

RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES ET DES PHOTOPRÉSENTATIONS DV 2017-03



QUEBECMINES.GOUV.QC.CA

Coordonnateurs

Simon Auclair, géo.
Charlotte Grenier

Traduction et révision linguistique

Venetia Bodycomb
Michèle Mainville
Marie Racine, ing.

Révision des textes

Claude Dion, ing.

Conception graphique

Marie-Eve Lagacé

Couverture, mise en page

Marie-Eve Lagacé

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

Acceptabilité sociale : au-delà du concept, des outils concrets pour l'industrie minière

Les orientations du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles en matière d'acceptabilité sociale ...	8
L'orientation gouvernementale en aménagement du territoire pour l'activité minière : un pas de plus vers l'acceptabilité sociale.....	8
Vers une certification dans le domaine de l'exploration minière basée sur les principes de développement durable.....	9
Analyse régionale de la perception et de l'acceptabilité sociale du développement minier au Québec	9
L'importance d'une relation durable : l'exemple du projet Dumont.....	10
Le consentement des Premières Nations : un facteur essentiel de l'acceptabilité sociale des projets miniers en territoires autochtones.....	10

SÉANCE 2

Signature géochimique des minéraux indicateurs : application à l'exploration

La Chaire de recherche industrielle CRSNG-Agnico Eagle en exploration minérale.....	11
La scheelite et la tourmaline comme minéraux indicateurs des gîtes d'or de type orogénique	11
Signatures en éléments traces des sulfures de dépôts glaciaires dans la Province de Churchill : implications pour la prospection glacio-sédimentaire.....	12
Les minéraux indicateurs de minéralisations : de la théorie à la pratique!	12

SÉANCE 3

Les énergies pour les mines : les batteries jalonnent le développement minier en transformant les défis en possibilités

Les véhicules miniers électriques : un tour d'horizon.....	13
Étude de la performance d'équipements alimentés par batteries à la mine Westwood.....	13

SÉANCE 4

Perspective en matière d'offre et de demande mondiale des ressources minérales à l'horizon 2020

Prévision du marché et des prix des métaux	14
Portrait de l'industrie minière canadienne : la place du Québec.....	14
Secteur minier : appui, financement et occasions d'affaires pour les entreprises canadiennes à l'étranger	15

SÉANCE 5

La Province de Grenville : son histoire tectonique et son potentiel minéral

Fluage chenalisé (<i>channel flow</i>), effondrement gravitaire, prisme orogénique? Tester les « nouveaux » modèles tectoniques dans la Province de Grenville	15
Minéralisations en Ni-Cu-(EGP) dans la Province de Grenville : état des connaissances et nouvelles perspectives	16
Le zinc dans les marbres du Supergroupe de Grenville aux États-Unis et au Canada	16

SÉANCE 6

Exemples innovants de valorisation et de restauration des résidus miniers

Valorisation des résidus miniers d'amiante par la production de magnésium métallique.....	17
Projet Whabouchi : de la fermeture à l'exploitation.....	17
Comportement environnemental des rejets de la mine Whabouchi : stratégie de recherche et de développement... ..	18
Confinement de la kimberlite usinée et restauration à la mine Renard.....	18
Production d'un concentré d'apatite à partir des rejets de la mine Niobec	19
Restauration du site minier Barvue	19

SÉANCE 7

La relation entre les mines et le lithium-ion

LiBTec, le groupe de R-D industriel du CNRC en technologies Li-ion	20
La commercialisation de matériaux à base de silicium pour les batteries au Li-ion	20
L'intégration des procédés métallurgiques chimiques pour la purification des concentrés : hydrométallurgie, pyrométallurgie et électrochimie	21

SÉANCE 8

Volets 1 et 2 – Organisation minière numérique

Industrie 4.0 : les leçons du manufacturier	21
Survol des expertises du CEFRIO : la transformation numérique de vos processus à l'acquisition des compétences numériques	22
Amélioration continue et organisation minière	22
Audit numérique et organisation minière	23

SÉANCE 9

Métallogénie de l'or – Nouveaux concepts et leurs applications

Source des fluides dans les gîtes d'or de type orogénique...	23
Or synvolcanique : contributions récentes à l'évolution des modèles génétiques et d'exploration	24

SÉANCE 10

Les défis et les innovations en ingénierie minière

Implantation de nouvelles technologies et déploiement du réseau LTE au complexe LaRonde	24
Minrail : une nouvelle approche pour l'extraction du minerai dans les gisements à faible pendage.....	25
Introduction de la technologie Rail-Veyor à la mine Goldex.	25
Hecla Québec – L'automatisation et l'optimisation au profit de nos exploitations	26
Agnico-Eagle – Lapa : nouvelles techniques de forage et de dynamitage dans un contexte de fermeture	26

SÉANCE 11

La silice : exemples d'utilisations dans les nouvelles technologies

Potentiel de minéralisation en silice au Québec.....	27
Extraction de la silice pour l'industrie du silicium métal	27
Métallurgie du silicium.....	28
Marchés du silicium.....	28
Usages de haute technologie du silicium.....	29

SÉANCE 12

Volets 3 et 4 – Organisation minière numérique

Culture et réflexes des exploitants miniers dans le contexte et les exigences de l'industrie 4.0.....	29
Projet 4.0 et organisation minière	30

SÉANCE 13

Minéralisation aurifère au sein de la Sous-province de l'Abitibi

Or orogénique en Abitibi – synthèse de 15 années de recherche au CONSOREM	30
Caractérisation métallogénique et structurale des gisements aurifères Triangle et Cheminée n° 4, Val-d'Or, Abitibi	31
Nouvelle vision de la minéralisation aurifère du gisement Goldex, Val-d'Or, Abitibi.....	31
Le métamorphisme et l'or de type orogénique en Abitibi.....	32
Magmatisme alcalin et minéralisations aurifères en Abitibi.....	32
Le projet MetalEarth.....	33

SÉANCE 14

La métallurgie appliquée à l'extraction de l'or

La modélisation des circuits CIP et CIL de SGS – Théorie et applications	33
Extraction d'or par chloruration : résultats d'une campagne de démonstration sur un concentré réfractaire.....	34
Hydrométallurgie de l'or, de l'anode de cuivre au lingot d'or.....	34
Affinage de l'or, du doré au lingot	35
Addition de NaCN au broyage versus au circuit de lixiviation	35

SÉANCE 15

Les minéraux de l'innovation énergétiques et leurs effets bénéfiques sur la demande de métaux usuels

Le secteur minier, élément-clé de positionnement du Québec dans l'économie émergente de l'énergie renouvelable	36
La transformation du graphite pour les batteries Li-ion.....	36
La batterie à électrolyte solide lithium métal-polymère	37
L'usine P1P de Nemaska Lithium : progression du projet de démonstration et aperçu des possibilités offertes par la technologie électrochimique de production directe de l'hydroxyde de lithium pour d'autres applications	37
Matériaux cathodiques pour batteries au lithium-ion	38
Le Nickel, un avenir brillant... et énergisant.....	38

SÉANCE 16

L'économie circulaire : une opportunité pour le secteur minier

Osons car le meilleur est avenir : économie circulaire et métaux.....	39
Résultats d'une étude sur l'économie circulaire appliquée à trois métaux stratégiques pour le Québec	39
Approche circulaire de l'industrie métallurgique à Sorel-Tracy : l'importance de l'innovation.....	40
La technologie électrochimique au service de l'économie circulaire chez Nemaska Lithium.....	40
Panel – Les freins et les leviers de l'économie circulaire au Québec	41

SÉANCE 17

L'or en terrains métamorphisés – l'exemple du territoire d'Eeyou Istchee Baie-James : vers une compréhension approfondie

Le gisement aurifère Éléonore, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur : un système hydrothermal fertile et complexe dans un environnement hypozonal.....41

L'indice Mustang : géologie d'une minéralisation aurifère mise en place dans les turbidites de la ceinture de la Basse-Eastmain, Eeyou Istchee Baie-James42

Projet aurifère Eau Claire : nouvelle ressource – nouvelles idées et interprétations42

Métallogénie des minéralisations d'or de type orogénique le long du contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, Eeyou Istchee Baie-James43

Prospection glaciocédimentaire pour l'or dans la région du lac Nemiscau (portion nord du feuillet SNRC 32N).....43

L'ouest de la Grande Rivière et de la rivière Eastmain : deux domaines aurifères distincts possiblement liés.....44

RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES

SÉANCE 1

Les orientations du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles en matière d'acceptabilité sociale

Marc Leduc (MERN)

Le 24 janvier 2017, le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles a dévoilé cinq orientations en matière d'acceptabilité sociale.

Ces orientations sont le fruit du diagnostic, posé à l'automne 2015, portant sur les pratiques et les outils de planification et de gestion du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. Elles tiennent compte également des préoccupations soulevées lors des consultations particulières sur le livre vert et, enfin, de la volonté tangible du Gouvernement du Québec de déployer les efforts nécessaires pour favoriser le dialogue entre les parties et concilier la prospérité économique et le respect des milieux de vie.

Tous les éléments sont en place pour concrétiser les actions auxquelles le Ministère s'est engagé. Par exemple, en ce qui a trait à la planification territoriale, la révision de l'approche actuelle d'affectation du territoire public, qui vise une plus grande participation citoyenne, est en cours. De la même façon, au niveau de l'élaboration et du développement des projets miniers et énergétiques, un accompagnement accru auprès des promoteurs et des communautés locales par un chargé de projet du réseau régional du Ministère se met graduellement en place.

La mise en œuvre des orientations est donc bien amorcée. Au cours des prochains mois et des prochaines années, plusieurs outils seront proposés aux acteurs qui souhaitent développer et mener à bien des projets en tenant compte des besoins, des valeurs et des préoccupations des communautés locales concernées.

Ces mesures favoriseront une mise en valeur optimale du territoire ainsi que des ressources énergétiques et minérales, et ce, en s'appuyant sur un consensus le plus large possible dans les communautés d'accueil.

SÉANCE 1

L'orientation gouvernementale en aménagement du territoire pour l'activité minière : un pas de plus vers l'acceptabilité sociale

Hélène Giroux (MERN)

L'activité minière est indissociable du territoire sur lequel elle se déroule. L'une des mesures de nature à favoriser l'acceptabilité sociale du développement minier est liée à l'aménagement du territoire par les instances municipales régionales et à la participation des citoyens et des intervenants miniers lors de cet exercice. Cette séance portera sur l'orientation du gouvernement en aménagement du territoire relativement à l'activité minière ainsi que sur le nouveau pouvoir des municipalités régionales de comté de délimiter des territoires incompatibles avec l'activité minière dans leur schéma d'aménagement et de développement. Sur la base du document d'orientation, annoncé en janvier 2017, les MRC pourront favoriser une cohabitation harmonieuse de l'activité minière avec les autres utilisations du territoire. Cette nouvelle orientation contribuera à une meilleure acceptabilité sociale des projets miniers.

SÉANCE 1

Vers une certification dans le domaine de l'exploration minière basée sur les principes de développement durable

Joanie Caron (UQAT/UQAM)

L'Association de l'exploration minière du Québec (AEMQ) a entrepris le projet « Certification selon les principes de développement durable » en 2013, dans l'objectif d'implanter une norme de certification sectorielle favorisant les bonnes pratiques environnementales, sociales et économiques par les entreprises d'exploration et leurs fournisseurs de services. La Chaire en entrepreneuriat minier UQAT-UQAM (CEM) a participé à l'élaboration de la norme, en collaboration avec l'AEMQ et le groupe MISA, puis elle a été désignée comme maître d'œuvre de sa réalisation.

La première phase, l'élaboration de la norme, est l'œuvre d'une équipe interdisciplinaire regroupant des spécialistes en sciences de la gestion, en sciences de la Terre, en sciences de l'environnement et en sciences sociales. Elle a commencé par acquérir des connaissances essentielles pour orienter les décisions relatives au développement de la norme de certification, mettre à profit les normes existantes et les autres initiatives en cours et s'assurer de répondre aux attentes des parties prenantes en matière de développement durable, tout en respectant la nature des activités d'exploration et les capacités des entreprises de l'industrie.

La participation de l'ensemble des parties prenantes liées à l'industrie de l'exploration minière a été jugée essentielle afin d'obtenir une norme consensuelle crédible et susceptible de favoriser l'acceptabilité sociale des projets miniers développés par les entreprises certifiées. Cette participation a pris différentes formes lors de la rédaction de la norme : enquête auprès d'experts pour déterminer les principes et critères à la base de la norme; questionnaire servant à définir les exigences reliées au principe de qualité de vie; comité de normalisation (responsable de statuer sur le contenu de la norme) composé, de façon équilibrée, de représentants des différentes parties; consultation publique ayant permis d'en bonifier le contenu et d'assurer l'applicabilité des exigences. La CEM a terminé la rédaction de la norme en octobre 2016.

La deuxième phase, consacrée à la diffusion et à la promotion de la certification sous la responsabilité de l'AEMQ, est en cours. Celle-ci vise la publication et la diffusion de la norme de certification selon les principes de développement durable par un organisme indépendant, ainsi que son adhésion auprès des entreprises d'exploration et de leurs fournisseurs de services. Plusieurs outils sont en développement et des essais pilotes, ayant pour objectif la mise à l'essai de la norme auprès de différents types d'entreprises du secteur, sont également prévus.

SÉANCE 1

Analyse régionale de la perception et de l'acceptabilité sociale du développement minier au Québec

Frédéric Malo (UL/INRS-ETE)

La décision d'aller de l'avant avec un projet de développement minier ne se fait plus uniquement sur des considérations économiques. En plus des considérations environnementales et de santé publique, les compagnies doivent maintenant obtenir une licence sociale pour opérer. L'obtention de cette licence dépend du niveau d'acceptabilité sociale du projet, mais également de l'industrie à l'échelle régionale et nationale. Mieux comprendre comment l'industrie minière est perçue et évaluer les connaissances des citoyens dans ce domaine est nécessaire pour déterminer si l'industrie possède un bon niveau d'acceptabilité sociale. Grâce à une subvention de recherche du Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FRQNT), en partenariat avec le MERN et l'industrie minière, l'équipe de l'INRS a réalisé un sondage d'opinion auprès des Québécois afin de brosser un portrait de l'acceptabilité sociale des projets d'exploitation des ressources minérales dans la province. Les résultats ont été analysés à partir de concepts psychologiques 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 des chercheurs australiens qui soutient que la confiance envers l'industrie minière est cruciale pour obtenir l'acceptabilité des activités minières par la population. Ce modèle permet d'identifier les principaux prédicteurs d'acceptabilité sociale des projets miniers. Les résultats obtenus et analysés en fonction du modèle causal permettent de cibler des pistes de solution favorisant des approches de gouvernance gouvernementale et entrepreneuriale des projets miniers mieux adaptée au contexte québécois. Le sondage permet de comparer la perception et l'acceptabilité sociale en fonction des différentes régions du Québec. Les résultats du sondage indiquent comme prévu une disparité entre les régions minières et non minières. Les régions minières ont un niveau de soutien significativement plus élevé envers le développement minier que les régions non minières et leur niveau d'opposition est sensiblement plus bas. Il en va de même pour la confiance à l'égard de l'industrie. Enfin, le manque de connaissances des Québécois à l'égard du développement minier est marqué.

SÉANCE 1

L'importance d'une relation durable : l'exemple du projet Dumont

Pierre-Philippe Dupont (RNC Minerals)

Cette conférence présente le cas du projet Dumont, un projet nickélique d'exploitation à ciel ouvert d'envergure situé dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue détenant les principales autorisations pour aller de l'avant. Au cours des phases de développement et de mise en valeur, RNC Minerals, anciennement Royal Nickel Corporation, a mis au point une approche visant à établir des relations saines et durables avec les diverses parties prenantes, y compris les voisins, les municipalités ainsi que les communautés autochtones. La conférence décrit les principaux outils, notamment les éléments clés des ententes convenues avec ces acteurs. Elle abordera également le défi du maintien de la relation avec les différents partenaires et parties prenantes dans un contexte où le développement du projet est ralenti par l'état des marchés.

SÉANCE 1

Le consentement des Premières Nations : un facteur essentiel de l'acceptabilité sociale des projets miniers en territoires autochtones

Ghislain Picard (APNQL)

L'acceptabilité sociale est un concept relativement nouveau qui se trouve de plus en plus au centre des discussions entourant les projets de développement. Au Québec, le MERN a récemment publié ses orientations en la matière dans son livre vert sur l'acceptabilité sociale et différents chercheurs se sont penchés sur ce concept. Si ces travaux fournissent des pistes pour mettre en place des outils et des mécanismes afin de favoriser l'acceptabilité sociale des projets, il est nécessaire de réfléchir davantage à la place et au rôle des Premières Nations dans ces processus. Par exemple, de quelle façon l'acceptabilité sociale s'intègre-t-elle aux droits des Premières Nations? Quels sont les liens entre acceptabilité sociale et consentement pour les Premières Nations?

Actuellement, la question de l'acceptabilité sociale pour les Premières Nations est traitée à travers deux processus distincts. Lorsqu'il est sujet de projets de développement des ressources naturelles, le gouvernement a l'obligation de consulter et, s'il y a lieu, d'accommoder les communautés autochtones. La négociation d'ententes commerciales privées entre les Premières Nations et les promoteurs miniers constitue le deuxième moyen visant l'acceptabilité sociale des projets par les Premières Nations.

La consultation et la négociation d'ententes comportent des avantages certains, mais comprennent également certaines limites quant à l'intégration des droits et des intérêts distincts des Premières Nations. Le droit des Premières Nations d'être consultées et accommodées va au-delà de la notion d'acceptabilité sociale, dont la définition globale serait l'approbation générale d'un projet dans une société, et qui est sans obligation légale. Quant à la négociation et la signature d'ententes, si elles peuvent constituer des opportunités économiques pour les Premières Nations, elles ne sont pas toujours bénéfiques pour les communautés touchées. Ainsi, les Premières Nations peuvent se voir contraintes de négocier dans le but d'aller chercher le maximum de retombées positives pour des projets qui pourraient autrement se voir autorisés sans leur consentement.

Par conséquent, bien qu'elles puissent participer au dialogue citoyen entourant ce concept émergent, l'acceptabilité sociale d'un projet n'est en aucun cas synonyme de consentement pour les Premières Nations. Le consentement libre, préalable et éclairé dont elles bénéficient, un principe qui est largement reconnu en droit international, notamment dans la DNUDPA, devrait constituer une composante essentielle de l'acceptabilité sociale des projets d'exploitation des ressources naturelles.

Une réflexion concertée pour le développement d'outils concrets visant la mise en œuvre du consentement des Premières Nations à travers le processus d'acceptabilité sociale est nécessaire pour le développement durable de nos territoires, et ce, au bénéfice de tous.

SÉANCE 2

La Chaire de recherche industrielle CRSNG-Agnico Eagle en exploration minérale

Georges Beaudoin (UL)

La Chaire de recherche industrielle CRSNG-Agnico Eagle en exploration minérale est un partenariat entre le Conseil de recherche en sciences naturelles et génie du Canada, Mines Agnico Eagle, le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec et l'Université Laval. Fondée en 2012, elle entreprend en 2017 un deuxième mandat de cinq ans. Durant son premier mandat, son programme scientifique avait pour objectif le développement de méthodologies utilisant les minéraux indicateurs pour détecter les gîtes d'or de type orogénique. Ainsi, trois études de cas (Kittilä, Val-d'Or, Meliadine) avaient pour objet de comparer la composition de minéraux indicateurs des gisements avec celle des sédiments glaciaires en amont et en aval des trains de dispersions glaciaires. Des inventaires des variations de composition des minéraux indicateurs (rutile, scheelite, tourmaline) dans les gisements d'or de type orogénique ont aussi été réalisés, en plus de l'intérêt porté à la composition chimique de l'or dans une variété de gisements aurifères ainsi qu'à la forme de l'or dans les sédiments glaciaires, éoliens et fluviaux.

Pour son deuxième mandat, la Chaire va étudier la composition chimique de la chalcoprite dans des gisements représentatifs à l'échelle mondiale. Elle poursuit également ses travaux sur les gîtes d'or de type orogénique, notamment par des études visant à améliorer la discrimination chimique de la tourmaline et de la scheelite de ces gîtes en la comparant à celle d'autres sources et pour déterminer la distance à laquelle on peut reconnaître la trace d'un gîte d'or de type orogénique dans des sédiments glaciaires. Finalement, à sa contribution s'ajoute la mise au point de méthodologies d'exploration utilisant les appareils portables pour accroître l'efficacité des équipes d'exploration.

SÉANCE 2

La scheelite et la tourmaline comme minéraux indicateurs des gîtes d'or de type orogénique

Marjorie Sciuba (UL)

La scheelite et la tourmaline sont deux minéraux associés aux minéralisations des gîtes d'or orogéniques, mais sont également présentes dans d'autres types de gîtes tels des skarns, des porphyres ou des greisens. Notre étude porte sur la signature géochimique de la scheelite et de la tourmaline pour en distinguer la provenance, en vue de leur utilisation comme minéraux indicateurs lors de campagnes d'exploration. Les scheelites et les tourmalines étudiées proviennent de gisements de classe mondiale et de sites sélectionnés qui possèdent des paramètres géologiques variés tels la composition et le faciès métamorphique de la roche encaissante ou l'âge du gisement. Les scheelites et les tourmalines ont été analysées par microsonde et par ablation laser et spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif. La composition chimique a été étudiée par des méthodes statistiques multivariées : analyses en composantes principales (ACP) et analyses discriminantes de régression des moindres carrés partiels (AD-MCP). Les ACP de la scheelite montrent que la composition en éléments traces varie selon la composition et le faciès métamorphique de la roche encaissante, alors que l'âge de la minéralisation ne constitue pas un facteur. Les ACP indiquent également que les éléments des terres rares ne varient pas selon le type de gîtes. Par contre, le Sr, le Mo, l'Eu, l'As et le rapport Sr/Mo permettent de différencier la scheelite provenant des gîtes d'or orogéniques de celle issue d'autres types de gîtes. Pour la tourmaline des gîtes d'or orogéniques, sa texture et sa couleur en lumière naturelle sont très variables. Elle est alcaline avec une composition dravitique à schorlitique. Les AD-MCP révèlent qu'il est possible de classer la tourmaline selon la composition de la roche encaissante. Ces analyses statistiques indiquent également que la composition chimique de la tourmaline des gisements encaissés dans des roches métamorphisées du faciès des schistes verts inférieur au faciès des amphibolites inférieur diffère de celle des gisements encaissés dans des roches métamorphisées au faciès des amphibolites. Les diagrammes binaires ainsi que les analyses multivariées montrent que la composition en éléments en traces de la tourmaline des gîtes d'or orogéniques est distincte de celle de la tourmaline provenant d'autres types de gîtes et d'environnements géologiques. La composition chimique de la scheelite et de la tourmaline permet de distinguer la source des grains récoltés dans un concentré de minéraux lourds de sédiments superficiels.

SÉANCE 2

Signatures en éléments traces des sulfures de dépôts glaciaires dans la Province de Churchill : implications pour la prospection glacio-sédimentaire

Charley Duran (UQAC)

Le sud-est de la Province de Churchill, dans le Grand Nord québécois, a été façonné par l'activité des calottes glaciaires continentales qui ont érodé le socle rocheux et déposé d'importantes quantités de matériau granulaire. Cette épaisse couche de sédiments du Quaternaire représente un obstacle pour la cartographie géologique et l'exploration minière. Dans ce contexte, l'utilisation des outils de prospection glacio-sédimentaire (échantillonnage et chimie de dépôts glaciaires et minéraux indicateurs) s'avère une option appropriée afin de caractériser le potentiel minéral d'une région donnée.

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 1200 échantillons (till et esker) ont été prélevés sur une zone couvrant l'équivalent de quatre feuillets SNRC à l'échelle 1/250 000 et des indices en Ni-Cu-EGP et en Cu-Zn-Mo ont été identifiés. Les échantillons de till et d'esker de ces secteurs montrent en effet un contenu important en sulfures (des milliers de grains de pyrite et de chalcopryrite), soulignant le potentiel pour les contextes métallogéniques préalalement cités. De plus, l'utilisation des sulfures comme minéraux indicateurs présente une multitude d'avantages, comme de constituer la minéralisation de divers gisements, d'être peu répandus dans les roches stériles et d'avoir des signatures en éléments traces variables selon leur environnement de formation. La chimie des sulfures provenant de dépôts glaciaires n'a cependant jamais été étudiée. Ce projet vise à caractériser la signature en éléments traces de sulfures provenant de dépôts glaciaires de la Province de Churchill pour discriminer la source de ceux-ci, et contribuer ainsi à documenter le potentiel minéral de cette région.

Les résultats préliminaires montrent que les grains de pyrite et de chalcopryrite sont relativement bien préservés. Les grains les plus altérés présentent une fine couronne d'oxydation systématiquement enrichie en W et en La, témoignant de la mobilité de ces éléments dans la matrice des sédiments glaciaires. Les éléments chalcophiles ne montrent aucun enrichissement ou appauvrissement dans la couronne d'oxydation, indiquant que ces éléments ne sont pas mobilisés et que la composition des sulfures représente leur composition originelle. Les grains de pyrite et de chalcopryrite présentent des compositions variables (plusieurs ordres de magnitude) pour les éléments suivants : Co, Ni, Zn, As, Se, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Au, Hg, Tl, Pb et Bi, lesquels ressortent explicitement sur les cartographies élémentaires multigrains effectuées par LA-ICP-MS.

En comparant les signatures en éléments traces avec les données de sulfures d'origine magmatique et hydrothermale disponibles dans la littérature, il est possible de différencier la source des sulfures présents dans les dépôts glaciaires de la Province de Churchill. Un diagramme binaire Co/Sb vs Se/As révèle une majorité de grains de pyrite d'origine magmatique et une petite population d'origine hydrothermale. Un diagramme ternaire Ni-Cd-Se laisse paraître une tendance d'origine hydrothermale et une autre d'origine magmatique pour la chalcopryrite. Par conséquent, les résultats montrent une diversité de sources pour les sulfures présents dans les dépôts glaciaires de la zone d'étude, soulignant un potentiel pour des minéralisations magmatiques et hydrothermales. Les travaux subséquents permettront de mettre en relation la chimie des sulfures avec la dynamique glaciaire du secteur afin d'établir des vecteurs d'exploration et de circonscrire des cibles favorables pour les différents types de minéralisation.

SÉANCE 2

Les minéraux indicateurs de minéralisations : de la théorie à la pratique!

