saint-Urbain, Québec)

Marc Richer-LaFlèche (INRS-Eau Terre Environnement) et Geneviève Camiré

Le gîte de silice du lac de la Tour, situé dans la ZEC des Martres (Charlevoix), est caractérisé par la présence de métaquartzites de haute pureté et de métaquartzites relativement impurs (faciès oxydés) dans une unité paragneissique de la Province de Grenville. Les impuretés minérales présentes dans le métaquartzite, identifiées au MEB et en spectrométrie de réflectance (NIR-SWIR), sont constituées de traces d'ilménite, de limonite, de gœthite, de muscovite, de monazite et de zircon. Géophysiquement, l'unité de métaquartzite a été cartographiée à l'aide de méthodes magnétométrique au sol, gravimétrique et électromagnétique (FDEM). Les contrastes de susceptibilité magnétique et de résistivité électrique des roches permettent de discriminer les quartzites des roches paragneissiques au sud et des orthogneiss présents au nord de l'unité de métaquartzite.

En fonction de leurs caractéristiques chimiques et minéralogiques, les métaquartzites blancs du lac de la Tour peuvent être utilisés en métallurgie (ferro-silicium, silicium métal, carbure de silicium) et dans l'industrie du verre et des céramiques. Dans un contexte de développement de nouvelles technologies de production de silicium métal de qualité photovoltaïque, les métaquartzites de Saint-Urbain pourraient être considérés comme une ressource stratégique pour le développement d'énergie renouvelable.

La Carbonatite de Saint-Honoré : columbitisation, enrichissement géochimique et formation de halite

Jonathan Tremblay, L. Paul Bédard (UQAC) et Guillaume Matton (Niobec)

Plusieurs minéraux porteurs de Nb ont été identifiés dans la Carbonatite de Saint-Honoré, incluant cinq variétés de pyrochlore (Belzile 2009). Quoique tous exploités, seuls deux minéraux sont plus importants : le fluorcalciopyrochlore $[(Ca,Na)_2(Nb,-Ti)_2O_6(O,OH,F)]$ (pcl) et la columbite-(Fe) $[(Fe,Mn)(Nb,Ti)_2O_6]$ (clb). La columbite-(Fe) était autrefois une phase mineure, mais augmente graduellement en profondeur et vers le nord de la mine. Sa proportion est passée de 5 % à ~35 % sur moins de 600 m de profondeur et sa présence peut influencer la récupération du Nb.

L'étude des minéraux a établi que la columbite-(Fe) est un produit d'altération du pyrochlore (James and McKie 1958). L'altération se caractérise par un lessivage des éléments (Ca, Sr, Na et ETR) du site A et du fluor du site Y du pyrochlore ainsi qu'un remplacement subséquent par du Fe et du Mn. La pétrographie au microscope polarisant et à la cathodoluminescence montre effectivement des inclusions de calcite et de fluorite à l'intérieur de la columbite-(Fe). Le microscope électronique à balayage a permis d'identifier des grains de pyrochlore en processus d'altération. La stœchiométrie du site A des pyrochlores dans un diagramme ternaire (Lumpkin and Ewing 1995) montre une altération d'origine hydrothermale. Les données de LA-ICP-MS révèlent un enrichissement en Cl et en ETR lourdes dans les columbités-(Fe), suggérant un fluide hydrothermal riche en ETR lourdes.

L'enrichissement en Cl provenant du fluide tardif pourrait expliquer la présence de chlorures dans la carbonatite. Il est notamment suggéré que le Na lessivé du pyrochlore contribue à la formation de halite. En effet, le Na, très mobile, est lessivé en premier lors de l'altération du pyrochlore. Des grains de halite de moins de 10 µm ont été observés dans les cavités de pyrochlores faiblement altérés. Autrement, la halite s'observe en remplissage de fractures sur quelques centimètres d'épaisseur par endroits. De plus, ce sodium libéré pourrait contribuer à la fénitisation des encaissants.

Les relations minéralogiques ont permis de cerner une association intrinsèque entre la columbite-(Fe) et une apatite orangée. Si cette apatite s'avère d'origine hydrothermale, elle pourrait servir de traceur géologique de la columbite-(Fe).

Références

- BELZILE, E., 2009 – NI 43-101 Technical report for Niobec Mine, Québec, Canada, February 2009. IAMGOLD Corporation, 104 pages.
- JAMES, T.C. – MCKIE, D., 1958 – The alteration of pyrochlore to columbite in carbonatites in Tanganyika. *Journal of the Mineralogical Society*, 31, 889-902.
- LUMPKIN, G.R. – EWING, R.C., 1995 – Geochemical alteration of pyrochlore group minerals: Pyrochlore subgroup. *American Mineralogist*, 80, 732-743.

Variabilité minéralogique du dépôt de magnétite vanadifère du Complexe du Lac Doré (Chibougamau) : implications et applications pour le développement d'un modèle géométallurgique

Jean-Philippe Arguin, Philippe Pagé, Sarah-Jane Barnes (UQAC) et Réjean Girard (IOS Services Géoscientifiques)

L'entreprise Vanadium Corp Resources inc. envisage d'extraire le vanadium contenu en solution solide dans les magnétites du Complexe du Lac Doré (Chibougamau) pour la fabrication de batteries à flux d'oxydoréduction au vanadium (*vanadium redox batteries*, VRB). La fabrication de ces batteries nécessite la production d'un électrolyte liquide à base de sulfate de vanadyle, lequel est fabriqué à partir de pentoxyde de vanadium (V_2O_5) de haute pureté (99,99 %). Le processus d'extraction du vanadium est peu sélectif, recueillant l'ensemble des métaux de transitions polyvalents présent dans le minerai lors de sa fabrication (chrome, molybdène, etc.). La production de V_2O_5 de haute pureté nécessite des étapes coûteuses de purification, et le processus métallurgique doit être optimisé pour obtenir un concentré de magnétite contenant le moins de contaminants possible. Une étude géométallurgique basée sur une évaluation de l'incidence de la variabilité minéralogique sur la performance métallurgique du minerai s'avère un moyen efficace pour prévoir la qualité des concentrés de magnétite et, par extension, le taux de contamination du V_2O_5 . La première étape d'une telle étude consiste à recueillir des données quantitatives relatives aux textures minéralogiques qui caractérisent les unités enrichies en magnétite.

Le Complexe du Lac Doré (CLD) est une intrusion litée archéenne située dans la portion nord-est de la Sous-province de l'Abitibi, en bordure du Front de Grenville. Les unités enrichies en magnétite du CLD sont confinées au sein de la Série litée, laquelle est en grande majeure partie constituée de roches anorthositiques, gabbroïques et pyroxénitiques à magnétite et de magnétite. Les minéraux associés aux magnétites, y compris l'ilménite (granulaire ou en exsolution dans les magnétites) et une panoplie de silicates (primaires ou dérivés du métamorphisme), sont susceptibles de constituer une source importante de contamination des concentrés de magnétite. Sans égard à la finesse du broyage, la libération des magnétites dépendra des variables texturales de la minéralogie telles que la composition modale, la distribution granulométrique, la morphologie des exolutions, etc. Par conséquent, la variabilité des textures minéralogiques du dépôt de magnétite du CLD est susceptible d'influencer la qualité chimique des concentrés de magnétite puisqu'elle contrôle le flux de minéraux indésirables entrants. En premier lieu, il sera donc primordial de déterminer et de quantifier les variables texturales susceptibles de contrôler l'incorporation de ces minéraux dans les concentrés de magnétite. La seconde étape du projet consistera à évaluer la distribution stratigraphique des métaux contaminants contenus dans les magnétites et les minéraux en association avec celles-ci.

Les unités stratigraphiques à potentiel élevé pour la minéralisation de type SMV dans la région de Chapais-Chibougamau

Patrick Houle, François Leclerc (MERN), Rémi Clairet et Damien Gaboury (UQAC)

Les travaux d'exploration et de cartographie réalisés au cours des dernières années dans le secteur de Chapais-Chibougamau démontrent que le potentiel pour des minéralisations de type SMV s'étend bien au-delà de l'ancienne mine Lemoine (production de 758 070 t à 4,2 % Cu, 83,38 g/t Ag, 4,20 g/t Au et 9,56 % Zn) et du gisement Scott (ressources présumées de 5,4 Mt à 1,2 % Cu, 34 g/t Ag, 0,2 g/t Au et 4,6 % Zn). Cette nouvelle compilation vise à indiquer aux sociétés d'exploration les meilleures cibles dans l'empilement stratigraphique pour entreprendre la recherche d'amas sulfurés volcanogènes.

Au sud de Chapais, la partie sommitale de la Formation de Chrissie (2791 Ma) est composée de roches volcaniques altérées en carbonates et en grenat spessartite, avec des exhalites à PY-PO ± CP ± SP (indices Opemiska Explorers, Bosum, Boma).

Au nord du lac aux Dorés, les indices à Cu-Zn-Ag-Au David, Railroad, Wawbano, Sulphur Converting, Lac Taché (km 25 et 26,5) et Orofino correspondent aux exhalites à PY-PO ± CP ± SP et aux formations de fer à faciès sulfuré (PY ± PO ± CP) et carbonaté (AK-SD-CR-CL) qui caractérisent une pause dans le volcanisme basaltique de la partie supérieure du Membre de David (Formation d'Obatogamau).

Au nord-est de Chapais (indice du km 6), les basaltes coussinés du Membre d'Andy (Formation de Waconichi) sont recoupés par un réseau de veinules de chlorite et altérés en grenat, puis recouverts d'une unité de chert et d'arénites litées et granoclassées créant un horizon imperméable à la minéralisation de MG-PY ± CP. L'exhalite à PY et les stockwerks à PY de l'indice Indian Lake ainsi que les zones de brèches et de fractures minéralisées de l'indice Pro Minerals suggèrent qu'il y a eu plusieurs pauses dans le volcanisme et une circulation des fluides (c.-à-d. « *stacking* ») dans l'empilement stratigraphique.

Au nord-est de Chibougamau (mine Bruneau), les basaltes au sommet de la Formation de Bruneau sont altérés en chlorite noire et contiennent des amas d'épidote. Les tufs à lapilli felsiques à la base d'une séquence de formation de fer et de chert contiennent une minéralisation stratiforme de cuivre sous forme de PY-PO-CP disséminées. Les indices Gwillim Ouest, Lac Oreille, Lac Courtois, Kill Bill et PAMAC (Cu-Zn-Ag ± Au) sont constitués d'exhalites à PY-PO-CP ± SP d'épaisseur métrique, situées sur le même niveau stratigraphique, en dessous des basaltes variolaires qui caractérisent la base de la Formation de Blondeau, de part et d'autre du Synclinal de Chibougamau.

Le potentiel en minéralisations de type SMV sur le flanc nord de l'Anticlinal de Chibougamau : résultats préliminaires

Rémi Clairet, Damien Gaboury (UQAC), Patrick Houle et François Leclerc (MERN)

De récents décapages réalisés par différents acteurs de l'exploration à Chibougamau ont mis en évidence des contextes de minéralisations d'affinité volcanogène. Ce projet vise à : 1) démontrer que ces indices correspondent à un modèle de sulfures massifs volcanogènes (SMV), 2) replacer ces indices au sein de marqueurs stratigraphiques favorables et 3) caractériser la fertilité des systèmes hydrothermaux. La présente étude s'inscrit dans une démarche visant à rehausser le potentiel en SMV du camp Chapais-Chibougamau, pour l'instant limité aux gisements Scott et Lemoine. Ce poster traite des observations et des interprétations faites à partir de cartographies détaillées.

Le secteur du Lac Taché-Km 25 se situe à une vingtaine de kilomètres à l'est de Chibougamau. Les zones cartographiées correspondent à une succession complexe de roches volcaniques mafiques et felsiques orientées est-ouest (sommet du Membre de David, Formation d'Obatogamau). Sur le décapage du lac Taché, un niveau concordant d'un mètre de sulfures massifs prend place au sommet de basaltes coussinés ou de rhyolites, à l'interface avec un horizon de tufs silicifiés sus-jacents. Cet horizon joue probablement le rôle de « cap » imperméable pour un processus minéralisateur efficace par remplacement. Sur le décapage du Km 25, à 2 km à l'ouest du Lac Taché, la minéralisation semble cette fois exhalative, reliée à une formation de fer sulfurée et carbonatée. Il pourrait s'agir d'une expression distale du système « Lac Taché ». De nombreuses structures discordantes nord-sud sont caractérisées par une zone de brèche discordante chloritisée et silicifiée servant de conduit d'alimentation pour les minéralisations concordantes.

L'indice Saw Mill est situé au km 6 de la route d'Oujé-Bougoumou. Un horizon silicifié métrique est présent dans la zone de contact (nord-sud et subconcordante) entre des laves massives (base) et une formation volcano-sédimentaire (sommet), vers l'ouest (Membre d'Andy, Formation de Waconichi). L'absence d'une lentille de sulfures massifs et l'importance des processus sédimentaires dans la formation sommitale suggèrent une période d'arrêt majeure dans le volcanisme. Une brèche à chlorite-pyrite et des filonnets de même composition traversent les laves et s'évasent à l'interface avec l'unité volcano-sédimentaire. De nombreux dykes viennent gonfler la séquence de roche. Certains dykes aux épontes silicifiées et sulfurées traversent l'ensemble de l'empilement, soulignant la puissance du système hydrothermal.

L'indice Indian Lake se situe à 2 km au sud-ouest de Saw Mill. Un niveau de deux mètres de pyrite massive marque le contact entre des rhyolites à structure d'écoulement laminaire (« *flow banding* ») et des turbidites (Membre d'Andy, Formation de Waconichi). La minéralisation s'effectue en remplacement du sommet de ces dômes felsiques et de la base des turbidites, par l'action de failles synvolcaniques globalement nord-sud, qui perturbent également les roches sédimentaires.

La lithogéochimie des roches hôtes et des dykes permettra de confirmer l'appartenance de ces indices à des marqueurs stratigraphiques prospectifs pour les SMV dans la région de Chapais-Chibougamau. L'étude de la composition des sulfures par LA-ICP-MS (*Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) servira à définir la fertilité de ces systèmes hydrothermaux, notamment par analogie avec la signature des sulfures échantillonnés sur les gisements Scott et Lemoine.

Le projet « Silver High Grade » : une brèche hydrothermale multiphasée à Cu, à Au et à Ag d'origine magmatique dans le Pluton de Chibougamau

Fabien Gauthey, Theo De Clercq et Damien Gaboury (UQAC)

L'affleurement décapé Silver High Grade a été étudié dans le cadre d'un projet de recherche financé par le MITACS et Multi-Ressources Boréal (IT07566). Ce projet porte sur le potentiel minéralisateur des suites magmatiques liées aux indices de tungstène dans le district de Chibougamau-Chapais. L'affleurement expose une zone de brèches hydrothermales sur 18 m (N-S) par 40 m (E-O). Trois types de brèches sont présents, soit en ordre chronologique : 1) une brèche à fragments anguleux millimétriques de roche rougeâtre cimentée de séricite verdâtre avec dissémination de pyrite; 2) une brèche à ciment et à veinules de magnétite, superposée sur la brèche précédente, avec un contenu en pyrite atteignant 25 % et des traces de chalcopryrite; 3) une silicification massive superposée sur les deux brèches précédentes, avec localement une texture bréchique et des disséminations de pyrite atteignant 20 %. Sur l'affleurement, la brèche de type 1 est dominante (70 %), suivie de celles de type 2 (20 %) et de type 3 (10 %). Les zones de brèches de type 2 et de type 3 montrent une certaine continuité E-O. La déformation ductile tectonique, correspondant à une schistosité et à un aplatissement des fragments, est superposée sur les trois types de brèches, suggérant une origine pré-tectonique.

L'étude pétrographique et géochimique a été réalisée sur 21 échantillons prélevés sur l'affleurement. L'altération hydrothermale se manifeste par la présence de ciment de séricite autour des fragments rougeâtres (feldspath-K?), avec une faible dissémination d'épidote. Les roches encaissantes sont modérément fractionnées ($[\text{La}/\text{Yb}]_N < 25,72$) avec des anomalies négatives en Ta, en Nb et en Ti, supposant une affinité calco-alcaline des roches. Par comparaison, les roches hôtes sont différentes des roches tonalitiques typiques du pluton de Chibougamau (spectres HFSE-ETR appauvris, mais enrichis en Ba) suggérant que les brèches sont reliées à des injections magmatiques distinctes. Les analyses de métaux révèlent des corrélations globales entre Au-Bi ($R^2 = 0,84$) et Au-Te ($R^2 = 0,82$). Le W est associé à l'Au dans la brèche de type 2 ($R^2 = 0,7$), alors que la brèche de type 3 est enrichie en Au. Ceci suppose que les phases de bréchification apportent leur cortège métallique. Dans le diagramme $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ versus Rb/Sr, la composition des roches ignées se situe près du champ des minéralisations magmatiques Cu-Au. Les résultats convergent vers une origine hydrothermale magmatique pour les brèches et la minéralisation. Ces brèches sont très similaires à celles de Queylus au sud et de Devlin au nord, suggérant qu'elles ont été formées à partir d'un même système hydrothermal magmatique pulsatif et de large dimension.

Cartographie du Quaternaire et analyses du transport glaciaire en contexte d'écoulements polyphasés à l'aide d'un levé satellitaire de type Pléiade

Simon Hébert, Martin Roy (UQAM) et Hugo Dubé-Loubert (MERN)

Les photographies aériennes et autres outils d'imagerie forment les assises des projets de levés du Quaternaire et de glacioprospection. Elles permettent, entre autres, de documenter la nature des dépôts de surface et la géomorphologie des terrains englacés ainsi que de déterminer les principales directions d'écoulement glaciaire. Le développement récent de la télédétection par laser (LIDAR) et de l'imagerie satellitaire de haute résolution permet d'envisager une résolution beaucoup plus fine dans la réalisation de ce genre de travaux géologiques.

Le Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec (BCGQ) a fait récemment l'acquisition d'un levé satellitaire de type Pléiade ayant une résolution de 50 cm au sol et couvrant une superficie de 920 km², lequel englobe pratiquement tout le synforme de Robert et la Formation d'Hellancourt, au nord-ouest de la baie d'Ungava. Outre son potentiel métallogénique, ce secteur se trouve à proximité de la ligne de partage glaciaire de Payne où de nombreuses séquences de recouvrements d'écoulements glaciaires compliquent grandement la prospection glaciocérosédimentaire. Ce genre de contexte produit généralement des traînées de dispersion polyphasées dont la caractérisation passe impérativement par une cartographie de détail. L'utilisation de levés satellitaires de haute résolution devrait donc permettre de raffiner le cadre géologique regroupant les principaux événements glaciaires et ainsi contribuer aux méthodes de prospection glaciocérosédimentaire dans les environnements complexes du Quaternaire.

Au cours de l'été 2017, un projet de cartographie et d'échantillonnage sera entrepris dans le secteur couvert par le levé de type Pléiade. Ce projet de maîtrise, un partenariat entre le BCGQ et l'Université du Québec à Montréal (UQAM), poursuivra les objectifs suivants :

- i) Effectuer une cartographie de détail de la distribution spatiale des principaux ensembles sédimentaires de surface du Quaternaire et des trains de dispersion glaciaires. Ces travaux comprendront une étude comparative de la résolution cartographique pouvant être atteinte par les levés de type Pléiade (50 cm) vs celle obtenue à partir de levés de type Rapideye (5 m);
- ii) Réaliser une campagne d'échantillonnage de till et d'esker afin d'évaluer le potentiel minéral du secteur. Pour ce faire, des concentrés de minéraux lourds seront réalisés à partir des échantillons prélevés. De plus, une analyse géochimique de la fraction fine de la matrice (< 63 µm) des tills sera faite;
- iii) Déterminer la séquence et la chronologie relative des écoulements glaciaires afin de caractériser la dynamique glaciaire de la région d'étude;
- iv) Déterminer les limites de l'invasion marine maximale de la mer d'Iberville dans la vallée de la rivière Payne et définir l'influence du remaniement marin et des processus sédimentaires postglaciaires sur la distribution des métaux de base dans les dépôts du Quaternaire afin d'améliorer l'utilisation des outils de prospection glaciocérosédimentaire dans ce type d'environnement.

Application du réacteur plasma à lit fluidisé pour le traitement de pegmatite riche en lithium

Jocelyn Veilleux, Colin Dessemond, Francis Lajoie-Leroux, Gervais Soucy, Martin Désilets (Université de Sherbrooke), Nicolas Laroche et Jean-François Magnan (Nemaska Lithium)

Le lithium se trouve sous forme de spodumène (LiAlSi₂O₆), qui contient jusqu'à 8 % d'oxyde de lithium (Li₂O). Le produit principal du traitement du spodumène est l'hydroxyde de lithium (LiOH) qui est très utilisé pour des applications comme les piles lithium-ion. Afin de produire le LiOH, la structure cristalline du spodumène doit être convertie de la phase alpha à bêta dans un four rotatif chauffé à environ 1 050 °C par un brûleur à gaz, une étape appelée décrépitation. Cependant, la faible efficacité énergétique du procédé (40 %) ainsi que la production de gaz polluants (CO₂ et NO_x) font de ce procédé une étape à optimiser dans le traitement de ce minerai.

Ce projet a pour objectif général d'éliminer la génération de gaz à effet de serre lors de la conversion du spodumène (sa décrépitation) en utilisant un réacteur plasma à lit fluidisé (RPLF). L'oxygène (plasma oxydant) ou un mélange d'argon-hydrogène (plasma réducteur) est utilisé pour générer le plasma à l'intérieur du RPLF. Par la suite, les processus de cuisson avec de l'acide sulfurique et de lixiviation des échantillons produits par plasma sont également effectués afin d'évaluer l'efficacité de conversion. De plus, les techniques de caractérisation des matériaux, de diagnostics optiques du plasma et un modèle mathématique du réacteur à plasma thermique ont été développés. Étant donné que les transferts de chaleur et de masse sont beaucoup plus rapides dans le RPLF (versus un four rotatif), il est prévu d'obtenir une conversion complète plus rapide du spodumène, en plus d'une meilleure productivité et d'une réduction des émissions de gaz. Cependant, la technique de conversion du spodumène (RPLF versus four rotatif) influence la migration des impuretés et, en conséquence, la consommation d'acide sulfurique lors de l'acidulation. Une meilleure compréhension de l'interaction thermo-chimique entre les particules solides et le plasma hautement réactif sera réalisée.

Ce projet servira de base pour établir un nouveau centre d'excellence dans ce secteur en formant des PHQ nécessaires pour soutenir l'industrie du lithium au Québec. Par ailleurs, la diminution de la consommation de carburant et des effluents gazeux auront un impact positif sur l'environnement. Le partenaire industriel de ce projet est Nemaska Lithium, qui développe actuellement son projet Whabouchi, un projet de transformation du lithium situé dans la région Eeyou Istchee Baie-James, dans la province de Québec.

Les différentes chimies des batteries lithium-ion et leur usage industriel

Tomas Bibienne (UdeM)

La première batterie à base de lithium dite primaire (c.-à-d. non rechargeable) a été développée dans les années 70 et a servi de source d'énergie dans de nombreuses applications (montre, calculatrice, appareil médical). Le développement parallèle de matériaux inorganiques pouvant réagir de façon réversible avec les métaux alcalins (p. ex. le lithium) a rapidement ouvert la voie aux batteries lithium rechargeables. Dans ces dernières, le lithium métal était utilisé comme anode et un composé d'insertion pouvant intercaler réversiblement les ions lithiums composait la cathode. Un sel de lithium dissous dans un composé organique jouait le rôle d'électrolyte liquide. Cependant, le dépôt non uniforme du lithium durant l'utilisation rendait ces batteries trop dangereuses par risque d'apparition de courts-circuits internes. Pour remédier au problème du plaquage irrégulier du lithium lors du cyclage, il a été proposé de remplacer ce dernier par un autre matériau comme le graphite qui peut insérer réversiblement le lithium. Les batteries lithium-ion ont ainsi vu le jour et les premiers modèles ont été commercialisés par Sony dans les années 90. Ces batteries lithium-ion n'ont cessé de s'améliorer et elles offrent aujourd'hui de fortes densités d'énergies volumiques et massiques, ce qui en fait l'un des systèmes de stockage d'énergie les plus intéressants, que ce soit pour les utilisations mobiles légères (p. ex. téléphones, ordinateurs) ou pour les véhicules tout électriques ou hybrides. Au début des années 2000, une autre solution au problème du lithium métal a été proposée : la substitution de l'électrolyte liquide par un électrolyte polymère. Ces batteries lithium métal polymère, fonctionnant à 80 °C, se retrouvent aujourd'hui dans certains véhicules en partage (Bluecar) de plusieurs grandes villes. Dans le but d'offrir des batteries toujours plus performantes, d'autres technologies sont en cours de développement (p. ex. lithium-air ou lithium-soufre), mais les défis technologiques sont encore nombreux avant d'envisager leur commercialisation.

Dans cet exposé, l'historique retraçant l'évolution des différentes batteries à base de lithium sera présenté. Certaines technologies seront décrites plus en détail et une discussion sera proposée sur les possibilités qui s'offrent au niveau du Québec pour participer activement à la recherche et au développement des futurs systèmes de stockage d'énergie.

Matériaux mésoporeux fonctionnalisés pour l'extraction sélective de terres rares

Simon Giret, Louis Lefrançois Perreault, Luis Misal, Yimu Hu, Estelle Juère, Freddy Kleitz, Frédéric Fontaine et Dominic Larivière (UL)

Les éléments de terres rares (ETR) sont des éléments stratégiques qui entrent dans la conception d'un très grand nombre de technologies modernes (batteries rechargeables, éoliennes, ordinateurs, systèmes de radar, convertisseurs catalytiques, superconducteurs, aimants permanents). Actuellement l'extraction liquide-liquide (ELL) est majoritairement utilisée comme méthode de purification pour les éléments de terres rares. Les principaux minéraux contenant des ETR (la bastnaésite, la monazite, la xénotime, la parisite) sont associés à d'autres gisements (carbonatites, complexes intrusifs hyperalcalins, veines métasomatiques). Industriellement, les sources d'ETR sont donc des résidus miniers et un procédé d'extraction est essentiel pour les obtenir sous formes pures. Néanmoins, les méthodes actuelles d'ELL sont excessivement polluantes et coûteuses, car il est nécessaire de multiplier les cycles d'extraction pour obtenir des ETR suffisamment pures. Afin de s'affranchir de ces contraintes, notre équipe travaille à la conception de phases solides mésoporeuses fonctionnalisées pour réaliser des extractions solide-liquide (ESL). Les ESL ont l'avantage de ne plus nécessiter de phase liquide organique, ce qui réduit l'impact environnemental de l'extraction et la réutilisabilité des phases solides permet de diminuer les coûts de production des ETR. De plus, en fonction de la nature du support solide (silice, carbone), du type de porosité (mésoporeuses 2D ou 3D, tailles des pores, géométrie des pores, porosité hiérarchique dans des monolithes) et de la nature de la fonctionnalisation de surface (différents types de ligands peuvent être utilisés pour complexer les ETR en surface du support), il est possible d'obtenir des phases solides sélectives pour séparer les éléments de terres rares de leur milieu, mais également les unes des autres, et ce, avec des propriétés d'extractions prometteuses (cinétique, capacité, réutilisabilité).

G65

Les gîtes, gisements ou indices de Fe-Ti ± P ± V dans les anorthosites et roches associées au Québec

Saïd Belkacim (UIZA, Maroc), Abdelali Moukhsil, Fabien Solgadi (MERN) et Serge Perreault (SOQUEM)

Une compilation des données géologiques, géochimiques et gîtologiques des principaux gisements, gîtes et indices d'oxydes de Fe-Ti ± P ± V connus au Québec a été réalisée. Les données ont été compilées dans la perspective d'établir une classification appropriée en fonction de la nature, de la composition chimique, de la structure et de la roche hôte de ces gîtes.

Sur la base des données compilées, six types de minéralisations en Fe-Ti ± P ± V ont pu être définis :

- ▶ Veines, dykes, amas et corps tabulaires d'ilménite (hémio-ilménite) massive associés à l'anorthosite à andésine (An₃₀₋₅₀);
- ▶ Type à gabbronorite à oxydes de fer et de titane et à apatite (OAGN) : dykes, amas ou masses de nelsonite, de gabbronorite et de jotunite (ferrodiorite) à oxydes (magnétite + ilménite) et à apatite;
- ▶ Dykes et horizons de leuconorite et de norite à ilménite et à magnétite avec veines et amas d'hémio-ilménite;
- ▶ Horizons, amas et dykes de magnétite titanifère massive et de mélanogabbro à magnétite;
- ▶ Horizons et amas de magnétite vanadifère et d'ilménite dans une anorthosite gabbroïque;
- ▶ Amas lenticulaires et stratiformes à magnétite-ilménite et à apatite associés à de l'anorthosite.

Au total, 1513 analyses lithogéochimiques réparties autour de 65 indices ont été utilisées afin de déterminer si les roches ont des compositions favorables pour la formation de gîtes Fe-Ti ± P ± V. Ces analyses ont été réalisées sur des roches de composition variée, allant des roches encaissantes jusqu'aux zones minéralisées. Les résultats statistiques de cette compilation ont montré que : i) les roches qui ont des valeurs moyennes pour le plagioclase d'environ 50 % d'anorthite (labradorite) renferment la majorité des indices de Fe-Ti ± P ± V au Québec; ii) la teneur moyenne en anorthite du plagioclase augmente lorsque les roches sont minéralisées.

G66

La pierre architecturale et la pierre concassée dans les régions de Sept-Îles, de Baie-Comeau et de Forestville (Côte-Nord); de Stanstead, de Coaticook et de Sainte-Catherine-de-Hartley (Cantons de l'Est); de Cabano, de Dégelis et de Saint-Marc-du-Long (Témiscouata); de Saint-Antonin (Rivière-du-Loup); de La Tuque

N'golo Togola et Ricardo Escobar (MERN)

Au cours de l'été 2016, des travaux de terrain ont été effectués dans les régions suivantes : Sept-Îles, Baie-Comeau et Forestville (Côte-Nord; 22J08, 22F01, 22F08, 22F15, 22G05, 22G06, 22G11, 22G14, 22C06, 22C11, 22C14, 22C15); Stanstead, Coaticook et Sainte-Catherine-de-Hartley (Cantons de l'Est; 31H01, 21E04); Cabano, Dégelis et Saint-Marc-du-Long (Témiscouata; 21N07, 21N08, 21N10, 21N11); Saint-Antonin (Rivière-du-Loup; 21N14); La Pocatière (21N05); La Tuque (31P07, 31P10, 31P11, 31P16).

En plus de l'inventaire des carrières de pierre architecturale et de pierre concassée, une description géologique détaillée des nouvelles carrières a permis d'établir une fiche d'information détaillée pour chacune d'entre elles.

Les travaux de terrain ont été réalisés du 13 juin 2016 au 15 juillet 2016. Au cours de cette période, nous avons visité 44 carrières au total, y compris 30 nouvelles carrières de pierres concassées et de pierres architecturales. Nous avons procédé à un échantillonnage systématique de chacune des carrières visitées.

Dans les régions de Sept-Îles, de Baie-Comeau et de Forestville, plusieurs carrières de pierres concassées et deux carrières de pierre architecturale ont été visitées. Une grande variété de roches sont extraites des carrières de pierre concassée, notamment du gabbro, de l'anorthosite, de la mangérite, du gneiss granitique et du paragneiss. Les roches extraites des carrières de pierre architecturale sont constituées, entre autres, d'anorthosite et de paragneiss migmatisé.

Dans les régions de Stanstead, de Coaticook et de Sainte-Catherine-de-Hartley, plusieurs carrières de pierres concassées et quatre carrières de pierre architecturale ont été visitées. Les roches extraites des carrières de pierres concassées sont constituées de grès, de mudstone et de calcaire de la Formation de Saint-Victor. La roche exploitée pour la pierre architecturale est une granodiorite gris moyen à gris clair.

Quelques carrières de pierres concassées ont été visitées dans les régions de Cabano, de Dégelis et de Saint-Antonin. Les roches exploitées dans les carrières de pierres concassées comprennent du grès, du mudstone et du calcaire de la Formation de Témiscouata ou du grès la Formation de Kamouraska. À Saint-Marc-du-Long, des ardoises gris foncé (Formation de Témiscouata) sont extraites pour la pierre architecturale.

Dans la région de la Tuque, seules des carrières de pierres concassées ont été visitées. Les roches extraites de ces carrières sont notamment du gneiss granitique, du paragneiss migmatisé et de la mangérite.

Potentiel de minéralisation en graphite au Québec

N'golo Togola (MERN)

Le Québec présente un bon potentiel pour les minéralisations en graphite. Plusieurs indices et gîtes de graphite se trouvent dans la Province géologique de Grenville, notamment dans les régions de l'Outaouais et des Laurentides ainsi que dans le Nord-du-Québec. Ceux-ci sont associés à des unités de roches métasédimentaires (paragneiss, quartzite, marbre calcitique, marbre dolomitique).

Les plus importants gisements de graphite au Québec sont ceux du lac des Îles au sud de Mont-Laurier (Laurentides), du lac Knife au nord de Fermont et du lac Guéret au sud-ouest du réservoir Manicouagan. Le secteur de Saint-Michel-des-Saints dans Lanaudière offre également un bon potentiel pour les minéralisations de graphite.

De nombreux indices et gîtes de graphite ont été découverts dans le secteur de Mont-Laurier. La minéralisation graphitique est associée à des bandes de marbre dolomitique ou calcitique ou de paragneiss de la ceinture métasédimentaire centrale du sud-ouest de la Province de Grenville. Les horizons minéralisés en graphite sont compris dans des niveaux d'épaisseur variable de roches calcosilicatées, de quartzite ou de gneiss à biotite-grenat. La mine Timcal (gisement du lac des Îles), située au sud de Mont-Laurier est la seule mine de graphite exploitée au Québec depuis 1989. Les réserves prouvées du gisement sont de 5,2 Mt à 7,42 % Cg.

Dans le secteur de Fermont (Nord-du-Québec), les horizons minéralisés en graphite sont constitués de schiste à biotite-graphite ou de gneiss quartzo-feldspathique à biotite-graphite-kyanite. La minéralisation sous forme de paillettes de 1-5 mm est disséminée à massive et est parfois accompagnée de sulfures (pyrite, pyrrhotite). Elle se retrouve aussi dans le gneiss quartzo-feldspathique sous forme de veines ou de lentilles pouvant atteindre des teneurs de 5 à 10 % de graphite. Le secteur de Fermont renferme le gisement de graphite du lac Knife; les ressources mesurées et indiquées du gisement sont évaluées à 9,6 Mt à 14,7 % Cg tandis que les ressources présumées sont de 3,2 Mt à 13,2 Cg.

De nombreux gîtes de graphite ont été découverts au sud-ouest du réservoir Manicouagan (Nord-du-Québec). Les zones minéralisées en graphite sont associées à des niveaux de schiste à quartz-graphite-sulfures, de schiste à amphibole chloritisée, de paragneiss à biotite-grenat, de gneiss quartzo-feldspathique, de quartzite et de formations de fer rubané. Le secteur du réservoir Manicouagan renferme le gisement de graphite du lac Guéret; les réserves prouvées du gisement sont de 18,9 Mt à 17,9 % Cg tandis que les réserves probables sont de 43,9 Mt à 16,9 % Cg.

Dans le secteur de Saint-Michel-des-Saints (Lanaudière), les roches encaissantes de la minéralisation graphitique sont des paragneiss à biotite en alternance avec des horizons de paragneiss à grenat. Le graphite se présente en paillettes fines à grossières disséminées dans la roche, avec parfois des sulfures (pyrrhotite). Le secteur de Saint-Michel-des-Saints renferme le gisement de graphite Tony; les ressources minérales combinées des zones Sud-Est et Sud-Ouest de ce gisement sont de l'ordre de 26,3 Mt à une teneur de 3,73 % Cg (ressources indiquées) et de 19,2 Mt à une teneur de 3,67 % Cg (ressources présumées).

Prospection glaciocédimentaire et cartographie du Quaternaire dans la région de Clova, partie ouest de la Province de Grenville

Virginie Daubois (MERN)

La région de la Haute-Mauricie, située dans la Province géologique de Grenville, a été grandement perturbée par les glaciations du Quaternaire qui y ont laissé une importante couverture de sédiments meubles. Cette réalité complique l'évaluation du potentiel minéral de la région, puisque le nombre d'affleurements rocheux en est fortement diminué. De plus, ce secteur a fait l'objet d'un nombre restreint de travaux de glacioprospection et de cartographie du Quaternaire. Il y a aussi peu d'études sur la séquence de mouvements glaciaires, lesquels sont parfois complexes en raison de la migration des dômes de dispersion de l'Inlandsis laurentidien. Le projet Gouin, un levé du Quaternaire, aide à combler le manque de connaissances géoscientifiques au sud du réservoir Gouin, grâce à l'échantillonnage des sédiments glaciaires et fluvioglaciaires ainsi qu'à la cartographie à l'échelle de 1/50 000 des formations de surface (feuilles SNRC 31013, 31014, 32B03 et 32B04).

Au cours de la campagne de terrain 2015, 115 échantillons de till de 10 kg ont été prélevés en respectant un maillage carré d'environ 6 km. De plus, 30 échantillons de 15 kg de matériel fluvioglaciaire d'esker ont été prélevés et tamisés afin d'analyser la fraction granulométrique inférieure à 8 mm. Les échantillons de tills ont été traités pour analyser la géochimie de la matrice au niveau des éléments majeurs, mineurs et traces. Des concentrés de minéraux lourds de sédiments glaciaires et fluvioglaciaires ont également été réalisés afin de prélever les minéraux indicateurs de différents types de gisements (sulfures massifs métamorphisés, Ni-Cu magmatique, or orogénique, Fe-Ti, terres rares, kimberlite diamantifère, etc.). La combinaison de l'échantillonnage du till et des eskers peut donner un aperçu du potentiel minéral de la région, en précisant des anomalies ou des cibles géochimiques déjà connues et en permettant de définir de nouvelles cibles.