Réjean Girard (IOS)

La caractérisation des minéraux associés aux divers environnements métallogéniques est un champ de recherche en pleine effervescence, et l'étude de leur dispersion dans l'environnement secondaire est en voie de devenir une méthode d'exploration populaire. Toutefois, le passage du concept à l'application routinière excède les possibilités du simple examen visuel des minéraux et nécessite l'utilisation d'un impressionnant arsenal technologique pour établir les paramètres des méthodes et augmenter leur efficacité. Après une revue des problématiques et des diverses méthodes de reconnaissance automatisée des minéraux, majoritairement empruntée de la géométallurgie, une description des algorithmes de classification minérale (ARTMin, MLA, QEMSCAN, etc.) sera présentée, y compris les nouveaux développements de la méthode des distances euclidiennes minimales basées sur la stœchiométrie permettant la classification des silicates apparentés. Finalement, la discussion portera sur des études de cas pour différentes substances : or, diamant, platinoïdes, métaux usuels, intrusions alcalines.

SÉANCE 3

Les véhicules miniers électriques : un tour d'horizon

André Harvey (RNCAN-CanmetMINES)

Nous assistons depuis quelques années à une transition énergétique importante, notamment dans le domaine de l'automobile. Cette tendance se reflète également dans l'industrie minière, avec la renonciation aux énergies fossiles. Plusieurs raisons peuvent expliquer l'abandon graduel du diesel : santé et sécurité, coûts et réglementation. Actuellement, l'énergie électrique sous la forme de batteries semble gagner du terrain au Canada. Qu'en est-il de cette technologie aujourd'hui? Quels sont les coûts et les impacts sur la conception de la mine? Cet exposé tentera de répondre brièvement à ces questions ou du moins fera un survol de ce phénomène inéluctable pour notre industrie.

SÉANCE 3

Étude de la performance d'équipements alimentés par batteries à la mine Westwood

Ramy Kamaneh (UL/IAMGOLD/SDMT)

Il est connu que l'industrie minière est dépendante des combustibles fossiles. De plus, il a été démontré que l'exposition aux émissions de gaz est liée à de nombreux problèmes de santé ou d'autres natures, comme ceux de la ventilation dans les mines. Pour ces motifs, nous avons concentré nos efforts sur la possibilité d'utiliser une nouvelle source d'énergie, soit substituer les batteries électriques au carburant diesel dans les équipements mobiles d'exploitation.

Le projet, réalisé à la mine Westwood, consistait à évaluer la performance de trois chargeuses-navettes électriques à batterie dans un environnement représentatif des opérations minières souterraines. Nos objectifs étaient de déterminer la viabilité technique, opérationnelle et économique de l'équipement électrique à batterie et d'établir s'il constitue une solution de remplacement aux machines munies de moteurs à combustion interne.

La présentation décrira le projet, les objectifs, les méthodes et les résultats obtenus, lesquels sont indispensables pour établir si les véhicules alimentés par batteries peuvent égaler les capacités opérationnelles de leurs homologues au diesel ou même les dépasser.

SÉANCE 4

Prévision du marché et des prix des métaux

Rory Johnson (Banque Scotia)

M. Johnston présentera les prévisions des cours sur les marchés des principales ressources minérales à l'horizon 2019, notamment le cuivre, le nickel, le zinc, l'aluminium, le fer, l'or et l'argent. Il discutera des éléments de base qui expliquent les changements à prévoir pour chacun des métaux. En lien avec le thème principal de Québec Mines 2017, l'accent sera mis sur les différents facteurs expliquant les variations observées des cours de l'or sur le marché mondial.

SÉANCE 4

Portrait de l'industrie minière canadienne : la place du Québec

Louis Arseneau (RNC)

Cette conférence brosse un tableau de l'industrie canadienne des minéraux et fournit un aperçu de l'importance relative du Québec dans le contexte canadien et mondial. Cette industrie est un pilier de l'économie canadienne. Par exemple, en 2016, elle a employé près de 600 000 personnes dans la production de quelque 60 minéraux et métaux d'une valeur de 41 milliards de dollars. Du côté de l'exploration minière, les petites sociétés (les juniors) jouent un rôle essentiel dans la découverte et la mise en valeur des gisements sur lesquels seront érigées les mines de l'avenir, et ce, autant pour les produits minéraux traditionnels que pour les produits minéraux émergents qui permettent l'instauration de la nouvelle économie et le développement d'applications en matière d'énergie propre. À l'échelle mondiale, le Canada est un leader avec plus de 170 milliards de dollars d'actifs miniers dans plus de 100 pays. Cette importante présence internationale génère des possibilités de développement des affaires pour les sociétés d'exploration et d'exploitation minières ainsi que pour les fournisseurs d'équipement et de services.

SÉANCE 4

Secteur minier : appui, financement et occasions d'affaires pour les entreprises canadiennes à l'étranger

Carlos Miranda (Affaires mondiales Canada)

La participation active et fructueuse du Canada à l'économie mondiale a une incidence sur l'ensemble de la population canadienne. Un emploi sur cinq au Canada est directement lié au commerce international, alors que la moitié de la production du pays est destinée à l'exportation.

Exportation et développement Canada (**EDC**) et le Service des délégués commerciaux (**SDC**) qui fait partie des Affaires mondiales Canada sont des partenaires précieux pour les exportateurs canadiens, avant, pendant et après leur départ à l'étranger.

EDC offre aux exportateurs canadiens des solutions de financement, d'assurance et de cautionnement afin de les aider à percer, à croître et à réussir à l'étranger. Ses solutions d'affaires aident à libérer le fonds de roulement des exportateurs canadiens et de leurs sociétés affiliées à l'étranger. **EDC** appuie également les investissements directs à l'extérieur du Canada lors de démobilitation ou d'acquisition d'actifs partout dans le monde.

EDC est un partenaire de choix pour le secteur minier :

- ▶ En organisant des rencontres de jumelage pour faciliter l'établissement de relations entre les entreprises canadiennes et des acheteurs étrangers;
- ▶ En déterminant quelles entreprises canadiennes peuvent répondre aux demandes d'acheteurs étrangers et en les aidant à entrer en relation avec ceux-ci;
- ▶ En examinant constamment l'industrie minière pour trouver plus d'occasions d'affaire pour les entreprises canadiennes auprès d'acheteurs étrangers.

Depuis plus de 120 ans, **SDC** aide les entreprises canadiennes à réussir sur les marchés étrangers en favorisant les intérêts économiques du Canada sur ces marchés. Le **SDC** a des bureaux commerciaux à travers le Canada et dans 160 villes à travers le monde. Il a le mandat d'appuyer les exportations, les investissements étrangers au Canada, l'innovation et l'éducation. Nos quatre services sont gratuits et complémentaires à ceux offerts par **EDC** :

- ▶ Préparation aux marchés mondiaux;
- ▶ Contacts qualifiés;
- ▶ Évaluation du potentiel de marché;
- ▶ Résolution de problèmes.

Lors de cette conférence, **SDC** et **EDC** présenteront leur offre de services afin de permettre aux entreprises minières québécoises et aux équipementiers de disposer des informations leur permettant de se développer tant au Canada qu'à l'étranger.

SÉANCE 5

Fluage chenalisé (*channel flow*), effondrement gravitaire, prisme orogénique? Tester les « nouveaux » modèles tectoniques dans la Province de Grenville

Félix Gervais (Polytechnique)

Les modèles numériques de type thermomécanique ont renouvelé l'intérêt pour la tectonique grenvillienne. Basés largement sur des comparaisons entre les prédictions des modèles numériques et des compilations de données structurales, métamorphiques et géochronologiques de la Province de Grenville, plusieurs modèles conceptuels ont été développés ces dernières années : 1) divers modèles de fluage chenalisé (*channel flow*) associés à des phases convergentes ou divergentes; 2) une évolution de type prisme orogénique; 3) l'exhumation par effondrement gravitaire formant des complexes à noyaux métamorphiques. Le fait de réaliser que cette province ne constitue pas une coupe uniforme d'une racine orogénique, mais bien un collage de blocs déformés et métamorphisés à différentes profondeurs et à différentes périodes, a ouvert la voie sur l'étude de ces blocs, de leurs frontières et, par conséquent, la vérification des modèles conceptuels.

Profitant notamment du soutien logistique et financier offert par le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec lors des campagnes de cartographie dans la Province de Grenville, notre équipe effectue des recherches dans ce secteur depuis 2011. Les études de terrain sont complétées par des méthodes analytiques de pointe, comme la modélisation thermodynamique pour construire des « pseudosections », la géothermobarométrie classique ou à éléments simples, l'analyse microstructurale à l'aide de divers instruments (analyseur de fabriques, microscope à cathodoluminescence, microscope électronique à balayage) et la pétrochronologie.

Cette présentation résume les résultats qui répondent partiellement à quelques questions-clés :

1. Est-ce que le socle archéen a été déformé de façon intense dans la ceinture parautochtone?
2. Lors la phase tardive de l'Orogénie grenvillienne (Rigolet, 1,0-0,98 Ga), est-ce que la convergence s'est accomplie entièrement par des processus associés aux principes de prisme orogénique ou est-ce que le fluage chenalisé a joué un rôle?
3. Est-ce que le modèle d'effondrement gravitaire est applicable dans la ceinture allochtone?
4. Quelle est la signification des plis régionaux perpendiculaires au grain structural NE-SO de l'orogène?
5. D'où proviennent les terres rares dans les gîtes de pegmatite de la ceinture allochtone au sud du réservoir Manicouagan?

Les réponses à ces questions vont permettre de tester les modèles tectoniques conceptuels et d'établir les bases scientifiques requises pour développer des campagnes d'exploration plus efficaces dans cette province géologique.

SÉANCE 5

Minéralisations en Ni-Cu-(EGP) dans la Province de Grenville : état des connaissances et nouvelles perspectives

Anne-Aurélien Sappin (CGC-Q)

Les terrains de métamorphisme de forte intensité ne sont pas reconnus traditionnellement comme des terrains à très fort potentiel pour les gîtes de Ni-Cu-(EGP), d'où l'intérêt mitigé au fil des ans pour l'exploration de ce type de minéralisation dans la Province de Grenville. Toutefois, les unités mafiques et ultramafiques prospectives sont abondantes dans cette province géologique et nombre d'entre elles sont l'hôte de gîtes de Ni-Cu-(EGP). Deux gisements ont d'ailleurs fait l'objet d'une exploitation dans les années 70 : la mine du lac Édouard (69 kt à 1,5 % Ni, 0,5 % Cu : 1973-1974) et la mine du lac Renzy (717 kt à 0,7 % Ni, 0,7 % Cu : 1969-1972).

Dans le Grenville, les roches mafiques et ultramafiques forment généralement : 1) des intrusions mafiques (roches mafiques prédominantes par rapport aux roches ultramafiques; Lac Volant), mafiques à ultramafiques (roches mafiques et ultramafiques en quantités plus ou moins équivalentes; Réservoir) et plus rarement ultramafiques (roches ultramafiques prédominantes par rapport aux roches mafiques; Lac Édouard, Lac Renzy); 2) des intrusions associées aux faciès de bordure en marge des complexes d'anorthosite-mangérite-charnockite-granite (AMCG). La majorité des minéralisations en Ni-Cu-(EGP) sont associées au premier type d'intrusions (Lac Édouard, Lac Renzy, River Valley). Le second type d'intrusions, celles associées aux massifs d'AMCG, semble présenter un potentiel plus restreint pour les minéralisations de Ni-Cu-(EGP) (McNickel), bien qu'il possède un fort potentiel pour des gisements de Fe-Ti-V. Dans les deux cas, les minéralisations en Ni-Cu-(EGP) se présentent majoritairement sous la forme de sulfures disséminés et, localement, sous forme de sulfures semi-massifs à massifs (Lac Édouard, Lac Renzy et Lac Volant). Les intrusions de type 1 se sont mises en place au Mésoprotérozoïque sous la forme de plutons, de filons-couches ou de dykes dans des séquences volcano-sédimentaires et volcano-plutoniques reliés à des systèmes d'arc-arrière-arc (domaine de Portneuf-Mauricie, Lac Renzy, Raglan Hills, terrane de Hart-Jaune) ou à des environnements tectoniques en extension (Lac Volant). Plus rares, les intrusions mises en place au Paléoprotérozoïque sont plutôt associées à des épisodes de rift (River Valley). Ces intrusions sont généralement litées, zonées ou encore dépourvues de structure interne, mais toutes semblent issues de la cristallisation de magmas parents mafiques, plus ou moins primitifs. Les intrusions de type 2 se sont mises en place essentiellement au Mésoprotérozoïque, probablement lors d'épisodes d'extension dans un régime tectonique globalement convergent, et seraient associées à des magmas parents mafiques. De façon similaire, elles se retrouvent sous forme de plutons, de filons-couches ou de dykes dépourvus de structure interne ou montrant un litage magmatique. La Province de Grenville contient également plusieurs indices de Cu-Ni épigénétiques (2EZ), formés à la suite de la déformation et du métamorphisme associés aux différentes phases orogéniques l'ayant affectée. Cependant, ces minéralisations sont généralement marginales et présentent un intérêt économique plus limité. Le degré de déformation et de métamorphisme associé aux terrains de métamorphisme de forte intensité, comme le Grenville, représente certainement un défi important pour l'exploration de Ni-Cu-(EGP). Toutefois, l'abondance d'unités pouvant contenir ce type de minéralisations et l'existence de minéralisations connues laissent supposer la présence de ressources en nickel, en cuivre et en EGP encore non découvertes dans le Grenville.

SÉANCE 5

Le zinc dans les marbres du Supergroupe de Grenville aux États-Unis et au Canada

Michel Gauthier (Gardin/Professeur retraité de l'UQAM)

Les marbres du Supergroupe de Grenville affleurent dans les états du New Jersey, du Vermont et de New York ainsi que dans le sud-est de l'Ontario et le sud-ouest du Québec. En bien des endroits, le métamorphisme atteint le faciès des granulites. Malgré un métamorphisme aussi élevé et une tectonique polyphasée, les amas sulfurés sont préservés, le meilleur exemple étant le gisement plombo-zincifère d'un demi-milliard de tonnes de Broken Hill en Australie. Une compagnie minière significative en origine : BHP pour Broken Hill Proprietary. À ce sujet, le conférencier suivant, T. Knight, montrera comment la tectonique polyphasée et le faciès des granulites n'ont pas empêché la découverte de nombreux gisements d'un excellent minerai de zinc dans le district de Balmat-Edward aux É.-U.

Il est généralement accepté que les gisements de zinc des marbres du Supergroupe de Grenville sont l'équivalent métamorphique des grands SEDEX du Queensland australien (Henry Fisher, Century, MacArthur River, etc.). Tout comme ceux d'Australie, ils sont encaissés dans des séquences de plateforme évaporitique. Un halo distal de sidérite les caractérise localement. Sous les conditions des granulites, la dissociation de ce minéral donne des couches stratiformes à minéralogie inusitée, soit à graphite, à forstérite, à magnésite et à magnétite. Ceci n'est pas le seul exemple de paragenèse minérale inusitée induite par le métamorphisme du faciès des granulites. Ainsi, les vingt millions de tonnes de minerai à 20 % de zinc du district de Franklin-Sterling Hill (N.J.) sont constitués de franklinite et de willémitte, respectivement une espèce de magnétite manganésifère et une olivine dopées de zinc.

Autant les SEDEX des séquences carbonatées évaporitiques que ceux des séquences de shale (p. ex. Sullivan, C.-B.) sont contrôlés structurellement par des bassins de troisième ordre. Le meilleur exemple actuel en est les couches zincifères du fond de la mer Rouge. Un tel contexte tectonique engendre la juxtaposition de SEDEX avec du volcanisme mafique. De ce point de vue, il n'est pas incongru, qu'en mars 2017, les forages du consortium SOQUEM-Sphinx aient recoupé des couches à gypse et à marbre dolomitique zincifère de type Balmat à quelques centaines de mètres à peine du SMV aurifère exploité par New Calumet de 1943 à 1968.

SÉANCE 6

Valorisation des résidus miniers d'amiante par la production de magnésium métallique

Joël Fournier (Alliance Magnésium)

Des décennies d'extraction de l'amiante-chrysotile au Québec a généré des millions de tonnes de résidus de serpentine, qui se caractérisent par une teneur moyenne d'environ 23 % de magnésium. Dans les seules régions de Danville-Asbestos et de Thetford Mines, cela représente plus de 800 millions de tonnes de résidus. On y trouve aussi des teneurs importantes en silice et en autres produits minéraux, comme le nickel. Plusieurs entreprises ont été créées au cours des dernières décennies pour récupérer ces métaux et profiter de la réceptivité des marchés. Le projet le plus connu est sans aucun doute celui de Noranda (Magnola) qui, dans les années 90, a construit une usine avec un potentiel de production de 60 000 tonnes de magnésium métallique. Or, des conditions économiques défavorables et un marché envahi par les producteurs chinois ont mené à la fermeture de l'usine, à l'instar de la grande majorité des producteurs de magnésium sur la planète.

Le magnésium demeure un matériau stratégique pour l'industrie automobile et aérospatiale, qui doit réduire le poids moyen de ses véhicules pour rencontrer les normes de plus en plus sévères de consommation d'énergie et d'émission de GES. Selon des études indépendantes, la demande pour le magnésium croîtra d'au moins 8 % par année d'ici 2025.

Fondés sur une approche de technologies propres combinant l'hydrométallurgie et l'électrolyse, les procédés mis au point par Alliance Magnésium (AMI) regroupent des applications déjà éprouvées et des innovations technologiques. L'ensemble a le potentiel de remplacer le procédé Pidgeon largement employé en Chine et qui représente une source importante de pollution industrielle. AMI s'inscrit ainsi dans une vision de développement durable et contribuera à réduire l'impact sur l'environnement d'une production en forte croissance.

La présentation qui sera faite par Joël Fournier, docteur en chimie, chef de la direction d'Alliance Magnésium, illustrera l'approche de valorisation de ce résidu minier au service de l'environnement.

SÉANCE 6

Projet Whabouchi : de la fermeture à l'exploitation

Dominic Tremblay (SNC)

L'intérêt grandissant des marchés mondiaux pour le lithium (Li) mène à la mise en valeur de plusieurs gisements de ce métal à travers le monde. La compagnie Nemaska Lithium compte exploiter à ciel ouvert le gisement Whabouchi (près de Nemiscau, territoire d'Eeyou Istchee Baie-James, Nord-du-Québec) pour son contenu en Li. La gestion environnementale des rejets miniers se fera à l'aide d'une méthode novatrice de codisposition des roches stériles et des résidus de concentrateur filtrés afin de ne générer qu'une seule aire d'accumulation. En plus de limiter l'empreinte écologique, la codisposition permet de diminuer l'érosion hydrique et éolienne des résidus par un recouvrement progressif des résidus miniers avec des stériles et une restauration progressive de l'empilement de rejets miniers.

Le cycle de vie des aires d'entreposage des rejets miniers varie grandement à travers le cours d'un projet. La conception s'échelonne sur quelques mois à quelques années, la construction et l'exploitation sur quelques décennies et la période de fermeture, qui a pour objectif d'assurer la stabilité physique et géochimique des rejets miniers, sur des milliers d'années. Les bonnes pratiques sont donc de s'assurer de concevoir ces aires d'entreposage en fonction de leur fermeture et de la restauration du site, tout en garantissant que l'exploitation s'effectuera aisément et de manière sécuritaire.

Pour l'aire d'accumulation de Whabouchi, les stériles composeront la berme périphérique filtrante, en plus de servir à la construction des structures internes constituant les cellules d'entreposage des résidus filtrés. De plus, cette base de stériles permettra de combler les zones molles, favorisant ainsi la dissipation des pressions interstitielles sous la halde. Il est également prévu d'excaver une partie de la matière organique pour la remplacer par du stérile minier. Ce matériel excavé (mort-terrain) servira à la végétalisation lors de la restauration de la halde.

Cette présentation fera état de la stratégie de conception de la halde de codisposition, tout en considérant les méthodologies de fermeture et d'exploitation. Les paramètres qui assureront une bonne gestion des rejets miniers seront traités, notamment le contrôle de la géométrie, du ruissellement et des infiltrations d'eau ainsi que la ségrégation – contrôle à la source par une déposition sélective des stériles et des résidus.

SÉANCE 6

Comportement environnemental des rejets de la mine Whabouchi : stratégie de recherche et de développement

Benoît Plante (UQAT-IRME)

L'intérêt grandissant des marchés mondiaux pour le lithium (Li) mène à la mise en valeur de plusieurs gisements de ce métal à travers le monde. La compagnie Nemaska Lithium compte exploiter à ciel ouvert le gisement Whabouchi (près de Nemaska, région d'Eeyou Istchee Baie-James, Nord-du-Québec) pour son contenu en Li. La gestion environnementale des rejets miniers se fera à l'aide d'une méthode novatrice de codisposition des roches stériles et des résidus de concentrateur filtrés afin de ne générer qu'une seule aire d'accumulation ayant une plus petite empreinte écologique (pour plus de détails, voir la présentation de D. Tremblay de SNC-Lavalin et de S. Thibault de Nemaska Lithium).

Le développement du projet Whabouchi nécessite la prédiction du comportement géochimique des futurs rejets miniers en vue d'anticiper la qualité des eaux de drainage et d'ajuster, au besoin, la gestion des rejets miniers en fonction de leur potentiel polluant. Bien que le potentiel polluant de déchets électriques ou électroniques à base de produits finis contenant du Li ait été abondamment étudié, la littérature scientifique montre des lacunes quant à la réactivité des minéraux porteurs du lithium et des autres contaminants associés tels que le béryllium, le tantale et le césium. Ces éléments sont susceptibles de se trouver dans les empilements de rejets miniers de certains gisements de pegmatites et, une fois relargués, de contaminer les eaux de drainage.

Afin de prédire la qualité des eaux de drainage issues de la codisposition des futurs stériles et rejets de l'usine de la mine Whabouchi, une stratégie de recherche et de développement a été mise en place, grâce à un partenariat entre Nemaska Lithium, l'Institut de recherche en mines et en environnement (IRME) de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) et SNC-Lavalin, avec la participation du CRSNG. La stratégie s'appuie sur des travaux à l'échelle du laboratoire (caractérisations hydrogéologiques, géotechniques, géochimiques et minéralogiques) et du terrain (parcelles expérimentales instrumentées et instrumentation de la halde de codisposition réelle) ainsi que sur des modélisations numériques qui considèrent le transport réactif. Le projet contribuera à minimiser les impacts environnementaux des futures exploitations de Li dans des pegmatites à spodumène.

Cette présentation fera état de la stratégie de recherche et de développement déployée, fournira un survol des principaux résultats préliminaires obtenus et exposera les grandes lignes des travaux à venir.

SÉANCE 6

Confinement de la kimberlite usinée et restauration à la mine Renard

Martin Boucher (Stornoway)

L'aire de confinement de la kimberlite usinée modifiée (CKUM) est conçue afin de fournir l'espace d'entreposage nécessaire pour les résidus miniers produits par l'exploitation de la mine diamantifère Renard. L'aire de confinement permet la gestion intégrée de la kimberlite usinée (KU), comprenant les fractions grossières et fines de la KU, et de l'eau. Des modifications étaient requises pour une meilleure gestion de la grande variabilité du minerai et des défis associés à l'assèchement de la KU. Les modifications apportées à l'aire de confinement n'affectent pas les exigences originales de conception : 1) même empreinte environnementale, 2) aucune accumulation d'eau dans l'aire de confinement, 3) utilisation du matériau de KU pour construire les structures de confinement, 4) même concept de restauration progressive et de fermeture et 5) même concept de gestion des eaux et de recirculation. Le concept modifié nécessite la séparation du mélange de KU original. Les fractions plus grossières de la KU servent à la construction d'une berme perméable autour du périmètre de l'aire de confinement. Le mélange de fractions plus grossières est un matériau de construction de qualité en raison de sa conductivité hydraulique plus élevée et de sa composition (moins de particules fines) par rapport au produit mélangé de KU original. Les fractions grossières de KU (65 %) sont transportées par camion, comme prévu initialement, et la fraction fine (35 %) est placée hydrauliquement à l'intérieur des structures de confinement sous forme de pulpes pompées depuis l'usine de traitement. Les bermes périphériques de l'aire de CKUM sont donc rehaussées progressivement en utilisant les fractions grossières de KU comme matériaux de construction.

La KU grossière doit être protégée contre l'érosion due au placement hydraulique de la KU fine par la mise en place de plages le long de la berme perméable. Bien que la berme perméable soit composée de KU grossière perméable, l'exigence d'éviter toute accumulation d'eau dans l'aire de confinement se réalise par la construction d'une section en enrochement perméable autour de l'aire de CKUM pour permettre à l'eau de s'écouler plus facilement de l'aire de confinement. Une séquence de déposition est également élaborée afin de diriger les écoulements d'eau (ex. surnageant, pluie, fonte des neiges) vers la berme d'enrochement perméable, qui se décharge dans un bassin de collecte en aval.

De plus, un déversoir d'urgence a été incorporé dans la berme d'enrochement perméable et dans la berme du bassin de collecte en cas d'événement de précipitation extrême, pour éviter tout débordement incontrôlé. La portion de la berme en enrochement perméable comprend un système de filtration afin de retenir la fraction fine dans l'aire de CKUM, tout en permettant le drainage rapide de l'eau. Les fossés périphériques existants (F115, F139 et F146) dirigent les écoulements hors de l'aire de CKUM vers le bassin de collecte ou encore directement vers la fosse R65, où l'eau est entreposée temporairement. Des fossés supplémentaires en aval de la berme d'enrochement perméable collectent les exfiltrations et le ruissellement venant d'un petit bassin versant afin de les diriger de façon contrôlée vers le bassin de collecte pour ensuite être pompés vers le moulin puis réutilisés.

Les différentes innovations spécifiques au projet minier Renard ont permis un développement responsable et respectueux de son environnement pour une réutilisation des lieux par les communautés d'accueil.

SÉANCE 6

Production d'un concentré d'apatite à partir des rejets de la mine Niobec

Anthony Clapperton (UL)

La mine Niobec est située à 20 kilomètres au nord de la ville de Saguenay. Le minerai extrait est traité dans un concentrateur pour obtenir des minéraux porteurs de niobium, un élément qui entre dans la fabrication d'aciers spécialisés. Le traitement de 100 tonnes de minerai produit plus de 99 tonnes de rejets qui sont envoyées au parc à résidus.

Les rejets de l'usine contiennent entre 6 et 9 % d'apatite, un minéral exploité pour son contenu en phosphate (P_2O_5) et utilisé pour la fabrication d'engrais chimique. En comparaison, Mine Arnaud et Ariane Phosphate projettent des teneurs moyennes respectives d'apatite de 10 % et de 16 %. Le principal avantage à traiter les résidus du concentrateur réside dans le fait que ces rejets sont déjà extraits et broyés. Toutefois, les particules ont été traitées avec des réactifs, ce qui complique toute opération subséquente de concentration d'une phase minérale dans ces rejets.