Cette présentation expose les résultats des analyses géochimiques des tills et des analyses des concentrés de minéraux lourds provenant des échantillons de la campagne 2015. Outre le volet prospection glaciocédimentaire, les cartes préliminaires de formations de surface à l'échelle de 1/50 000 ainsi que l'étude des mouvements glaciaires répertoriés, laquelle est fondamentale en glacioprospection pour établir la source d'une anomalie minérale, seront présentées.

Prospection glaciocédimentaire et cartographie du Quaternaire de la région du lac Evans et de la rivière Rupert (portions des SNRC 32 K et 32 N)

Olivier Lamarche et Virginie Daubois (MERN)

Le substratum rocheux des Basses-Terres de la Baie-James est recouvert d'une épaisse couche de sédiments du Quaternaire déposés pendant le Wisconsinien supérieur, ce qui rend difficile la cartographie du socle rocheux et, conséquemment, l'évaluation du potentiel minéral. L'analyse des sédiments glaciaires permet de remédier à cette situation et d'obtenir de l'information sur la géologie régionale de manière indirecte.

Dans cette optique, le Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec (BCGQ) a entrepris des travaux de cartographie du Quaternaire et d'échantillonnage du till dans la région du lac Evans et de la rivière Rupert. Les objectifs de ce projet sont de mettre à jour la carte des formations superficielles et de documenter la séquence des écoulements glaciaires afin de mettre en valeur le potentiel minéral de la région étudiée.

L'analyse de 72 échantillons (till seulement – été 2015, feuillets 32K10, 32K11, 32K14 et 32K15) a été effectuée. La géochimie de la matrice (<63 µm) a été obtenue par ICP-MS, alors que la fraction 250-1 000 µm des tills a été traitée afin d'identifier des minéraux indicateurs d'éventuels gisements (or, kimberlites, SMV), en complémentarité avec le recensement des formes fuselées orientées et des marques d'érosion glaciaires (stries, broutures, etc.). Les résultats préliminaires ont permis de définir des cibles d'exploration pour des contextes d'or orogénique et de SMV.

La cartographie des dépôts meubles a permis de déterminer les différents types de sédiments associés à la dernière déglaciation et de raffiner le cadre chronostratigraphique de la zone d'étude. La région est dominée par une plaine glaciolacustre mise en place par le lac Ojibway, ce qui s'avère un frein à l'exploration minérale. Les reliefs qui percent cette plaine sont le plus souvent des affleurements rocheux accompagnés de traînées morainiques orientées dans le sens de l'écoulement associé à la migration et à l'évolution du dôme du Nouveau-Québec. Ces collines ont représenté des cibles d'échantillonnage au cours du projet. La carte produite servira d'assise aux projets de cartographie ou de prospection, afin de déterminer les zones de till en vue d'un échantillonnage plus ciblé ou de localiser la présence ou l'absence d'affleurement rocheux.

Au cours de l'été 2016, près de 350 échantillons de till et d'esker ont été prélevés dans le secteur du feuillet 32N (1/250 000). Les résultats de cette campagne, utilisant les mêmes méthodes d'analyse que dans le présent projet, seront disponibles au cours des prochains mois et publiés lors du congrès PDAC 2017 ou de Québec Mines 2017.

Cartographie des dépôts du Quaternaire au sud-est de la baie Abatagouche : résultats préliminaires

Mohamed El Amrani (MERN) et Thierry Karl Gélinas (UL)

Au cours de l'été 2016, les dépôts de surface du Quaternaire et les formes associées ont été cartographiés dans la partie sud-est de la baie Abatagouche. Le territoire étudié s'étend sur 3 967 km² et couvre les feuillets 32I01, 32I02, 32I07 et 32I08 à l'échelle du 1/50 000.

L'orientation des formes de terrain et des marques d'érosion indique une succession de quatre écoulements glaciaires régionaux présentés dans l'ordre chronologique croissant : un écoulement ancien peu fréquent vers le SE (120-145 °); un écoulement vers le SSE (150-175 °); un écoulement vers le sud (180 ± 5 °); un écoulement récent vers le SSO (185-210 °). Les deux derniers mouvements sont majeurs et bien marqués dans la région. La séquence d'écoulements observée traduit un déplacement des centres de dispersion glaciaires ou des lignes de partage des glaces vers l'est.

Les sédiments glaciaires et pro-glaciaires observés dans la région semblent s'être mis en place au cours de l'évolution du dernier glacier du Wisconsinien. Le till est le faciès le plus répandu (environ 75 % de la superficie cartographiée). Il s'agit principalement d'un till de fond sableux et grisâtre recouvert par un till d'ablation rocailleux et mince. Dans certaines dépressions, la fonte *in situ* de la glace a laissé un till de fusion à topographie bosselée. Les dépôts fluvio-glaciaires forment essentiellement des eskers nord-sud et des plaines d'épandage où au moins deux terrasses d'une dizaine de mètres de hauteur ont été édifiées au fond des grandes vallées. Les sédiments postglaciaires correspondent à des dépôts fluviaux, à des dépôts organiques et à quelques rares dépôts de versant.

La distribution spatiale des blocs erratiques issus des roches sédimentaires protérozoïques du bassin de Mistassini montre une dispersion glaciaire régionale vers le sud et le SSE. Aucun bloc erratique de dolomie à stromatolithe n'a été observé dans la région.

Inventaire des ressources en granulats de la région de Kangiqsualujuaq

André Brazeau (MERN) et William Goulet-Laporte (UL)

Durant l'été 2016, des travaux d'inventaire des ressources en granulats ont été effectués dans la région de Kangiqsualujuaq. Ce village nordique, le plus à l'est du Nunavik, est situé le long de la rivière George, à environ 160 km au nord-est de Kuujuaq, en amont de la baie d'Ungava (latitude de 58° 41' N, longitude de 65° 57' O). Il se trouve dans la zone de pergélisol discontinu.

La population de Kangiqsualujuaq est d'environ 950 habitants et, comme les autres villages nordiques en général, est en forte croissance. Les besoins en logements et en infrastructures municipales sont de ce fait très élevés. La présence de pergélisol jumelée au réchauffement climatique rend plus difficile la construction de ces infrastructures. La demande en granulats pour la construction des radiers (fondations pour bâtiments et routes) est d'autant plus importante.

Les résultats des travaux d'inventaire ont permis de localiser et de caractériser les sources en granulats et d'en évaluer l'importance. Les activités de terrain ont surtout consisté en de nombreux sondages à la pelle ainsi qu'en visites de coupes naturelles et de quelques sablières. De plus, 15 échantillons de sable ou de gravier ont été prélevés et expédiés en laboratoire pour déterminer leurs propriétés physico-mécaniques.

Les principales sources de granulats sont composées de sédiments marins littoraux. Les dépôts (tills) et les formes glaciaires (drumlins) ont pratiquement tous été remaniés par les eaux de la mer d'Iberville qui ont suivi la déglaciation, il y a environ 7 000 ans. Presque toute la région à l'étude se trouve sous la limite marine qui se situe à environ 100 m d'altitude (Allard *et al.*, 1989). On observe de nombreuses terrasses recouvertes de blocs. Les dépôts reposent sur le socle rocheux composé de roches granitiques de la Province de Churchill.

Référence

ALLARD, M – FOURNIER, A. – GAHÉ, É. – SÉGUIN, M.K., 1989 – Le Quaternaire de la côte sud-est de la baie d'Ungava, Québec nordique. Géographie physique et Quaternaire, volume 43, n° 3, pages 325-336.

Inventaire des ressources en granulats de la région de Saint-Magloire

André Brazeau (MERN) et William Goulet-Laporte (UL)

Durant l'été 2016, des travaux d'inventaire des ressources en granulats ont été effectués dans la région de Saint-Magloire. D'une superficie d'environ 1 800 km², le secteur d'étude couvre les feuillets 21L08 et 21L09 à l'échelle de 1/50 000 et s'étend au sud et à l'est jusqu'à la frontière des États-Unis. Les résultats de ces travaux vont permettre de localiser et de caractériser les sources en granulats et d'en évaluer l'importance.

Les activités de terrain ont surtout consisté en de nombreux sondages à la pelle et en visites de sablières, de gravières, de coupes naturelles et de déblais de route. Plus de 150 sites ont été explorés et 32 échantillons de sable ou de gravier ont été prélevés et expédiés en laboratoire pour déterminer leurs propriétés physico-mécaniques.

Le socle rocheux appartient à la Province géologique des Appalaches. On y retrouve une grande diversité de roches sédimentaires, volcaniques et intrusives. Ces roches ont été déformées à différents degrés selon l'endroit et présentent souvent une importante schistosité.

Les dépôts susceptibles de fournir des granulats sont principalement d'origine glaciaire. Ceux-ci ont généralement été mis en place lors de la dernière déglaciation, il y a environ 12 500 ans. Les dépôts de contact de glace et d'épandage fluvioglaciaire constituent les meilleures sources d'approvisionnement en sable et en gravier. Ces dépôts sont souvent confinés dans les vallées. Plusieurs d'entre eux ont été exploités intensivement et sont aujourd'hui pratiquement épuisés. On retrouve aussi des dépôts d'origines glaciocustres et fluviales.

Les granulats de la région sont de qualité très variable. Ces matériaux, qui ont été arrachés du socle par l'action des glaciers, reflètent bien la grande diversité des roches sous-jacentes.

Géologie des dépôts de surface dans la partie sud-est de la Province de Churchill : résultats de quatre années (2012 à 2015) d'échantillonnage et de cartographie

Hugo Dubé-Loubert (MERN-UQAM), Virginie Daubois (MERN), Martin Roy (UQAM), Roger Paulen, Beth McClenaghan, Jessey Rice (CGC-O), Charley Duran et Philippe Pagé (UQAC)

Les régions ayant été perturbées par les grandes glaciations du Quaternaire représentent encore aujourd'hui un obstacle à la cartographie du socle rocheux et à l'exploration minérale. L'épaisseur de sédiment quaternaire couvrant le sud-est de la Province géologique de Churchill est considérable, masquant par endroit d'importantes superficies du roc. Devant ce cas de figure, l'application des outils de prospection glacio-sédimentaire s'avère être complémentaire au projet de cartographie de la roche en place.

Le Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec (BCGQ) a entrepris, à l'été 2012, une campagne de levés du Quaternaire menée en complémentarité d'un projet de cartographie du socle rocheux. Au cours des campagnes 2012 à 2015, plus de 1 200 échantillons (till et esker) ont été prélevés. Des analyses géochimiques, effectuées sur la fraction fine de la matrice des tills, et des concentrés de minéraux lourds ont été réalisées afin de documenter le potentiel minéral, et ce, pour différents contextes métallogéniques.

Cet échantillonnage a été appuyé par une cartographie en détail des dépôts de surface à l'échelle de 1/250 000 et d'un inventaire des marques d'érosion glaciaire. La géomorphologie et la nature des sédiments de surface de la zone d'étude montrent que la région a connu une mosaïque complexe de conditions sous-glaciaires se traduisant par des distances de transport effectives fortement contrastées selon les secteurs. Cette région est également caractérisée par une séquence d'écoulements complexe associée à la proximité et à l'évolution des lignes de partage glaciaire du secteur Labrador-Québec de la calotte laurentidienne.

Les résultats analytiques et cartographiques ont permis de circonscrire quelques secteurs ayant un potentiel pour des gîtes de type Ni-Cu magmatique, de sulfures volcanogènes métamorphisés, d'or et d'éléments de terres rares. Un projet commencé récemment, portant sur la signature en éléments traces des sulfures de ces secteurs, en collaboration avec la Chaire de recherche du Canada en métallogénie magmatique de l'UQAC, devrait permettre de préciser la nature de la source de ces minéralisations.

Signatures en éléments traces des sulfures provenant de dépôts de till et d'esker de la Province du Churchill, Nord-du-Québec : une nouvelle stratégie pour définir la source des minéralisations et établir le potentiel métallogénique en contexte glaciaire

Charley Duran, Philippe Pagé (UQAC), Hugo Dubé-Loubert (MERN) et Sarah-Jane Barnes (UQAC)

Au cours du Pléistocène, l'activité des calottes continentales a grandement façonné le territoire, érodant le socle rocheux et déposant d'importantes quantités de matériau granulaire. Ces importantes couches de sédiments du Quaternaire représentent un obstacle important pour la cartographie du socle et l'exploration minérale dans certaines régions. Devant ce genre de contexte, de nombreuses campagnes d'exploration mettent maintenant l'accent sur l'échantillonnage des dépôts glaciaires et l'utilisation des minéraux indicateurs afin d'avoir un aperçu du potentiel minéral d'une région donnée.

Le sud-est de la Province du Churchill, dans le Grand Nord québécois, représente un secteur propice à l'utilisation des outils de prospection glaciocédimentaire comme vecteur d'exploration. Entre 2012 et 2015, le Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec (BCGQ) a mené une campagne de levés du Quaternaire combinée à un projet de cartographie du socle rocheux. Plus de 1 200 échantillons (till et esker) ont été prélevés sur une zone recouvrant l'équivalent de quatre feuillets SNRC au 1/250 000 et des indices intéressants en Ni-Cu-EGP et en Cu-Zn-Mo ont été découverts.

Les échantillons de till et d'esker de ces secteurs montrent un contenu en sulfures important, soulignant le potentiel pour les contextes métallogéniques préalablement cités. Un projet de caractérisation des signatures en éléments traces de ces minéraux a donc été initié afin de préciser la nature des minéralisations associées.

Parmi tous les minéraux indicateurs provenant de dépôts glaciaires, une grande proportion n'a toujours pas été analysée par LA-ICP-MS, notamment les sulfures. Même si les sulfures s'altèrent rapidement lorsqu'ils sont exposés à l'oxygène de l'atmosphère ou des eaux de surface, ils peuvent survivre en contexte glaciaire où l'oxydation est limitée par l'enfouissement rapide et la protection liée à la fraction fine de la matrice des tills (imperméabilité).

Les sulfures présentent également des avantages relatifs aux autres minéraux indicateurs : 1) ils constituent la minéralisation de divers gisements; 2) ils ne sont pas répandus dans la plupart des roches stériles; 3) leurs signatures en éléments traces varient significativement en fonction de leur environnement de formation. Bien que la simple présence de sulfures dans des dépôts glaciaires indique l'existence potentielle de minéralisations, il reste à savoir quel type de minéralisation cibler.

Ce projet vise donc à tester si les signatures en éléments traces de sulfures provenant de dépôts glaciaires peuvent nous permettre de définir la source des minéralisations et d'établir le potentiel métallogénique dans des régions où la couverture glaciaire représente un véritable obstacle à l'exploration minérale.

Géologie du Quaternaire de la vallée du Saint-Laurent et des régions adjacentes des Appalaches et des Laurentides – Une première québécoise

Michel Parent (CGC-Q), Michel Lamothe (UQAM)
et Hugo Dubé-Loubert (MERN)

Une compilation cartographique inédite de la géologie du Quaternaire de la vallée du Saint-Laurent et des régions adjacentes des Appalaches et du Bouclier a été réalisée à l'échelle de 1/250 000 à partir d'une série de cartes et de levés des 50 dernières années. Les données proviennent essentiellement de levés cartographiques réalisés par des chercheurs gouvernementaux, ceux de la Commission géologique du Canada (CGC) et du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, ou par des chercheurs universitaires, notamment ceux de l'Université du Québec à Montréal. La compilation comprend quelque 72 feuillets au 1/50 000, lesquels ont été soumis à une routine de généralisation automatisée de façon à ce que le rendu numérique puisse supporter un agrandissement à l'échelle de 1/100 000.

La carte de compilation comprend les feuillets 31H (Montréal), 31G (Ottawa), 31I (Trois-Rivières), 21L (Québec) et 21E (Sherbrooke) et couvre tout le bassin de la Mer de Champlain, à l'exception d'une petite zone dans l'Est ontarien. Outre les connaissances provenant des levés pionniers réalisés au cours des années 1960 et 1970, le projet a grandement bénéficié des mises à jour effectuées depuis 1997 dans le cadre des projets d'hydrogéologie régionale de la CGC et, plus récemment, des projets PACES (Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines) financés par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Cette compilation cartographique a été initiée dans le cadre d'un projet visant à modéliser la réponse sismique des terrains dans le corridor Québec-Ottawa (Nastev *et al.*, 2016 a et 2016 b) et, en conséquence, a été réalisée parallèlement à une modélisation simplifiée en 3D des formations superficielles de la région.

La carte montre la distribution régionale et la succession des formations superficielles (en âge croissant, dépôts de versant; sédiments organiques, éoliens, alluviaux, lacustres, marins, glaciolacustres, fluvio-glaciaires et glaciaires; sédiments non glaciaires antérieurs au dernier maximum glaciaire). Toutes les unités ont été codées conformément à la légende préparée pour le SIGÉOM. La carte présente aussi certains éléments géomorphologiques d'envergure régionale (Moraine de Saint-Narcisse, limite marine, terrasses du proto-Saint-Laurent et du proto-Outaouais) ou encore d'importance thématique en géologie du Quaternaire (crêtes morainiques mineures, eskers). En raison de la grande diversité des sources de données et de certaines pratiques cartographiques lors de levés plus anciens, les auteurs ont dû procéder à certains choix éditoriaux ou à certaines analyses complémentaires afin d'assurer une relative uniformité de la carte finale.

Références

NASTEV, M. – PARENT, M. – ROSS, M. – HOWLETT, D. – BENOIT, N., 2016a – Geospatial modelling of shear-wave velocity and fundamental site period of Quaternary marine and glacial sediments in the Ottawa and St. Lawrence Valleys, Canada. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, v. 85 (2016), pages 103–116.

NASTEV, M. – PARENT, M. – ROSS, M. – HOWLETT, D. – BENOIT, N., 2016b – Regional VS30 model for the St. Lawrence Lowlands, Eastern Canada. *Georisk*, v. 10, no 3, pages 200–212, doi: 10.1080/17499518.2016.1149869

Rétablissement autonome de la biodiversité boréale sur les sites miniers : une approche d'ingénierie inverse basée sur l'assemblage de traits fonctionnels

Antoine Tardif, Bill Shipley et Sébastien Roy (UdeS)

L'exploitation minière au Québec nous a légué un héritage important de sites perturbés. La restauration de ces sites doit viser le rétablissement de fonctions écosystémiques tout en évitant l'utilisation de techniques de végétalisation coûteuses et énergivores. Et si la colonisation naturelle (spontanée) nous fournissait des réponses? Notre étude s'intéresse à la végétalisation naturelle par une succession écologique primaire qui s'est produite sur des résidus fins initialement dépourvus de végétation et de sol.

Le site étudié présente un gradient de végétalisation depuis le centre de la zone de résidus caractérisé par des conditions abiotiques extrêmes (pH acide, teneurs élevées du sol en arsenic et en métaux lourds, absence de matière organique, texture sablonneuse avec de fortes variabilités d'humidité) et quelques espèces pionnières, jusqu'à la périphérie où est établie une forêt mature mixte. Un tel gradient nous permet d'étudier les associations d'espèces et surtout leurs traits fonctionnels, lesquels ont été sélectionnés par ces conditions stressantes. Dans cette étude, nous utilisons une approche spatialisée (intégrant l'hétérogénéité des milieux) pour relier des mesures i) de caractérisation abiotique (épaisseur de l'horizon organique, mesures de pH, d'humidité relative, de teneur en différents éléments et en métaux, incluant l'arsenic, *etc.*); ii) de variables de réponses biotiques. Pour ces dernières, il s'agit de relevés botaniques, d'estimations d'abondances relatives de chaque espèce, de stades de végétalisation et de mesures de traits fonctionnels (caractéristiques morphologiques, physiologiques et phénologiques). Hors considérations taxonomiques, ces traits fonctionnels reflètent les stratégies des plantes pour coloniser et se développer dans un environnement donné.

Cette recherche nous mène donc à comprendre quelles associations plante-plante sont les plus productives; lesquelles devraient être employées pour obtenir une végétalisation efficace, durable et peu coûteuse des sites miniers actifs et orphelins au Québec.

Potentiel de translocation et de toxicité de résidus miniers acidogènes envers les espèces végétales et microbiennes indigènes

Michaël Rodrigue-Morin, Kathleen Barrette et Sébastien Roy (UdeS)

L'activité humaine a dispersé plusieurs contaminants dans l'environnement et leur mobilité dépend largement de leur biodisponibilité. Dans le cas de l'industrie minière, il est primordial de comprendre les enjeux environnementaux associés aux résidus fins acidogènes de même qu'aux stériles acidogènes. La présente étude visait à évaluer le potentiel de translocation de métaux dans des aulnes employés en réhabilitation minière et à mesurer également leur potentielle toxicité envers les bactéries symbiotiques associées aux aulnes. Des études en serres ont été faites sur différentes variétés d'aulne mis en contact avec du drainage minier acide (DMA) ou des résidus miniers acidogènes provenant de la mine aurifère Doyon, en Abitibi. L'étude a été conduite de manière à évaluer si des plantations d'aulnes dans des résidus fins ou des stériles acidogènes pouvaient représenter un danger de dispersion de métaux lourds dans l'environnement (via la perte de feuilles). Nous avons également évalué le degré de tolérance des aulnes au DMA et aux résidus acidogènes pour déterminer leur potentiel absolu pour de telles plantations. Enfin, nous avons aussi évalué l'effet d'une exposition ponctuelle au DMA sur les aulnes en imitant un événement temporaire et/ou accidentel d'exposition à de tels contaminants. Les aulnes modèles utilisés sont l'aulne crispé et l'aulne rugueux. Des résidus fins ont été utilisés à différentes concentrations afin de mesurer l'effet d'un substrat acidogénique fortement chargé en métaux lourds sur l'établissement de la symbiose et de la fixation de l'azote. L'établissement symbiotique diminuait en concordance avec l'augmentation de la concentration en métaux lourds. Des analyses ICP-MS ont aussi été effectuées afin de déterminer la présence de métaux lourds dans les feuilles afin de mieux comprendre les dangers associés à la perte des feuilles à l'automne. La nodulation semble avoir un effet bénéfique sur la capacité de la plante à réguler sa quantité interne en métaux. L'étude sur l'effet d'un déversement ponctuel de DMA sur l'aulne, la *Frankia* et la symbiose actinorhizienne qui les unit a révélé que c'est en grande partie la *Frankia* et la symbiose qui sont affectées par le DMA. Nous présenterons quelle espèce d'aulne est la plus apte à résister aux différentes zones (halles de stériles, bassins de résidus) et quels sont les associations interspèces les plus résistantes.

La réhabilitation minière à faible coût et à faible empreinte de carbone; l'exploitation des principes de succession végétale et des associations plantes-microorganismes pour la végétalisation sans amendement et sans préparation du site

Sophie Lalonde, Louis Garneau, Kathleen Barrette, Martine Migneault et Sébastien Roy (UdeS)

L'ancienne mine d'or Sigma, située à Val-d'Or, est présentement le siège de recherches appliquées et plus fondamentales orientées pour la végétalisation de stériles et de résidus fins non acidogènes. Différentes approches pour améliorer la survie de semis boréaux dans des conditions difficiles ont été développées et l'association symbiotique entre l'aulne et la *Frankia*, un microorganisme du sol possédant la capacité de fixer l'azote atmosphérique au bénéfice de la plante-hôte, a été étudié. Cette association explique que les aulnes sont des plantes pionnières qui colonisent et enrichissent les environnements naturels très pauvres (gravières, sablières) en matière organique riche en azote. À la suite de cette fertilisation naturelle des sables et des roailles, les aulnes permettent l'établissement de plantes ayant des besoins nutritionnels plus grands, ce qui ouvre la voie à la succession végétale. Notre recherche est fermement ancrée dans les principes du développement durable, puisqu'elle exploite les capacités naturelles des plantes et des microorganismes, tout en limitant l'empreinte écologique (CO₂) des activités de réhabilitation, évitant ainsi le camionnage de matière organique pour préparer le terrain à la plantation.

Nous présenterons les résultats de plantations sur des stériles et des résidus fins non amendés de la mine Sigma. Notre recherche vise également à exploiter les microorganismes naturellement présents dans les tissus racinaires des aulnes, lesquels favorisent leur croissance. En effet, les aulnes s'associent naturellement à des bactéries bénéfiques qui vivent dans leurs tissus (appelés endophytes). Ces bactéries sont reconnues pour stimuler le développement végétal via la synthèse de phytohormones, la production de sidérophores, etc. En nous basant sur l'utilisation de ces associations plantes-microorganismes très puissantes, nous avons entrepris le développement raisonné de stratégies de plantation intégrant plusieurs espèces végétales et plusieurs inoculants microbiens.

Dynamique des populations microbiennes sous les arbres et arbustes ayant naturellement colonisé un site minier aurifère inactif depuis plusieurs décennies

Vanessa Gagnon (UdeS – CNRC), Sébastien Roy (UdeS) et Charles W. Greer (McGill – CNRC)

Les activités minières au Québec entraînent la production de résidus à haute teneur en métaux et en métalloïdes. Ces contaminants inorganiques limitent l'établissement d'activités biologiques essentielles pour le rétablissement de ces environnements perturbés. L'utilisation de plantes pionnières boréales, en association avec divers microorganismes (bactéries et mycorhizes), améliore le taux de survie et permet un développement accéléré des végétaux sur ces sites. Des plantes indigènes (comprenant notamment des aulnes, des épinettes et des bouleaux) ont colonisé les résidus fins acidogènes d'une mine au Québec. Ce site nous permet d'étudier la façon dont les plantes ont naturellement végétalisé un site minier perturbé, créant des assemblages productifs d'espèces végétales, reliés à une vie microbienne foisonnante autour de leur système racinaire.

Des analyses de métagénomique par séquençage à haut débit (Illumina) des résidus colonisés, non colonisés et des sols naturels avoisinant la mine ont révélé une majorité de protéobactéries, d'*Acidobacteria* et de *Chloroflexi*. Ces microorganismes sont, entre autres, capables de fixer de l'azote, de détoxifier les métaux lourds ainsi que de stimuler le rétablissement d'autres espèces microbiennes importantes pour rétablir une biodiversité microbienne importante sur de tels sites miniers. Par ailleurs, une diversité microbienne (indice de Shannon) équivalente à celle prélevée dans la forêt boréale adjacente a été observée sous les plantes prélevées dans les résidus. Ceci suggère la présence d'activités microbiennes aussi diverses dans les plantes colonisant les résidus que dans celles dans la forêt naturelle. En somme, ces résultats indiquent que les arbres et arbustes de la forêt boréale peuvent agir en tant que catalyseurs importants dans le développement de « sols » capables de soutenir une vie microbienne riche et diversifiée. Nos travaux permettent de mieux comprendre les interactions entre les plantes et les microorganismes sur des sites miniers récemment végétalisés, puis d'exploiter ces associations pour s'assurer de recréer des écosystèmes autonomes sur d'autres sites miniers au Québec.

Vers la pleine exploitation du microbiome de nos arbustes indigènes pour optimiser leur développement sur les sites miniers les plus hostiles

Louis Garneau et Sébastien Roy (UdeS)

Les sites miniers peuvent présenter des difficultés substantielles pour la végétalisation, par exemple un manque de nutriments essentiels, une présence de métaux toxiques ou encore un stress hydrique considérable. Ces difficultés peuvent être mitigées par des traits présents dans le microbiome des plantes, en particulier au niveau des racines. Les microorganismes endophytes colonisent et persistent dans les tissus des plantes qui les tolèrent, puisqu'ils peuvent apporter des avantages directs et indirects considérables. Les aulnes sont des arbres et des arbustes rustiques dont les racines peuvent former une symbiose dite actinorhizienne avec des endophytes bactériens du genre *Frankia*. Cette symbiose se manifeste sous la forme de nodules racinaires, lieu où la *Frankia* effectue la fixation de l'azote atmosphérique répondant aux besoins de la plante. Une telle symbiose remplace la nécessité d'employer des amendements azotés (p. ex., des résidus organiques) lors de travaux de végétalisation, réduisant ainsi les coûts d'exploitation. Dans ces mêmes nodules, nous trouvons également d'autres bactéries dont la ou les fonctions exactes demeurent obscures. Dans la présente étude, des endophytes bactériens nodulaires autres que la *Frankia* (provenant de la mine Sigma à Val-d'Or, au Québec) et isolés d'aulnes crispés et d'aulnes rugueux ont été caractérisés et identifiés. Vingt-quatre isolats couvrant trois phyla et quatorze genres bactériens ont été testés afin de déterminer la présence de traits de promotion de la croissance végétale. Une production importante d'hormone végétale auxinique a été mesurée chez six isolats, suggérant une capacité à stimuler la croissance des systèmes racinaire et aérien. Presque toutes les souches bactériennes testées ont produit des sidérophores *in vitro*, ce qui pourrait faciliter l'acquisition de microéléments essentiels tels que le fer et le molybdène, tout en protégeant contre la toxicité d'autres ions métalliques. Finalement, quatre isolats ont démontré une capacité à solubiliser des formes insolubles de phosphate qui est un nutriment fréquemment limitant pour la croissance végétale. Ces résultats suggèrent fortement que la présence de ces différents genres bactériens à l'intérieur des racines d'aulnes, en sus de la présence de la fixatrice d'azote *Frankia*, n'est pas le fruit du hasard. Notre équipe vise à exploiter le potentiel biotechnologique de ces isolats (en tant qu'inoculant pour plantes). Des expériences de co-inoculation d'aulnes sont en cours pour évaluer le potentiel d'accroître leur survie et leur croissance lors de la végétalisation de sites miniers.

Valorisation du résidu minier (oxyde UGS) de Rio Tinto Fer et Titane en catalyseurs

Mostafa Chamoumi, Nicolas Abatzoglou (UdeS), Maria-Cornélia Iliuta et Faïçal Larachi (UL)

Les performances des catalyseurs dépendent, entre autres, de la nature de leur formulation ainsi que de la qualité de leur préparation. Dans le cas de la catalyse hétérogène (où le catalyseur ne se trouve pas à la même phase que les réactifs), les formulateurs doivent tenir compte de la nature du support, du précurseur (habituellement un ou plusieurs métaux actifs) ainsi que des conditions menées lors de différents traitements afin d'obtenir de nombreux sites actifs hautement dispersés conditionnant l'activité du catalyseur.

La société Rio Tinto Fer et Titane (RTFT), filiale à 100 % de Rio Tinto, a développé un procédé appelé UGS (*upgraded slag*) afin de produire et de commercialiser une scorie de titane ayant la plus haute teneur en TiO_2 (94,5 %). Ce procédé génère une quantité non négligeable de résidu d'oxydes UGS (UGSO), envoyés directement au dépôt des résidus miniers (P-84, Sorel Tracy) pour y être enfouis. Afin d'éviter cette dernière opération et dans son projet de développement durable, RTFT a essayé vainement différentes tentatives.

Une première collaboration (Projet de recherche en équipe FRQNT) entre la compagnie Rio Tinto Fer et Titane (RTFT) et les universités Laval et de Sherbrooke a permis de valoriser le résidu minier UGSO en un catalyseur à base de nickel supporté UGSO (Ni-UGSO). En effet, les premiers résultats obtenus ont montré que non seulement le nouveau catalyseur Ni-UGSO est préparé selon une méthode concurrentielle par rapport à tous les catalyseurs commerciaux, mais il présente également des performances catalytiques intéressantes pour la production de gaz de synthèse via le reformage du méthane.

Côté scientifique, l'ensemble de ces résultats prometteurs peut être interprété par l'effet bénéfique des différents constituants du résidu minier UGSO. Côté industriel, notre partenaire industriel RTFT manifeste son grand intérêt dans la poursuite des travaux à l'échelle du laboratoire, puis éventuellement à l'échelle industrielle.

Détermination du coefficient de diffusion de l'oxygène dans les matériaux gelés

Gretta Nyameogo, Mamert Mbonimpa, Bruno Bussière et Akué Sylvette Awoh (IRME – UQAT)

Le drainage minier acide (DMA) représente l'un des défis environnementaux majeurs de l'industrie minière, tant dans les régions à climat tempéré que froid. Le DMA résulte de l'oxydation des sulfures métalliques en présence d'eau et d'air lorsque le potentiel de neutralisation est insuffisant. Au fil des ans, des études ont été menées dans le but de comprendre le processus de génération du DMA afin de mieux le prédire et de mieux contrôler les lixiviations acides produites. Différentes méthodes permettant de limiter le DMA ont ainsi été proposées. Les techniques les plus utilisées en milieu nordique sont les recouvrements jouant le rôle de barrière à l'eau et/ou à l'oxygène et les recouvrements isolants thermiques. Pour les recouvrements en sols inertes jouant le rôle de barrière à l'oxygène, la diffusion moléculaire est le mécanisme préférentiel de migration de l'oxygène. Cette diffusion est contrôlée par le coefficient de diffusion de l'oxygène (D_o). Des méthodes de mesures et de prédiction de ce paramètre sont très bien documentées pour les milieux poreux non saturés et non gelés. En période de gel, les flux d'oxygène sont souvent supposés nuls lorsqu'il s'agit d'évaluer l'efficacité de ces recouvrements. Cette hypothèse n'ayant pas encore été validée, il serait donc opportun d'étudier l'impact du gel sur le coefficient D_o . Les auteurs proposent une méthode de laboratoire pour déterminer le coefficient de diffusion de l'oxygène (D_o) dans les matériaux inertes gelés. À cet effet, une version modifiée de la cellule de diffusion de l'oxygène à double chambre est utilisée. L'interprétation numérique des résultats des essais nécessite de connaître la température et la teneur en eau volumique non gelée de l'échantillon testé. Dans le cadre de cette étude, un sable et un matériau fin (silt siliceux) ont été testés. Les résultats préliminaires obtenus sont présentés et discutés.

Analyses comparatives d'identifications minéralogiques par imagerie hyperspectrale LWIR

Bardia Yousefi, Saeed Sojasi, Kévin Liaigre, Clemente Ibarra Castanedo, Georges Beaudoin, Xavier P. V. Maldague, François Huot (UL) et Martin Chamberland (Telops)

L'imagerie infrarouge hyperspectrale peut être appliquée dans différents champs de recherche. En télédétection par exemple, elle est avant tout utilisée pour détecter des cibles, pour déceler les zones de végétation, pour catégoriser les secteurs urbains. Les applications en géologie de cette technologie consistent principalement à utiliser l'imagerie aéroportée ou satellitaire pour faire des identifications minéralogiques. Nous présentons une évaluation quantitative et qualitative de différentes méthodes d'identification minéralogique dans des conditions de laboratoire. Nous avons cherché à identifier neuf différents minéraux (biotite, diopside, épidote, goethite, kyanite, scheelite, smithsonite, tourmaline, quartz). Les instruments utilisés dans le cadre de cette expérience comprennent une caméra hyperspectrale dans l'infrarouge à grande longueur d'onde (LWIR, 7,7-11,8 μm) avec un objectif macro LW d'une résolution spatiale de 100 μm , une plaque de type « infragold » et une source de chaleur. Une classification est effectuée en appliquant un algorithme d'apprentissage ELM (*Extreme Learning Machine*) et est comparée à une approche de partitionnement de données. Par la suite, deux algorithmes de partitionnement sont comparés. Le premier algorithme utilise une technique de comparaison spectrale pour créer de fausses couleurs à partir de l'ensemble des spectres-pixels des minéraux, permettant ensuite d'identifier les minéraux en partitionnant ces fausses couleurs. Le deuxième algorithme partitionne tous les spectres-pixels dans différentes catégories. Puis les meilleurs représentants de chaque sous-ensemble sont choisis et comparés au registre spectral ASTER de JPL-NASA par des techniques de comparaison spectrale. Les techniques spectrales utilisées sont : l'algorithme AMSD (*Adaptive Matched Subspace Detector*), le filtrage adaptatif PLMF (*PCA Local Matched Filter*), la classification SAM (*Spectral Angle Mapper*) et la corrélation croisée normalisée (*Normalized Cross Correlation* ou NCC). Les résultats du deuxième algorithme indiquent une efficacité de calcul beaucoup plus intéressante (au-delà de 20 fois plus rapide) comparativement au premier algorithme. Par ailleurs, les deux algorithmes montrent une performance prometteuse pour ce qui est de l'identification des minéraux.

Le projet Or de l'Initiative géoscientifique ciblée (2015-2020) : objectifs principaux et travaux en cours au Québec et ailleurs

Patrick Mercier-Langevin, Benoît Dubé, Sébastien Castonguay (CGC-Q), Vicki McNicoll (CGC-O), Jean Goutier, Patrice Roy (MERN), Nicolas Pinet (CGC-Q), Bill Davis, Simon Jackson, Christopher Lawley, Wouter Bleeker (CGC-O), Valérie Bécu, Pierre Pilote (MERN) et Kathleen Lauzière (CGC-Q)

La nouvelle phase (2015-2020) du programme Initiative géoscientifique ciblée (IGC), en continuité avec les phases précédentes, est centrée sur les grands systèmes minéralisés canadiens et axée sur une meilleure compréhension des processus géologiques clés contrôlant la formation des gîtes minéraux. Le programme comprend six grands projets, incluant le projet Or.