L'objectif du projet est de mettre au point un procédé pour valoriser l'apatite des rejets du concentrateur afin de produire un concentré pouvant être vendu aux usines de production d'engrais. La récupération de l'apatite permettrait de réduire le volume de rejets envoyés dans le parc à résidus de Niobec, de diminuer les risques d'une contamination des eaux du parc par le phosphate et de générer un revenu supplémentaire pour la mine. Le résidu laissé par la récupération de l'apatite devrait être riche en carbonates et pourrait servir comme agent neutralisant dans les champs ou pour les résidus générateurs d'acide des mines de minéraux sulfurés.

La présentation porte sur les travaux initiaux visant à séparer l'apatite des résidus du concentrateur. La caractérisation de la distribution de l'apatite dans les rejets du concentrateur de Niobec a permis d'établir que l'apatite est présente dans les particules plus grossières. Un classement par dimension permet donc une préconcentration simple et peu coûteuse. La fraction grossière est ensuite traitée par flottation inverse pour produire un concentré titrant 71 % d'apatite. La teneur en magnésium demeure problématique après cette étape. Une lixiviation est requise pour corriger la composition et produire un concentré d'apatite commercialisable.

SÉANCE 6

Restauration du site minier Barvue

Malek Zetchi (MERN)

Situé à environ 50 kilomètres au nord-ouest de Val-d'Or en Abitibi-Témiscamingue, le site minier Barvue a le statut de site abandonné et est inscrit à l'inventaire des lieux contaminés du passif environnemental du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), lequel est responsable des résidus miniers n'ayant plus d'existence légale.

Cette ancienne mine de zinc et d'argent a été principalement exploitée de 1952 à 1957, période durant laquelle plus de 5 millions de tonnes de minerai ont été extraites et traitées sur place. Ces activités ont engendré un parc à résidus miniers d'environ 35 hectares. Le bris majeur de la digue nord de l'aire d'accumulation qui est survenu au cours de l'exploitation de la mine a entraîné le déversement d'une grande quantité de résidus miniers dans la rivière Laflamme et son tributaire, le ruisseau Marcotte. La zone d'épanchement couvrait une superficie d'environ 28 hectares et s'étendait sur environ 3,5 kilomètres le long des berges du ruisseau Marcotte.

L'étude de caractérisation du site Barvue, réalisée en 2009-2010, a montré que les résidus miniers sont acidogènes et lixiviables en métaux lourds, notamment en Fe, en Mn et en Zn, affectant sérieusement la qualité des eaux du milieu récepteur. Elle a également fait ressortir la nécessité de renforcer et de sécuriser à court terme les digues de confinement du parc à résidus.

Un plan de restauration de l'ensemble du site a été développé en 2011. Après analyse des scénarios applicables, et en tenant compte des diverses contraintes, le concept de restauration sélectionné repose sur la mise en place d'un recouvrement multicouche avec géomembrane PEHD texturée afin de limiter les processus d'oxydation des résidus et, par conséquent, la production de drainage minier acide. Scindés en quatre phases, les travaux de restauration entrepris à l'hiver 2012, se sont terminés à l'automne 2016.

La présentation portera sur le scénario de restauration retenu ainsi que sur la description des travaux réalisés au cours des différentes phases du projet.

SÉANCE 7

LiBTec, le groupe de R-D industriel du CNRC en technologies Li-ion

Jean-Yves Huot et Christina Bock (CNRC)

Le 7 juin dernier, le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) a tenu un webinaire où il a présenté la nouvelle initiative LiBTec à près de 60 personnes. LiBTec est un groupe de R-D industriel précompétitif sur les technologies des batteries au Li-ion. Dans un premier temps, nous reprendrons les grandes idées du webinaire sur la portée, la structure et le fonctionnement de LiBTec. Par la suite, nous présenterons les activités en cours et à venir pour les quatre prochaines années, principalement la conversion de précurseurs pour produire de nouvelles anodes silicium-carbone et la conversion de précurseurs de lithium pour produire les prochaines générations de cathodes. En effet, la prochaine génération d'anodes à base de silicium sera développée à partir de différents précurseurs de silicium, de graphite et de graphène fournis par les membres du groupe LiBTec. L'objectif est de mettre au point plusieurs générations de composites Si-carbone pauvre en silicium à partir de différents procédés de conversion, puis d'optimiser leur performance en cellule Li-ion en utilisant des formulations d'anode basées sur de nouvelles familles de liants et d'additifs. Quant aux cathodes, le but est d'optimiser la transformation des minéraux de lithium en précurseurs de lithium tels que l'hydroxyde ou le carbonate de lithium et de convertir ces précurseurs en matériaux de cathode affichant des capacités supérieures aux matériaux actuels. Nous envisageons également de collaborer avec l'industrie minière canadienne en vue d'optimiser la production d'hydroxyde ou le carbonate de lithium pour la fabrication de batteries Li-ion avec, par exemple, des niveaux d'impuretés minimaux et acceptables. LiBTec mettra aussi à profit la nouvelle chaîne de test de batteries du CNRC afin de démontrer la performance des anodes et des cathodes LiBTec dans des cellules de type pochette (*pouch cell*).

SÉANCE 7

La commercialisation de matériaux à base de silicium pour les batteries au Li-ion

Vincent Chevrier (3M)

Pendant plus de 15 ans, 3M a étudié et développé des alliages à base de silicium pour les batteries Li-ion. Ces études ont pris de l'ampleur, passant de l'étape du laboratoire à une production de l'ordre de la tonne métrique par mois. Cette conférence présentera un survol des différentes stratégies possibles pour incorporer le silicium dans les batteries Li-ion, ainsi que leurs avantages et désavantages. En choisissant le prix d'une batterie commerciale Li-ion comme point de départ, une analyse des considérations économiques pour le design de matériaux commerciaux pour les batteries Li-ion sera aussi traitée.

SÉANCE 7

L'intégration des procédés métallurgiques chimiques pour la purification des concentrés : hydrométallurgie, pyrométallurgie et électrochimie

Gervais Soucy (UdeS)

Afin de réduire les gaz à effet de serre, le gouvernement du Québec favorisera l'intensification des véhicules électriques et la promotion des énergies vertes dans un cadre de développement durable. Cette situation engendrera une occasion unique de consolider la chaîne de valeur de la matière première jusqu'aux produits finis, pour terminer par le recyclage. Dans ce contexte, la mise au point de piles rechargeables lithium-ion montrant une densité d'énergie assez élevée permettra de construire des véhicules électriques plus performants de même que des unités de stockage d'énergie. Étant donné que ces produits demandent une grande quantité de lithium sous différentes formes, il est important d'exploiter nos gisements de minéraux de lithium le plus efficacement possible. Le traitement traditionnel de ces minéraux à base de spodumène est connu depuis les années 50. Cependant, l'utilisation de ces composés de lithium dans les piles demande un contrôle très serré des impuretés. Les procédés actuels hydrométallurgiques et pyrométallurgiques pour récupérer le lithium doivent être améliorés pour tenir compte des nouvelles normes environnementales et permettre une purification des concentrés selon les besoins requis de l'application. À l'usine traditionnelle s'ajoutera une usine chimique qui intégrera les dernières innovations en hydrométallurgie, en pyrométallurgie et en électrochimie. Une revue des procédés métallurgiques chimiques sera présentée afin de tenir compte des différentes impuretés rencontrées dans le processus de purification des concentrés.

SÉANCE 8

Industrie 4.0 : les leçons du manufacturier

Louis J. Duhamel (Conseil inc.)

L'industrie 4.0 s'apprête à marquer profondément le secteur manufacturier. Quelles sont les leçons à tirer? L'organisation minière est-elle aussi concernée? Cette conférence s'adresse à ceux qui désirent intégrer les notions 101 du 4.0.

SÉANCE 8

Survol des expertises du CEFRIO : la transformation numérique de vos processus à l'acquisition des compétences numériques

Geneviève Lefebvre (CEFRIO)

En amont d'un virage numérique, la modélisation des processus est nécessaire pour réfléchir à leur efficacité et aux opportunités d'optimisation par le numérique. La chaîne de valeur est ici un concept clé. Une seconde dimension essentielle au succès de cette transition est l'acquisition des compétences requises pour prendre le virage de l'industrie 4.0.

SÉANCE 8

Amélioration continue et organisation minière

Christian Chalin (MQQ)

Les techniques de l'amélioration continue proposent des approches structurées, participatives et intégrées pour maintenir le cap sur l'excellence opérationnelle. Le Mouvement québécois de la qualité propose des outils et des méthodologies permettant de maîtriser et d'appliquer les exigences en matière de qualité et d'amélioration continue.

SÉANCE 8

Audit numérique et organisation minière

Jocelyn Paul (CRIQ)

L'industrie minière souhaite développer sa capacité à produire de façon intelligente en utilisant les technologies avancées. Le CRIQ présente l'audit numérique et le plan numérique pour accompagner les entreprises dans leur transition vers cette technologie.

SÉANCE 9

Source des fluides dans les gîtes d'or de type orogénique

Georges Beaudoin (UL)

Une compilation des données géochimiques des isotopes stables (H, C, O, S) dans les gîtes d'or de type orogénique montre une large plage de composition des minéraux filoniens. La composition isotopique de l'hydrogène dans les micas, la tourmaline et l'actinote varie de -125 à -30 ‰, avec une distribution bimodale asymétrique et des valeurs aussi basses que -180 ‰. La composition isotopique du carbone dans les carbonates et les inclusions fluides varie de -26 à 13 ‰, avec un mode principal à -5 ‰ et un mode secondaire à -22 ‰, ce qui est caractéristique des gîtes encaissés dans les roches des orogènes appalachien et calédonien. Les valeurs en $\delta^{18}\text{O}$ du quartz présentent une distribution bimodale comprise entre 5 et 26 ‰, avec un mode à 12 ‰, typique des gîtes encaissés dans les roches volcaniques, et un autre à 15 ‰ pour les gisements encaissés dans les séquences volcano-sédimentaires. La variance des valeurs en $\delta^{18}\text{O}$ du quartz à l'échelle d'un craton ou d'un orogène est de 10 ‰, une valeur semblable à celle des gisements dans un district. D'autres silicates, borates, oxydes et tungstates ont des valeurs en $\delta^{18}\text{O}$ entre 0 et 17 ‰. La composition isotopique du soufre dans les sulfures et les sulfates forme une plage allant de -30 à 17 ‰, avec un mode à 3 ‰.

Les données révèlent que le quartz, le minéral le plus commun dans les filons aurifères, a précipité en équilibre isotopique avec les micas, les feldspaths, la tourmaline et la scheelite à des températures principalement entre 300 et 400 °C. La composition isotopique de l'oxygène et de l'hydrogène des fluides en équilibre avec les minéraux filoniens indique la prévalence de fluides d'origine métamorphique, lesquels se mélangent, à l'échelle du champ filonien, avec des fluides superficiels (eau de mer, eau météorique) piégés dans les roches encaissantes (selon leur porosité) et modifiés par les réactions eau-roche. La source du carbone et du soufre provient principalement des roches encaissantes régionales, comme en témoigne les gisements encaissés dans des shales riches en carbone organique et en soufre réduit.

SÉANCE 9

Or synvolcanique : contributions récentes à l'évolution des modèles génétiques et d'exploration

Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q)

Les gisements synvolcaniques contiennent de l'or en quantité et en teneur variables et, dépendamment du tonnage et de la teneur en or, ceux-ci peuvent représenter des cibles d'exploration très intéressantes. Au Précambrien, de tels gisements comprennent les sulfures massifs volcanogènes et autres dépôts directement associés au volcanisme et aux roches intrusives équivalentes.

Deux conditions peuvent expliquer le contenu anomal en or de certains gisements synvolcaniques : 1) une source enrichie en raison d'un contexte géodynamique ou d'un héritage régional spécifique et/ou d'une contribution magmatique directe; 2) des processus efficaces de transport et de précipitation (p. ex. : ébullition, séparation de phases, etc.). Ces deux conditions, qui sont d'échelle différente, ne sont pas mutuellement exclusives. Un enrichissement tardif, ou « secondaire », peut être dû à la superposition de systèmes minéralisateurs de différents styles (p. ex. : épithermal, liés à une intrusion, orogénique, etc.). À la suite de la déformation et du métamorphisme, les caractéristiques initiales de ces dépôts sont parfois grandement modifiées, y compris la distribution de l'or.

Les gisements synvolcaniques au sein de ceintures volcaniques formées en contexte péri-cratonique ou au-dessus d'un substrat ancien lors des phases précoces de rifting montrent communément un budget métallique plus élevé que ceux formés en l'absence ou avec une faible influence d'une croûte continentale sous-jacente. Les gisements d'or synvolcaniques sont préférentiellement associés aux successions magmatiques felsiques épaisses (d'ordre décamétrique à hectométrique) d'affinité transitionnelle à calco-alcaline comprenant la suite andésite-dacite-rhyodacite-rhyolite. Les évidences d'une contribution magmatique et d'une précipitation en réponse à l'ébullition comprennent la présence d'assemblages de minéraux particuliers, notamment des sulfures, des sulfosels et des éléments natifs, en plus d'anomalies en éléments en traces (p. ex. : éléments de la suite épithermale [Au-Ag-As-Sb-Hg] et/ou éléments associés aux magmas felsiques [Bi-W-Te-In-Sn]). Un halo étendu d'altération à micas blancs (altération phyllique) ± siliceux, des zones d'altération alumineuse (équivalents métamorphisés d'une altération argileuse ou argileuse acide), ainsi qu'une distribution hétérogène de l'or sont aussi des indicateurs d'une contribution magmatique possible en or et en autres métaux tels l'Ag, le Te et le Bi, ou encore de la déposition des métaux par ébullition.

Les principales caractéristiques des gisements d'or synvolcaniques précambriens seront discutées à partir d'exemples récemment découverts et étudiés dans le Bouclier canadien.

SÉANCE 10

Implantation de nouvelles technologies et déploiement du réseau LTE au complexe LaRonde

Christian Goulet (Mines Agnico-Eagle)

La mine LaRonde, exploitation phare d'Agnico-Eagle, est devenue en 2016 la mine la plus profonde des Amériques avec un gisement qui atteint une profondeur de plus de 3 km. Malgré plus de 5 millions d'onces d'or produites depuis sa mise en service en 1988, la durée de vie actuelle de la mine s'étend jusqu'en 2025 et le gisement est encore ouvert en profondeur. Les études se poursuivent en vue d'évaluer la possibilité d'accroître les réserves minérales et de mener des activités d'extraction graduelles à une profondeur située entre 3,1 et 3,7 km. Les défis que représente une opération minière à plus de 3 km de profondeur sont énormes. Pour poursuivre l'exploitation de façon sécuritaire et rentable, la mine LaRonde doit dès maintenant se tourner vers les nouvelles technologies maintenant disponibles.

SÉANCE 10

Minrail : une nouvelle approche pour l'extraction du minerai dans les gisements à faible pendage

Marc R. Beauvais (Minrail)

Depuis quelques années, Minrail s'affaire à développer une nouvelle technologie permettant l'extraction du minerai à faible coût dans les gisements à faible pendage. La méthode d'exploitation de même que le système à double rail ont été tout récemment mis à l'épreuve en condition réelle d'opération. Dans la majorité des cas, les résultats et les performances obtenus sont à la hauteur des attentes et des objectifs définis pour le concept original. De plus, l'équipe de conception du système d'exploitation à faible pendage (SEFP) s'est vite rendu compte des énormes possibilités offertes par le système à double rail qu'elle venait de développer et de mettre au point. Les possibilités d'accroître l'utilisation des nouveaux équipements (brevet en instance au Canada, aux États-Unis et en Europe) ont quant à elles largement dépassé les attentes. Fort de cette expérience nouvellement acquise et de la démonstration convaincante des possibilités du SEFP, Minrail est maintenant prête à offrir à l'industrie une solution qui fera progresser l'exploitation minérale vers le 21^e siècle.

SÉANCE 10

Introduction de la technologie Rail-Veyor à la mine Goldex

Thomas Côté (Mines Agnico-Eagle)

La présentation permettra de passer en revue l'application de la technologie « Rail-Veyor » à la mine Goldex pour son projet Deep 1. Les bénéfices en santé-sécurité ainsi qu'en hygiène industrielle de ce système seront discutés. La mise en fonction du système et ses performances seront exposées. Finalement, un aperçu du futur de cette technologie à Goldex sera présenté.

SÉANCE 10

Hecla Québec – L'automatisation et l'optimisation au profit de nos exploitations

Alain Grenier (Hecla Québec)

Depuis quelques années déjà, l'industrie minière est en pleine mutation technologique, et Hecla Québec ne fait pas exception à la règle. Les défis opérationnels avec lesquels l'entreprise a dû composer auront permis la réalisation de plusieurs innovations qui, au-delà d'atteinte de meilleurs résultats, offrent à leurs employés un environnement de travail encore plus sécuritaire. L'optimisation des procédés et l'automatisation des opérations et des équipements, y compris l'utilisation d'un camion automatisé Sandvick de 40 tonnes dans une galerie qui lui est complètement dédiée, vous seront présentées plus en détail lors de cette conférence.

SÉANCE 10

Agnico-Eagle – Lapa : nouvelles techniques de forage et de dynamitage dans un contexte de fermeture

Maxime Laflamme (Mines Agnico-Eagle)

Initialement, la mine Lapa devait fermer ses portes à la fin d'août 2016. En changeant notre approche par rapport aux techniques de forage et de dynamitage, combiné à l'ajout de nouvelles zones satellites, la durée de vie de la mine a pu être prolongée d'environ un an, pour le moment. Les méthodes appelées « Sidedrill », « Slashdown », « Benchstope » et « Upper » sont toutes des techniques d'exploitation minière qui ont trouvé leur place dans les dernières années. Malgré les conditions de terrain particulièrement difficiles à Lapa, l'expertise acquise avec le temps dans ce domaine a permis une implantation judicieuse de ces techniques.

SÉANCE 11

Potentiel de minéralisation en silice au Québec

N'golo Togola (MERN)

Les sources de silice sont abondantes au Québec et comprennent des formations de grès ou de quartzite, des veines ou des amas de quartz massif et des dépôts de sable quartzeux. Ces substances siliceuses se retrouvent dans les provinces géologiques de Grenville, du Supérieur, des Appalaches et des Basses-Terres du Saint-Laurent.

Dans la Province des Appalaches, les gîtes de silice sont associés à des unités de grès quartzifère (arénite quartzifère). Il s'agit de niveaux épais et continus de grès quartzifère qui présentent une teneur moyenne en silice généralement supérieure à 96 % SiO_2 . Certains niveaux de grès quartzifère de haute pureté renferment une teneur en silice de 99,7 % SiO_2 . Des veines de quartz massif qui coupent les unités de roches sédimentaires (ardoise, phyllade) présentent parfois des teneurs élevées en silice pouvant atteindre 98,6 à 99,9 % SiO_2 . Ces veines de quartz hydrothermal sont des corps géologiques lenticulaires d'extension limitée, ne dépassant guère 200 m de longueur par 10 à 20 m de largeur.

Dans la Plate-forme du Saint-Laurent, les gîtes de silice sont associés à des unités de grès quartzifère. Les bancs de grès quartzifère les plus purs, comme ceux de la Formation de Cairnside (Groupe de Potsdam), contiennent jusqu'à 99,5 % SiO_2 .

La Province de Grenville renferme de nombreux gîtes de silice associés à des unités de quartzite issus d'assemblage de roches métasédimentaires. Ceux-ci correspondent à des niveaux de quartzite pur à très pur dont la teneur moyenne en silice varie de 98,2 % à 99,5 % SiO_2 . Certains niveaux de quartzite de haute pureté ont par endroit une teneur en silice de 99,7 % SiO_2 .

Les amas de quartz dans les pegmatites granitiques ainsi que les veines ou lentilles de quartz que l'on trouve en plusieurs endroits dans la Province de Grenville constituent également d'autres sources potentielles de silice. Ces corps géologiques présentent localement des teneurs élevées en silice variant de 97,6 à 99,2 % SiO_2 . Le gisement de silice du lac Bouchette, associé à une veine de quartz, a déjà fait l'objet d'exploitation dans le passé.

Dans la Province du Supérieur, des gîtes de silice correspondent à des unités de grès siliceux (lambeaux de roches sédimentaires) d'âge paléoproterozoïque. Par ailleurs, cette province comprend également des filons de quartz minéralisés en substances métallifères qui peuvent constituer aussi des sources potentielles de silice.

Des dépôts de sable naturel d'origine marine ou deltaïque (dépôts du Quaternaire), fortement remaniés ou dérivés de roches à haute teneur en silice, constituent également une source de silice au Québec. On extrait de ces dépôts un sable relativement pur par lavage et tamisage dont la teneur en silice varie de 95 % à 97 % SiO_2 .

SÉANCE 11

Extraction de la silice pour l'industrie du silicium métal

Ian Turner (Sitec Quartz)

L'industrie métallurgique du silicium s'est développée à l'échelle mondiale, et le Québec a apporté une contribution importante à cette croissance, en raison de l'accès à de l'électricité à faible coût, de la proximité des marchés et de la disponibilité de quartz de haute pureté.

Depuis 1962, Baskatong Quartz, aujourd'hui Sitec Quartz, a maintenu un intérêt constant pour le silicium métal et le ferrosilicium. Nous n'avons pas été seulement témoin de l'évolution de l'utilisation du silicium. Nous avons réagi et bénéficié d'une croissance durable. Sitec a vu ses produits évoluer de la qualité métallurgique de base requise pour la production d'aluminium au silicium de qualité chimique et aux produits de niveau électronique et solaire. L'entreprise a participé à tous les étapes de cette évolution.

Sur ces bases, Sitec a pu se développer dans un tout autre domaine des produits de consommation : les surfaces de quartz agglomérées.

La présentation mettra l'accent sur l'importance d'un plan d'affaires prudent et bien documenté qui prend le pouls des marchés. Cela n'a pas été toujours facile. Sitec a fait face aux récessions, mais également aux erreurs occasionnelles de jugement lors des campagnes d'exploration, au choix des projets et à l'incohérence des politiques gouvernementales.

Il est important de suivre l'évolution des besoins des utilisateurs de minéraux industriels, tout en essayant de rester concentré sur ce que l'on connaît le mieux.

SÉANCE 11

Métallurgie du silicium

Benjamin Crespy (Silicium Québec)

Cette séance portera sur l'ensemble des aspects liés à la métallurgie du silicium. Une large partie de la présentation s'attachera à décrire le procédé ainsi que l'évolution des technologies à travers les années. Les enjeux technologiques, géographiques, et environnementaux liés à la production du silicium dans le monde seront également mis de l'avant. Bien sûr, l'importance de la silice et d'autres matières premières nécessaires au procédé seront abordées, ainsi que leurs impacts sur les produits finis et les performances techniques et économiques des unités de production.

SÉANCE 11

Marchés du silicium

Benoist Ollivier (FerroGlobe)

Cette présentation à caractère technique traite du marché mondial du silicium et de la silice pour le silicium. Les différents produits et applications, leurs particularités, leurs spécificités, ainsi que les perspectives de développement associé seront présentés. Il sera démontré que ces produits sont utilisés dans la vie de tous les jours, et ce, partout dans le monde. Le silicium est certainement un marché mondial dont le Québec fait partie intégrante, mais qui subit la pression toujours croissante des pays émergents.

SÉANCE 11

Usages de haute technologie du silicium

Benoist Ollivier (FerroGlobe)

Le silicium représente un matériau d'avenir. Non seulement cette substance est déjà utilisée dans de nombreux secteurs, mais elle fait également l'objet de développement très intéressant dans plusieurs domaines. Ces dernières années ont vu se multiplier les usages du silicium dans les applications photovoltaïques. De plus, la conception de nouvelles applications se poursuit. Le silicium est toujours très présent dans les applications de hautes technologies.

SÉANCE 12

Culture et réflexes des exploitants miniers dans le contexte et les exigences de l'industrie 4.0

Pierre Simard (MQQ)

La culture organisationnelle se traduit par les réflexes que nous avons au jour le jour selon les divers écarts et problématiques se présentant au sein de notre organisation. Dans l'usine 4.0, la mesure et le suivi de la performance, les processus d'escalade ainsi que les activités de résolution de problème seront à repenser. Cette présentation vous permettra de voir les meilleures pratiques en gestion quotidienne (DMS – *Daily Management System*) faisant partie de l'excellence opérationnelle et de discuter des ajustements à apporter dans le contexte de l'industrie 4.0.

SÉANCE 12

Projet 4.0 et organisation minière

Jean Wéry (CRIQ)

La sélection d'un projet numérique exige d'opter pour une logique d'implantation soigneusement planifiée et d'obtenir une mobilisation des travailleurs en faveur de la démarche. Cette conférence présente les points clés pour le choix d'une logique d'implantation.

SÉANCE 13

Or orogénique en Abitibi – synthèse de 15 années de recherche au CONSOREM

Silvain Rafini (UQAC/CONSOREM)

L'Abitibi est l'une des plus fertiles provinces aurifères au monde pour les gîtes dits « orogéniques », « mésothermaux » ou encore « filoniens ». Le groupe de recherche du CONSOREM a plus de 30 projets directement ou indirectement consacrés à l'exploration de ces gîtes en Abitibi. Ces projets ont abordé sensiblement tous les volets de la métallogénèse de ces gîtes, à l'exception des processus précurseurs profonds. Les livrables sont nombreux et de nature variable : outils de traitement de l'altération, de la géochimie secondaire et de l'imagerie géophysique, tests de performances et optimisation méthodologique, réévaluations de potentiel métallogénique et des stratégies d'exploration, documentation thématique ou régionale, génération de cibles, cartes de prospection.

Après un rapide bilan de l'état des connaissances actuelles sur la genèse de ces gîtes, la conférence présentera une synthèse des contributions marquantes du groupe en matière 1) de cartographie prospective et 2) de raffinement du modèle génétique, des outils et des modèles d'exploration.

Dans un premier temps, une carte prospective intégrée et multidisciplinaire est obtenue par la superposition pondérée des différentes cartes livrées lors des projets successifs : réinterprétations géologiques des bassins volcano-sédimentaires, carte métamorphique, carte des couloirs de déformation, carte des paléopressions modélisées, ciblage MEGATEM le long des failles graphitiques, cibles générées lors des synthèses métallogéniques régionales.