Le projet Or vise à approfondir les connaissances quant aux mécanismes influençant la formation et la distribution hétérogène des ressources aurifères à travers l'espace et le temps, permettant ainsi d'aborder une problématique fondamentale qui a des conséquences directes sur le développement ou l'optimisation de modèles d'exploration prédictifs. Cette problématique englobe des lacunes de connaissances spécifiques concernant divers aspects des systèmes minéralisés allant de la source au site de déposition de l'or, en passant par le développement des conduits essentiels à la formation des grands dépôts et des districts. Aborder ces aspects cruciaux dans la compréhension de la genèse des gisements aurifères requiert une approche multidimensionnelle (du craton à la zone minéralisée), multidisciplinaire et collaborative.

Le projet Or comprend deux grands thèmes : 1) les contrôles sur l'or dans le temps et l'espace (sources et pièges) et 2) les influences tectoniques sur l'initiation de l'activité hydrothermale et le développement des conduits. Ces deux sous-projets complémentaires sont divisés en activités thématiques et/ou régionales touchant à la plupart des provinces géologiques aurifères du Canada, avec un accent particulier sur la Province du Supérieur.

Au Québec, plusieurs activités de recherche sont en cours ou prévues dans le cadre du projet Or. Celles-ci, réalisées en étroite collaboration avec le MERN, le milieu académique et l'industrie, visent soit à contribuer directement à une activité spécifique du projet, soit à aborder une problématique ciblée. Les travaux en cours se concentrent sur l'étude du gisement Roberto (mine Éléonore, Baie-James) et de son environnement géologique ainsi que sur l'étude des principaux gisements le long de la Faille de Cadillac en Abitibi, notamment : l'étude de la zone 5 du gisement Horne, l'étude du contenu en or des nodules de pyrite de la mine LaRonde Penna, l'étude des inclusions magmatiques dans les roches intrusives et effusives du camp Doyon-Bousquet-LaRonde et la documentation des caractéristiques pétrochimiques des roches encaissantes du gisement Canadian Malartic. Les travaux à venir et ceux réalisés ailleurs au Canada auront également des retombées au Québec puisque dans la plupart des cas, une meilleure compréhension des caractéristiques clés et des processus importants dans la genèse et la préservation des gisements d'or pourra être applicable aux travaux d'exploration réalisés dans des terrains similaires au Québec.

Caractérisation des minéralisations à Au-Cu-Ag-Zn de la zone 5, gisement Horne, Rouyn-Noranda, Québec – Nouvelles observations et résultats préliminaires

Alexandre Krushnisky (INRS-Eau Terre Environnement), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Pierre-Simon Ross (INRS-Eau Terre Environnement), Vicki McNicoll (CGC-O), Jean Goutier (MERN), Lyndsay Moore (McGill), Claude Pilote et Claude Bernier (Ressources Falco)

Le gisement Horne qui se trouve à l'intérieur du Groupe de Blake River dans la Ceinture de roches vertes de l'Abitibi représente le plus important gisement de type sulfures massifs volcanogènes aurifères au monde (325,4 t Au produites à partir des zones Upper et Lower H). Les ressources totales (indiquées et présumées) de la zone 5, qui juxtapose les zones Upper et Lower H, s'élèvent présentement à 71 Mt de minerai à 1,87 g/t Au (132,8 t Au).

La zone 5 est encaissée dans une succession basculée qui est composée principalement d'unités volcanoclastiques felsiques recoupées par une série de dykes mafiques stériles, à l'intérieur du bloc structural de Horne délimité par les failles de Horne Creek au nord et d'Andésite au sud. Les tufs à lapilli modérément altérés en séricite±quartz, qui contiennent de 1 à 5 % de fragments de sulfures massifs à divers niveaux stratigraphiques, représentent l'encaissant principal des zones aurifères. Le gisement est formé d'une série de lentilles de sulfures massifs à semi-massifs d'épaisseurs variables à pyrite, à sphalérite, à chalcopryrite et à magnétite, intercalées avec des zones de sulfures disséminés et en filonnets.

La première phase de travaux de terrain réalisée à l'été 2016 s'est concentrée sur les zones minéralisées recoupées par cinq forages récents de la société Ressources Falco. Ces travaux ont permis de faire plusieurs observations importantes : 1) deux grands types de minéralisation sont reconnus, soit des brèches felsiques à fragments de pyrite massive avec filonnets de sulfures et pyrite disséminée et des intervalles de sulfures semi-massifs à massifs en remplacement de la matrice de la roche encaissante; 2) la sphalérite est associée préférentiellement à la pyrite matricielle, tandis que la chalcopryrite est généralement remobilisée le long des fractures dans les intervalles minéralisés; 3) la distribution de l'or est relativement variable, toutefois une augmentation plus ou moins prononcée de la teneur en or dans les intervalles de sulfures massifs à semi-massifs est observée; 4) quelques unités felsiques plus compétentes et moins perméables ont probablement influencé la distribution de la minéralisation.

L'analyse pétrographique et lithogéochimique des échantillons prélevés, les analyses par LA-ICP-MS des sulfures et la modélisation en 3D de la distribution des métaux, en plus de la géochronologie, permettront d'établir : 1) le lien entre la minéralisation en or, les sulfures, les roches encaissantes et la déformation et 2) les contrôles sur la distribution de l'or à l'intérieur de la zone 5 du gisement Horne, pour ainsi contribuer à une meilleure compréhension des systèmes aurifères synvolcaniques anciens.

Pyrite nodulaire dans les argilites graphiteuses du gisement LaRonde Penna, Abitibi, Québec – Implications quant aux processus aurifères synvolcaniques

Patrick Mercier-Langevin, Benoît Dubé (CGC-Q), Simon E. Jackson (CGC-O), Stephen J. Piercey et Graham D. Layne (Memorial University)

La Province du Supérieur contient de nombreux gisements aurifères majeurs de nature et de styles variés, incluant plusieurs exemples d'origine synvolcanique. La plupart de ces systèmes aurifères synvolcaniques sont modérément à intensément déformés et se retrouvent à proximité de couloirs de déformation majeurs associés aux gisements d'or orogéniques. La superposition de différentes générations de structures cause d'importantes modifications aux éléments primaires (synvolcaniques) ou antérieurs à la déformation principale caractérisant les systèmes synvolcaniques, incluant la remobilisation de l'or dans des sites synchrones ou tardifs lors de la déformation principale. Ceci mène souvent à des interprétations contradictoires et/ou induit une incertitude quant à l'origine et à la mise en place de l'or.

Le gisement LaRonde Penna en Abitibi, de type sulfures massifs volcanogènes riches en or, représente un excellent exemple de système hydrothermal synvolcanique aurifère majeur avec plus de 8 millions d'onces d'or (production, réserves et ressources combinées). Les lentilles minéralisées du gisement LaRonde Penna sont encaissées dans les roches volcaniques de la Formation de Bousquet, datées à 2698-2697 Ma. L'or dans ces lentilles est synvolcanique, comme indiqué par une série d'évidences géologiques telles : 1) la présence de fragments de sulfures massifs riches en or dans des brèches de talus; 2) la distribution de l'or et son association avec les métaux usuels dans les différentes lentilles; 3) les relations de recoupement entre l'altération antérieure à la déformation et les unités volcaniques et intrusives synvolcaniques déformées; 4) l'absence de corrélation entre l'or et les éléments reliés à la déformation (p.ex. : veines et couloirs de déformation) à l'échelle du gisement.

L'interprétation de la nature synvolcanique de l'or à LaRonde Penna est également appuyée par l'étude de nodules de pyrite présents dans des lentilles d'argilite graphiteuse se trouvant à l'intérieur de la lentille de sulfures massifs aurifères principale de la mine. L'analyse et la cartographie quantitative en 2D par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif par ablation laser (LA-ICP-MS) combinées à l'analyse *in situ* par spectrométrie de masse des ions secondaires (SIMS) des isotopes du soufre ($\delta^{34}\text{S}$) de deux nodules parfaitement préservés indiquent clairement un enrichissement primaire (synvolcanique) en or primaire (et autres métaux traces associés) au cœur des nodules et le développement d'une couronne granoblastique stérile tardive synchrone à la déformation, appauvrie en métaux traces et isotopiquement lourde.

Ces résultats s'ajoutent à la liste croissante d'évidences montrant l'importance des systèmes aurifères synvolcaniques archéens et illustrent également l'importance des techniques de micro-analyses dans la détermination de l'histoire hydrothermale des gisements anciens fortement déformés, plus particulièrement lorsque le contexte géologique est solidement établi.

Géologie du projet aurifère Amaruq – Résultats préliminaires et implications pour l'exploration des gisements d'or associés aux formations de fer en terrains archéens et protérozoïques

Manon Valette, Stéphane De Souza (UQAM), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Olivier Côté-Mantha, Marjorie Simard (Mines Agnico Eagle), Vicki McNicoll (CGC-O) et Patrice Barbe (Mines Agnico Eagle)

Le projet aurifère Amaruq (ressources : 3,71 millions d'onces d'or à une teneur de 5,97 g/t) de Mines Agnico Eagle est situé à 50 km au nord-ouest de la mine Meadowbank et à 120 km au nord-ouest de la communauté de Baker Lake, au Nunavut. Le gisement est encaissé dans les roches supracrustales archéennes du Groupe de Woodburn Lake (environ 2,71 Ga) appartenant au domaine de Rae, situé dans la Province de Churchill. Dans le secteur d'Amaruq, le Groupe de Woodburn Lake est défini par un niveau de roches volcaniques et intrusives mafiques à ultramafiques d'environ 250 m d'épaisseur qui comprend aussi des horizons de chert et de formations de fer dominées par le faciès des silicates. Cet horizon volcanosédimentaire est intercalé dans un grauwaacke à plagioclase-quartz-biotite-séricite.

Le Groupe de Woodburn Lake a été déformé et métamorphisé à l'Archéen et lors de l'Orogénèse transhudsonienne au Paléoprotérozoïque (environ 1,8 Ga). Le métamorphisme transhudsonien atteint le faciès des schistes verts supérieur et les minéralisations d'Amaruq ont subi au moins trois phases de déformation protérozoïques. La déformation la plus pénétrative, D_n , est caractérisée par une schistosité orientée vers le NE à pendage modéré à fort vers le SE, des plis serrés et isoclinaux à faible plongée (0-30°) et des chevauchements à vergence NO.

Différents styles de minéralisation sont présents au sein des deux principales zones connues sur la propriété. La zone Whale Tail, qui n'affleure pas, est principalement caractérisée par une minéralisation en pyrrhotite-arsénopyrite-or d'apparence stratoïde encaissée dans des formations de fer au faciès des silicates et dans des horizons de chert montrant un remplacement envahissant en silice. Dans les zones d'altération hydrothermale, l'or est systématiquement relié à la présence d'arsénopyrite. La zone IVR affleure 300 m au nord-est de Whale Tail, dans une zone de charnière de pli. Bien qu'elle contienne des zones de remplacement dans les cherts et formations de fer, la zone IVR est davantage caractérisée par la présence de veines de quartz \pm carbonate encaissées dans les roches ultramafiques et mafiques ainsi que dans les roches sédimentaires, qui sont carbonatisées et ont subi une altération potassique à séricite et/ou à biotite. Ces veines contiennent de l'or visible, de l'arsénopyrite et, localement, des traces de galène. L'étude structurale de la zone IVR et de sections de forage a permis de mettre en évidence que les trois phases de déformation ont aussi perturbées les différents styles de minéralisation et que les veines de quartz \pm carbonate sont antérieures ou contemporaines à la déformation D_n . La présence de roches mafiques-ultramafiques et sédimentaires chimiques déformées, d'arsénopyrite et de structures D_n (plis et chevauchements) semblent donc définir un environnement favorable pour la minéralisation aurifère.

Principaux contrôles structuraux sur la nature et la distribution de l'or dans les successions volcano-sédimentaires précambriennes polytectonisées – Exemple de la zone Whale Tail du projet Amaruq

Pierre Grondin-LeBlanc (INRS-Eau Terre Environnement), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Michel Malo (INRS-Eau Terre Environnement), Olivier Côté-Mantha, Marjorie Simard, Patrice Barbe (Mines Agnico Eagle), Manon Valette et Stéphane De Souza (UQAM)

Le projet aurifère Amaruq, situé dans la partie nord-ouest de la Province de Churchill, regroupe trois zones aurifères connues, soient les zones Whale Tail, IVR et Mammoth, toutes encaissées dans des roches volcano-sédimentaires néoarchéennes du Groupe de Woodburn Lake. Ces roches sont polydéformées et métamorphosées au faciès des schistes verts supérieur. La zone Whale Tail est encaissée dans une succession de roches sédimentaires orthochimiques (formation de fer et chert) et clastiques (grauwaacke) à pendage abrupt et d'orientation ENE. Cette succession est bordée au nord par des komatiites tholéitiques intercalées avec des formations de fer silicatées et au sud par une succession de roches volcanoclastiques ultramafiques et mafiques d'affinité transitionnelle.

Deux principaux styles de minéralisation aurifère sont présents à Whale Tail : 1) une minéralisation stratoïde caractérisée par la présence d'arsénopyrite accompagnée d'une silicification et/ou de veines de quartz diffuses dans les niveaux de chert et d'une abondance de pyrrhotite dans les niveaux de formation de fer; 2) une minéralisation discordante associée à des veines de quartz avec or natif, galène et arsénopyrite.

La présence de ces deux styles de minéralisation à Whale Tail se prête à diverses hypothèses quant à leur genèse et à leur chronologie relative. Pour mieux comprendre celles-ci, des travaux de description détaillée des fabriques en carotte de forage, d'analyse pétrographique des fabriques en lames minces et d'analyse structurale ont été entrepris. Pour la description des fabriques, neuf forages répartis sur trois sections recoupant le cœur de la zone Whale Tail ont été sélectionnés, en plus d'un forage orienté recoupant la section centrale. Les résultats préliminaires, qui ne permettent pas à ce stade de définir une chronologie relative claire, suggèrent la présence d'au moins deux grandes structures de plis dans le secteur à l'étude; 1) un plissement déjeté plongeant vers le NE associé à une forte foliation (schistosité principale); 2) un plissement déversé à vergence NO plongeant faiblement vers le NE qui est associé à une fabrique de plan axial au pendage coïncidant avec l'orientation des corridors de minéralisation discordante. La description détaillée des carottes suggère aussi la présence d'un clivage de plan axial tardif localement pénétratif qui est sans effet apparent sur la géométrie des zones minéralisées. Les travaux à venir visent à mieux définir la chronologie relative de ces éléments structuraux et leur effet respectif sur la distribution de l'or dans la zone Whale Tail.

Empreinte minéralogique et géochimique des minéralisations aurifères de la zone Whale Tail du projet Amaruq et applications à la définition de vecteurs d'exploration

Marie-Christine Lauzon (UL), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Georges Beaudoin (UL), Manon Valette, Stéphane De Souza (UQAM), Olivier Côté-Mantha et Marjorie Simard (Mines Agnico Eagle)

Le projet Amaruq, détenu par Mines Agnico Eagle, se situe à 50 km au nord-ouest de la mine Meadowbank, au Nunavut. La zone Whale Tail (2,9 Moz à 5,8 g/t Au) contient présentement la majorité de la minéralisation aurifère du projet Amaruq (3,7 Moz à 6,0 g/t Au). Cette zone est caractérisée par deux styles de minéralisation : 1) disséminations de pyrrhotite-arsénopyrite ± pyrite encaissées au sein de cherts et de formations de fer silicifiées; 2) or libre dans des veines de quartz ± carbonates.

Dans le but d'obtenir une caractérisation détaillée de la minéralogie des sulfures associés à la minéralisation aurifère et d'établir une séquence paragenétique et un cadre chronologique relatif entre les épisodes tectono-métamorphiques et hydrothermaux, un échantillonnage ciblé des zones altérées et minéralisées du secteur Whale Tail a été réalisé le long d'un forage représentatif (IVR14-158) qui recoupe plusieurs intervalles aurifères (p.ex. : 9,97 g/t Au sur 6,4 m). Ce forage traverse une succession de chert intercalé d'argilites et de grauwackes, le chert étant le principal encaissant des zones minéralisées au sein de ce forage.

Les analyses lithogéochimiques de chacune des lithologies (chert, chert silicifié minéralisé, grauwacke, argilite et formation de fer silicatée) permettront d'établir la nature des différentes unités de la succession minéralisée. Une description pétrographique détaillée permettra de documenter les assemblages minéralogiques associés à la minéralisation, à l'activité hydrothermale et au métamorphisme. La composition des phases minérales principales sera également établie par micro-analyse (microsonde, microscope électronique à balayage et ICP-MS par ablation laser), notamment pour les sulfures et les silicates directement associés à l'or.

Les observations préliminaires indiquent, entre autres, que la minéralisation est disséminée ou sous forme de veinules dans les zones silicifiées diffuses qui se sont développées préférentiellement dans les bandes de chert ou à proximité de ces zones. Des veines d'extension à quartz, à pyrite et/ou à pyrrhotite sont aussi présentes. Les principaux sulfures sont l'arsénopyrite, la pyrrhotite et la pyrite. L'or visible, généralement associé à l'arsénopyrite, est commun. Les sulfures sont associés à un assemblage de quartz, de chlorite, d'amphiboles et de carbonates (ankérite et calcite). La séquence paragenétique des sulfures est complexe et comprend au moins deux générations de pyrrhotite. La première est associée à l'altération en chlorite, en amphiboles et en carbonates alors que la deuxième est associée au système de veines de quartz. La pyrrhotite semble également remplacer localement l'arsénopyrite. De plus, les sulfures sont recristallisés, témoignant d'un épisode de métamorphisme tardif à postérieur à la minéralisation.

Cette étude contribuera à définir la genèse des zones aurifères dans la zone Whale Tail et fournira des informations quant aux principales phases associées à l'or pouvant éventuellement servir de minéraux indicateurs, en plus de fournir des connaissances supplémentaires à la métallogénie des gîtes aurifères en terrains déformés et métamorphisés.

Géologie du gisement d'or de classe mondiale Meadowbank – Contributions aux connaissances sur les gisements d'or encaissés dans les formations de fer rubanées précambriennes

Vivien Janvier (INRS-Eau Terre Environnement), Sébastien Castonguay, Patrick Mercier-Langevin, Benoît Dubé (CGC-Q), Michel Malo (INRS-Eau Terre Environnement), Vicki McNicoll (CGC-O) et Olivier Côté-Mantha (Mines Agnico Eagle)

Le gisement Meadowbank (4,2 millions d'onces d'or), situé au Nunavut, fait partie de la ceinture de roches vertes du Groupe de Woodburn Lake, sise au sein du craton de Rae, dans la partie ouest de la Province du Churchill. La succession hôte du gisement, constituée de roches volcanoclastiques mafiques à intermédiaires alternant avec des formations de fer rubanées (FFR) archéennes à magnétite et du chert, a subi plusieurs épisodes tectono-métamorphiques à l'Archéen et au Protérozoïque. La seconde phase protérozoïque (D_{P2}) est prédominante. Bien que le secteur à l'étude contienne quatre FFR majeures, seule la FFR « centrale » est minéralisée. Ce contexte particulier permet d'aborder la question des principaux contrôles sur la formation et la distribution des gisements aurifères précambriens encaissés dans les FFR.