Dans un deuxième temps, l'intégration conceptuelle rassemble les différentes contributions les plus utiles à l'exploration autour des cinq thématiques suivantes :

Géochimie des altérations : compilation régionale des altérations aurifères et diagrammes de classification; traitement de l'altération des roches ignées; diagrammes de correction du fractionnement hydraulique et des sources multiples pour la quantification des altérations des roches sédimentaires; intégration de ces outils dans le logiciel original LITHOMODELEUR.

Environnement secondaire : évaluation de la performance des nouvelles méthodes; optimisation des protocoles d'échantillonnage pour les levés de till et de sol; rehaussement d'anomalies géochimiques dans les sédiments de fond de lacs et de ruisseaux; traitement régional. Ces résultats constituent en soi un guide des bonnes pratiques pour l'utilisation de l'environnement secondaire en exploration aurifère.

Relations intrusions et or en Abitibi : reconnaissance des intrusions alcalines; diagramme empirique de fertilité aurifère des intrusions.

Réévaluations métallogéniques régionales : huit projets multidisciplinaires de réinterprétation géologique, structurale et métallogénique de presque tous les bassins volcano-sédimentaires de l'Abitibi, avec compilation et traitement de nouvelles données.

Au mésothermal le long de la Faille de Cadillac (FC) : cyclicité sismique de la FC et hydrothermalisme aurifère; reconnaissance des « champs gîtologiques » par la compilation des « styles » aurifères le long de la FC; géochimie des minéralisations et champs hydrothermaux. Ces travaux multidisciplinaires convergent vers l'existence d'une segmentation hydrothermale aurifère le long de la FC avec au moins cinq principaux systèmes distincts, décrivant une périodicité spatiale typique des grandes failles aurifères archéennes.

SÉANCE 13

Caractérisation métallogénique et structurale des gisements aurifères Triangle et Cheminée n° 4, Val-d'Or, Abitibi

Julien Dubé (UQAC)

Les gisements Triangle et Cheminée no 4 font partie du projet Lamaque-Sud, détenu à 100 % par Eldorado Gold depuis juillet 2017, et devraient être les prochains gisements à entrer en production commerciale dans le camp minier de Val-d'Or. Ils sont associés à un vaste système hydrothermal, lequel comprend également le gisement Sigma-Lamaque (~9 Moz Au) qui est situé au nord ($\pm 1,5$ km) de la Faille de Larder Lake-Cadillac. Les ressources indiquées de Triangle et de la Cheminée n° 4, basées sur une teneur de coupure de 5 g/t Au, sont de 1,51 Moz Au à 9,13 g/t Au (données d'Integra Gold, mars 2017).

Les deux gisements sont encaissés dans les roches volcaniques et volcanoclastiques de la Formation de Val d'Or (2702 \pm 2 Ma à 2704 \pm 2 Ma) et des intrusions de composition variée (diorite, granodiorite, gabbro). Le gisement Triangle est spatialement associé à une cheminée multiphasée (diorite et granodiorite) calco-alcaline, alors que le gisement Cheminée n° 4 est plutôt relié à une cheminée gabbroïque tholéitique. La minéralisation principale de Triangle est constituée d'un ensemble de veines de quartz-carbonates-tourmaline d'épaisseur décimétrique à métrique, d'orientation E-W et de pendage modéré (± 50 - 60°) vers le sud. Ces veines sont logées au sein de zones de cisaillement fragile-ductile à mouvement inverse. Des veines d'extension d'étendue limitée et généralement déformées sont présentes à leur bordure. À l'opposé, la minéralisation de la Cheminée n° 4 se présente principalement sous la forme d'amas de veines et de veinules d'extension subhorizontales associées à des zones de cisaillement distinctes. La paragenèse des veines de la Cheminée n° 4 est similaire à celle de Triangle.

Les altérations hydrothermales sont subdivisées en deux types : proximale et distale. L'altération proximale forme une empreinte visible marquée par le remplacement des minéraux ferromagnésiens, accompagnée d'une séricitisation et d'une carbonatation intense. L'altération distale est cryptique et plutôt marquée par une chloritisation et une carbonatation variant de faible à moyenne, avec la présence de séricite localement.

Les travaux réalisés dans le cadre du projet ont permis de mieux comprendre la nature et la géométrie des intrusions et des zones minéralisées au moyen de carottes de forages orientées et de définir les différentes unités lithologiques présentes ainsi que la minéralogie des veines aurifères et des altérations par l'étude pétrographique en lames minces. La cartographie de galeries souterraines a aidé à mieux contraindre la chronologie des événements structuraux. Tous ces travaux, combinés aux datations U-Pb de certaines phases intrusives (en cours), serviront à préciser la chronologie et les processus magmatiques, métamorphiques et hydrothermaux de ce vaste système hydrothermal aurifère.

SÉANCE 13

Nouvelle vision de la minéralisation aurifère du gisement Goldex, Val-d'Or, Abitibi

Alexandre Munger (UQAC)

Le gisement Goldex, propriété de Mines Agnico Eagle, est encaissé dans une intrusion dioritique syntectonique (2682 Ma) de forme allongée à l'intérieur de la Zone de déformation de Marbénite-Norbénite. Les roches volcaniques mafiques-ultramafiques encaissantes font partie de la Formation de Jacola, au sein de la zone volcanique sud de la Sous-province de l'Abitibi. Le métamorphisme, au faciès des schistes verts en surface, augmente en profondeur. Les couches et la schistosité principale sont orientées à N280° avec un pendage de 75-85°. L'intrusion de Goldex est concordante avec les unités volcaniques et son épaisseur varie entre 60 m et 360 m. Le gisement Goldex se caractérise par un système filonien composé principalement de tourmaline, de quartz, de pyrite, de carbonate et de scheelite, situé au centre du corps intrusif, dans sa partie la plus épaisse. Au point de vue morphologique, le système filonien décrit un réseau interconnecté de veines et de veinules, parallèle à la direction de la diorite, variant en densité et en attitude pour former localement des stockwerks. Plusieurs familles de veines sont reconnues : 1) subverticales, 2) subhorizontales, 3) transitionnelles (entre subverticales et subhorizontales). Ces familles se concentrent dans des zones spécifiques à l'intérieur de la diorite; la géométrie d'ensemble permet de définir un vecteur minéralisé principal dont la plongée est abrupte vers le nord. Le vecteur peut être décomposé économiquement en zones supérieure (zone M), intermédiaire (zones GEZ et E) et inférieure (zone D). Ce vecteur est situé au centre de la diorite, la nature de son contrôle demeure à préciser.

Les veines présentent des bordures d'altération hydrothermale visible (albite rose saumon) sur quelques centimètres à quelques décimètres, dont l'intensité est fonction du contenu en tourmaline de la veine. L'or montre deux habitus : 1) dans la pyrite présente dans les veinules de tourmaline; 2) dans les éponges altérées, sous la forme de grains libres dans la tourmaline. Ces relations indiquent un lien génétique entre l'altération, les veinules et l'or. Globalement, la diorite présente une altération diffuse distincte des bordures visibles, qui produit un voile sombre (chlorite, carbonate, séricite) occultant la texture granulaire de la diorite. La nature et la géométrie de l'enveloppe altérée sont mal définies, mais elle semble se présenter sous forme de plusieurs corridors anastomosés présentant des textures cataclastiques et de bréchification hydrothermale. Ces corridors semblent être liés intimement aux zones de veines.

SÉANCE 13

Le métamorphisme et l'or de type orogénique en Abitibi

Stéphane Faure (InnovExplo)

Plusieurs auteurs ont démontré que les gisements aurifères synmétamorphiques à tardi-métamorphiques (orogéniques), soit la majorité des minéralisations d'or dans les veines et les zones de cisaillement en Abitibi, se mettent en place dans le faciès des schistes verts, près de la limite entre le faciès supérieur des schistes verts et celui des amphibolites. Les zones minéralisées dans les mines de Sigma-Lamaque, de Lapa, de Casa Berardi et de Detour Gold, entre autres, coïncident avec cette limite jugée critique à cause de l'augmentation de la production de fluide et de soufre sous forme mobile, de la diminution de la salinité et du comportement rhéologique transitoire ductile-fragile.

Ce processus de libération de l'or est démontré avec un exemple dans un niveau d'argilites riche en graphite et en sulfures qui coupe l'isograde des schistes verts supérieur (biotite) et la zone de transition vers l'amphibolite (grenat et amphibole) le long de la Faille de Casa Berardi, entre la frontière Québec-Ontario et les mines Casa Berardi. En lames minces, les nodules de pyrite (Py) au faciès des schistes verts se transforment progressivement en pyrrhotite (Po), et ce, avec l'augmentation du métamorphisme vers l'ouest et en profondeur. La chimie minérale par LA-ICPMS indique que les nodules de Py diagénetiques (Py1) contiennent une série d'éléments polymétalliques, y compris de l'or encapsulé dans le cœur ou les couronnes des nodules. Avec l'augmentation du métamorphisme, la Py1 se transforme progressivement en Po (stérile) et en Py2 cubique et métamorphique dans le quartz des ombres de pressions des nodules. Par raffinage, les métaux forment de nouveaux minéraux (sphalérite, chalcopryrite) et l'or se trouve libre soit en inclusions dans les fractures de la Py2 ou le quartz, soit associé à la chalcopryrite.

Suivant ce modèle, il devient impératif de connaître la position des différents isogrades métamorphiques à l'échelle de l'Abitibi pour l'exploration aurifère. Une nouvelle carte métamorphique a servi de guide d'exploration. Afin d'évaluer la théorie selon laquelle l'or précipiterait dans le faciès des schistes verts, près de la limite entre le faciès supérieur des schistes verts et celui des amphibolites, la quantité d'or par unité de surface et le tonnage absolu en or ont été calculés pour le faciès des amphibolites et celui des schistes verts supérieur ainsi que pour des intervalles de distance de 1 km à partir de l'isograde des schistes verts supérieur. Les résultats montrent que la majorité de l'or se situe dans le faciès des schistes verts, plus particulièrement dans les premiers 2 km horizontalement de l'isograde des schistes verts supérieur.

SÉANCE 13

Magmatisme alcalin et minéralisations aurifères en Abitibi

Lucie Mathieu (UQAC)

Le magmatisme alcalin est atypique, car il ne se manifeste pas avant le Néoarchéen et représente un volume de roche beaucoup plus faible que celui produit par les séries subalcalines (tholéiitique et calco-alcaline). Dans la Sous-province archéenne de l'Abitibi, ce magmatisme est syntectonique. Il entretient, avec les minéralisations d'or de type orogénique des liens temporaux, structuraux (c.-à-d. que ces intrusions, généralement felsiques, se déforment de façon cassante à ductile et encaissent des veines de quartz minéralisées et des minéralisations disséminées) et possiblement génétiques (cas pour lesquels l'intrusion fournirait des fluides et/ou des métaux au système minéralisateur). Partant de ce constat, l'objectif de cette étude effectuée par le Consortium de recherche en exploration minérale (CONSOREM) est de déterminer comment les intrusions alcalines peuvent être utilisées en exploration. À l'aide d'une compilation des données chimiques d'intrusions alcalines situées dans la Sous-province de l'Abitibi, il est d'abord apparu que la première difficulté à surmonter en exploration est celle d'identifier ce magma atypique. L'utilisation du rapport Nb/Y n'est pas satisfaisante puisque les roches alcalines sont anormalement appauvries en Nb, en Ta et en Ti, comme la plupart des magmas abitibiens. Par contre, ces roches proviennent d'un manteau enrichi ayant subi un faible taux de fusion partielle et présentent un enrichissement distinctif en éléments incompatibles. Une fois les intrusions alcalines identifiées, un traitement statistique a permis de comparer les compositions chimiques d'intrusions minéralisées et non minéralisées. Il en ressort que les différences chimiques entre les deux classes d'intrusions sont faibles et semblent être causées par un processus d'altération. L'altération potassique, en particulier, est proximale pour plusieurs gisements d'or, mais elle est difficile à identifier et à quantifier dans les intrusions alcalines. Cependant, en prenant l'exemple de la Syénite de Beattie, il est montré que ce type d'altération peut être précisément quantifié. En conclusion, cette étude révèle que les intrusions alcalines peuvent être utiles en exploration, à condition : 1) d'être correctement identifiées; 2) d'y quantifier l'altération.

SÉANCE 13

Le projet MetalEarth

Bruno Lafrance (Université Laurentienne)

Le projet MetalEarth est un programme de recherche appliquée regroupant un consortium stratégique de chercheurs canadiens et internationaux dirigé par l'Université Laurentienne. Ce projet de 104 millions de dollars est financé principalement par les Fonds Apogée du Canada, dont la mission est d'aider les institutions d'enseignement postsecondaire à exceller à l'échelle mondiale dans des domaines de recherche qui créeront des avantages économiques à long terme pour le Canada. MetalEarth cherche des réponses aux questions suivantes : 1) pourquoi les gisements métallifères existent-ils seulement à certains endroits, bien que des régions qui paraissent géologiquement semblables soient pauvres en métaux; 2) comment les gisements métallifères se sont-ils formés et quels sont les processus pour le transport et la capture des métaux du manteau à la croûte terrestre; 3) de l'ère précambrienne à aujourd'hui, la tectonique des plaques est-elle différente et comment cela a-t-il affecté la formation de gisements métallifères? Le but principal du projet est de déterminer les facteurs ayant favorisé l'enrichissement en métaux de certaines ceintures de roches vertes tandis que d'autres ceintures semblables demeurent pauvres en métaux.

MetalEarth comprend quatre volets de recherche : 1) compilation de données géophysiques et isotopiques à l'échelle du Craton du Supérieur; 2) traverses géophysiques (sismique, magnétotellurique, gravimétrique) et géologiques dans les sous-provinces de l'Abitibi et du Wabigoon; 3) études thématiques; 4) analyses de données. Le premier volet permettra de mieux comprendre comment le Craton du Supérieur s'est formé et de détecter si d'anciennes sutures auraient agi comme conduits pour la montée de fluides et de magmas. Le second cherche à mieux comprendre la structure et l'architecture de la croûte terrestre de la surface au manteau. Les travaux relatifs aux deux premiers volets de recherche ont commencé cet été. Des relevés sismiques et gravimétriques ont été réalisés dans les régions de Chibougamau, de Malartic et de Rouyn-Noranda. Des travaux de cartographie régionale ont été entrepris le long de traverses à Malartic et à Rouyn-Noranda. D'autres travaux ont été également réalisés sur des indices d'or dans le Groupe de Cadillac dans la région de Malartic pour mieux comprendre les contrôles géologiques, sur la réactivation de failles volcaniques dans le camp de Rouyn-Noranda, sur la géologie structurale et la stratigraphie de la mine Kerr-Addison le long de la Faille de Larder Lake-Cadillac en Ontario, et sur la Faille de Lincoln-Nipissing, au sud de la Faille de Larder Lake-Cadillac en Ontario. Les résultats préliminaires de ces études seront présentés (conférence et affiches).

SÉANCE 14

La modélisation des circuits CIP et CIL de SGS – Théorie et applications

François Verret (SGS)

Le modèle charbon en pulpe (CIP)/lixiviation au charbon (CIL) de SGS est utilisé pour évaluer les performances de circuits CIP ou CIL actifs ou pour définir les critères de conception optimaux de nouveaux projets. Des échantillons (pulpe et charbon) sont soumis à une série d'essais en vrac à petite échelle pour déterminer la cinétique de lixiviation de l'or et son adsorption sur le charbon, à partir de diverses sources telles que les produits de flottation (concentré et/ou rejet) ou le minerai tout venant. Les résultats des essais et les données d'usine (ou les critères de conception) sont utilisés par la suite pour modéliser le circuit, et ainsi optimiser les performances et la récupération globale. Les programmes de modélisation incluent la rhéologie afin d'optimiser la densité de la pulpe qui peut avoir un impact sur la cinétique de lixiviation et d'adsorption de l'or. Les livrables du modèle comprennent les caractéristiques de la distribution de l'or dans les solides, sur le charbon et dans les solutions, ainsi que les paramètres clés du circuit de charbon. Deux études de cas sont présentées.

SÉANCE 14

Extraction d'or par chloruration : résultats d'une campagne de démonstration sur un concentré réfractaire

Caroline Chouinard (Dundee)

Dundee Technologies Durables (DST) a élaboré des technologies hydrométallurgiques exclusives pour l'extraction des métaux usuels et précieux, à partir de minerais, de concentrés et de résidus qui ne peuvent être exploités avec les procédés conventionnels en raison de problèmes métallurgiques ou environnementaux.

De nombreuses lois relatives à l'industrie minière à travers le monde bannissent l'utilisation du cyanure. DST a développé un procédé d'extraction d'or par chloruration qui constitue une solution de remplacement aux procédés conventionnels par cyanuration. La technologie étant en boucle fermée, aucun effluent liquide n'est généré au sein du circuit d'extraction et la consommation en eau y est très faible, ne servant qu'à compenser l'humidité contenue dans les rejets et les sous-produits du procédé.

Depuis la fondation de l'entreprise en 1997, des centaines d'échantillons provenant de différents endroits dans le monde ont été testés à l'échelle du laboratoire pour en extraire l'or par chloruration. Dans la majorité des cas, 95 % de l'or a été extrait et, dans tous les cas, les rendements d'extraction étaient égaux ou supérieurs à ceux obtenus par les approches conventionnelles. Ces excellents résultats ont justifié la construction d'une usine pilote en 2010, suivie de la mise en production d'une usine de démonstration entièrement automatisée en 2015. L'usine de démonstration, d'une capacité de 15 t/j de concentré, est située à Thetford Mines, au Québec.

DST a également obtenu d'Environnement Canada la confirmation indépendante des résultats de son procédé d'extraction d'or sans cyanure, dans le cadre du Programme de vérification des technologies environnementales (VTE).

En juin 2016, DST a reçu 140 tonnes d'un concentré aurifère provenant d'Amérique du Sud. Le concentré de flottation, contenant 107 g/t d'or, 9,3 % de cuivre et 706 ppm de mercure, a été traité à l'usine de démonstration entre juillet et octobre 2016 pour en extraire le cuivre et l'or par chloruration. La conférence portera sur les résultats obtenus lors de cette campagne de démonstration.

SÉANCE 14

Hydrométallurgie de l'or, de l'anode de cuivre au lingot d'or

Thierry Drapeau (Glencore-CCR)

Affinerie CCR, une filiale de Glencore, est une affinerie de cuivre et de métaux précieux d'envergure internationale, moderne et concurrentielle. Située à Montréal-Est, elle est en activité depuis 1931. La capacité de l'affinerie CCR de s'adapter au marché et la complexité accrue des minerais qu'elle traite lui ont permis de s'établir comme un leader mondial dans son marché.

Des anodes de cuivre jusqu'à l'extraction de l'or, un survol des procédés utilisés à l'affinerie CCR de Montréal-Est sera fait. L'essentiel de la présentation visera les procédés à partir de l'affinage des anodes Doré, en passant par l'électrolyse de l'argent et en se concentrant sur l'hydrométallurgie de l'or.

À la suite de l'électroaffinage de l'argent, la boue récoltée contenant l'or et les autres métaux précieux est traitée dans une unité de production isolée. Le procédé sera expliqué pour présenter les principales étapes menant à la production du sable d'or. Par la suite, il sera traité du procédé de fonte et de la coulée des lingots d'or. Au travers des explications relatives aux procédés, les dernières améliorations et les défis auxquels doit faire face l'équipe de CCR seront abordés.

SÉANCE 14

Affinage de l'or, du doré au lingot

Vicken Aprahamian (Monnaie royale canadienne)

Cette séance portera sur le rôle des affineries sous-traitantes de métaux précieux où les dorés provenant des mines et de sources secondaires sont évalués puis affinés. Les dorés sont des alliages ou des matériaux fondus contenant de l'or, de l'argent et des métaux usuels. Le métal « fin » est le produit fini transformé en produit d'investissement, tel que des lingots et des pièces de monnaie.

Après évaluation du doré du client, l'affinage est mené par voie hydrométallurgique et pyrométallurgique. Les divers procédés d'affinage seront passés en revue. Des procédés d'avenir seront discutés en fin de séance.

SÉANCE 14

Addition de NaCN au broyage versus au circuit de lixiviation

Driss Mrabet (COREM)

Dans les circuits CEP/CEL, les effets de l'ajout de cyanure à l'étape de broyage par rapport aux cuves de lixiviation ne sont pas bien compris. Afin de mieux connaître la chimie d'un circuit de broyage en présence de cyanure et la façon dont elle est influencée par les différentes conditions d'opération, des méthodes d'analyse sur place des sous-produits de sulfures-cyanure ont été développées. Ces méthodes et les tests de laboratoire sur des échantillons industriels ont permis d'optimiser l'addition de cyanure dans le circuit de broyage du concentrateur. Les nouvelles conditions de fonctionnement déterminées à la suite de ces tests ont entraîné une réduction de la consommation de cyanure de 20 % à l'usine, principalement en raison de la réduction de la formation de ferrocyanure, de thiocyanates et de sulfosels.

SÉANCE 15

Le secteur minier, élément-clé de positionnement du Québec dans l'économie émergente de l'énergie renouvelable

Michel Gauthier (UdeM)

Divers facteurs accélèrent le développement d'une nouvelle économie basée sur les énergies non fossiles, et ce, malgré les prix actuellement bas du pétrole et des défis techniques encore présents. Tous les pays industrialisés, la Chine en particulier, ont compris la nécessité absolue de poursuivre leur développement économique par la production, le stockage et l'utilisation d'énergies non fossiles. Cette contrainte a amené la Chine à innover et lui a permis de devenir un leader dans plusieurs domaines : solaire, accumulateurs, transport électrique et matériaux stratégiques.

Compte tenu de son énergie hydroélectrique abondante à faible empreinte carbone, le Québec s'est rapidement positionné dès les années 80 par sa R-D dans le domaine des accumulateurs et des véhicules électriques. Certains développements de première et de seconde transformation en ont résulté ainsi qu'une expertise dans le stockage électrochimique. Pour consolider ces avancées et demeurer compétitif à l'échelle internationale, le Québec doit maintenant s'appuyer sur son secteur minier, sur son coût d'énergie compétitif et sur son expertise acquise dans le secteur du lithium et des matériaux pour accumulateurs. Cette stratégie est primordiale afin de participer activement au développement de cette nouvelle économie et d'accroître localement les partenaires industriels d'envergure du secteur.

Des exemples de développements possibles, où le secteur des mines a un rôle à jouer, seront évoqués dans le contexte du stockage de l'énergie pour illustrer les domaines de collaborations possibles et des façons de positionner le Québec.

SÉANCE 15

La transformation du graphite pour les batteries Li-ion

Jean-Yves Huot et Mathieu Toupin (CNRC)

La présence de graphite au Canada, en particulier dans la Province du Grenville au sein du Bouclier canadien, représente une formidable opportunité dans le domaine des batteries, étant donné que la demande pour du graphite de qualité batterie Li-ion connaît une forte croissance. Nous présenterons le rôle du graphite dans les batteries Li-ion, puis nous analyserons les tendances récentes du marché pour ces batteries et le graphite en particulier. Finalement, nous discuterons des travaux du CNRC dans la seconde transformation du graphite pour développer des produits de qualité pour anode de batterie Li-ion. Nous dévoilerons alors la stratégie du CNRC, ses expertises et ses installations, tout en exposant les enjeux et les défis de la conversion du graphite, de même que les méthodes de conversion et de caractérisation. Quelques résultats touchant le contrôle granulométrique, la sphéronisation et l'enrobage des particules de graphite seront présentés. Nous terminerons en faisant un lien avec nos activités dans le domaine des anodes silicium-graphite et le nouveau groupe de R-D industriel, LiBTec.

SÉANCE 15

La batterie à électrolyte solide lithium métal-polymère

Patrick Leblanc (Blue Solutions)

Filiale du groupe Bolloré, Blue Solutions Canada est une entreprise québécoise qui commercialise et développe la batterie lithium métal-polymère (LMP®). Cette batterie a d'ores et déjà fait ses preuves pour la mobilité électrique dans le cadre des services d'autopartage de Paris (Autolib), de Lyon, de Bordeaux, d'Indianapolis, de Turin, de Singapour et de Los Angeles. La durabilité, le niveau énergétique (autonomie) et la sécurité des batteries ont été largement éprouvés sur ces marchés. Blue Solutions propose aussi des solutions intégrées dans le domaine du stockage d'énergie stationnaire. Les spécificités de la batterie LMP® et des matériaux entrant dans sa composition seront présentées. Les performances en énergie et en durée de vie du bloc-batterie dépendent tout autant de la qualité des matières actives que de celle des matériaux non actifs. Une revue sera faite des pièces constitutives du bloc-batterie et de certaines des exigences applicables.

SÉANCE 15

L'usine P1P de Nemaska Lithium : progression du projet de démonstration et aperçu des possibilités offertes par la technologie électrochimique de production directe de l'hydroxyde de lithium pour d'autres applications

Jean-François Magnan (NMX)

Au cours des derniers mois, Nemaska Lithium a réalisé des progrès substantiels à son usine de Phase 1 (P1P) à Shawinigan. Cette usine de démonstration a commencé à produire et à fournir de l'hydroxyde de lithium de très haute pureté au partenaire stratégique du projet de démonstration. Cette présentation décrit les récents progrès du projet de démonstration ainsi que les avancements du projet de la mine Whabouchi et de l'usine hydrométallurgique commerciale de transformation. La présentation s'attardera également à montrer que la technologie électrochimique de synthèse directe de l'hydroxyde de lithium peut s'appliquer à d'autres sphères d'activités, notamment environnementales, et ainsi générer de nouvelles retombées économiques et environnementales significatives. Le monde minier est un partenaire du développement de méthodes novatrices et transposables dans diverses applications.

SÉANCE 15

Matériaux cathodiques pour batteries au lithium-ion

Denis Geoffroy (Johnson Matthey)

Les batteries au lithium-ion sont couramment utilisées pour alimenter les appareils électroniques depuis deux décennies déjà et leur utilisation s'impose de plus en plus dans le groupe motopropulseur des véhicules personnels, des véhicules utilitaires et des autobus. Le marché des batteries au lithium et des matériaux pour batteries est en pleine expansion, et le phosphate de fer lithié et les oxydes de métaux lithiés stratifiés sont les deux principaux matériaux cathodiques employés. Lors de cette conférence, nous présenterons les activités de Johnson Matthey se rapportant aux matériaux pour batteries ainsi que notre vision de l'avenir. Nous aborderons l'impact des matières premières sur l'industrie des batteries dans son ensemble et les possibles occasions pour les ressources minérales du Québec.

SÉANCE 15

Le Nickel, un avenir brillant... et énergisant

Jean-François Verret (Glencore)

Le nickel joue un rôle important dans la composition des batteries des véhicules hybrides et électriques, lesquels gagnent en popularité. Dans le cadre de ce virage vert, Glencore, avec ses actifs de nickel, se positionne comme un joueur clé au sein de ce marché émergent, à la fois comme fournisseur de matières premières et leader en recyclage des batteries.

SÉANCE 16

Osons car le meilleur est avenir : économie circulaire et métaux

Benoît de Guillebon (Apesa)

L'économie circulaire est une approche globale dont l'objectif principal est de moins puiser dans le capital naturel pour réaliser notre activité humaine. Autrement dit, faire en sorte de vivre mieux en consommant moins d'énergie et de matière... et donc de métaux. Si, à très court terme, nous disposons de suffisamment de métaux pour nos besoins, il suffit de faire un peu de prospective pour se rendre compte que, pour de nombreux métaux, les stocks économiquement, socialement et environnementalement accessibles sont très limités; que le coût énergétique de l'extraction des métaux ne cesse d'augmenter; que la pression sociétale pour une meilleure utilisation des ressources ne cesse de croître.

Comment faire des trois enjeux de l'économie circulaire : réduire, prolonger la durée de vie et recycler, la trame de l'activité de l'industrie minière et des métaux?

Les producteurs de biens contenant des métaux ont bien compris le besoin de réduire à la base la quantité de matière et d'énergie et dirigent leur action vers de l'écoconception, voire de l'économie de fonctionnalité, tout en développant des démarches d'achats responsables. Certains s'orientent même vers la promotion de la réparation. Cette tendance lourde a des impacts directs sur l'activité de l'industrie des mines, à qui les clients vont demander de plus en plus fortement de mettre en place des démarches analogues.

Les métaux sont intéressants, car ils sont globalement plus facilement recyclables que d'autres matières, à condition de limiter la complexité technologique des produits. Du fait de leurs compétences techniques, les industries minières et métallurgiques ont clairement un rôle à jouer aux côtés de leurs clients et des territoires dans le développement du recyclage, voire de la valorisation de la « mine urbaine » que sont les déchets.

À la fois pour des raisons sociétales (garder le droit d'exploiter) et pour des raisons environnementales (minimiser la consommation et les impacts), les industries minières et métallurgiques doivent se positionner dans une logique d'écologie industrielle et territoriale, c'est-à-dire rechercher le maximum de synergies avec les autres acteurs du territoire.

Beaucoup d'exemples montrent qu'il est possible et fructueux de s'engager fortement dans une démarche d'économie circulaire. Une telle démarche demande de changer de regard sur les enjeux environnementaux et sociétaux pour en faire des éléments clés de la stratégie de l'entreprise.

SÉANCE 16

Résultats d'une étude sur l'économie circulaire appliquée à trois métaux stratégiques pour le Québec

Manuele Margni (Polytechnique)

Le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) du Québec a mandaté l'Institut EDDEC pour réaliser un projet de recherche en économie circulaire. L'objectif est d'évaluer le potentiel de circularité de trois métaux stratégiques pour le Québec, soit le fer, le cuivre et le lithium.

À l'œuvre depuis l'automne 2015, l'équipe de recherche multidisciplinaire de Polytechnique Montréal, de HEC Montréal et de l'Université de Montréal a déjà pu s'inspirer des meilleures pratiques internationales pour identifier une quarantaine de stratégies d'économie circulaire potentielles pour les trois métaux étudiés.

Au cours des derniers mois, les chercheurs ont utilisé quatre outils d'analyse pour sélectionner les stratégies à privilégier afin de favoriser la circularité du fer, du cuivre et du lithium au Québec :

- ▶ Une étude des freins et des leviers réalisée à l'aide d'entrevues avec une trentaine d'experts et de représentants d'organisations susceptibles de mettre en œuvre les stratégies ou qui les ont déjà implantées;
- ▶ Une analyse des flux de matières, qui suppose de schématiser les flux et stocks des trois métaux, d'identifier les principales activités de la chaîne de valeurs québécoise qui sont concernées, puis de cibler les flux qui provoquent une perte de circularité (pertes à l'environnement, exportation ou enfouissement) et les principaux stocks potentiellement exploitables;
- ▶ Une analyse de cycle de vie (ACV) de l'industrie minière québécoise pour chacun des métaux et pour les stratégies de circularité étudiées;
- ▶ Une analyse technico-économique des stratégies de circularité étudiées.

L'équipe de recherche étant en cours de rédaction du rapport final, cette session sera une belle occasion d'échanger avec des représentants de l'industrie minière sur les apprentissages et conclusions de l'étude.

SÉANCE 16

Approche circulaire de l'industrie métallurgique à Sorel-Tracy : l'importance de l'innovation

Claude Maheux-Picard (CTTEI)

Plus que jamais, l'industrie métallurgique utilise l'innovation comme levier pour relever le défi de l'économie circulaire. Bien que de nombreux usages soient acceptés et mis en œuvre pour ses divers sous-produits, de nouveaux marchés doivent sans cesse être explorés pour améliorer le bilan environnemental et économique des entreprises de ce secteur. Chaque dollar dépensé en R-D doit résulter en tonnes de matières détournées des parcs à résidus, en diminution des émissions de gaz à effet de serre et en réduction de la consommation de ressources vierges.

Pour réduire le risque et catalyser les efforts de recherche, l'industrie locale n'hésite pas à se regrouper pour aborder les nombreux enjeux auxquels elle fait face. Aciéries, récupérateurs, centres de recherche, tous sont mis à contribution pour accélérer le déploiement des solutions trouvées. De nouveaux marchés ont ainsi été développés pour les stériles, laitiers et autres boues industrielles.

Cette conférence présentera chacun des acteurs de cette symbiose industrielle de même que les marchés développés pour les sous-produits au Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTEI) au cours des dix dernières années. Les projets en cours seront également traités. Finalement, il sera discuté des facteurs de succès de ce type de démarche, de même que la nature de leur impact sur le territoire et l'économie locale.

SÉANCE 16

La technologie électrochimique au service de l'économie circulaire chez Nemaska Lithium

Jean-François Magnan et Thomas Bibienne (NMX)

Nemaska Lithium a démontré qu'elle était capable de produire directement de l'hydroxyde de lithium ayant la pureté requise pour les batteries en utilisant une technologie électro-membranaire, et ce, grâce à son usine de Phase 1 (P1P) à Shawinigan. Lors de la réaction électrochimique, la matière première lithiée a été produite à partir de déchet de sulfate de lithium fourni par Johnson Matthey Matériaux pour Batteries (JMMB), notre partenaire stratégique. Ce déchet de sulfate de lithium est un sous-produit de la synthèse du LiFePO_4 (LFP), une technologie développée par JMMB, qui utilise l'hydroxyde de lithium comme précurseur chimique.

On y voit l'illustration de l'économie circulaire : la matière première est transformée en un matériau de batterie et en un sous-produit de réaction, lui-même reconverti à nouveau en matière première lithiée. Ainsi, le déchet originaire de la synthèse hydrothermale du LFP est réutilisé et voit sa valeur décuplée. Ce procédé s'intègre dans le principe de l'économie circulaire, concept apparu dans les années 1970, mais qui était connu depuis deux siècles. Rappelons-nous la célèbre maxime du chimiste Antoine Lavoisier : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ». La technologie électro-membranaire développée par Nemaska Lithium utilise aujourd'hui le sous-produit de réaction du LFP de JMMB, mais pourrait également être adaptée pour des sous-produits chimiques issus d'autres industries.

En outre, le sulfate de lithium n'est pas le seul sous-produit pouvant être valorisé par le procédé de Nemaska Lithium. Lors de la conversion du spodumène exploité à la mine Whabouchi en hydroxyde de lithium, l'acide sulfurique est utilisé pour extraire le lithium de la roche, formant ainsi le sulfate de lithium. Il sert alors de matière première à l'électrolyse membranaire qui produit l'hydroxyde de lithium, aux dépens de la solution de sulfate de lithium qui s'appauvrit au fur et à mesure que le sulfate est converti en acide sulfurique. Enfin, la réaction d'électrolyse membranaire conduit également à la production d'hydrogène de haute pureté, qui est aussi revalorisé. Cette présentation met en évidence que les procédés de synthèse et d'extraction peuvent s'articuler autour de plusieurs boucles de recyclage, illustrant ainsi la présence de l'économie circulaire au sein des procédés de Nemaska Lithium.

SÉANCE 16

Panel – Les freins et les leviers de l'économie circulaire au Québec

Mélanie McDonald (I-EDDEC), Benoît de Guillebon (Apesa), Manuele Margni (Polytechnique), Olivier Bahn (HEC), Claude Maheux-Picard (CTTEI), Jean-François Magnan (NMX)

Ce panel sera l'occasion d'échanger sur les freins et leviers de la mise en place de l'économie circulaire dans l'industrie minière et métallurgique québécoise. Réunissant tous les conférenciers de cette séance, il s'appuiera sur l'expertise développée en Europe et au Québec, tant au niveau académique que sur le terrain.

Les panélistes et les participants seront invités à : 1) identifier les principaux éléments qui empêchent ou limitent la circularité des métaux au Québec; 2) proposer des solutions pour faciliter le déploiement des stratégies de circularité des métaux; 3) discuter des premières étapes à privilégier pour amorcer une transition vers l'économie circulaire au Québec.

SÉANCE 17

Le gisement aurifère Éléonore, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur : un système hydrothermal fertile et complexe dans un environnement hypozonal

Benoît Dubé (CGC-Q)

La mine Éléonore représente un gisement aurifère de classe mondiale contenant des réserves de 4,57 Moz Au, des ressources mesurées et indiquées de 0,93 Moz Au et des ressources présumées de 2,35 Moz Au localisé sur le territoire de la municipalité d'Eeyou Istchee Baie-James. La mine est située à 1,5 km au sud du contact entre les sous-provinces d'Opinaca (paragneiss, migmatites et intrusions) et de La Grande (ceintures volcano-sédimentaires et intrusions). Le minerai est majoritairement encaissé dans des wackes finement lités (< 2675 Ma), des paragneiss (< 2674 Ma), des schistes à biotite-actinote et, plus localement, dans des intrusions, des veines de quartz-feldspath et des pegmatites granitiques (env. 2620-2600 Ma). La minéralisation principale est distribuée dans plusieurs corridors NNW-SSE formant une enveloppe subverticale d'une largeur de 70 à 80 m et d'une extension verticale $\geq 1,4$ km. Ces corridors sont notamment associés à une zone d'altération proximale potassique et riche en bore (zone 5050) montrant une signature métallique à Au-As-Sb-Bi-W. Le gisement se caractérise par des styles variés de minéralisation, y compris : i) un réseau de veinules et de zones de remplacement à quartz-dravite-microcline-phlogopite avec arsénopyrite-löllingite-pyrrhotite (zone 5050); ii) des veines et brèches hydrothermales contenant du quartz, de l'actinolite, du diopside-hédenbergite, de la muscovite, du schorl, et de l'arsénopyrite-löllingite-pyrrhotite et des zones de silicification (zones 6000, 7000 et 8000, zones « hanging wall »); iii) des zones plus restreintes de veinules de quartz et de quartz-feldspath à or visible (zone 494), des zones de remplacement à basse teneur (zone du Nord) et, par endroits, des dykes de pegmatite aurifères. Les zones aurifères ont dans l'ensemble enregistré la déformation principale et sont métamorphosées. Les textures et les assemblages à löllingite-arsénopyrite-pyrrhotite+diopside-hédenbergite+phlogopite-biotite+microcline indiquent que la majeure partie de la minéralisation a subi un métamorphisme prograde (env. 2640-2600 Ma), suivi d'une rétrogradation.

Des zones aurifères (indices Cheechoo et Éléonore Sud) sont présentes dans la Tonalite de Cheechoo (série de l'ilménite) altérée, déformée et métamorphosée (datée à 2612 ± 1 Ma) et, localement, dans les pegmatites et les paragneiss. L'or est associé à : i) des veinules de quartz et de quartz-feldspath (« sheeted » et stockwerk) déformées; ii) des zones d'altération potassique, d'albitisation ou de silicification avec $\leq 1-2$ % d'arsénopyrite, de pyrrhotite, de pyrite et de l'or visible; iii) des veines-dykes de « pegmatite » à quartz-feldspath. Le style de minéralisation-altération de ces indices et les assemblages métalliques montrent des affinités avec une partie de la minéralisation de la mine Éléonore.

D'un point de vue régional, ce vaste système hydrothermal aurifère présente des analogies avec les gisements orogéniques « hypozonaux » syn-pic à post-pic métamorphique. Toutefois, le gisement Éléonore est déformé et métamorphosé. Il présente certaines similitudes avec le gisement Borden à l'ouest de Timmins. Certaines zones aurifères dans la Tonalite de Cheechoo et ailleurs à la mine Éléonore montrent également des analogies avec un groupe de gisements controversé associé à des intrusions réduites (« structurally-controlled sediment-and intrusion-hosted reduced intrusion-related gold deposits »). Le vaste système hydrothermal aurifère présent dans le secteur d'Éléonore illustre le potentiel d'une grande région au métamorphisme de plus forte intensité, située à proximité du contact entre deux sous-provinces archéennes.

SÉANCE 17

L'indice Mustang : géologie d'une minéralisation aurifère mise en place dans les turbidites de la ceinture de la Basse-Eastmain, Eeyou Istchee Baie-James

Anne-Marie Beauchamp (MERN)

L'indice aurifère Mustang se trouve sur la propriété Wabamisk appartenant à Minière Osisko. Cette minéralisation est constituée d'une veine de quartz ± carbonate aurifère qui est encaissée dans la ceinture volcano-sédimentaire de la Basse-Eastmain, près du contact entre les sous-provinces d'Opinaca et de La Grande. Son épaisseur varie de quelques centimètres à 1,5 mètre et elle a été suivie sur 525 mètres latéralement et jusqu'à une profondeur de 250 mètres grâce à des décapages et des forages. Les teneurs de la veine varient de quelques grammes par tonne jusqu'à 275 g/t Au. La roche encaissante est une séquence de roches sédimentaires archéennes clastiques (< 2709 ± 4 Ma) qui a subi au moins trois phases de déformation ductile suivies d'un épisode de déformation fragile tardive (D₄). Une première phase de plissement d'orientation NNW (plis P₁) est replissée par des plis P₂ orientés ENE. La foliation principale S₂ est de direction ENE à pendage abrupt vers le nord et de plan axial aux plis P₂. Subparallèle au litage, la veine Mustang est plissée en S. Elle s'est mise en place durant la déformation régionale D₂.

La veine Mustang et les autres veines de quartz ± carbonate aurifères du secteur contiennent de 2 à 5 % de sulfures, principalement de l'arsénopyrite et de la pyrrhotite. La marcassite, la pyrite, la galène et la sphalérite sont moins courantes. La cartographie des échantillons par ablation laser couplée à un spectromètre de masse à plasma inductif (LA-ICP-MS) a permis de déterminer les différents habitus de l'or qui a une distribution bimodale. Les grains d'or visibles forment des particules isolées ou des amas dans les veines, dans les épontes ou des inclusions dans les sulfures. L'or non visible à l'œil nu (submicroscopique) se trouve sous la forme de nanoparticules et de particules colloïdales dans la matrice cristalline des grains d'arsénopyrite, de pyrite et de marcassite. Le modèle d'or de type orogénique s'applique très bien aux minéralisations aurifères du secteur.

L'indice Mustang présente des analogies en matière de contexte géologique, de styles de minéralisation, d'altération et de déformation avec les gisements syndéformation encaissés dans des séquences de turbidites (ex. : Meguma en Nouvelle-Écosse et Central Victoria en Australie). Tout comme la mine Éléonore, l'indice Mustang illustre le potentiel des assemblages métasédimentaires archéens plissés et situés à proximité du contact tectono-métamorphique avec la Sous-province d'Opinaca pour les minéralisations aurifères importantes à la Baie-James.

SÉANCE 17

Projet aurifère Eau Claire : nouvelle ressource – nouvelles idées et interprétations

Bill McGuinty (Eastmain Resources)

Le projet Clearwater, qui comprend le gisement Eau Claire, est situé à la Baie-James, à environ 10 km à l'est de la centrale hydroélectrique Eastmain-1, dans la Sous-province de La Grande. La géologie de la propriété consiste en des roches volcaniques bimodales, notamment des coulées mafiques et des volcanoclastiques felsiques où s'intercalent des formations de fer, des métasédiments, des intrusions et des dykes de composition variés.

Les systèmes de veines de quartz minéralisées sont principalement contenus dans une séquence de coulées mafiques massives, localement coussinées, où s'intercalent des bandes étroites de roches métasédimentaires volcanoclastiques. Les coulées et les sédiments ont été coupés par plusieurs phases de dykes porphyriques felsiques à intermédiaires. Les réseaux de veines de quartz-tourmaline parallèles (en échelons) et aurifères sont associés à des auréoles d'altération à actinolite ± biotite ± carbonate qui peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur.

Les roches encaissantes ont été plissées et déformées (cisillées) lors de plusieurs événements de déformation successifs. À ce jour, quatre phases de déformation affectant la minéralisation ont été observées et décrites sur la propriété :

- ▶ Déformation D1 caractérisée par une foliation pénétrative (S1), zones de forte contrainte avec plis isoclinaux F1;
- ▶ Déformation D2 (avec clivage de la crénulation S2), plis F2 plongeant au SW et zones de cisaillement orientées E et NE;
- ▶ Déformation D3 caractérisée par un clivage de crénulation NW, plis F3 plongeant ENE (partie est de la propriété) et zones de cisaillement orientées NW;
- ▶ Déformation D4 (failles cassantes) senestre NE et dextre NW.

En septembre 2017, Eastmain Resources a annoncé une mise à jour de l'estimation des ressources minérales du gisement Eau Claire. Les ressources mesurées sont de 932 000 t à 6,67 g/t Au (200 000 oz), les ressources indiquées de 3 238 000 t à 6,01 g/t Au (626 000 oz) et les ressources présumées de 2 227 000 t à 6,49 g/t Au (465 000 oz).

L'augmentation du nombre de sondages a permis de mettre en lumière une série de veines HGS (*High Grade Schist*) de direction N140° à N155°. Les veines de quartz en échelons (E-W) et les veines HGS ont un pendage entre 40° et 60° vers le sud. La minéralisation et l'altération des deux types de veines sont similaires et leurs caractéristiques structurales semblent indiquer qu'elles ont interagi durant une succession d'épisodes fragiles et ductiles lors de la genèse du gisement. L'importance des veines HGS, généralement plus épaisses, réside dans leur dimension qui constitue un élément important pour le développement du gisement en profondeur.

SÉANCE 17

Métallogénie des minéralisations d'or de type orogénique le long du contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, Eeyou Istchee Baie-James

Roman Hanes (UL)

De nombreux indices d'or de type orogénique sont présents 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 de type filonien et sulfures disséminés dans les secteurs de La Grande-Sud et de La Grande-Est ont été étudiés en détail. Les multiples générations de veines se subdivisent en deux groupes; les veines de quartz-tourmaline-carbonates (type 1, les plus abondantes) coupent localement des veines précoces (type 2) caractérisées par un assemblage de quartz-carbonates. Les veines de type 1 correspondent à des veines de cisaillement et d'extension et leur mise en place semble contemporaine à celle des zones de cisaillement subparallèles au contact LGO. L'analyse structurale indique que les axes minimaux (Z) des ellipsoïdes de déformation finie des veines de type 1 ont une orientation constante N-S dans tous les secteurs, ce qui suggère une compression N-S. Les orientations des axes maximaux et intermédiaires montrent une permutation de mouvement inverse vers un décrochement, compatible avec un régime en transpression. Dans les veines, l'assemblage de sulfures précoces est dominé par la pyrrhotite, suivi par l'arsénopyrite et la pyrite. Les fortes teneurs en or sont principalement associées à l'arsénopyrite synchronématique tardive présente dans des veines encaissées dans des roches volcano-sédimentaires et des roches ignées mafiques. L'assemblage pyrite-chalcopyrite domine dans les veines encaissées dans la tonalite. Les relations texturales et les analyses de thermométrie de l'arsénopyrite semblent indiquer une augmentation progressive de la température pendant la croissance de l'arsénopyrite des faciès des schistes verts inférieur à supérieur. De l'or natif est présent en inclusions dans les sulfures, dans les fractures des sulfures et sous la forme de grains libres dans le quartz. Les analyses d'or montrent deux populations qui se distinguent par leur contenu en argent. Dans le secteur de La Grande-Sud, les dykes polyphasés syntectoniques de lamprophyre se sont mis en place en bréchifiant la tonalite foliée dans l'ombre de pression de l'intrusion (indice Brèche). Ces dykes mafiques et calco-alcalins montrent une population de xénolites variés. La minéralisation aurifère dans les dykes est caractérisée par une dissémination sélective de la pyrite-chalcopyrite avec des veinules de quartz-carbonate-sulfures. Toutes les phases de lamprophyre sont variablement minéralisées, suggérant une minéralisation épigénétique reliée aux zones de cisaillement et aux fractures associées. Nous émettons l'hypothèse que les veines d'or orogéniques le long du contact LGO, ainsi que l'emplacement de dykes et la minéralisation subséquente à l'indice Brèche, sont associées à la dernière phase de déformation progressive de l'événement régional transpressif.

SÉANCE 17

Prospection glaciocédimentaire pour l'or dans la région du lac Nemiscau (portion nord du feuillet SNRC 32N)

Olivier Lamarche (MERN)

Le Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec (BCGQ) a entrepris à l'été 2016 une campagne de cartographie des dépôts de surface jumelée à un échantillonnage systématique des tills et des eskers dans la région des rivières Rupert et Pontax, dans le feuillet SNRC 32N, à environ 200 km au nord de Matagami. Près de 350 échantillons ont été prélevés dans le cadre de ce projet d'envergure qui a pour but de caractériser le potentiel minéral des basses-terres de la baie James, où la couverture sédimentaire est particulièrement puissante. La connaissance géologique de la région est concentrée le long des axes routiers principaux, où ont été observées à l'été 2016 au moins une séquence de roches sédimentaires néoarchéennes, ainsi que des lambeaux de volcanites mafiques amphibolitisées. Ces ceintures, dont l'extension de part et d'autre du réseau routier est encore mal définie, pourraient renfermer un potentiel en or et en métaux usuels qui peut être précisé par l'analyse géochimique de la matrice des tills et par la détection de minéraux indicateurs (grains d'or, sulfures, etc.).

Le décompte des grains d'or (visuel et automatisé), des minéraux indicateurs de minéralisations aurifères, ainsi que les analyses géochimiques de la matrice des tills (< 63 µm) permettent de cerner quelques zones à fort potentiel pour l'exploration de l'or. Le compte total de 4529 grains d'or, soit une moyenne de 13 par échantillons, contraste avec la signature régionale; il se compare à la signature obtenue à l'aval glaciaire de secteurs au potentiel aurifère bien établi. De plus, la morphologie très délicate des grains d'or, très bien préservée, semble indiquer des sources proximales pour ceux-ci, lesquelles pourraient être caractérisées par un assemblage de minéraux silicatés, potentiellement d'origine métamorphique. Bien que la région soit située en aval glaciaire de la portion ouest de l'imposante ceinture d'Eastmain, celle-ci se trouvant à près de 100 km au nord des anomalies ne peut être la source de l'ensemble des grains d'or en raison de leur nature délicate. De nouvelles zones favorables avec un potentiel en or ont ainsi été définies dans des régions quasi inexplorées. Ces cibles aurifères relevées dans le till permettront de guider l'exploration pour l'or dans ces zones peu connues.

Enfin, une bonne connaissance de l'histoire glaciaire de la région est indispensable pour retracer la source d'une anomalie minérale mise en évidence par la prospection glaciocédimentaire. Par conséquent, la campagne d'échantillonnage a été menée en parallèle avec la cartographie des dépôts meubles, ainsi que le recensement des formes glaciaires orientées (traînées morainiques, eskers, moraines, drumlinnoïdes) et des marques d'érosion (stries et leurs chronologies relatives). L'étude de la dynamique glaciaire et de la séquence des écoulements a permis de préciser le contexte glaciaire de la région étudiée.

SÉANCE 17

L'ouest de la Grande Rivière et de la rivière Eastmain : deux domaines aurifères distincts possiblement liés

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

Alors que les ceintures de roches vertes de l'ouest de la Grande Rivière reposent sur une séquence de plateforme arénitique et un socle tonalitique de plus de 2,8 Ga, celles de l'ouest de la rivière Eastmain reposent plutôt sur une croûte océanique juvénile, tout comme celle du Blake River et du Val-d'Or dans le sud de l'Abitibi. Une sous-province métasédimentaire turbiditique plus jeune encore, celle d'Opinaca, s'intercale entre les deux domaines volcano-sédimentaires (DVS).

La mine Éléonore se trouve au contact de l'Opinaca et du DVS de la Moyenne-Eastmain. Il en va de même pour le prospect Cheechoo de Sirios. D'autre part, au lac Sakami, la zone 25 du consortium Matamec-Métaux Stratégiques du Canada se situe au contact de l'Opinaca avec le DVS de La Grande. S'y trouve la Formation d'Apple, une séquence de plateforme arénitique à conglomérat uranifère pyriteux d'âge semblable à celle du Witwatersrand d'Afrique du Sud. À cet endroit, ces méta-arénites sont au faciès des amphibolites inférieur. Par contre, au nord de LG-3, le métamorphisme atteint le faciès des amphibolites supérieur, l'uranium n'y est plus et la pyrrhotite remplace complètement la pyrite. Cette observation suggère une remobilisation de l'uranium lors du métamorphisme prograde. De fait, c'est dans l'Opinaca, voisin de la zone 25, qu'en 1975, le consortium SES a découvert la plus grande concentration de gîtes d'uranium de type Rossing.

Dès 1994, l'analogie avec le Witwatersrand a incité R. Doucet et Dynacor à venir prospecter le gîte d'uranium Apple pour l'or. Celui-ci s'est révélé stérile, mais de l'or a été trouvé à proximité (zone 25) et dans un granite à tourmaline d'un âge voisin des pegmatites aurifères de la mine Éléonore et de la tonalite de Cheechoo. Cet été, Explorations Harfang a constaté que c'est lorsque des failles majeures WSW-ENE coupent la Formation d'Apple que celle-ci et les roches adjacentes deviennent porteuses d'or. Toutes ces observations nous amènent à nous interroger sur l'héritage de l'or, là où se situe maintenant une grande mine d'or.