La minéralisation aurifère, de nature stratoïde, est principalement matérialisée par la présence de pyrrhotite, de pyrite et, localement, d'arsénopyrite. Elle est préférentiellement encaissée dans la FFR, en remplacement des bandes de magnétite et/ou en stockwerks, transposés parallèlement à la schistosité principale (S_{P2}) et/ou le long de zones de forte déformation associées aux flancs de plis P_{P2} . Une proportion mineure de la minéralisation est sous forme de veines de quartz à haute teneur en or associées à D_{P2} dans les roches volcanoclastiques. Un large halo d'altération potassique (gains en K et pertes en Na, en Ca et en Mg) marqué par une augmentation de la muscovite et de la biotite enveloppe le gisement. Les relations de chronologie relative indiquent que la minéralisation est légèrement antérieure à synchrone à la seconde phase de déformation protérozoïque, en accord avec la datation Re-Os de l'arsénopyrite à 1899 Ma.

Les résultats des datations U-Pb indiquent que la FFR centrale et le gisement Meadowbank, contrairement aux autres FFR du secteur, sont situés le long d'un contact tectonique entre deux successions volcano-sédimentaires datées à ~2717 Ma et à ~2711 Ma. Cette structure marque potentiellement une zone de faille importante ayant connu une « histoire polyphasée ». Les failles anciennes réactives et les failles subsidiaires D_{P2} contrôlent la distribution de l'or. Les épisodes de déformation subséquents ont grandement modifié la distribution et la géométrie des zones aurifères.

Malgré une tectonique polyphasée complexe, la mise en place de la minéralisation est interprétée comme étant associée à l'épisode tectono-métamorphique principal de l'Orogène transhudsonien. Le gisement Meadowbank est le résultat d'interactions entre des contrôles lithologiques (FFR riches en magnétite montrant un contraste rhéologique avec les roches volcanoclastiques et ultramafiques) et structuraux (contact tectonique majeur et failles D_{P2}) définissant ainsi un métallotect important dans l'ouest de la Province de Churchill, et ailleurs dans des contextes similaires du Bouclier canadien.

Environnements de dépôt des formations de fer rubanées archéennes de type Algoma et leurs implications sur la minéralisation aurifère – Étude de cas des dépôts de Meadowbank, de Meliadine, de Musselwhite et de Beardmore-Geraldton

Blandine Gourcerol, Phillips C. Thurston, Daniel J. Kontak (Université Laurentienne) et Olivier Côté-Mantha (Mines Agnico Eagle)

Les formations de fer rubanées (FFR) de type Algoma sont des roches sédimentaires d'origine chimique, constituées d'une alternance de minéraux riches en fer et de chert, stratigraphiquement associées à des roches volcaniques sous-marines et situées dans des ceintures de roches vertes archéennes. Ces roches sont parfois associées à des gisements aurifères et l'hypothèse d'un enrichissement primaire en or des FFR a été proposée par certains pour expliquer la présence d'or dans certaines FFR et non dans d'autres.

Les conditions menant à la formation des FFR et leurs caractéristiques géologiques demeurent controversées, principalement en raison de la superposition des effets de la déformation post-sédimentaire et du métamorphisme associé, mais également du fait de l'absence d'analogues modernes permettant de réaliser des études comparatives. Récemment, il a été suggéré que l'abondance des éléments de terres rares (ETR) et de l'yttrium dans les bandes de chert, lesquelles sont peu réactives et très résistantes aux modifications postérieures à la déposition et ainsi beaucoup plus susceptibles de conserver leurs caractéristiques géochimiques primaires, pourrait fournir des informations primordiales sur l'environnement de dépôt des FFR.

L'analyse géochimique par ablation laser et spectrométrie de masse à plasma couplé par induction (LA ICP-MS) a été effectuée sur des bandes de chert de quatre gisements aurifères canadiens associés à des FFR (Meadowbank, Meliadine, Musselwhite et Beardmore-Geraldton). Le chert de ces quatre sites est caractérisé par : 1) un enrichissement en ETR lourdes jumelé à une anomalie positive en La et en Y indiquant l'interaction de l'eau de mer avec des oxyhydroxydes de fer; 2) l'anomalie positive en Eu indiquant une contribution variable de fluides hydrothermaux de haute température (>250 °C); 3) un rapport Y/Ho près des valeurs chondritiques (Y/Ho \approx 27) et des concentrations en ETR cohérentes témoignant d'une contamination détritique variable. Les valeurs de pH de la colonne d'eau au moment de la précipitation du chert ont été évaluées en utilisant le rapport Ce/Ce*_{MUO}. Un ratio positif suggère des conditions relativement acides (pH \leq 5) pour la plupart des échantillons, alors qu'un rapport négatif témoigne de conditions plus alcalines (pH \geq 5) pour les échantillons montrant une précipitation d'oxyhydroxyde de fer dans les bandes de chert.

L'étude comparative de ces quatre sites révèle que la composition primaire, l'environnement de dépôt et les conditions de formation des FFR ne semblent pas influencer la formation de gisements d'or, appuyant l'origine épigénétique des gisements aurifères associés aux FFR.

Géologie du gisement d'or Vault et implications pour l'exploration aurifère dans les ceintures de roches vertes précambriennes

Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Vivien Janvier (INRS-Eau Terre Environnement), Vicki McNicoll (CGC-O), Sébastien Castonguay, Céline Dupuis, Benoît Dubé (CGC-Q), Benoît de Chavigny et Olivier Côté-Mantha (Mines Agnico Eagle)

Le gisement Vault (~1,4 million d'onces d'or) se trouve à environ 7 km au nord des zones Portage et Goose de la mine Meadowbank, au Nunavut. Il fait partie d'un lambeau de roches vertes (Groupe de Woodburn Lake) d'âge archéen ayant subi de multiples orogènes archéens et paléopro-térozoïques.

La succession hôte des zones minéralisées du gisement Vault est constituée d'unités volcanoclastiques intensément altérées et déformées, notamment des tufs à blocs polymictes (restreints à l'éponte inférieure), des tufs à lapilli et des tufs fins de composition principalement andésitique à dacitique intercalés avec de minces niveaux de formations de fer. Ces unités volcanosédimentaires sont recoupées par un essaim de dykes et de filons-couches felsiques porphyriques à feldspath et à quartz également altérés et déformés qui sont restreints à la zone minéralisée et à l'éponte structurale supérieure.

La zone minéralisée principale, qui est constituée de pyrite très fine (<1 mm) disséminée (<10 %) et de veinules fortement transposées de quartz, de carbonates et de pyrite, est contenue dans un couloir de déformation de quelques mètres d'épaisseur orienté vers le NE et à faible pendage (~25 °) vers le SE. Quelques zones lenticulaires moins continues sont présentes dans l'éponte supérieure de la zone principale. L'or est sous forme libre et en micro-inclusions dans la pyrite fine disséminée.

Les zones aurifères sont associées à une forte altération, principalement en sérécite, en carbonates, en chlorite et en albite; cette altération est inexistante dans l'éponte inférieure immédiate du gisement. La calcite est le carbonate dominant dans les portions distales, l'ankérite domine près de l'enveloppe minéralisée ou à l'intérieur de celle-ci et la dolomite remplace l'ankérite au cœur des zones aurifères. Les gains en potassium, en calcium et en magnésium s'accroissent à l'approche des zones aurifères.

Le fort contraste entre les épentes structurales inférieure et supérieure (lithologies, signature géochimique, distribution de l'altération et de la déformation) de même que la géométrie de la zone minéralisée principale et son association avec un couloir de forte déformation juxtaposant deux successions distinctes suggèrent un lien génétique entre le développement des zones aurifères et les couloirs de déformation, lesquels sont, dans le secteur à l'étude, parallèles à la faille de chevauchement Third Portage, d'âge paléopro-térozoïque.

Bien que la nature du minerai à Vault contraste fortement avec le minerai en pyrrhotite encaissé dans les épaisses formations de fer rubanées à magnétite-chert des zones Portage et Goose plus au sud, la proximité et les similarités en matière de contexte lithotectonique suggèrent des processus tectoniques et hydrothermaux communs dans la formation de ces deux types de dépôts et illustrent l'importance des facteurs locaux sur la nature et le style des minéralisations aurifères orogéniques protérozoïques dans les ceintures de roches vertes polytectonisées précambriennes.

G100

Géochimie du till sur le prospect d'Amaruq, Nunavut : résultats préliminaires de la remobilisation d'un gîte aurifère

Victor de Bronac de Vazelhes, Nicolas Boulianne-Verschelden, Georges Beaudoin (UL), Isabelle McMartin (CGC-O), Olivier Côté-Mantha et Marjorie Simard (Mines Agnico Eagle)

Bien interpréter les données géochimiques de surface d'un gisement remobilisé par des phénomènes glaciaires met en jeu une compréhension complète des processus d'érosion, de transport, de dépôt et de dilution de la signature primaire. La propriété Amaruq, au Nunavut, est un cas intéressant de par la présence de différentes formes de relief glaciaire, d'une couverture de till d'épaisseur variable sans végétation importante, d'une structure géologique perpendiculaire à l'écoulement glaciaire dominant ainsi que de la disponibilité d'informations sur les gîtes aurifères subaffleurants grâce aux forages.

La propriété Amaruq est située dans la Province de Rae du craton du Churchill. Le Groupe de Woodburn Lake est représenté par des roches volcaniques ultramafiques à felsiques et des sédiments volcanogènes, clastiques et chimiques d'âge archéen, recoupé par des intrusions des roches granitiques. Le Groupe de Woodburn Lake a subi ensuite quatre phases de déformation ductiles avec un pic de métamorphisme au faciès des schistes verts supérieur. Trois différents styles de minéralisation aurifère ont été observés : l'or en inclusion dans l'arsénopyrite, l'or en inclusion dans la pyrrhotite et l'or libre dans des veines de quartz. Au Wisconsinien supérieur, une importante portion des secteurs à l'ouest de la baie d'Hudson, incluant la propriété Amaruq, était recouverte par les glaces du secteur du Keewatin de la calotte glaciaire laurentienne.

Une campagne d'échantillonnage (maille de 100 m x 100 m, 36 km²) du till de surface au nord des zones aurifères a été réalisée en 2015 (n = 2911 échantillons). Une comparaison entre les analyses géochimiques de la fraction fine du till (<63 µm; ICP AES et ICP MS), de la minéralisation et de la roche encaissante permet de mieux étudier les liens interéléments. L'or dans le till présente une forte corrélation avec l'argent et, en moindre mesure, avec l'arsenic, le cobalt, le tungstène, le chrome et le scandium. L'or dans la minéralisation présente toujours une corrélation forte avec l'argent et l'arsenic et moindre avec l'antimoine; il n'est pas corrélé, voire inversement corrélé, avec le nickel, le chrome, le cobalt, le scandium et le tungstène.

Une mise en carte par krigeage de l'arsenic dans le till a permis de déterminer que l'écoulement glaciaire régional est orienté vers le NNO, ce qui est confirmé par des mesures de stries sur la roche affleurante dans la zone d'étude, et est le principal responsable des traînées de dispersion glaciaire de la minéralisation aurifère.

G101

Études des écoulements glaciaires et des dépôts associés : cas d'Amaruq, Nunavut

Nicolas Boulianne-Verschelden, Victor de Bronac de Vazelhes (UL), Isabelle McMartin (CGC-O), Georges Beaudoin (UL), Olivier Côté-Mantha et Marjorie Simard (Mines Agnico Eagle)

Le projet aurifère Amaruq, situé à 60 km au nord-ouest de la mine d'or Meadowbank, au nord de Baker Lake (Nunavut), fait l'objet d'une étude des environnements du Quaternaire dans le but de faciliter l'interprétation de la dispersion glaciaire à partir des zones minéralisées. Des travaux en cartographie du Quaternaire ont été entrepris à deux échelles : régionale (1/50 000) et détaillée (1/5 000), couvrant respectivement un terrain de 2 400 km² et de 100 km² centré sur les zones aurifères d'Amaruq. Ces travaux ont été réalisés conjointement avec une autre étude sur la géochimie du till et des minéraux indicateurs. Ces deux projets de maîtrise ont pour but d'améliorer les méthodes de prospection glaciocédimentaire pour l'exploration des gisements aurifères en présence de pergélisol, de caractériser la nature des dépôts de surface et de comprendre les différents épisodes d'écoulement glaciaire.

Pendant la dernière glaciation du Wisconsinien supérieur, l'Inlandsis laurentidien recouvrait entièrement le terrain d'étude jusqu'à ce que celui-ci soit libre de glace, il y a environ 6 000-7 000 ans. Les principaux dépôts du Quaternaire observés sur le terrain comprennent une mince couche de till blocailleux à matrice sableuse dans des moraines côtelées, une épaisse couche de till silto-sableux retrouvé dans des formes profilées ou formant une plaine de till ainsi que cinq systèmes fluvio-glaciaires dirigés vers le nord-nord-ouest. La région d'étude est située à environ 100 km au nord-ouest de la dernière position de la ligne de partage glaciaire du Keewatin. La migration de cette ligne de partage documentée au sud n'a pas perturbé de manière importante la direction de l'écoulement régional sur le terrain d'étude d'après les indicateurs observés sur le terrain tels que les stries, les cannelures et les roches moutonnées.

Les travaux antérieurs de cartographie à l'échelle du 1/250 000 indiquent que la direction régionale de l'écoulement glaciaire est vers le nord-nord-ouest (N340°). À l'échelle régionale et locale de l'étude, plusieurs familles d'indicateurs d'écoulement glaciaire ont été définies. L'écoulement à 340° est prédominant et le plus ancien dans la région d'étude. Cet écoulement est recoupé par des indicateurs à 330°, puis à 310°. Ces écoulements glaciaires vers le nord-ouest ont beaucoup moins d'influence sur le paysage. Il y a donc une déviation antihoraire de l'écoulement du nord-nord-ouest vers le nord-ouest. Finalement, un mouvement tardif beaucoup plus localisé a été observé dans une petite zone (~1 km²) près d'un esker recoupant la partie est des zones minéralisées d'Amaruq. Ce mouvement se dirige vers l'esker à N050°.

G102

Synthèse géologique de la mine Éléonore et guides pour l'exploration à l'échelle régionale, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur, Québec, Canada

Arnaud Fontaine (INRS – Eau Terre Environnement), Benoît Dubé (CGC-Q), Michel Malo (INR – Eau Terre Environnement), Jackson Simon, Vicki McNicoll (CGC-O), Eric Fournier et Christine Beausoleil (Goldcorp)

La mine Éléonore est la première mine d'or de classe mondiale du territoire d'Eeyou Istchee Baie-James. En production commerciale depuis avril 2015, la mine contient actuellement des réserves de 5,35 millions d'onces à 5,87 g/t d'or, des ressources mesurées et indiquées de 0,81 million d'onces à 5,49 g/t d'or et des ressources inférées de 2,28 millions d'onces à 7,11 g/t d'or.

Situé à 1,5 km au sud du contact entre les sous-provinces d'Opinaca (paragneiss, migmatites et intrusions) et de La Grande (socle tonalitique, ceintures volcano-sédimentaires et intrusions), le gisement est majoritairement encaissé dans des wackes (< 2675 Ma). La minéralisation principale est représentée par plusieurs corridors plurimétriques d'orientation NNO-SSE formant une enveloppe subverticale d'une largeur de 70 à 80 m et d'une extension verticale d'au moins 1,4 km. Ces corridors ont une signature métallique similaire en Au-As-Sb-W-Bi-Sn-Mo et comprennent des styles de minéralisation variés, y compris : i) un réseau de veinules et de veines de quartz-dravite-arsénopyrite-pyrrhotite en association avec des zones de remplacement à quartz-microcline-phlogopite-arsénopyrite (zone 5050); ii) des veines de quartz-diopside-schorl-löllingite-arsénopyrite ou des zones de silicification et des brèches hydrothermales à microcline ainsi que des veines de quartz-actinolite (zones 6000, 7000, 8000 et HW); iii) des schistes à biotite et à actinolite (zone du Lac); iv) des zones de remplacement à phlogopite, à actinolite et à diopside (zone du Nord).

Les travaux de cartographie en surface et dans les galeries souterraines, la modélisation en 3D et la géochronologie U-Pb ont permis de mieux contraindre la chronologie des événements structuraux et des processus métamorphiques, magmatiques et hydrothermaux. La datation U-Pb des pegmatites (environ 2620 Ma et 2600 Ma) et de la tonalite-granodiorite de Cheechoo (environ 2612 Ma) a permis d'établir plusieurs événements aurifères. Les analyses lithogéochimiques, LA-ICPMS (*in situ* des sulfures) et d'isotopes stables du soufre (*in situ* des sulfures) et de l'oxygène (de l'altération hydrothermale) suggèrent que l'action de fluides métamorphiques et magmatiques serait à l'origine du vaste système hydrothermal aurifère.

La diversité des roches encaissantes et des minéralisations aurifères à Éléonore et dans les alentours (propriétés Cheechoo et Sirios) indique qu'une zone de 10 km le long du contact Opinaca-La Grande, en particulier dans la sous-province du La Grande, est prometteuse pour l'émergence d'un nouveau district aurifère. Cela est probablement dû : i) à une activité hydrothermale liée à des événements métamorphiques et magmatiques de longue durée; ii) et à une déformation polyphasée permettant, localement, la formation de pièges structuraux et stratigraphiques hôtes de la minéralisation et la préservation, en tout ou en partie, des zones aurifères, notamment dans les zones de plus faible pression (comme les charnières de plis).

G103

Perception des Québécois sur l'exploitation de ressources minérales : résultat du sondage de septembre 2016 à l'échelle du Québec

Frédéric Malo, Karine Bédard et Michel Malo (INRS-Eau Terre Environnement), Roxane Lavoie (UL) et Christine Rivard (CGC-Q)

En 2015, le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec a confirmé son intention d'intégrer le concept d'acceptabilité sociale à la gouvernance des projets de développement minier qui se déploient dans la province. Mieux comprendre comment cette industrie est perçue et évaluer les connaissances des citoyens dans ce domaine est nécessaire pour déterminer si celle-ci possède un bon niveau d'acceptabilité sociale. Le but de ce projet, réalisé en partenariat avec le FRQNT et l'industrie minière, est de sonder l'opinion des Québécois afin de dresser un portrait de l'acceptabilité sociale des projets d'exploitation de ressources minérales, tout en le comparant à la situation d'autres ressources énergétiques présentes au Québec. Un questionnaire a été élaboré par l'équipe de recherche à l'été 2016. En septembre, la firme Léger a effectué la collecte de données dans l'ensemble du Québec, en respectant les divisions sociodémographiques de la province et en effectuant un suréchantillonnage dans les régions minières. Notre approche méthodologique inclut des concepts de psychologie propres à la justice sociale, notamment la justice procédurale et la justice distributive. Le questionnaire a été construit en se basant sur le modèle causal développé par Zhang et ses collaborateurs (2015) qui soutiennent que la confiance envers l'industrie minière est cruciale pour obtenir l'acceptation des activités minières par la population. Ce modèle permet une analyse statistique des résultats du sondage qui rend possible la détermination des principaux prédicteurs d'acceptabilité sociale des projets miniers au Québec. Les résultats obtenus et analysés en fonction du modèle causal permettront de cibler des pistes de solution favorisant des approches de gouvernance gouvernementale et entrepreneuriale des projets miniers mieux adaptée au contexte québécois.