RÉSUMÉS DES PHOTOPRÉSENTATIONS

G13	Reconstruction de l'architecture de la partie ouest de la Province de Grenville en 4D – Objectifs du projet et résultats préliminaires le long de la route 117 au Québec50
G14	Formation et préservation du rutile dans les éclogites grenvilliennes au NE du réservoir Manicouagan 50
G15	Propriétés physiques des gabbronorites et des syénites de la région de la Haute-Mauricie, ouest du Grenville 51
G16	La Ceinture Allochtone du centre du Grenville comme source de pegmatites : quel potentiel métallogénique en ETR? 51
G17	Caractérisation pétrologique et géochimique des intrusions mafiques et ultramafiques de la Ceinture de Colomb-Chaboullié (Baie-James) 52
G18	Étude structurale et métamorphique de la Sous-province de Nemiscau, Baie-James, Québec : évolution tectonique d'un bassin sédimentaire archéen 52
G19	Stratigraphie des roches volcaniques et minéralisation volcanogène de la Ceinture archéenne de Colomb-Chaboullié, Baie-James 53
G20	Stratigraphie et potentiel aurifère de la Ceinture de roches vertes de la Haute-Eastmain, exemple de l'indice Hillhouse, Eeyou Istchee Baie-James 53
G21	Étude des intrusions ultramafiques des sous-provinces de La Grande et d'Opinaca..... 54
G22	Géochronologie et métamorphisme du nord-ouest de l'Opinaca, Eeyou Itschee Baie-James 54
G23	Géologie et minéralisations du gîte La Pointe, lac Sakami, Eeyou Istchee Baie-James 55
G24	Le potentiel en minéralisations de type sulfures massifs volcanogènes (SMV) dans le district de Chibougamau-Chapais, Sous-province de l'Abitibi (Québec) 55
G25	Conditions thermiques et distribution de la déformation au sein des zones de cisaillements ductiles de la Zone noyau, sud-est de la Province de Churchill 56
G26	Enfouissement et pic métamorphique dans la croûte moyenne de l'Orogène du Nouveau-Québec : contraintes pétrochronologiques et évolution P-T-t 56
G27-G28	Synthèse du sud-est de la Province de Churchill 57
G29	Géologie de la région du cap Wolstenholme, Orogène de l'Ungava, Province de Churchill (SNRC 35K) 57
G30	Géologie et potentiel économique de la partie nord-ouest du réservoir Manicouagan, Province de Grenville (SNRC 22N06, 22N10, 22N11 et 22N14) 58
G31	Géologie des régions de l'île Bohier et des monts Otish, Eeyou Itschee Baie-James (SNRC 33A01, 33A08, 23D04 et 23D05) 58
G32	Levé géologique dans les sous-provinces de La Grande et de Nemiscau à l'est de Waskaganish, Eeyou Istchee Baie-James (région du lac Champion) 59
G33	Géologie de la région de Borgia, secteur ouest du Grenville, Québec (31P09, 31P10, 31P15 et 31P16)..... 59
G34	Présentation des levés aéromagnétiques réalisés en 2017..... 60
G35	Inventaire des ressources en granulats des régions de Sept-Îles et de Rimouski 60

G36

Cartographie et prospection glaciocédimentaire du Quaternaire dans la région de la baie Abatagouche : résultats préliminaires 61

G37

Prospection glacio-sédimentaire et cartographie du Quaternaire de la région des monts Otish et Tichégami 61

G38

Prospection glacio-sédimentaire et cartographie du Quaternaire de la région de la rivière Rupert (portion de 32N) 62

G39

Géologie des dépôts de surface de la région de la rivière Arnaud (24M et 25D) 62

G40

Apports de l'imagerie satellite de haute résolution à la cartographie du Quaternaire et à l'analyse du transport glaciaire : exemples de la région de Kangirsuk (Ungava, Nunavik) 63

G41

Étude des altérations synvolcaniques de la ceinture des Escoumins (centre de la Province de Grenville, Québec) : implications pour l'exploration de gisement de type SMV dans des terrains métamorphisés 63

G43

Potentiel de minéralisation en silice au Québec 64

G44

Les ardoises au Québec 64

G47

Typologie des intrusions porphyriques et relation avec la déformation dans le secteur est de Val-d'Or 65

G48

Géologie et compilation du secteur La Corne (32C05-NW), Abitibi 65

G49

Zones favorables à l'exploration déterminées par régression spatiale multiple à partir des sédiments de fond de lacs pour les levés du secteur du lac Assinica, d'Abitibi sud-est et de Mistassini nord-est 66

G50

État des nouvelles compilations géoscientifiques au Québec 66

G51

Géochimie et pétrogenèse des roches volcaniques et sédimentaires de la partie sud-ouest de la Sous-province du Pontiac (Témiscamingue) 67

G62

Signatures paragenétiques et lithogéochimiques des systèmes métasomatiques polymétalliques à oxydes de fer et à éléments alcalins et calciques : des outils d'exploration et d'interprétation 67

G64

Le segment Taschereau-Amos-Senneterre et son potentiel métallogénique 68

G65

Optimisation des mailles de forages pour les besoins du calcul de ressources 68

G66

Identification des minéraux indicateurs par micro-XRF 69

G67

La chalcopryrite comme minéral indicateur pour discriminer les types de gisements : une étude préliminaire 69

G68

Propriétés physicochimiques des oxydes de fer détritiques comme indicateurs de provenance : étude de cas du district uranifère de Kiggavik (Nunavut, Canada) 70

G70

Reconnaissance optique de sulfures et d'oxydes en grains à l'aide d'une caméra multispectrale 70

G71

Mesure *in situ* de l'or dans des échantillons miniers par spectroscopie induite par laser (LIBS) 71

G72

Optimisation de la stratégie d'échantillonnage *in situ* dans les minerais d'or par spectroscopie induite par laser 71

G73

Géologie et géochimie des filons-couches mafiques-ultramafiques des permis au nord du district de Ni-Cu-(EGP) de Raglan, Ceinture de Cape Smith, Nunavik, Québec 72

G74	Évaluation de la distribution des minéraux d'altération et des variations spatiales dans la composition chimique des minéraux dans les roches de l'éponte inférieure de la partie nord du couloir aurifère de Bug Lake : implications comme vecteurs d'exploration	72
G75	Intégration et visualisation en 3D des données à la mine Cooke : potentiel pour l'exploration locale et régionale	73
G76	Intégration et visualisation en 3D des données essentielles pour le potentiel minéral : application à l'ancienne mine Cooke, Chapais	73
G77	Principaux contrôles primaires et structuraux sur la nature et la distribution de l'or et de l'argent dans les zones minéralisées du projet B26, Complexe de Brouillan, Abitibi, Québec	74
G78	Minéralisation aurifère associée à des essaïms de dykes felsiques : paramètres fondamentaux de la formation de gisements importants? Le cas de Dragon Gold 167, Chibougamau.	74
G79	Les minéralisations périgranitiques du Pluton de East-Sullivan, district de Val-d'Or, Abitibi.....	75
G80	Contrôles sur la distribution de l'or à l'intérieur du gisement Horne 5, Rouyn-Noranda, Québec	75
G81	Nature et style de l'altération hydrothermale associée aux minéralisations aurifères du projet LaRonde Zone 5 (projet LZ-5), Abitibi, Québec.....	76
G82	Géologie et métallogénie du gîte aurifère Pierre, propriété Menarik, Baie-James	76
G84	Pépérites dans la Sous-province de Pontiac : indice de magmatisme durant la formation d'un bassin sédimentaire	77
G85	Le projet Kwyjibo : caractérisation pétrologique de la minéralisation en terres rares d'un gîte d'oxydes de fer et d'apatite, Province de Grenville	77
G86	Étude pétrographique et géochimique des pyrochlores de la carbonatite du Complexe alcalin de Saint-Honoré, Saguenay, Québec.....	78
G88	Contrôles structuraux et lithologiques sur l'or associés aux formations de fer rubanées : aperçu du gisement Tiriganiaq, district de Meliadine.....	78
G89	Analyse des sédiments glaciaires par comptage des clastes et des grains d'or sur la propriété Amaruq, Nunavut.....	79
G90	Assimilation stochastique en 3D de données géophysiques du gisement Lalor, Manitoba, Canada	79
G91	Résultats préliminaires du projet de cartographie des dépôts du Quaternaire des régions de Laval, des Laurentides et de Lanaudière	80
G92	Sédimentation glaciaire à post-glaciaire du Quaternaire tardif dans trois fjords lacustres adjacents de la Côte Nord au Québec (Est du Canada) : résultats de l'analyse sédimentologique et micropaléontologique	80
G93	Utilisation des forages miniers comme outil principal pour l'estimation des flux thermiques en recherche en géothermie : données de la Fosse du Labrador, Nord-du-Québec	81
G94	Évaluation du potentiel géothermique de la mine Éléonore.....	81
G95	Évaluation détaillée de l'effet de la géométrie des chambres ouvertes sur la probabilité d'un effondrement de chantier ..	82
G96	Dimensionnement des chantiers remblayés de la mine Niobec en utilisant la modélisation 3D	82
G97	Surveillance microsismique des mines en temps réel.....	83

G98

Évaluation de l'effet de la résistance matricielle de la roche intacte dans le processus de l'érodabilité hydraulique du roc..... 83

G99

Étude de l'équilibre séculaire des résidus miniers..... 84

G100

Développement d'un procédé de récupération des métaux d'intérêt présents dans les déchets de piles alcalines..... 84

G101

Optimisation d'une méthode d'extraction acide des éléments de terres rares dans les résidus de bauxite 85

G102

Comment exploiter les principes de succession végétale et les associations microbiennes pour réussir sa réhabilitation minière à faible coût, sans amendement et sans préparation du site?..... 85

G103

L'exploitation de microorganismes indigènes pour améliorer la survie et le développement de plantes pionnières lors de la réhabilitation de sites perturbés 86

G104

Le microbiome racinaire : un outil prometteur pour améliorer la performance des arbustes indigènes employés pour la réhabilitation minière au Québec..... 86

G105

Colonisation naturelle d'un site minier aurifère sur 50 ans : comparaison des populations microbiennes, de la structure élémentaire du sol et du potentiel de transfert de métaux lourds dans les plantes 87

G106

Isolement et sélection d'endophytes fongiques pour la phytostabilisation des métaux lourds dans le sol..... 87

G107

Rétablissement autonome de la biodiversité boréale sur les sites miniers : l'importance relative des conditions du substrat et perturbations humaines 88

G108

Potentiel de translocation et de toxicité du drainage minier acide envers l'aulne, un arbuste de choix en restauration minière 88

Reconstruction de l'architecture de la partie ouest de la Province de Grenville en 4D – Objectifs du projet et résultats préliminaires le long de la route 117 au Québec

Christopher Lambert, Félix Gervais (Polytechnique), Abdelali Moukhsil (MERN)

De récentes compilations de données dans la Province de Grenville ont mené à de nouveaux modèles conceptuels considérant cet ensemble comme un orogène long et chaud qui aurait connu initialement des étapes de fluage chenalisé sous une croûte orogénique très épaisse, suivies d'un effondrement gravitationnel. La Ceinture Allochtone (CA) représente une partie de l'arrière-pays épaissi et se compose d'un assemblage de roches exotiques accrétées à la Laurentie. Elle peut être subdivisée en un niveau structural inférieur déformé à métamorphisme de forte intensité durant la phase d'Ottawa (1090-1020 Ma) de l'Orogénie grenvillienne, tandis que le niveau structural supérieur a largement échappé à cet épisode et forme la couverture orogénique. La CA est juxtaposée à la Ceinture Parautochtone (CP), structurellement sous-jacente, le long de la Zone de charriage de l'Allochtone (ZCA), une structure d'extension régionale. La CP fait partie du Craton du Supérieur et possiblement des séquences de couverture laurentiennes qui ont été remaniées lors de la phase de Rigolet (1010-950 Ma) de l'orogénie, laquelle est interprétée comme représentant des avancées de l'Orogène de Grenville dans l'avant-pays, soit durant un effondrement orogénique ou à l'occasion d'une nouvelle phase de contraction. La ZCA juxtapose donc deux domaines tectonométamorphiques distincts. Dans l'ouest québécois, l'emplacement de la ZCA n'a pas été établi avec précision et les trajectoires de pression-température-temps (P-T-t) des différents domaines n'ont pas été étudiées à l'aide de techniques modernes.

Dans le cadre de cette étude, des affleurements clés le long de la route 117 ont fait l'objet d'une cartographie et d'un échantillonnage systématiques dans le but de construire une section transversale modélisée illustrant la trajectoire P-T-t (4D) de l'Orogène grenvillien. Les principaux objectifs de cette étude sont d'identifier et de délimiter la ZCA en définissant les conditions métamorphiques et les contraintes temporelles de part et d'autre de la ZCA et d'autres limites tectoniques importantes comme le Détachement de Dorval. Par ailleurs, la cartographie structurale détaillée et l'utilisation de techniques d'analyse microstructurale permettront de retracer l'évolution structurale et la cinématique des ceintures autochtone et parautochtone le long de cette coupe.

Les résultats préliminaires semblent indiquer que la localisation de granulites mafiques à haute pression (clinopyroxène et grenat) et la trace d'un isograde grenat récemment découvert suivent des axes géophysiques, définissant ainsi une mince tranche (< 8 km) de roches au faciès des granulites sous la Ceinture métasédimentaire centrale, laquelle fait partie de la couverture orogénique. Si c'est le cas, cela impliquerait que la trace de la ZCA change d'un axe régional au NE à une ceinture orientée au NNW dans cette partie de l'orogène. De plus, les assemblages mafiques le long de la ZCA nouvellement délimitée ressemblent aux roches mafiques-ultramafiques de la Ceinture de Renzy, lesquelles renferment des minéralisations de Cu-Ni, soulignant ainsi l'importance économique des travaux visant à délimiter la ZCA.

Formation et préservation du rutile dans les éclogites grenvilliennes au NE du réservoir Manicouagan

Charles Kavanagh-Lepage, Félix Gervais (Polytechnique), Abdelali Moukhsil (MERN)

Le secteur à l'étude se situe au nord-est du réservoir Manicouagan, dans la Province de Grenville, plus précisément dans la Zone imbriquée de Manicouagan (ZIM). La ZIM constitue un domaine de haute pression en raison de la présence marquée de la paragenèse clinopyroxène-grenat. Pour simplifier le texte, le terme éclogite est ici utilisé pour désigner les roches montrant cette paragenèse ainsi que l'absence de plagioclase. La composition des clinopyroxènes n'est pour le moment pas connue.

À haute pression, les minéraux titanifères, tels que l'ilménite et la titanite, sont instables et le titane est contenu principalement dans le rutile. Les réactions métamorphiques menant à cette transformation reproduisent de façon naturelle le processus de fabrication industriel et polluant du rutile synthétique à partir de l'ilménite. Les éclogites constituent donc une source potentielle de titane. D'ailleurs, on trouve un important gisement de rutile dans des éclogites dans la région du Sunnfjord, en Norvège dans un contexte géologique similaire et contemporain à celui du Grenville.

Le projet a pour but de réaliser une étude pétrogénétique du rutile à partir d'échantillons provenant de cette région. Il s'agira notamment d'identifier les réactions métamorphiques progrades produisant du rutile dans divers protolites et de déterminer les conditions empêchant sa rétrogenèse lors de l'exhumation. Pour ce faire, un échantillonnage et une analyse structurale détaillée ont été réalisés lors d'une campagne de terrain à l'été 2017. L'étude de la formation du rutile dans divers types de roche sera réalisée en comparant les textures, les paragenèses et les compositions minéralogiques aux résultats de la modélisation thermodynamique à l'aide de diagrammes de phase iso-chimiques. Les observations pétrographiques seront faites à l'aide de microscopes optique, à cathodoluminescence et électronique à balayage. De plus, la modélisation de la diffusion d'éléments chimiques et la thermobarométrie d'éléments simples (Zr dans rutile) sera effectuée. Il sera possible de retracer le parcours pression-température-déformation des éclogites et d'identifier les processus permettant la formation et la préservation du rutile.

La plupart des éclogites observées forment de boudins décimétriques à décamétriques. La minéralogie originale des éclogites est préservée dans le cœur peu déformé de ces boudins, alors que les bordures plus déformées présentaient divers niveaux de rétrogenèse comme des couronnes de plagioclase autour de grenat ou d'amphibole autour de pyroxène. L'association spatiale entre le degré de déformation et le niveau de rétrogenèse suggère l'existence d'une boucle de rétroaction. Il sera intéressant d'examiner si le rutile y joue un rôle.

Propriétés physiques des gabbronorites et des syénites de la région de la Haute-Mauricie, ouest du Grenville

Évelyne Sunatori (UL), Abdelali Moukhsil (MERN), Marc Constantin (UL)

Le but de notre étude est de mettre en relation la densité d'une roche et sa susceptibilité magnétique. En effet, on tient souvent pour acquis que plus une roche est dense, plus elle est magnétique (et vice-versa), et qu'elle se situera par le fait même dans une région à magnétisme élevé sur une carte du champ magnétique total résiduel. Pour tester cette hypothèse, quatre types de roche ont été analysés, soit une gabbronorite et trois types de syénite : la syénite, la syénite quartzifère et la syénite à hypersthène. Les échantillons analysés proviennent d'affleurements cartographiés à l'été 2016 dans la région de Wemotaci, au nord de la ville de La Tuque, dans la partie ouest du Grenville (feuilles SNRC 31P11, 31P12, 31P13 et 31P14). L'interprétation des tableaux et des graphiques montre une corrélation directe entre la densité et la susceptibilité magnétique. Le magnétisme élevé de chaque échantillon a aussi été confirmé en fonction de sa position (dans une région de magnétisme élevé) sur les cartes du champ magnétique total résiduel. La présence de minéraux magnétiques comme les oxydes de Fe-Ti et certains sulfures contribue à augmenter les valeurs des deux propriétés physiques à l'étude, car ces minéraux possèdent souvent une forte densité. La présence de grenat et de sulfures non magnétiques a aussi pour effet d'augmenter la densité. On constate que la majorité des roches analysées démontrant la tendance observée correspondent aux unités 1 et 2 de la Suite intrusive de Rhéaume d'âge mésoprotérozoïque. L'unité 1 contient des gabbronorites à oxydes de fer et de titane, à magnétite et à apatite, ayant une forte susceptibilité magnétique, associées à des quantités mineures de syénite ; l'unité 2 est composée de syénite, de syénite quartzifère ainsi que de gabbronorite à oxydes de Fe-Ti-P. Pour mieux préciser le lien entre ce fort magnétisme et la Suite de Rhéaume et obtenir une interprétation finale représentative, il serait nécessaire d'analyser une plus grande quantité d'échantillons de chaque type de roches de cette suite. Cela permettrait aussi de vérifier si, en général, certaines unités sont formées de roches plus magnétiques que les formations environnantes.

La Ceinture Allochtone du centre du Grenville comme source de pegmatites : quel potentiel métallogénique en ETR?

François Turlin, Anne-Sylvie André-Mayer (U de Lorraine), Olivier Vanderhaeghe (U de Toulouse), Félix Gervais (Polytechnique), Abdelali Moukhsil, Fabien Solgadi (MERN), Armin Zeh (Karlsruhe Institute of Technology), Étienne Deloule (CRPG)

La Province de Grenville est le résultat d'une succession d'accrétions au Mésoprotérozoïque le long de la marge sud-est de Laurentia. Par la suite, lors de l'Orogenèse grenvillienne, la phase d'Ottawa a affecté la Ceinture Allochtone (CA) entre 1090 et 1020 Ma et la phase de Rigolet a affecté la Ceinture Parautochtone (CP) entre 1005 et 980 Ma. Cette orogénèse a conduit au chevauchement des terrains accrétés sur la marge de Laurentia. La Province de Grenville renferme plusieurs indices d'éléments de terres rares (ETR) magmatiques, associés 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 Okaopéo (centre du Grenville, Québec).

Dans la région du lac Okaopéo, un dyke de pegmatite tardi-grenvillien à caractère hyperalumineux injecté dans une métamangérite montre des bordures enrichies en ETR atteignant 9200 ppm associées à la présence d'allanite. Au contraire, le cœur du dyke présente des concentrations en ETR très basses (~20 ppm) associées à des spectres d'ETR plats marqués par des anomalies positives en Eu. Ce dyke est caractérisé par 1) des contacts à faible pendage, subconcordants à discordants par rapport à la foliation de la métamangérite, 2) une texture magmatique sans déformation à l'état solide et 3) un âge de mise en place correspondant au début de la phase de Rigolet à $1006,1 \pm 7,1$ Ma (U-Pb sur zircons). Les signatures $\epsilon\text{Hf}_{(1006\text{ Ma})}$ des zircons sont comparables aux données provenant de la CA, ce qui, associées caractère hyperalumineux de ce dyke, indiquent une genèse par fusion partielle de la CA à ~1005 Ma.

Malgré un âge de mise en place semblable à ~1005 Ma, correspondant au début de la phase de Rigolet, les caractéristiques structurales, géochimiques et isotopiques de ce dyke contrastent avec celles d'autres pegmatites à ETR du même secteur de la CA. Ces pegmatites sont caractérisées par 1) des contacts discordants à fort pendage, 2) des enrichissements en ETR de ~400 à ~7500 ppm dans tous les faciès et 3) des signatures $\epsilon\text{Hf}_{(1005\text{ Ma})}$ sur zircon correspondant à un domaine crustal plus âgé que la CA. Elles ont été interprétées comme étant issues de la fusion partielle de métasédiments de la CP au début de la phase de Rigolet. Par conséquent, les pegmatites du centre du Grenville qui résultent de la fusion partielle des métasédiments de la CP seraient plus susceptibles de présenter des anomalies en ETR que les pegmatites dérivant de la fusion partielle des roches de la CA.

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

Pape Doudou Tague, Sarah-Jane Barnes (UQAC), Daniel Bandyayera (MERN), Philippe Pagé (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 de Nemiscau au nord et d'Opatoca au sud. Elle est constituée d'un assemblage d'unités volcaniques et sédimentaires kilométriques d'orientation NE-SW à E-W. Certaines de ces unités comprennent des roches volcaniques mafiques, intermédiaires et felsiques ainsi que des roches intrusives mafiques et ultramafiques. Ce projet de maîtrise qui a débuté 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 chimie, 3) d'évaluer leur potentiel économique et 4) d'identifier le contexte de leur mise en place ainsi que celui des minéralisations associées.

Nos observations montrent que les roches intrusives mafiques et ultramafiques sont dominées par des faciès gabbroïques d'affinité tholéitique qui se trouvent en très grande partie (90 %) dans la portion sud-ouest de la Ceinture de Colomb-Chaboullié. La minéralisation en EGP est localisée dans les roches gabbroïques, près du contact entre l'unité de pyroxénite et l'unité de gabbro. Cette zone contenant les indices de minéralisation en EGP (*reef*) est observée dans la plupart des gisements riches en Ni-Cu-EGP. Les rapports entre éléments (Ni/Cu, Pd/Ir, Pd/Pt, Ni/EGP, Cu/EGP) montrent que les roches hôtes de minéralisation proviendraient d'un magma fertile et/ou enrichi. Les roches gabbroïques renferment localement des enclaves felsiques et leucocrates de tailles variables (≤ 30 cm) et une minéralisation en sulfures disséminés pouvant atteindre ~10 %. Ces enclaves représenteraient le contaminant ayant permis la précipitation des sulfures.

Les péridotites sont uniquement présentes dans la portion nord-est de la ceinture. Les signatures géochimiques des éléments majeurs et en traces ainsi que les observations de terrain indiquent que ces roches possèderaient une affinité komatiitique.

En ce qui concerne la minéralisation, les gabbros de la Ceinture de Colomb-Chaboullié présentent des assemblages caractéristiques de sulfures magmatiques (pyrrhotite, chalcopryrite, \pm pyrite et pentlandite). 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 ($470 \leq \text{Pt} + \text{Pd} \leq 1375$ ppb) sont aussi associés aux intrusions gabbroïques.

Les prochains travaux viseront à caractériser la chimie minérale et les EGP. Ces informations, combinées aux résultats de l'étude pétrographique et de la chimie sur roche totale, permettront de préciser la nature du magma à l'origine des intrusions et le contexte de leur mise en place, afin d'évaluer le potentiel économique de la Ceinture de Colomb-Chaboullié.

Étude structurale et métamorphique de la Sous-province de Nemiscau, Baie-James, Québec : évolution tectonique d'un bassin sédimentaire archéen

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

La Province du Supérieur est composée d'un ensemble de domaines lithotectoniques (ou sous-provinces) accrétés les uns aux autres à la fin de l'Archéen. Ces domaines sont couramment subdivisés en quatre types sur la base de leurs caractéristiques lithologiques, structurales, métamorphiques et métallogéniques. Alors que plusieurs études proposent différents modèles de genèse et d'évolution tectonométamorphique des ensembles dominés par des assemblages volcano-sédimentaires et gneisso-plutoniques, peu de ces études traitent de la géologie des grands domaines de roches métasédimentaires. Ces derniers sont pourtant des témoins privilégiés des processus tectoniques archéens et des minéralisations associées. Ce projet de doctorat, mené par le premier auteur et ayant débuté durant l'été 2017, vise à mieux comprendre l'évolution tectonique et métamorphique de ces grands ensembles de roches métasédimentaires, plus particulièrement celui de la Sous-province de Nemiscau, dans la partie sud-est de la Baie-James au Québec.

La zone d'étude se situe à l'ouest du lac Nemiscau, à environ 200 km au nord de Matagami. Dans cette région, la Sous-province de Nemiscau est délimitée au nord et au sud par les sous-provinces de La Grande et de l'Opatoca, respectivement, et est principalement constituée de roches métasédimentaires et de roches intrusives felsiques. La nature des contacts entre les différentes sous-provinces demeure peu documentée. Néanmoins, des bandes kilométriques composées principalement d'assemblages de roches volcaniques et de roches intrusives mafiques à ultramafiques, sont régulièrement disposées le long des contacts. Des paragneiss migmatitisés à divers degrés dominant cependant la partie interne de la Sous-province de Nemiscau.

Dans la zone d'étude, la Sous-province de Nemiscau forme une étroite bande est-ouest, au cœur de laquelle les roches métasédimentaires affleurent sous la forme de dômes et de bassins kilométriques et montrent un assemblage minéralogique caractéristique du faciès métamorphique des granulites. Des roches plutoniques felsiques, plus ou moins déformées et migmatitisées, sont observées couramment au cœur des dômes. Vers les bordures du Nemiscau, les unités métasédimentaires et métavolcaniques sont au faciès des amphibolites. Le grain structural régional est orienté est-ouest et la schistosité est généralement fortement inclinée. La combinaison des données géologiques existantes et des données qui seront récoltées durant les travaux de terrain dans le cadre de ce projet permettra de mieux comprendre la géométrie interne et l'origine de la Sous-province de Nemiscau, ses relations avec les unités lithotectoniques adjacentes et, de façon plus générale, la nature des mécanismes de déformation orogénique à l'Archéen.