Référence

ZHANG, A. – MOFFAT, K. – LACEY, J. – WANG, J. – GONZALEZ, R. – URIBE, K. – CUI, L. – DAI, Y., 2015 – Understanding the social licence to operate at the national scale: a comparative study of Australia, China and Chile. *Journal of Cleaner Production*, 108 (2015): 1063-1072.

G104

Évaluation du potentiel de réservoir géothermique à l'interface socle-bassin : analyse de la fracturation et de la perméabilité des grès de base du Groupe de Potsdam

Laurent Gauchat, Michel Malo et Jasmin Raymond
(INRS-Eau Terre Environnement)

Le spectre des changements climatiques dus à l'augmentation des gaz à effet de serre entraîne la réévaluation des sources d'énergie utilisées. La géothermie est un choix à considérer pour diversifier les sources d'énergie au Québec. Grâce à l'avancement des technologies et à l'arrivée des centrales géothermiques à cycle binaire, il est désormais possible d'envisager la production d'électricité dans les bassins sédimentaires profonds, comme celui des Basses-Terres du Saint-Laurent. La perméabilité des roches-réservoirs est primordiale parmi les multiples facteurs à évaluer pour l'exploitation d'un réservoir géothermique en profondeur. Cette perméabilité doit être mesurée dans le grès de base à proximité de l'interface avec le socle, puisqu'il s'agit d'une zone ayant le plus potentiel lorsque le contact est suffisamment profond. Pour y arriver, deux paramètres qualitatifs ont été évalués, soit la fracturation et la porosité, alors que les mesures de perméabilité ont aussi été considérées lorsque disponibles. À l'aide de données de terrain et de carottes de forage, on observe que le taux de fracturation est faible et que la majeure partie des fractures à proximité de l'interface est remplie par des ciments ou de la matrice. Le socle est plus fracturé, mais les fractures sont aussi remplies de ciment ou de matrice. Les fractures sont généralement subverticales, avec les orientations dominantes suivantes : N80-90, N170 et N120 dans le Covey Hill et N120 dans le Cairnside. Les résultats de diagraphie et les analyses faites par l'industrie pétrolière montrent des porosités variant de 5 à 7 %. En lame mince, la porosité observée est très faible en dehors de quelques zones non cimentées ou ayant peu de matrice dans lesquelles la porosité peut atteindre 25 à 30 %; ces zones et ces anomalies sont aussi observées en diagraphie. Les quatorze mesures de perméabilité à partir d'essais en tige ont des valeurs variant de 0,00013 mD à 234 mD dans le Covey Hill, avec une moyenne de 21,36 mD et une médiane de 0,017 mD. Les vingt mesures dans le Cairnside donnent des valeurs de perméabilité variant de 0,001 mD à 23 mD, avec une moyenne de 4,36 mD et une médiane de 0,585 mD. Les simulations de pompage montrent qu'une perméabilité inférieure à 0,5 mD ne permet pas une exploitation réaliste, car le rabattement y est alors trop fort, augmentant fortement les coûts énergétiques de pompage. La perméabilité est probablement assez forte dans certaines zones pour en permettre une exploitation géothermique.

G105

Gîtes IOCG et affiliés le long de la Laurentie : implications pour la Province de Grenville au Québec

Louise Corriveau, Eric Potter (CGC), Warren C. Day, John F. Slack, Robert Ayuso (USGS) et Jean-François Montreuil (Red Pine Exploration)

Les recherches récentes sur les systèmes métasomatiques à oxydes de fer et à éléments alcalins des monts Saint-François de la ceinture de granite-rhyolite (Mésoprotéozoïque, États-Unis) américain) et ceux de la zone magmatique de l'Ours et du Central Mineral Belt (Paléoprotéozoïque, Canada) renforcent le potentiel minéral du Laurentia — Province de Grenville comprise — en gîtes d'oxydes de fer-apatite (IOA), en gîtes d'oxydes de fer-cuivre-or (IOCG) et en autres gîtes associés. Les gîtes connus sont spatialement et temporellement associés à des roches volcaniques et intrusives, de composition mafique à felsique, dont certaines ont des sources juvéniles et des affinités calcoalcalines à shoshonitiques (Saint-François : ~1,50-1,44 Ga; Ours : 1,87-1,85 Ga; Central Mineral Belt : ~1,88-1,85 Ga). Le métasomatisme des gîtes est associé à la formation et à l'écroulement de calderas, précédant de quelques millions d'années la mise en place de plutons et de batholites. Les faciès métasomatiques présentent une zonation verticale et latérale allant des faciès sodiques (albite) vers les faciès calciques-fer (amphibole-magnétite-apatite), puis des faciès potassiques-fer (magnétite-biotite-feldspath K à hématite-séricite-chlorite-carbonates) aux faciès épithermaux. La progression des fronts métasomatiques donne lieu à la formation de gîtes IOA, d'IOCG (et des variantes riches en Co et en Bi), de skarns, de gîtes d'uranium encaissés dans des albitites et de gîtes polymétalliques filoniens. Dans la Province de l'Ours, les gîtes IOA représentent l'expression profonde et cogénétique de minéralisations d'IOCG. Des brèches fluidisées témoignent également de la capacité des IOA à atteindre des niveaux structuraux plus élevés. Enfin, lors de la formation de failles, des albitites peuvent parvenir à des niveaux où l'uranium précipite (faciès potassique-fer). Une remobilisation tardive des terres rares des gîtes d'IOA peut aussi donner des brèches minéralisées en ces éléments. L'enrichissement métasomatique peut toucher autant les métaux usuels (Fe, Cu, Pb, Zn, Ni), précieux (Au, Ag, EGP) et spécialisés (Bi, Co, Mo, V, Nb, Ta, W, terres rares lourdes et légères) que les actinides (U, Th). En conclusion, toute stratégie d'exploration pour les IOCG dans la Province de Grenville devrait considérer : 1) que les gîtes des monts Saint-François sont d'âge pinwarien et que la distribution de la ceinture pinwarienne est pan-grenvillienne; 2) qu'il y a abondance de composantes d'arc, certaines avec zones minéralisées polymétalliques de types IOCG et IOA (p.ex., Kwijibo, complexe de Bondy); 3) que le métamorphisme de forte intensité provoque des changements majeurs dans les assemblages minéralogiques des systèmes à oxydes de fer et à éléments alcalins. Résultats obtenus dans le cadre du Programme des ressources minérales de l'USGS ainsi que du Programme de géocartographie de l'énergie et des minéraux et de l'Initiative géoscientifique ciblée de la CGC.

Survol des activités sur les minéralisations de Ni-Cu-Cr-EGP associées aux roches mafiques et ultramafiques dans le cadre des programmes Initiative géoscientifique ciblée (IGC) et Géocartographie de l'énergie et des minéraux (GEM) : une perspective québécoise

Michel G. Houlé (CGC-Q), Wouter Bleeker (CGC-O) et David Corrigan (CGC-O)

On retrouve de la minéralisation en Ni-Cu-EGP et en Cr-EGP dans plusieurs environnements géologiques différents (magmatique, métamorphique, hydrothermal, sédimentaire, supergène) et dans différents contextes tectoniques (divergent, convergent, impact météoritique), mais la plupart des gisements économiques sont d'origine magmatique, sont associés à des roches ignées mafiques à ultramafiques et se retrouvent dans des contextes tectoniques en extension ou des rifts. Le Québec possède une grande variété de contextes géologiques favorables, mais la production actuelle ne provient que de la Ceinture de Cape Smith au Nunavik, dans le nord du Québec (mine Raglan et projet Nunavik Nickel de Canadian Royalties).

Récemment, la Commission géologique du Canada a participé à plusieurs projets de recherche dans le cadre des programmes Initiative géoscientifique ciblée (IGC) et Géocartographie de l'énergie et des minéraux (GEM), qui ont pour but de mieux définir la fertilité des roches mafiques et ultramafiques et le potentiel de découverte de minéralisation en Ni-Cu-EGP et en Cr-EGP dans différentes régions à travers le pays. Plusieurs des secteurs à l'étude sont situés au Québec : la Ceinture de Cape Smith dans le cadre du volet Circum-Supérieur; le territoire de la Baie-James et la Ceinture de roches vertes de l'Abitibi dans le cadre du volet Métallotectes de Ni-Cr du programme IGC; la Fosse du Labrador dans le cadre du projet Hudson-Ungava du programme GEM. La minéralisation en Ni-Cu-EGP et en Cr-EGP dans ces secteurs est très variée quant aux âges géologiques, aux compositions des magmas parents, aux contextes volcaniques-subvolcaniques-plutoniques et à la géométrie des unités encaissantes. Ces études porteront sur l'architecture magmatique globale des systèmes minéralisateurs en Ni-Cr-Cu-EGP en ciblant les contrôles primaires qui ont mené à l'enrichissement en métaux des intrusions mafiques et ultramafiques spécifiques et les systèmes magmatiques.

Ces projets de recherche dans le cadre des programmes IGC et GEM ont pour but d'établir les contextes géologiques clés et les caractéristiques importantes des gîtes orthomagmatiques de Ni-Cu-EGP et de Cr-EGP dans plusieurs de ces secteurs, afin de mieux circonscrire les modèles métallogéniques intégrés pour ces systèmes minéralisés et d'améliorer les possibilités de découvrir de nouvelles ressources minérales dans des camps miniers établis et émergents à l'intérieur ou en bordure du craton du Supérieur, mais également dans d'autres régions pionnières du Bouclier canadien.

Comportement non CHARAC : un outil pour l'identification des événements magmatiques potentiellement minéralisés

Olivier Blein (BRGM) et Louise Corriveau (CGC-Q)

Le comportement des éléments traces varie en fonction de leur affinité pour les phases cristallines ou liquides. Dans les liquides magmatiques, les éléments chimiques ont généralement un comportement qui dépend entièrement des coefficients de partage minéral/liquide, dit comportement « CHARAC » (*CH*arge-and-*RA*dium-*CO*ntrolled). Bau (1996) a démontré l'existence de comportements non CHARAC dans des granites anatectiques riches en silice. Ce type de comportement serait lié à des processus de complexation avec des phases volatiles comme la complexation des terres rares avec des fluorures, des chlorures et des sulfates dans les solutions aqueuses. Des variations significatives, par rapport à un comportement CHARAC, semblent exister dans des magmas fortement évolués riches en H₂O, CO₂ et/ou en éléments comme le Li, le B, le F, le P et/ou le Cl. Ainsi, en ce qui a trait au comportement des éléments traces, ces magmas présentant des similitudes avec des fluides aqueux pourraient être considérés comme transitionnels entre un liquide purement silicaté et un fluide aqueux (London, 1986, 1987).

Un certain nombre de gîtes à oxydes de fer-cuivre-or (IOCG) et gîtes affiliés sont liés à de larges provinces ignées siliceuses (silicic LIPs; Ernst and Jowitt, 2013) où sont libérées de vastes quantités de fluides magmatiques, certains riches en fluor et pouvant se mélanger à des fluides hydrothermaux (p. ex., Province de l'Ours, Montreuil *et al.*, 2016). Or le fluor augmente la solubilité des éléments lithophiles dans les fluides magmatiques, comme les terres rares et l'uranium, et permet le transport d'un large éventail d'éléments en fortes concentrations, un phénomène aussi observé au sein de systèmes métasomatiques responsables des minéralisations de type IOCG (p. ex., Province de l'Ours; complexe de Bondy dans le Grenville). Les intrusions associées aux magmas riches en fluor peuvent donc être des cibles prometteuses pour la recherche de gîtes de type IOCG. La présence de fluor pourrait être établie indirectement en analysant le comportement des éléments traces dans ces magmas siliceux.

Il est dès lors essentiel de déterminer l'influence du fluor sur le comportement des éléments traces à l'intérieur de liquides magmatiques et hydrothermaux, afin de développer des traceurs géochimiques permettant d'établir si un magmatisme ou une altération hydrothermale est propice au développement de minéralisations polymétalliques.

Références

- BAU, M., 1996 – Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: Evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effects. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 123, p. 323-333.
- ERNST, R.E. – JOWITT, S.M., 2013 – Large Igneous Provinces (LIP) and metallogeny. *Society of Economic Geologist Special Publication*, v. 17, p. 17-51.
- LONDON, D., 1986 – Magmatic-hydrothermal transition in the Tanco rare-element pegmatite: evidence from fluid inclusions and phase-equilibrium experiments. *Am. Mineral.*, v. 71, p. 376-395.
- LONDON, D., 1987 – Internal differentiation of rare-element pegmatites: effects of boron, phosphorus, and fluorine. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 51, p. 403-420.
- MONTREUIL J.-F. – CORRIVEAU, L., – POTTER, E.G. – De TONI A., 2016 – On the relationship between alteration facies and metal endowment of iron oxide-alkali-altered systems, southern Great Bear Magmatic Zone (Canada). *Economic Geology*, v. 111.

G108

Mobilité des terres rares au sein d'un système hydrothermal à oxydes de fer-Cu-Au : le Complexe gneissique de Bondy, Province de Grenville, Canada

Olivier Blein (BRGM), Louise Corriveau (CGC-Q) et Marc Richer-LaFlèche (INRS-Eau Terre Environnement)

Le complexe gneissique de Bondy (1,4-1,35 Ga), Province de Grenville, est interprété comme les vestiges d'un édifice plutono-volcanique d'arc présentant un début de rifting. Sa partie septentrionale referme un système hydrothermal de taille kilométrique (12 km x 4 km) dont les faciès métasomatiques métamorphisés s'apparentent à ceux des gîtes à oxydes de fer-cuivre-or (IOCG) à composantes sommitales épithermales.

Du nord au sud, le système hydrothermal est composé : i) de tourmalinites magnésiennes; ii) de gneiss à plagioclase, à cordiérite et à orthopyroxène; iii) de gneiss alumineux à biotite, à cordiérite, à orthopyroxène et/ou à sillimanite; iv) de gneiss quartzo-feldspathiques laminés; v) de grenatites à magnétite et à chalcopryrite; vi) de gneiss hyperalumineux à sillimanite; vii) de grenatites à biotite; viii) d'amphibolites associées à des grenatites à amphiboles. Collectivement, ces faciès traduisent la présence d'altération argileuse, en chlorite, sodique, calcitique-fer, potassique-fer, potassique et séricitique.

Au sein du système hydrothermal, les différents types de gneiss peuvent présenter des profils de terres rares, normalisés aux chondrites, en forme d'aile d'oiseau. Ces profils sont caractérisés par une pente négative des éléments de terres rares légères ($[(La/Sm)_n > 1]$), par une pente positive des éléments de terres rares lourdes ($[(Tb/Yb)_n < 1]$) et par une forte anomalie négative de Eu. De tels spectres sont observés dans les grenatites, dans les gneiss blancs à plagioclase, à cordiérite et à orthopyroxène, dans des gneiss alumineux riches en Fe ou en Mg et dans des gneiss quartzo-feldspathiques laminés avec sulfures. Cette signature des terres rares est généralement associée à une forte teneur en zirconium et à des rapports Nb/Ta et Hf/Sm suprachondritiques. Ce comportement des éléments traces suggère une interaction fluide-roche avec des solutions hydrothermales réductrices et, en conséquence, une participation de fluides riches en fluor (Fu *et al.*, 2003). Toutefois, cette mobilité des éléments traces et des terres rares ne semble pas liée à une signature hydrothermale en éléments majeurs particulière.

Les études récentes sur la mobilité des éléments traces au sein des gîtes à oxydes de fer-cuivre-or de la Province de l'Ours (Montreuil *et al.*, 2016) éclaireront d'un jour nouveau les mobilités observées au sein du système hydrothermal du complexe gneissique de Bondy.

Références

FU, W. – CORRIVEAU, L. – LAFLÈCHE, M.R. – BLEIN, O., 2003 – Birdwing-shaped REE profiles and Nb/Ta, Zr/Hf ratios in the Bondy Gneiss complex, Grenville Province, Québec: sensitive geochemical markers of fossil hydrothermal systems in high grade metamorphic terrains. Canadian Institute of Mining, 105th Annual General Meeting, Technical Paper (CD-ROM).

MONTREUIL, J.-F. – CORRIVEAU, L. – POTTER, E.G. – DE TONI, A., 2016 – On the relationship between alteration facies and metal endowment of iron oxide-alkali-altered systems, southern Great Bear Magmatic Zone (Canada). *Economic Geology*, v. 111.

G109

Potentiel de l'hydrogéochimie des eaux de surface pour l'exploration minérale

Silvain Rafini (CONSOREM-UQAC)

Cette étude a pour objet l'empreinte des minéralisations du socle sur la géochimie des eaux de surface (lacs, ruisseaux). Un premier volet présente trois études de gîtes connus issues de la littérature, en contextes affleurants, subaffleurants (20 m de till) et enfouis dans le socle (300 m). Dans les trois cas, la présence des gîtes se détecte par des anomalies métalliques très nettes dans les eaux superficielles en aval, lesquelles sont nettement plus marquées et larges que dans les sédiments. Les signatures anormales reflètent plusieurs fractionnements, y compris 1) l'influence variable du pH sur la solubilité des métaux (notamment en contexte « acide sulfaté » typique des sulfures massifs oxydés) et 2) leur mobilité variable dans le réseau d'écoulement souterrain alimentant les cours d'eau.

Un traitement statistique multivarié appliqué à environ 24 500 analyses ICP d'eau du bouclier ontarien (OGS) a démontré que le niveau de base décrit plusieurs domaines hydrogéochimiques essentiellement corrélés à la géochimie du socle (32 à 42 % de la variance) et aux effets anthropiques (salage, 14 à 17 %). Le premier facteur est l'aptitude des roches du socle à tamponner le pH de l'eau. Il constitue un « proxy » très net de la géologie du socle : pH élevés pour les ceintures de roches vertes (CRV) et intrusions alcalines et/ou post-tectoniques et pH plus faibles pour les larges provinces gneissiques et séries TTG. Les altérations hydrothermales associées aux failles majeures (CRV) se corrélient régionalement à des eaux alcalines, traduisant un transfert du CO₂ rocheux vers l'aquifère. Les domaines hydrogéochimiques conditionnent les niveaux de base en Zn, en Cu et en Au, de sorte que les concentrations brutes ne traduisent pas les concentrations du socle : pour l'exploration, l'efficacité des signaux non traités est donc mitigée. Un rehaussement des anomalies « vraies », c.-à-d. non liées aux aléas du bruit de fond, est requis. Les probabilités conditionnelles sur les gîtes connus montrent qu'un rehaussement très efficace est obtenu par normalisation sur Al. Cet élément très conservateur exhibe en effet une corrélation nulle, voire négative, avec les minéralisations, mais décrit des domaines régionaux comparables en première approximation à ceux du Zn et du Cu. Les valeurs normalisées sont donc de bons « proxys » pour les minéralisations, avec des taux d'anomalie proximaux aux gîtes qui atteignent le double de la normale, performance qui ne diminue pas en contexte de till épais, bien que les empreintes y soient plus dispersées en raison du transport glaciaire des anomalies.