Stratigraphie des roches volcaniques et minéralisation volcanogène de la Ceinture archéenne de Colomb-Chaboullié, Baie-James

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

La Ceinture de roches vertes de Colomb-Chaboullié, orientée NE-SW à E-W, est située dans la zone de contact entre les sous-provinces archéennes d'Opatca et de Nemiscau de la Province du Supérieur, dans la région de la Baie-James, au nord-ouest du Québec. Cette ceinture est composée de roches volcaniques, d'intrusions mafiques et/ou ultramafiques et d'unités métasédimentaires. Trois unités métavolcaniques appartenant au Groupe de Colomb-Chaboullié (Acch) y ont été identifiées : 1) des coulées prédominantes de basalte, coussinées à massives (Acch1), 2) des andésites porphyriques coussinées à massives (Acch2) et 3) des roches volcanoclastiques intermédiaires à felsiques (Acch3). La présence d'indices de sulfures de métaux précieux et usuels indique un potentiel d'exploration dans cette région.

L'objectif principal de ce projet de maîtrise est de mieux comprendre la volcanologie, la stratigraphie, la pétrographie et la géochimie des unités volcaniques de la Ceinture de Colomb-Chaboullié. Le deuxième objectif est de déterminer l'origine des indices de sulfures de métaux précieux. Cette étude aidera à l'exploration future des ceintures de roches vertes dans la partie septentrionale de la Province du Supérieur, qui sont peu explorées par rapport à la Ceinture de roches vertes de l'Abitibi.

En se basant sur les analyses géochimiques globales, les basaltes ont été divisés en trois principales sous-unités : Acch1a, Acch1b et Acch1. Les roches de l'unité Acch1a sont des tholéiites de type N-MORB (Pearce, 2008). Les roches de l'unité Acch1b, situées au-dessus de la série MORB-OIB sur le diagramme de Pearce (2008), sont d'affinité tholéitique et se projettent surtout dans le champ des MORB sur le diagramme d'Agrawal *et al.* (2008). L'unité Acch1 représente les basaltes les plus évolués et montre une signature d'arc volcanique plus forte. Ils se situent dans le domaine IAB sur le diagramme d'Agrawal *et al.* (2008) et sont d'affinité tholéitique à transitionnelle. En général, les basaltes ont des profils de terres rares plats. Cependant, l'unité Acch1 montre des anomalies négatives plus prononcées en Nb-Ta et en Ti, comparativement à Acch1a et Acch1b. Les unités Acch2, Acch2a et Acch3 sont intermédiaires en composition. L'unité Acch3a représente les seules vraies roches felsiques de la Ceinture de Colomb-Chaboullié. Toutes les roches intermédiaires à felsiques sont calco-alcalines et sont enrichies en terres rares légères, avec des anomalies négatives et prononcées en Nb-Ta et en Ti.

La minéralisation en Au, en Ag et en Cu est contenue dans les basaltes. Elle se présente sous la forme de lentilles de sulfures massifs à semi-massifs, de sulfures disséminés entre les coussins et dans des veines de sulfures dans les coulées massives de basalte.

Les travaux futurs comprennent la comparaison des données géochimiques de la Ceinture de Colomb-Chaboullié avec celles de la Ceinture de Frotet-Evans dans la Sous-province d'Opatca et des plus petites ceintures présentes dans la Sous-province de Nemiscau. Cela permettra de classer la ceinture de Colomb-Chaboullié dans l'une de ces sous-provinces.

Références

PEARCE, J.A, 2008 – Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*; volume 100, pages 14-48.

AGRAWAL, S. – GUEVARA, M. – VERMA, S.P., 2008 – Tectonic Discrimination of Basic and Ultrabasic Volcanic Rocks through Log-Transformed Ratios of Immobile Trace Elements. *International Geology Reviews*; volume 50, pages 1057-1079.

Stratigraphie et potentiel aurifère de la Ceinture de roches vertes de la Haute-Eastmain, exemple de l'indice Hillhouse, Eeyou Istchee Baie-James

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

La Ceinture de roches vertes de la Haute-Eastmain (CRVHE) se situe à environ 350 km au nord-est de Chibougamau. Elle est constituée de roches volcaniques et sédimentaires métamorphosées au faciès des amphibolites et contient de nombreux indices de métaux usuels et précieux. La CRVHE a également fait l'objet d'une brève exploitation aurifère; l'ancienne mine Eastmain a produit 40 263 onces d'or en 1995. Les roches volcaniques et sédimentaires de la CRVHE sont subdivisées en deux unités stratigraphiques informelles d'épaisseur inconnue : les groupes de René et de Bohier. La première est constituée de roches volcaniques mafiques et felsiques, ainsi que de minces niveaux de roche ultramafique et de formation de fer. La formation de Bohier est plutôt composée de conglomérat polygénique et de métapélite à grenat, à cordiérite et à sillimanite.

En 2015, Eastmain Ressources réalise une tranchée sur l'indice aurifère Hillhouse, à environ 1 km au nord-ouest de l'ancienne mine. Cette tranchée montre un niveau minéralisé situé à la base d'un niveau de roche volcanoclastique felsique, au contact avec des roches volcaniques mafiques coussinées. Ce niveau felsique est composé d'un tuf à blocs qui passe graduellement à un tuf à cendres. Toutes les roches du secteur montrent une forte linéation d'allongement à plongement modéré vers le nord-est. Le niveau minéralisé principal est composé de sulfures disséminés à semi-massifs (jusqu'à 50 % de pyrrhotite et de chalcopryrite) d'une épaisseur maximale de 1 m. Les valeurs aurifères atteignent 55 g/t sur 0,7 m. La matrice du tuf à blocs est en partie remplacée par de la biotite en bordure de la zone minéralisée. Deux familles de dykes sont également présentes; une première composée de roche felsique porphyrique contenant elle aussi des sulfures disséminés et en amas, et une seconde formée de roche intermédiaire porphyrique foliée qui recoupe nettement toutes les autres roches, y compris la zone minéralisée. La distribution et la composition de la zone sulfurée ainsi que les relations de terrain suggèrent une origine volcanogène pour ce style de minéralisation. Des roches volcaniques altérées en cordiérite-biotite-quartz sont également présentes dans le secteur étudié et pourraient représenter une altération hydrothermale métamorphosée. Ce style de minéralisation contraste avec celui de l'ancienne mine Eastmain, qui est plutôt décrit comme un gisement filonien associé à une zone de déformation ductile contenant localement des zones de sulfures. Ces données préliminaires indiquent que la CRVHE présente un potentiel pour l'or d'origine volcanogène et que la superposition de minéralisations filoniennes et volcanogènes pourrait représenter un élément important dans le budget aurifère du secteur.

Étude des intrusions ultramafiques des sous-provinces de La Grande et d'Opinaca

Alban Duvernois (UQAT), Jean Goutier (MERN)

Ce projet a pour objectif de caractériser les différentes intrusions ultramafiques des sous-provinces de La Grande et d'Opinaca. Il porte sur les feuillets SNRC 33F, 33G, 33H et 23E, de Radisson à Nitchequon, et utilise les données acquises lors des levés géologiques (1/50 000) réalisés par le BCGQ entre 1996 et 2016. Le projet fait suite aux travaux de Chartier-Montreuil en 2013 et de Grezla en 2014 qui ont défini de nouvelles unités de roches ultramafiques dans la région. Il prend en compte plus de 120 échantillons avec lames minces et analyses géochimiques.

Les intrusions sont généralement de petites dimensions (< 2 km²); un certain nombre d'entre elles se situent à proximité des couloirs de cisaillement et montrent des faciès à « boules » et à « aiguilles ». Certaines intrusions ont la particularité de contenir de l'anthophyllite et de la phlogopite. Localement, elles montrent des teneurs anormales en or, en EGP et en chrome. Ces roches ultramafiques ont subi différents épisodes de métamorphisme qui ont modifié la minéralogie primaire en de nouveaux assemblages minéralogiques (porphyroblastes d'orthopyroxène, porphyroblastes d'olivine et présence de spinelle), en plus d'une amphibolitisation de la roche qui se traduit par l'apparition de plusieurs générations d'anthophyllite, de trémolite, d'actinote et de cummingtonite. Ces intrusions coupent les faciès migmatitisés des paragneiss du Laguiche et sont coupées à leur tour par les intrusions de la Suite granitique du Vieux-Comptoir. En se basant sur l'assemblage minéralogique et la géochimie des roches intrusives, une des hypothèses avancées est de les inclure dans la Suite de Lablois et ses différentes unités : la Suite de Lablois indifférenciée, la Suite de Lablois 1, la Suite de Lablois 2, l'Intrusion de Giard et l'Intrusion de Pelletan. L'appartenance à l'une ou l'autre de ces unités dépend principalement de plusieurs facteurs : la présence et la quantité de phlogopite en lien avec la teneur en K₂O de la roche, la teneur en MgO et en FeO, mais aussi l'enrichissement en terres rares légères qui semblent principalement être contenues dans l'apatite et la phlogopite.

Géochronologie et métamorphisme du nord-ouest de l'Opinaca, Eeeyou Itshee Baie-James

Myriam Côté-Roberge, Carl Guilmette (UL), Jean Goutier (MERN), Don Davis (UofT), Matthijs Smit (UBC), Lyal Harris (INRS-ETE)

De nouvelles cartes géophysiques de meilleure résolution mettent en lumière l'architecture de la Sous-province d'Opinaca. Les structures internes la composant se révèlent être beaucoup plus complexes que l'immense étendue monotone de roches métasédimentaires et de granitoïdes le laissait présager. En outre, l'intense migmatitisation qui la caractérise complique la reconstitution du parcours tectonique de la région, en oblitérant les informations pouvant être tirées de la chimie minérale des paragneiss. Le coin nord-ouest de l'Opinaca échappe en grande partie à cette importante fusion partielle. Une étude métamorphique du secteur permet donc de cerner laquelle des nombreuses hypothèses géodynamiques circulant dans la littérature correspond à l'environnement tectonique de formation le plus probable.

Les travaux réalisés (cartographie de terrain, descriptions pétrographiques, analyses à la microsonde et modélisation de l'équilibre des phases par logiciel) ont permis de brosser un tableau du métamorphisme dans la région d'étude. L'assemblage est de type barrovien et permet d'identifier un gradient progressant graduellement du faciès des schistes verts au nord-ouest au faciès supérieur des amphibolites au sud-est de la région. Les calculs thermobarométriques à partir de la chimie de minéraux d'une quinzaine d'échantillons répartis dans le secteur montrent une large gamme de températures (548 ± 69 °C à 790 ± 109 °C) et de pressions (1,7 ± 1,3 kbar à 9 ± 1,2 kbar). Ces résultats n'ont aucune cohérence géographique, indiquant un certain rééquilibrage de la chimie minérale à travers tout le secteur.

Les résultats géochronologiques semblent indiquer deux phases de métamorphisme. D'abord, des datations U-Pb des monazites et des surcroissances métamorphiques de zircons donnent des âges métamorphiques autour de 2670 Ma. Une deuxième population de monazite plus jeune, autour de 2645 Ma, est présente dans un échantillon. Les grenats, datés avec le système Lu-Hf, ont des âges de cristallisation de 2640,3 ± 5,3 Ma au sud et de 2647,1 ± 3,6 au nord. Ils sont donc associés à la deuxième population de monazite et, par conséquent, à un métamorphisme plus jeune. L'interprétation des relations texturales des minéraux de l'assemblage et une pseudosection réalisée à l'aide du logiciel *Thermocalc* prédisent une première phase de métamorphisme de haute température, avec cristallisation de la cordiérite et de la monazite, puis une deuxième phase de haute température et de moyenne pression, voyant la croissance des grenats et d'autres minéraux de plus fort faciès. Ces deux phases peuvent être liées dans un même parcours P-T-t antihoraire ou représenter deux épisodes de métamorphisme distincts.

Géologie et minéralisations du gîte La Pointe, lac Sakami, Eeyou Istchee Baie-James

Jean-Philippe Fleury, George Beaudoin (UL), François Huot (consultant), Jean Goutier (MERN), Carl Guilmette (UL)

Le gîte aurifère La Pointe est situé dans le secteur SW du lac Sakami, sur le territoire d'Eeyou Istchee Baie-James (SNRC 33F02). Les minéralisations sont présentes dans deux zones aurifères substantielles, soit les zones 25 et 26. Le gîte est encaissé dans les roches volcano-sédimentaires du Groupe de Yasinski (2751-2725 Ma), à proximité du contact ouest entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca. La séquence stratigraphique comprend une tonalite du Complexe de Langelier (3326 ± 4 Ma, nouvelle datation U-Pb), une arénite quartzitique de la Formation d'Apple, ainsi que des amphibolites basaltiques et un niveau de formation de fer appartenant au Groupe de Yasinski. Cet ensemble, métamorphisé au faciès des amphibolites, est coupé par des intrusions tonalitiques à granodioritiques foliées et étirées, des dykes felsiques, des filons-couches ultramafiques et des dykes granitiques à tourmaline. Il est structuralement superposé à une séquence de paragneiss à biotite. Ces roches fortement déformées et plissées sont affectées par une schistosité régionale WSW à ENE à fort pendage, formant un grand anticlinal synforme plongeant modérément vers le SE. La zone 25 forme un niveau stratoïde d'une épaisseur variant de 10 à 50 m encaissé dans des paragneiss à biotite. La zone minéralisée est orientée NW-SE avec un pendage de 50° vers le SW. La zone 25 contient un assemblage de sulfures (arsénopyrite-pyrrhotite ± pyrite ± chalcoppyrite) finement disséminés, en association avec des zones d'altérations complexes. Les altérations dominantes sont une intense silicification accompagnée de rubans de biotite-quartz et des veinules de dravite ± titanite subparallèles à la foliation. D'autres assemblages minéralogiques d'altération sont observés, comme des rubans de microcline, des veinules de quartz-amphibole et des rubans de muscovite-quartz plus tardifs. L'or se présente sous la forme d'inclusions dans les silicates ou en bordure des sulfures (de l'arsénopyrite particulièrement). La minéralisation aurifère de la zone 26 est encaissée dans un niveau discontinu de formation de fer au faciès des silicates et des oxydes interstratifié avec les amphibolites basaltiques. L'unité, située au niveau de la charnière du grand anticlinal synforme, forme un pli synforme dont la charnière fortement épaissie est caractérisée par un remplacement intense associé à la minéralisation. La formation de fer forme une alternance de niveaux centimétriques de chert, de quartz-grunérite et de bandes de magnétite-grunérite dans les parties non altérées. Des zones de remplacement montrent un assemblage d'amphibole verte-biotite-grenat-tourmaline-sulfures ± chlorite. On y observe également un remplacement de la magnétite par de la pyrrhotite, où l'or est associé à l'arsénopyrite disséminée à l'interface avec des cœurs de löllingite.

Le potentiel en minéralisations de type sulfures massifs volcanogènes (SMV) dans le district de Chibougamau-Chapais, Sous-province de l'Abitibi (Québec)

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

Le district de Chibougamau-Chapais fut l'un des principaux camps producteurs de cuivre et d'or en Amérique du Nord pendant la seconde moitié du XX^e siècle. Ces métaux ont été exploités à partir de veines de sulfures typiques au district. Seulement deux gisements de sulfures massifs volcanogènes (SMV) y sont connus : l'ancienne mine Lemoine et le gisement Lac Scott. Ce projet de maîtrise vise à démontrer l'existence d'un potentiel pour les gîtes de SMV grâce à l'étude de plusieurs décapages récents de zones minéralisées. Quatre secteurs répartis autour de Chibougamau et regroupant chacun une dizaine de décapages ont été cartographiés : 1) Lac Taché-Km 25; 2) l'indice David; 3) Saw Mill; 4) Indian Lake.

Le projet poursuit trois objectifs : 1) la démonstration que les zones minéralisées de ces secteurs sont volcanogènes; 2) leur positionnement dans la stratigraphie régionale; 3) la caractérisation de la fertilité des systèmes hydrothermaux. Les outils utilisés à cet effet sont la cartographie de détail des décapages, l'analyse géochimique des roches hôtes et l'analyse de la chimie *in situ* des grains de pyrite par spectrométrie de masse par ablation laser (LA-ICP-MS).

Dans toutes les zones minéralisées visitées, l'affinité volcanogène a été démontrée principalement grâce aux éléments suivants : 1) la présence de lentilles de sulfures semi-massifs à massifs concordantes; 2) des couloirs discordants enrichis en chlorite, en silice et en sulfures (notamment en chalcoppyrite); 3) un environnement volcanique sous-marin montrant des périodes propices au développement de SMV; 4) des structures synvolcaniques (failles, dykes) coupant les lentilles sulfurées. La caractérisation des assemblages volcanosédimentaires locaux et la géochimie des roches hôtes ont permis de déterminer la chronologie de la mise en place des zones étudiées dans l'empilement volcanique régional. Ainsi, l'indice David et le secteur de Lac Taché-Km 25 appartiendraient au même niveau stratigraphique est-ouest situé à l'interface entre les membres de David et d'Allard. Il s'agit d'un niveau particulièrement prospectif; en plus des deux indices mentionnés ci-dessus, il contient de nombreuses lentilles de formations de fer et d'exhalites. Ce niveau est par ailleurs synchrone au développement des rhyolites minéralisées du lac Scott. Le secteur de Saw Mill est associé à des andésites basaltiques porphyriques calco-alcalines typiques du Membre d'Andy. Les décapages d'Indian Lake se situent à 3 km au sud-ouest du secteur de Saw Mill. La succession des roches, selon une polarité vers l'ouest, montre des rhyodacites lobées, une lentille pyriteuse et des turbidites. Cet assemblage a déjà été identifié au nord du lac Chibougamau comme le sommet du Membre d'Allard, une unité mise en place à la toute fin du second cycle volcanique de la région. L'affinité géochimique des roches d'Indian Lake corrobore cette interprétation. L'analyse des éléments en traces des grains de pyrite montre que les systèmes hydrothermaux à l'origine des minéralisations sont fertiles. Des diagrammes Se/Tl vs As permettent également de différencier les zones d'alimentation (*feeders*) de haute température des lentilles concordantes.

Finalement, des guides d'exploration peuvent être dégagés sur la base du positionnement des secteurs cartographiés. Le niveau Lac Scott-Indice David-Lac Taché-Km 25 semble particulièrement prospectif. L'activité hydrothermale à Chibougamau-Chapais ne se limite toutefois pas à ce niveau et perdure au moins jusqu'à la toute fin du 1^{er} cycle volcanique du Groupe de Roy.

Conditions thermiques et distribution de la déformation au sein des zones de cisaillements ductiles de la Zone noyau, sud-est de la Province de Churchill

Marc-Antoine Vanier, Carl Guilmette (UL), Lyal Harris (INRE-EET), Nathan Cleven (UL), Kyle Larson (UBCO), Antoine Godet (UL), Isabelle Lafrance (MERN)

La Zone noyau dans le sud-est de la Province de Churchill est composée d'un amalgame de domaines lithotectoniques séparés par un réseau complexe de zones de déformation. L'historique de ces dernières est étroitement lié à l'évolution tectonique de la Zone noyau et des orogènes adjacents du Nouveau-Québec et des Torngat. Ces derniers sont actuellement associés respectivement à un régime en transpression dextre et senestre. Caractériser les zones de cisaillements sur le plan de la déformation (coaxiale ou non coaxiale, resserrement ou aplatissement) ou des températures de déformation associées aux différentes fabriques est essentiel pour valider le caractère transpressif des structures majeures et leurs implications tectoniques. La Zone de cisaillement de la Rivière Georges (ZCRG) présente une importante variation des types de fabriques allant du resserrement à l'aplatissement, alors que la Zone de cisaillement du Lac Tudor (ZCLT) est caractérisée par une déformation plane. Ces zones de cisaillement se distinguent aussi par les textures et microtextures observées. Les échantillons collectés dans la ZCRG varient de mylonites à des gneiss droits à quartz en rubans millimétriques et à feldspath porphyroclastique. Cette diversité se reflète dans les microtextures du quartz qui sont majoritairement associées à la migration des bordures de grains, mais aussi localement à la rotation des sous-grains et à du « bulging ». Ainsi, la gamme de température estimée dans la ZCRG s'étend de 350 à 650 °C. Quant à la ZCLT elle comprend une importante bande de gneiss droit où le quartz a recristallisé par migration des bordures de grains, ce qui semble indiquer une température de déformation de l'ordre de 630 à 700 °C. L'orientation cristallographique préférentielle du quartz indique une forte activité du plan de glissement du prisme « c » et des températures atteignant plus de 700 °C. À l'ouest de la ZCLT, des bandes hectométriques à kilométriques de méta-arkose contenant des grains de quartz modérément étirés montrent une recristallisation dynamique du quartz par rotation des sous-grains. Les angles d'ouverture des axes « c » du quartz indiquent une température de déformation de 410 à 460 °C. L'orientation préférentielle cristallographique du quartz permettra également de qualifier quantitativement l'intensité de la déformation de même que le champ de déformation fini. À ces travaux d'échelle macroscopique et microscopique s'ajoutera la géochronologie U-Pb sur zircons provenant d'injections syncinématiques prélevées dans la ZCLT et la ZCRG.

Enfouissement et pic métamorphique dans la croûte moyenne de l'Orogène du Nouveau-Québec : contraintes pétrochronologiques et évolution P-T-t

Antoine Godet, Carl Guilmette (UL), Loïc Labrousse (Université Pierre et Marie Curie), Matthijs Smit (UBC), Don Davis (UofT), Marc-Antoine Vanier (UL), Benoit Charette, Isabelle Lafrance (MERN)

Le sud-est de la Province du Churchill, dans la partie orientale de l'Orogène transhudsonien, comprend la zone affectée par les collisions obliques successives entre le Craton du Supérieur, la Zone noyau (ZN) et le Craton nord-atlantique, au Paléoprotérozoïque. Cette province géologique expose à la fois la croûte superficielle, intermédiaire et profonde de l'orogène, et constitue un laboratoire exceptionnel pour investiguer la possibilité d'une transition paléoprotérozoïque entre un régime tectonique typique de l'Archéen et le régime tectonique moderne. La détermination de son évolution thermique à divers niveaux crustaux pourrait donc s'avérer critique dans la compréhension de l'évolution des styles tectoniques des zones de collision transpressives. L'Orogène du Nouveau-Québec (ONQ) (1,82-1,77 Ga) occupe la partie occidentale de la province et résulte de la collision oblique entre le Craton du Supérieur et la ZN. L'ONQ est lui-même subdivisé en deux principaux ensembles lithotectoniques : la Fosse du Labrador (FL) située en marge du Supérieur riftée qui constitue une ceinture de chevauchement; la Zone de Rachel-Laporte (ZRL) interprétée comme un bassin syncollisionnel d'au moins 1834 Ma plus fortement déformé et métamorphisé au faciès des amphibolites. Les précédentes études pétrographiques et thermobarométriques empiriques indiquent une augmentation des conditions métamorphiques d'ouest en est au sein de l'orogène, passant du faciès des schistes verts supérieur dans la partie occidentale de la ZRL à celui des amphibolites supérieur (5,9 à 7,4 kbar/521 à 660 °C), puis des granulites dans la ZN (7,0 à 8,3 kbar/725 à 823 °C). L'absence de bris dans le gradient métamorphique barrovien semble indiquer une évolution tectonométamorphique commune entre la ZN et la ZRL. La présente contribution résume les résultats de la première étude métamorphique quantitative P-T-t menée sur des métapélites et des metabasites du segment central de l'ONQ. Les modélisations par multi-équilibres de phases sont réalisées à l'aide du logiciel THERMOCALC dans le système MnNCKFMASHTO. Les estimations indiquent un caractère restititque avec des conditions suprasolidus de 7,1 kbar/790 °C au pic métamorphique et de 6,2 kbar/750 °C au moment de la cristallisation finale des migmatites de la ZN. Des datations U-Pb sur zircons, monazites et rutiles ont été réalisées sur les mêmes échantillons. L'âge des monazites des schistes de la ZRL indique un pic métamorphique vers 1796 ±4 Ma, alors que les âges des surcroissances des zircons et des rutiles des migmatites de la ZN indiquent une solidification du liquide anatectique vers 1807 ±4 Ma, suivie d'un refroidissement à des conditions subsolidus vers 1798 ±16 Ma. Ces nouvelles données semblent démontrer que la marge occidentale de la ZN subissait déjà un refroidissement lors de l'enfouissement et du métamorphisme prograde de la ZRL et qu'il existerait donc une discontinuité métamorphique entre ces deux ensembles. Des datations Lu-Hf sur grenats (en cours) devraient permettre de préciser la chronologie du métamorphisme prograde de l'ONQ et de confirmer ou d'infirmer un enfouissement ou une exhumation différés des séquences supracrustales de la ZRL et de la ZN.

G27-G28

Synthèse du sud-est de la Province de Churchill

Isabelle Lafrance, Guillaume Mathieu, Benoit Charrette (MERN)

Le sud-est de la Province de Churchill (SEPC) constitue une branche de l'Orogène transhudsonien, lequel représente une vaste ceinture orogénique paléoprotérozoïque qui s'étend du centre des États-Unis au Groenland.

Le SEPC a longtemps été décrit comme une province géologique formée de trois entités principales; la Zone noyau, au centre, est bordée par l'Orogène du Nouveau-Québec, à l'ouest, et l'Orogène des Torngat, à l'est. La Zone noyau représente un substratum archéen remanié au Paléoprotérozoïque recoupé par plusieurs unités intrusives protérozoïques. Bien que l'évolution géologique de cette province soit complexe, la cartographie au 1/250 000 réalisée depuis 2011 par le MERN et les travaux de partenaires universitaires et institutionnels ont permis d'améliorer la connaissance des unités géologiques et la compréhension des contextes géologiques. Ces avancées ont démontré la présence de huit domaines lithotectoniques de composition et d'âge différents.

De l'ouest vers l'est, le SEPC comprend : 1) la Fosse du Labrador; 2) la Zone de Rachel-Laporte; 3) le Domaine de Kuujuaq; 4) le Domaine de Baleine; 5) le Domaine de George; 6) le Domaine de Mistinibi-Raude; 7) le Domaine de Falcoz; 8) le Domaine de Burwell.

La Zone de Rachel-Laporte est en majeure partie constituée de méta-sédiments et d'amphibolite d'âge paléoprotérozoïque. Elle comprend aussi des complexes structuraux archéens, des écaillles tectoniques et des intrusions granitiques tardives.