G110

Interprétation des amas de sulfures massifs stériles

Dominique Genna (CONSOREM)

Les zones de pyrite et/ou de pyrrhotite massive génèrent des anomalies géophysiques importantes en exploration de sulfures massifs volcanogènes (SMV). Ce projet a pour objectif d'établir s'il est possible de discriminer les sections de pyrite et/ou de pyrrhotite massive associées à des minéralisations économiques (Cu-Zn) de celles faisant partie d'amas complètement stériles. Plus spécifiquement, est-on capable de prédire la présence de minéralisations économiques à proximité de zones stériles? Cette question est critique à des stades d'exploration précoces. Des réponses sont apportées par l'analyse détaillée de la chimie des sulfures massifs volcanogènes du district de Flin Flon. La Commission géologique du Canada offre une banque de données de plus de 150 analyses de sulfures massifs de 40 zones minéralisées provenant d'anciennes mines, des indices et des amas complètement stériles. Soixante éléments ont été analysés par fusion Li-tétraborate et ICP-AES pour les éléments majeurs, par dissolution aux quatre acides et ICP-MS pour les éléments mineurs et traces et par INAA pour l'As, l'Au, le Hg et le Se. À partir de cette banque de données, un diagramme multi-éléments illustrant le champ des gisements économiques d'affinité zincifère et cuprifère est proposé. Les éléments choisis sont généralement présents en traces dans les pyrites des systèmes minéralisateurs volcanogènes. Lorsque ces champs sont comparés aux patrons d'échantillons provenant d'amas stériles ou d'indices, trois éléments apparaissent discriminants. Il s'agit du Tl et de Sb pour les minéralisations d'affinité zincifère et du Se pour les minéralisations d'affinité cuprifère. Ces éléments sont enrichis d'au moins un ordre de grandeur lorsqu'il y a présence de minéralisation économique à proximité. Cet enrichissement se retrouve dans tous les environnements de SMV testés lors de cette étude. Ces trois éléments font partie du groupe des éléments volatils (point de fusion bas) et leur utilisation nécessite des précautions particulières lors de la dissolution des échantillons pour éviter leur volatilisation (typique lors des processus de fusion). Ils ont des comportements physico-chimiques (solubilité, transport, etc.) similaires aux métaux économiques (Zn et Cu), mais semblent plus mobiles dans les fluides hydrothermaux et sont susceptibles d'être fixés dans les sulfures stériles (en particulier la pyrite). De plus le Tl a un comportement ambivalent. Il peut se comporter à la fois comme chalcophile et lithophile, ce qui lui permet d'être incorporé à la fois dans la structure des sulfures et dans celle de certains silicates. Ce comportement ouvre des perspectives particulièrement intéressantes pour l'utilisation des éléments volatils en exploration (reconnaissance des halos d'altération, dispersion dans l'environnement secondaire, etc.).

G111

Étude prédictive du potentiel minéral pour les gîtes d'or orogénique du secteur de la Baie-James en utilisant le classificateur binaire HyperCube®

Éric Larouche (UQAC), Guillaume Allard (Revenu Québec), Réjean Girard (IOS), Clément Dombrowski (IOS) et Réal Daigneault (CERM-UQAC)

Le renouvellement des ressources minérales est un défi perpétuel et de nouvelles cibles doivent sans cesse être générées. L'élaboration de cartes de potentiel minéral est l'une des premières étapes de ce processus. Cependant, les méthodes et/ou algorithmes traditionnels ont des limitations. L'algorithme utilisé par le logiciel Hypercube®, développé par l'entreprise de solutions d'affaire BearingPoint, permet la prédiction d'événements rares, telle une présence minérale, de par sa capacité d'analyser d'importants groupes de données hétéroclites et de générer des règles de sélection basées sur l'association de multiples variables associées à un phénomène spécifique. Son efficacité a été démontrée par rapport aux autres méthodes dans divers secteurs comme la recherche médicale. Cependant, son utilisation par l'industrie minière était limitée par le fait qu'il ne peut gérer directement de données à référence spatiale. Le présent projet visait de tenter d'appliquer les algorithmes de prédiction d'Hypercube® aux problématiques de l'exploration minière en vue d'améliorer le ciblage dans des secteurs d'intérêt. Ceci a nécessité : 1) de développer un protocole permettant l'intégration d'Hypercube® dans le processus d'interrogation des données géoscientifiques ayant une référence spatiale et 2) de valider la performance des prédictions en effectuant des apprentissages sur une partie des gîtes connus sur un territoire et en validant la capacité d'Hypercube® à retrouver les gîtes masqués. Pour évaluer la performance du système, il a été décidé d'étudier un secteur ayant déjà fait l'objet d'une carte de potentiel par le MERN, en utilisant le même jeu de données et la même librairie de gîtes. La méthodologie fut établie majoritairement sur le formatage d'une base de données à partir des couches d'information du SIGÉOM ainsi que sur un processus itératif.

La détection des gîtes d'or orogéniques du secteur de la Baie-James a été choisie comme thématique, laquelle avait antérieurement été traitée par Allard *et al.* (2015). La carte du potentiel obtenue avec l'aide d'Hypercube® a bien reconnu les principales zones de potentiel associées aux roches volcano-sédimentaires déjà identifiées dans les travaux antérieurs. Toutefois le nouveau modèle se distingue par sa performance à reconnaître 95 % des gîtes cachés sur un apprentissage basé sur 50 % des gîtes totaux. Il est intéressant de noter que de nouvelles cibles d'exploration, qui n'ont pratiquement jamais fait l'objet de travaux, ont été relevées.

Le projet fut soutenu financièrement par IOS Services Géoscientifiques, les bourses Mitacs Accélération et le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles.

Référence

ALLARD, G. – GOUTIER, J. – LAMOTHE, D., 2015 – Évaluation du potentiel en minéralisations d'or de type orogénique, municipalité d'Eeyou Istchee Baie-James. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; EP 2015-01.

G118

Projet de géoparc de Charlevoix - une région sculptée par le ciel?

Pierre Verpaelst (Observatoire de la géosphère de Charlevoix) et Jean-Michel Gastonguay (Sciences@cecc)

Charlevoix constitue une destination touristique de choix, en grande partie à cause de son relief et de son climat, mais aussi en raison de son patrimoine culturel. Cependant, encore peu de gens savent que Charlevoix possède des caractéristiques géologiques uniques au Québec, et même au Canada, par son histoire géologique et les événements tectoniques et catastrophiques qui l'ont modelée et la modèle encore de nos jours.

La région de Charlevoix, c'est la rencontre de trois provinces géologiques importantes en Amérique du Nord :

- ▶ les roches précambriennes du Bouclier canadien au nord du Saint-Laurent;
- ▶ les roches paléozoïques de la Plate-forme du Saint-Laurent qui se trouvent juste au sud du Bouclier, principalement près de la rive nord du fleuve Saint-Laurent;
- ▶ les roches des Appalaches dont on retrouve des traces à l'île aux Coudres.

Toutes ces roches ont été témoins d'un impact météoritique qui a bouleversé la géologie, à partir de Petite-Rivière-Saint-François jusqu'à Saint-Siméon. Découvert en 1966, l'étude de l'astroblème de Charlevoix a permis d'identifier des structures et des roches typiques d'un impact météoritique. Son pic central et ses fosses annulaires sont parmi les structures les plus visibles et accessibles dans le monde.

Le projet de géoparc de Charlevoix a pour objectif de mettre en valeur de patrimoine géologique de Charlevoix, en faisant connaître les principaux éléments témoins de son histoire, de la naissance des Laurentides jusqu'aux phénomènes géologiques actuels qui constituent des risques naturels tels l'érosion des berges, les glissements de terrain et les tremblements de terre.

En plus du patrimoine géologique, le projet de géoparc intégrera les riches patrimoines préhistorique, historique et culturel de Charlevoix. C'est pourquoi le projet fera appel au partenariat de la Réserve de la biosphère de Charlevoix, l'Observatoire astronomique de Charlevoix ainsi que la communauté d'affaire de Charlevoix.

G121

Caractéristiques géochimiques et isotopiques du gisement de terres rares de Kipawa, Québec

Frédéric Fleury, Marc Constantin (UL) et Ross Stevenson (UQAM)

Le complexe syénitique de Kipawa s'est mis en place aux environs de 1,03 Ga, le long d'une faille de chevauchement dans la zone parautochtone de la Province de Grenville (Témiscamingue québécois). Les roches du complexe sont constituées principalement de syénites hyperalcalines agpaitiques noires et blanches (albite, microcline, ægyrine, richtérite) qui sont traversées par des lentilles de roches calcosilicatées et skarnifères. Les minéraux exotiques présents comprennent des silicates (eudialyte, mosandrite, britholite, vlasovite, gittinsite) et quelques phosphates, y compris l'apatite. Ces minéraux sont fortement enrichis en terres rares lourdes (33 % terbium à lutétium+yttrium) et en zirconium.

Dans le cadre du projet DIVEX sur les terres rares, la signature géochimique et les processus de formation du gisement de Kipawa ont été caractérisés au moyen de techniques linéaires et multivariantes (*clustering*, analyse par discriminants, poids relatifs) ainsi que par des mesures isotopiques de Sm-Nd sur roches totales.

Les données géochimiques du gisement (1 450 analyses d'éléments majeurs et traces) se répartissent naturellement en cinq grands groupes : 1) granites alcalins et aux syénites à quartz; 2) syénites; 3) syénites à néphéline; 4) roches calco-silicatées et amphibolites; 5) skarns. Ces groupes s'organisent en trois grandes tendances géochimiques linéaires, soit une tendance syénitique allant des granites alcalins aux syénites à néphéline (Si et K vs Mg, Ba et P), une tendance calco-alcaline allant des syénites à néphéline aux roches calco-silicatées et aux amphibolites (Ga vs un enrichissement en Mg, en Ca et en terres rares) et une tendance skarnifère principalement dans les skarns (Zn et Mn vs LOI, Ca et Mg). Les hautes teneurs en terres rares se concentrent vers les syénites les plus sous-saturées ainsi que les amphibolites, les roches calco-silicatées et puis les skarns, tandis que le zirconium se polarise vers les syénites et granites les plus saturés en silice.

Les dix échantillons soumis pour analyse isotopique donnent quant à eux un ϵNd de -8,7 sur un *errorchron* de $1,038 \pm 180$ Ma (MSWD 16) avec $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ entre 0,167 et 0,115, ce qui correspond bien aux âges U-Pb disponibles dans la littérature. L' ϵNd fortement négatif est en accord avec une contamination crustale importante à Kipawa, sous l'effet soit d'un mélange de magma entre une source mantellique produite autour de 1,03 Ga et des contaminants crustaux d'âges archéens, soit la refonte de composants purement crustaux autour de cette même date. Ceci contraste avec Ilimaussaq et Khibina-Lovozero, localités types pour les complexes de type hyperalcalin, où une origine principalement mantellique est supposée.

La nature de la minéralisation en ETR du gîte Ashram, Complexe carbonatitique d'Eldor au Québec

Caitlin M.J. Béland et Anthony E. Williams-Jones (McGill)

Jusqu'à tout récemment, la minéralisation en ETR encaissée dans des carbonatites était considérée comme étant d'origine magmatique. Un nombre croissant d'études suggère toutefois que les fluides (carbo)hydrothermaux ont joué un rôle important dans la formation de ces gisements. La compréhension des processus qui contrôlent le transport et la déposition de quantité exploitable d'ETR est cruciale pour le développement de méthodes d'exploration efficaces. Le Complexe carbonatitique d'Eldor et le gîte d'ETR Ashram représentent un laboratoire naturel idéal pour déterminer la paragenèse des minéraux porteurs d'ETR, définir les contrôles dominants (magmatiques et hydrothermaux) de la déposition des minéraux d'ETR et développer des vecteurs afin de localiser les minéralisations en ETR potentiellement économiques encaissées dans des carbonatites. Les textures observées dans les échantillons des zones de minerai du gîte Ashram indiquent que les minéraux d'ETR ont précipité à partir de fluides hydrothermaux, bien que cela n'élimine pas nécessairement la possibilité qu'il y ait eu préconcentration magmatique. Les minéraux d'ETR – la monazite-(Ce) (ETRPO_4), la bastnaésite-(Ce) (ETRCO_3F), le xénotime-(Y) (YPO_4) et, dans une moindre mesure, l'aeschynite-(Y) ($[\text{Y,Ca,Fe}][\text{Ti,Nb}]_2[\text{O,OH}]_6$) – sont présents sous forme de disséminations dans la matrice des brèches, dans des veines et en remplissage de vacuoles. La monazite-(Ce) est le premier minéral à apparaître, suivie par le xénotime-(Y) et la bastnaésite-(Ce). Fait important à noter, la minéralogie varie considérablement dans les différentes parties du gîte; par exemple, la zone MHREO est plus riche en xénotime-(Y) et en aeschynite-(Y) tandis que la zone BD est plus riche en bastnaésite-(Ce). La composition des principaux minéraux d'ETR varie également selon leur emplacement dans le gîte, particulièrement au niveau des ratios $\text{La}_2\text{O}_3/\text{Nd}_2\text{O}_3$ et $\text{Dy}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3$, ce qui pourrait indiquer une étape de préconcentration magmatique et/ou de multiples phases de minéralisation hydrothermale. La présence de monazite-(Ce) adjacente à des grains d'apatite et à l'intérieur de ceux-ci suggère le remplacement de l'apatite par la monazite-(Ce), avec une substitution du Ca par les ETR. Une conclusion similaire a été tirée pour le xénotime-(Y). Toutefois, les textures et les compositions chimiques des minéraux indiquent que la bastnaésite-(Ce) (zone BD) s'est développée en remplacement de la monazite-(Ce) par échanges de ligands (F^- , CO_3^{2-} pour PO_4^{3-}), tout en préservant la composition chimique en ETR. Ces observations suggèrent que le gîte Ashram est le produit d'un processus minéralisateur de longue durée, au cours duquel le raffinage de zones magmatiques combiné à la mobilisation hydrothermale a contribué à la formation d'un gîte encaissé dans des carbonatites qui présente un potentiel considérable pour l'exploitation d'ETR particulièrement recherchés comme le néodyme et le dysprosium.

ACRONYMES

ACPE : Association canadienne des prospecteurs et entrepreneurs

AEM: *Agnico Eagle Mines*

AMQ : Association minière du Québec

ATIAT: Abitibi -Timiskaming Institut(e) d'Abitibi-Témiscamingue

BAPE : Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (Gouvernement du Québec)

BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières, France

CCIM-Ottawa : Conseil canadien de l'innovation minière

CCSN: The Canadian Nuclear Safety Commission

Cégep A-T : Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue

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

CGC : Commission géologique du Canada

CGC-CB : Commission géologique du Canada, Colombie-Britannique

CGC-CC : Commission géologique du Canada, Centre du Canada

CGC-O : Commission géologique du Canada, Ottawa

CGC-Q : Commission géologique du Canada, Québec

CGO : Commission géologique de l'Ontario

CGTNL : Commission géologique de Terre-Neuve-et-Labrador

CIM: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum

CMIC: Canadian Mining Innovation Council

CNRC : Conseil national de Recherche Canada

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

CNSC: Canadian Nuclear Safety Commission

CONSOREM : Consortium de recherche en exploration minière

CRCMM-UQAC : Chaire de recherche du Canada en métallogénie magmatique, Université du Québec à Chicoutimi

CRCMM-UQAC : Canada Research Chair in Magmatic Metallogeny, Université du Québec à Chicoutimi

CRÉ : Conférence régionale des élus

CRÉBJ : Conférence régionale des élus de la Baie-James

CREM : Centre de recherches en exploration minière, Université Laurentienne

CRPG : Centre de recherches pétrographiques et géochimiques, France

CRRNTBJ : Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire de la Baie-James

CRSNG (RDC) : Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada

CSMO-Mines : Comité sectoriel de main d'œuvre de l'industrie des mines

DIVEX : Diversification de l'exploration minière du Québec (Réseau de recherches géoscientifiques)

ENSG/CRPG : Université Nancy, École nationale supérieure de Géologie / Centre de recherches pétrographiques et géochimiques

FEMN : Fonds d'Exploration Minière du Nunavik

FQRNT : Fonds québécois de recherche sur la nature et les technologies

GC-DLG : Géomatique Canada - Division des levés géodésiques

GC-GSD: Geomatic Canada - Geodesic Survey Division

GEMOC: ARC National Key Centre for Geochemical Evolution and Metallogeny of Continents, Macquari University, Sydney, Australia

GEOTOP UQAM-McGILL : Centre de recherche en géochimie et en géodynamique de l'Université du Québec à Montréal et de l'Université McGill

GESRIM : Chaire de recherche CRDI (Canada) en gestion et stabilisation des rejets industriels et miniers, Université de Cadi Ayyad, Marrakech

GSC: Geological Survey of Canada

GSC-O: Geological Survey of Canada – Ottawa

GSC-Q: Geological Survey of Canada – Québec

GSNL: Geological Survey of Newfoundland and Labrador

ICM : Institut canadien des mines, de la métallurgie et du pétrole

INMQ : Institut national des mines

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

INRS-EMT : Institut national de la recherche scientifique – Centre Énergie Matériaux Télécommunications

LAGAGE : Laboratoire de Géologie appliquée et Géo-Environnement

LA-ICP-MS: Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

LAMEQ : Laboratoire de métallogénie expérimentale et quantitative

LERME : Laboratoire d'études des ressources minérales et énergétiques

MBR : Multi-Ressources Boréal

MDDEFP : Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs

MERC: Mineral Exploration Research Centre

MISA : Mines, innovations, solutions et applications

MPMPS: Mineral potential maps production system

MERN : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

NAP: North American Palladium

NRCC: National Research Council Canada

NTS: National Topographic Series

OGR: Osisko Gold Royalties

OGS: Ontario Geological Survey

PDAC: Prospectors and Developers Association of Canada

Polytechnique : Polytechnique Montréal

RAO : Redevances aurifères Osisko

RTFT : Rio Tinto Fer et Titane

SMV : sulfures massifs volcanogènes

SPCPM : Système de production des cartes de potentiel minéral (MRN)

UdeS : Université de Sherbrooke

UL : Université Laval

UMI Takuvik : Unité Mixte Internationale Takuvik

UQAC : Université du Québec à Chicoutimi

UQAC-IRME : Université du Québec à Chicoutimi – Institut de recherche en mines et en environnement

UQAM : Université du Québec à Montréal

UQAT : Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

URSTM-UQAT : Unité de recherche et de service en technologie minérale de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