Le Domaine de Baleine est composé de gneiss archéens variablement migmatitisés, chevauchant un ensemble intrusif qui comprend une proportion importante d'intrusions mafiques et d'intrusions à orthopyroxène. Le Domaine de Kuujuaq est caractérisé par sa structure en dômes et en bassins dominée par des diatexites et des métatexites d'origine sédimentaire en contact avec une unité de monzonite quartzifère archéenne similaire aux grandes intrusions potassiques archéennes tarditectoniques de la Province du Supérieur. Cette similitude lithologique appuie l'hypothèse selon laquelle une partie de la Zone noyau se serait détachée du Supérieur. La partie sud comprend aussi une suite intrusive paléoprotérozoïque constituée de granodiorite.

Le Domaine de George est marqué par la présence de la Zone de cisaillement de la Rivière George. En plus des roches intrusives du Batholite de De Pas, il comprend de nombreuses enclaves de gneiss archéens ainsi qu'une ceinture volcano-sédimentaire de 3 à 14 km de largeur qui s'étend sur plus de 100 km. Le De Pas est considéré comme étant associé à un environnement d'arc magmatique protérozoïque relié à une zone de subduction développée lors de l'Orogenèse du Nouveau-Québec. Il pourrait également être associé à une composante syncollisionnelle dans l'arrière-pays de l'Orogène du Nouveau-Québec.

Le Domaine de Mistinibi-Raude comprend des unités dont l'âge est à la limite entre l'Archéen et le Protérozoïque. Il est constitué d'un grand complexe de paragneiss et de diatexite, de suites intrusives mafiques à intermédiaires, de séquences volcaniques et d'intrusions mésoprotérozoïques ultrapotassiques.

Le Domaine de Falcoz est principalement constitué de gneiss granitique et d'intrusions felsiques potassiques ainsi que de séquences de métasédiments et de petites intrusions mafiques et ultramafiques. La partie est de ce domaine est caractérisée par un métamorphisme au faciès des granulites et une prépondérance de gneiss et d'intrusions à hypersthène.

Le Domaine de Burwell, composé principalement d'intrusions intermédiaires à felsiques à hypersthène, est interprété comme un batholite d'arrière-arc. Ce domaine intègre également des séquences de gneiss granulitiques et des diatexites d'origine sédimentaire.

G29

Géologie de la région du cap Wolstenholme, Orogène de l'Ungava, Province de Churchill (SNRC 35K)

Benoit Charette, Martin Parent, Lynda Paquette, Mélanie Beaudette (MERN)

La partie nord-ouest de l'Orogène de l'Ungava (Province de Churchill) a été cartographiée au 1/100 000 à l'été 2017. Ce levé géologique a permis de redéfinir l'Arc de Narsajuaq et d'établir les nouvelles limites de cette entité tectono-stratigraphique. Selon les résultats préliminaires, deux grands corridors de déformation régionaux séparent les unités paléoprotérozoïques de l'Arc de Narsajuaq des roches plus anciennes (archéennes?) situées au nord et au sud de la région cartographiée. Ces nouvelles données permettront de repenser la géodynamique de cette région et de revisiter les modèles d'exploration pour le secteur nord de l'Orogène de l'Ungava.

L'Arc de Narsajuaq se compose d'assemblages de roches plutoniques granoblastiques au faciès des granulites et des amphibolites supérieur. Ces roches forment des unités complexes, serrées et discontinues qui sont transposées dans la déformation régionale est-ouest. Différentes générations de granitoïdes s'injectent en lit-par-lit dans ces assemblages. Au sud de l'Arc de Narsajuaq, la présence de tonalite, de gabbro et de roches supracrustales anciennes permet de repousser vers le nord la limite de l'Antiforme de Kovik. Cette unité, qui expose des roches archéennes de la Province du Supérieur, est séparée des unités de l'Arc de Narsajuaq par un important corridor de déformation (la Suture de Sugluk). Un nouveau domaine situé dans la partie nord de la région cartographiée est séparé de l'Arc de Narsajuaq par une zone kilométrique de mylonite. Composé d'orthogneiss, de paragneiss et de monzonite à structure porphyroïde, ce domaine pourrait représenter un bloc exotique à l'Arc de Narsajuaq ayant été remobilisé lors de la collision finale avec la Province du Supérieur.

L'exploration dans les terrains polyphasés au métamorphisme de forte intensité demeure un défi. Aucun indice n'était auparavant répertorié dans la région du cap Wolstenholme. Le potentiel minéral des zones sulfurées et des zones d'altération identifiées lors des travaux de l'été 2017 reste à être évalué. Une bonne connaissance des minéralisations présentes dans la Province du Supérieur au sud de la ceinture de Cape Smith permettra de reconnaître des contextes favorables dans les roches archéennes de l'Antiforme de Kovik. Lors de travaux futurs dans l'Arc de Narsajuaq, des modèles associés à des environnements de marge continentale en régime compressif ainsi que des modèles associés à des contextes tardi-orogéniques à post-orogéniques devront être mis de l'avant.

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

Guillaume Mathieu, 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 des régions de l'île Bohier et des monts Otish, Eeyou Itschee Baie-James (SNRC 33A01, 33A08, 23D04 et 23D05)

Anne-Marie Beauchamp, Frédéric Massei (MERN)

Le levé géologique au 1/50 000 réalisé durant l'été 2017 dans la région de l'île Bohier et dans la partie ouest des monts Otish couvre les feuillets SNRC 33A01 et 33A08, ainsi que la partie ouest des feuillets 23D04 et 23D05.

Le secteur cartographié se situe dans la partie nord-est de la Sous-province de l'Opatica. La Ceinture de roches vertes de la Haute-Eastmain (CRVHE), objet d'une révision stratigraphique, est constituée de basalte, de volcanites et de volcanoclastites felsiques à intermédiaires, d'intrusions et de volcanites ultramafiques, de formation de fer, d'amphibolite et de roches sédimentaires. À la base de la séquence, le Groupe de René (2770 ±6 Ma), divisé en trois formations et en deux cycles volcaniques, est essentiellement constitué de roches volcaniques. Au sommet de la séquence, le Groupe de Bohier est composé de conglomérat, de métapélites, de wacke et de paragneiss. D'importantes zones d'altération métamorphosées (MV, SM, GR, ± CD) ont été identifiées dans les volcanoclastites felsiques et dans les roches sédimentaires de la CRVHE.

Au nord et à l'ouest de la CRVHE s'étend le Pluton de Misasque (2695 ±8 Ma), composé de tonalite foliée à gneissique, ainsi que la Granodiorite foliée du Lac Cadieux. Les volcanites du Groupe de René sont coupées à l'est par le Pluton de Chiyaaskw (2746 ±3 Ma) et par la Tonalite de Bohier. Au sud de la CVRHE, on observe les granitoïdes et les paragneiss du Complexe d'Épervanche. Nos travaux ont permis d'identifier plusieurs intrusions de syénite dans ce complexe. Le sud-est de la zone d'étude est caractérisé par les arénites quartzitiques et les conglomérats du Bassin sédimentaire d'Otish (> 2169 Ma et < 2515 Ma). Toutes ces unités sont coupées par des dykes mafiques paléoproterozoïques.

La déformation ductile polyphasée et la présence d'intrusions, permettent d'expliquer l'architecture complexe à quatre branches de la CRVHE. La partie centrale, située au cœur de l'île Bohier témoigne d'au moins quatre phases de déformation ductile. Des schémas d'interférence de plis de type « dômes et bassins » caractérisent la CVRHE. L'intensité du métamorphisme augmente vers le nord-est de la région et varie du faciès des schistes verts au faciès supérieur des amphibolites.

La région a déjà été l'objet de nombreux travaux d'exploration et d'exploitation. En 1995, la mine Eastmain avait produit 40 263 onces d'or. Plusieurs indices témoignent également du fort potentiel de la région pour : a) les minéralisations de sulfures exhalatifs; b) les minéralisations magmatiques à Cu-Ni-EGP associées aux roches ultramafiques; c) les minéralisations associées aux intrusions porphyriques à Cu-Au et à Au; d) les minéralisations filoniennes aurifères; e) les minéralisations uranifères de type discordance et filoniennes; f) les minéralisations en terres rares associées à des granitoïdes; g) les minéralisations de diamant dans les kimberlites.

Levé géologique dans les sous-provinces de La Grande et de Nemiscau à l'est de Waskaganish, Eeyou Istchee Baie-James (région du lac Champion)

Daniel Bandyayera, Yannick Daoudene, Francis Talla Takam (MERN)

Le levé géologique de la région du lac Champion, effectué durant l'été 2017, couvre un secteur situé à environ 230 km au nord-ouest de Chibougamau, accessible par la route du Nord à partir de Chibougamau ou de Matagami. Le nord de la région cartographiée expose les roches intrusives du Complexe de Champion, une extension vers le sud de la Sous-province de La Grande, tandis que dans la partie sud affleurent les unités principalement métasédimentaires plus ou moins migmatitisées de la Sous-province de Nemiscau.

Le Complexe de Champion est composé de gneiss tonalitique, de tonalite, de granodiorite, de granodiorite porphyrique et de granite. Au sud, dans les roches métasédimentaires du Groupe de Rupert, affleurent aussi localement des roches intrusives déformées, de composition tonalitique ou granodioritique, qui ont été également assignées au Complexe de Champion. Le contact entre le Nemiscau et le Complexe de Champion est caractérisé par la présence de bandes kilométriques de basaltes amphibolitisés, massifs à coussinés, assignés au Groupe du Lac des Montagnes, auxquels sont associées des intrusions mafiques-ultramafiques massives à fortement déformées.

Les unités métasédimentaires du Nemiscau, métamorphisées au faciès des amphibolites ou des granulites, sont migmatitisées à divers degrés et injectées par des intrusions de granite souvent pegmatitique. Des unités kilométriques continues de diatexite sont répandues au sud de la région. Localement, des lambeaux de roches mafiques amphibolitisés sont observés.

L'ensemble des roches archéennes de la région est coupé par différentes familles de dykes de diabase orientés E-W, NE-SW, N-S et NW-SE, assignés respectivement aux essais de dykes de l'Abitibi, de Senneterre, de Matachewan et de Mistassini.

Les roches archéennes présentent une déformation diffuse et relativement homogène, soulignée par la présence d'une foliation pénétrative, orientée E-W à NE-SW, souvent à fort pendage. L'ensemble rocheux de la Sous-province de Nemiscau est caractérisé par une géométrie en dômes et en bassins et est coupé par des zones de cisaillement assez discrètes.

Nos travaux montrent que la zone de contact Nemiscau-La Grande constitue un métalotecte important de la région, au même titre que la bordure nord et sud-ouest de l'Opinaca-La Grande. Des zones favorables pour des minéralisations en Ni-Cu-EGP, associées aux intrusions kilométriques de roches mafiques-ultramafiques, ont été mises au jour. Parallèlement, des indices d'or, de nickel, de cuivre, de zinc, d'argent et de fer ainsi que plusieurs anomalies polymétalliques (Zn-Pb-Au-Cu-Ag) associées aux métasédiments qui sont rapportés dans des travaux statutaires ont été visités et échantillonnés lors de nos travaux.

Géologie de la région de Borgia, secteur ouest du Grenville, Québec (31P09, 31P10, 31P15 et 31P16)

Abdelali Moukhsil, Gabriel Côté (MERN)

Un nouveau levé géologique a été réalisé dans la région de Borgia au nord de La Tuque. Ce levé a permis d'identifier plusieurs unités géologiques dans la Province de Grenville. Les roches cartographiées sont composées d'intrusions mafiques à felsiques et de roches métasédimentaires et métavolcaniques dont les âges varient du pinwarien au grenvillien (1,52 à 0,986 Ga).

Des roches apparentées à celles du Groupe de Montauban (1450 Ma), connu au nord de Trois-Rivières, affleurent dans la région cartographiée. En plus d'être déformées, ces roches (métasédiments à grenat ± graphite ± sillimanite, tufs, basalte, andésite, amphibolite) sont métamorphisées au faciès supérieur des amphibolites et ont perdu leur structure primaire. Des roches des complexes de la Bostonnais (1380 Ma, gabbro, gabbrotonite, diorite, tonalite, granodiorite) et du Parc des Laurentides (1390 à 1345 Ma, monzonite quartzifère porphyrique ou œillée) sont également observées dans la région. Des intrusions grenvilliennes comme la Suite de Rivière-à-Pierre (1058 Ma, granite, monzonite et mangérite, le tout à texture macrocristalline avec des phénocristaux de feldspath) représentent un gros volume de roches intermédiaires à felsiques à l'est de la région. Des roches ultramafiques (pyroxénite) à mafiques (gabbro-norite, gabbro) y sont présentes sous la forme de dykes ou d'intrusions importantes (Anorthosite de Langelier, Suite de l'Étoile et Gabbro-norite d'Édouard, etc.).

Quelques intrusions de syénites roses et grises, fortement magnétiques, avec ou sans orthopyroxène ont été cartographiées, surtout sous la forme de pluton. Des dykes de pegmatite de composition granitique constituent le dernier événement magmatique de la région.

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

Plusieurs nouvelles cibles d'exploration ont été mises au jour (terres rares, oxydes de fer, oxydes de titane, phosphore et vanadium, cuivre et nickel, minéraux industriels [sillimanite, graphite]). Des sites d'intérêt pour la pierre architecturale ont aussi été découverts.

Présentation des levés aéromagnétiques réalisés en 2017

Rachid Intissar, Julie Vallières (MERN)

Géologie Québec a poursuivi ses campagnes de levés géophysiques aéroportés à grande échelle dans différentes provinces géologiques durant l'année 2016-2017, notamment dans le Grenville et le Supérieur. Le nombre de kilomètres linéaires parcouru dans la dernière année est de l'ordre de 241 000 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 de favoriser l'exploration minière. Ces données permettent également de stimuler l'investissement du secteur privé en exploration avec la génération de cibles d'intérêt.

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

- ▶ **DP 2017-03** : levé aéromagnétique couvrant en partie ou en totalité 21 feuillets SNRC au 1/50 000 dans le secteur sud de la rivière Moisie, Province de Grenville. Ce levé a été réalisé par la compagnie Geo Data Solutions GDS;
- ▶ **DP 2017-04** : levé aéromagnétique couvrant en partie ou en totalité 23 feuillets SNRC au 1/50 000 dans le secteur nord de la rivière Moisie, Province de Grenville. Ce levé est réalisé par la compagnie Novatem;
- ▶ **DP 2017-06** : levé aéromagnétique couvrant en partie ou en totalité 18 feuillets au 1/50 000 dans le secteur de la rivière Caniapiscou, Province du Supérieur. Ce levé a été réalisé par la compagnie Geo Data Solutions GDS.

Inventaire des ressources en granulats des régions de Sept-Îles et de Rimouski

André Brazeau (MERN), Christophe Langevin, Guillaume Raymond (UL)

Durant l'été 2017, des travaux d'inventaire des ressources en granulats ont été effectués dans les régions de Sept-Îles et de Rimouski.

Les travaux dans le secteur de Sept-Îles ont couvert, en partie ou en totalité, les feuillets SNRC 22I05, 22J01, 22J02, 22J03, 22J07 et 22J08. Des travaux d'inventaires avaient déjà été effectués dans ce secteur en 1991. À la suite d'une demande du ministère de la Sécurité publique (MSP), le MERN a été mandaté afin de rechercher des matériaux d'emprunt pour la réalisation de travaux de rechargement de plage. Ces travaux ont été rendus nécessaires en raison de l'érosion importante de plusieurs secteurs côtiers. Les travaux de recharge, qui ont été retenus comme mesure de protection pour contrer l'érosion et la submersion côtières, nécessitent de grandes quantités de granulats de granulométrie spécifique. Plusieurs sites ont été visités et certains ont été échantillonnés. Les travaux de cet été ont aussi permis de mettre à jour les travaux de 1991.

La région de Rimouski couvre, en partie ou en totalité, les feuillets SNRC 22C02, 22C03, 22C07, 22C08, 22C09 et 22B12 à l'échelle 1/50 000. 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 routes. Plus de 150 sites ont été explorés et 42 échantillons de sable ou de gravier ont été prélevés et expédiés en laboratoire pour déterminer leurs propriétés physico-mécaniques.

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

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

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. L'abondance de matériaux schisteux dans les matériaux granulaires devrait nuire à la qualité des granulats.

Cartographie et prospection glacio-sédimentaire du Quaternaire dans la région de la baie Abatagouche : résultats préliminaires

Mohamed El Amrani (MERN), Antoine Carré (UL)

Les travaux de terrain réalisés au cours de l'été 2017 dans la partie nord-est de la baie Abatagouche ont permis de cartographier et d'échantillonner les dépôts de surface du Quaternaire dans cette région. Le territoire étudié s'étend sur 4909 km² et couvre les feuillets 32109, 32110, 32111, 32115 et 32116.

L'analyse de l'orientation des marques d'érosion et des formes de terrain d'origine glaciaire a mis en évidence une séquence de quatre écoulements glaciaires : un écoulement vers le SE (120-144°), un écoulement vers le SSE (155-173°), un écoulement vers le sud (180 ± 5°) et un écoulement vers le SSW (185-220°). L'écoulement SE est le plus ancien, suivi par l'écoulement SSE. L'écoulement sud est plus récent que l'écoulement SE, mais sa chronologie par rapport aux écoulements SSE et SSW reste à déterminer. L'écoulement SSW est le plus récent et constitue, avec l'écoulement sud, les deux mouvements majeurs dans la région d'étude. La séquence d'écoulements observée indique un déplacement du centre de dispersion ou de la ligne de partage glaciaire de l'ouest vers l'est.

La couverture du Quaternaire dans la région se compose de dépôts glaciaires, de dépôts fluvioglaciaires et de dépôts postglaciaires. Le till est le faciès le plus ré pond u; sa partie visible se compose d'un till de fond sableux et épais (1 à 20 m) recouvert par un till d'ablation rocaillieux et mince (<1 m). Par endroit, l'ensemble forme des drumlins, des drumlinoïdes, des traînées morainiques et quelques moraines frontales mineures. Le till de fusion a été identifié localement dans certaines vallées où il forme des moraines de décrépitude. Les dépôts fluvioglaciaires forment essentiellement des eskers d'orientation NNE-SSW à nord-sud et des plaines d'épandage. Des dépôts glaciolacustres de type littoraux et d'eau profonde ont été observés immédiatement au nord du lac à l'Eau Froide. Les sédiments postglaciaires sont représentés par des dépôts fluviaux, des dépôts éoliens, des dépôts organiques et quelques dépôts de versants.

L'analyse de la distribution spatiale des erratiques issus du Bassin de Mistassini indique une dispersion glaciaire régionale vers le SSE, le sud et le SSW. Aucun erratique de dolomie à stromatolite n'a été observé au cours des travaux de terrain.

Deux cent trente échantillons de dépôts glaciaires et fluvioglaciaires ont été prélevés dans le cadre de cette étude. Les analyses sont en cours et vont porter sur la géochimie de la fraction fine du till et sur le contenu en minéraux indicateurs du till et des échantillons d'eskers.

Prospection glacio-sédimentaire et cartographie du Quaternaire de la région des monts Otish et Tichégami

Virginie Daubois, Olivier Lamarche (MERN)

Le territoire d'Eeyou Istchee Baie-James a été grandement affectée par les glaciations du Quaternaire qui ont laissé une couverture épaisse et continue de sédiments meubles. L'utilisation des outils de prospection glacio-sédimentaire peut contribuer à établir un portrait plus complet de son potentiel minéral. Ainsi, le Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec (BCGQ) a entrepris des travaux d'échantillonnage de sédiments d'origine glaciaire (till) et fluvioglaciaire (esker) associés à une cartographie des formations de surface à l'échelle de 1/50 000 dans la région des monts Otish et Tichégami. Les travaux de terrain effectués à l'été 2017 ont couvert les feuillets SNRC 32P14, 32P15, 32P16, 33A01, 33A02 et 33A03, ainsi que les portions ouest des feuillets 22M13 et 23D04.

Au cours de la campagne de terrain 2017, 240 échantillons de till de 10 kg ont été prélevés. Dans le cas des eskers, les 39 échantillons prélevés, d'un poids de 15 kg, ont été tamisés sur le terrain pour récupérer et analyser la fraction inférieure à 8 mm. La région présente un fort potentiel kimberlitique, de par la présence de la mine de diamant Renard de la Société Stornoway Diamond et de nombreuses intrusions kimberlitiques. Cette réalité rend l'utilisation de la prospection glacio-sédimentaire attrayante, puisqu'elle est bien documentée et éprouvée pour les minéraux indicateurs de kimberlite. D'autre part, cette technique permettra de consolider le potentiel économique de la région, également caractérisé par des minéralisations d'or, de cuivre, de zinc et d'argent dans les bandes volcano-sédimentaires. Les résultats des analyses géochimiques et des analyses sur les concentrés de minéraux lourds provenant de l'échantillonnage des sédiments glaciaires et fluvioglaciaires seront présentés au cours de l'année 2018.

En plus du volet de prospection glacio-sédimentaire, une cartographie de détail des formations de surface à l'échelle de 1/50 000 a permis d'identifier les différents types de sédiments associés à la dernière période glaciaire, ainsi que le contexte à l'origine du canevas géomorphologique de la région. Les sédiments de surface de la région sont principalement constitués de sédiments glaciaires (till) qui forment des traînées morainiques fuselées, des moraines de Rogen et des moraines bosselées. Lors de la déglaciation, ces dépôts ont été recouverts par des sédiments sableux d'origine fluvioglaciaire associés à des environnements de contact de glace et d'épandage pro-glaciaire. La mise en place de ces sédiments en milieu principalement subaérien a entraîné le comblement des vallées. Toujours lors de la déglaciation, les eaux de fonte ont formé des réseaux de chenaux, lesquels abondent dans la zone cartographiée. Depuis l'Holocène, des alluvions se sont développées, principalement dans les vallées des rivières Eastmain et Tichégami, formant de grandes plaines alluviales. Finalement, des sédiments organiques se sont accumulés dans les secteurs mal drainés et sont à l'origine des tourbières réticulées. Les résultats cartographiques finaux seront présentés au cours de l'année 2018.

Enfin, puisque la recherche de la source d'une anomalie minérale par prospection glacio-sédimentaire nécessite une bonne connaissance de l'histoire glaciaire de la région, une étude des mouvements glaciaires a été réalisée afin de caractériser l'impact de l'évolution des dômes de dispersion de l'Inlandsis laurentidien sur la région. Un levé systématique des marques d'érosion glaciaire a été effectué et la séquence des écoulements glaciaires résultante montre une succession complexe de différents mouvements qui permet de préciser le cadre chronologique glaciaire de la région des monts Otish.

Prospection glacio-sédimentaire et cartographie du Quaternaire de la région de la rivière Rupert (portion de 32N)

Olivier Lamarche, Virginie Daubois (MERN)

Le Bureau de la Connaissance géoscientifique du Québec a entrepris à l'été 2016 une campagne de cartographie des dépôts de surface jumelée à un échantillonnage systématique des tills et des eskers dans la région des rivières Rupert et Pontax (feuillelet SNRC 32N), à environ 200 km au nord de Matagami. Près de 350 échantillons ont été prélevés dans le cadre de ce projet d'envergure qui a pour but de caractériser le potentiel minéral des Basses-terres de la baie James, où la couverture sédimentaire est particulièrement puissante. La connaissance géologique de la région est concentrée le long des principaux axes routiers, où ont été observées à l'été 2016 au moins une séquence néoarchéenne de roches sédimentaires en lien avec la Ceinture d'Anatacau-Pivert ainsi que d'autres lambeaux de volcanites mafiques amphibolitiques. Ces ceintures, dont l'extension de part et d'autre du réseau routier est encore mal définie, pourraient renfermer un potentiel en or et en métaux usuels qui sera précisé par l'analyse géochimique de la matrice des tills et par l'examen des minéraux indicateurs (grains d'or, sulfures, etc.).

L'analyse de 343 échantillons (337 de till et 6 d'esker) dans la portion nord du feuillelet SNRC 32N a été effectuée. La géochimie de la matrice des tills (< 63 µm) a été obtenue par ICP-MS, alors que la fraction granulométrique de 250 à 1000 µm (0 à 1000 µm pour l'or) des tills et des eskers a été traitée afin d'identifier des minéraux indicateurs d'éventuels gisements (or de type orogénique, kimberlites, SMV), et ce, en tenant compte du recensement des formes fuselées orientées et des marques d'érosion glaciaire (stries, brouitures, etc.). Ces analyses ont permis l'identification de zones favorables à l'exploration, notamment pour l'or, comme en témoignent la présence de grains très bien préservés, suggérant une source proximale pour ceux-ci.

La cartographie des dépôts meubles a permis d'identifier les différents types de sédiments associés à la dernière déglaciation. La région est dominée par une plaine glacio-marine mise en place par la Mer de Tyrrell, qui, à partir de l'Holocène, a favorisé le développement de nombreuses tourbières et de milieux humides caractéristiques des Basses-terres de la baie James. Les reliefs qui percent cette plaine sont le plus souvent des affleurements rocheux accompagnés de traînées morainiques orientées dans le sens d'écoulement glaciaire relié à la déglaciation du Dôme du Nouveau-Québec. De nombreuses plages marquant divers niveaux de la Mer de Tyrrell furent observées. Au nord-est du secteur, quelques segments de la Moraine de Sakami, d'origine fluvioglaciaire, marquent une transition entre le territoire submergé par la Mer de Tyrrell et les hautes terres. Ces terrains non submergés ont permis l'échantillonnage d'eskers, lesquels sont absents du reste de la zone à l'étude.

Géologie des dépôts de surface de la région de la rivière Arnaud (24M et 25D)

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

Le Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec (BCGQ) a entrepris, à l'été 2017, un projet de levés du Quaternaire comprenant :

- ▶ un échantillonnage de sédiment glaciaire (till) et fluvioglaciaire (esker);
- ▶ une cartographie, à l'échelle 1/250 000, de l'architecture des dépôts de surface dans le secteur de la rivière Arnaud (SNRC 24M et 25D).

Ce secteur se trouve dans la zone d'influence de la ligne de partage glaciaire de Payne, mais a également connu l'invasion marine postglaciaire de la Mer d'Iberville, d'où une épaisseur considérable de sédiments du Quaternaire, masquant par endroit d'importantes superficies de roc. Cette particularité géologique s'avère un frein à l'exploration et à la cartographie du soubassement rocheux. La réalisation de levés du Quaternaire dans un tel contexte est complémentaire aux levés cartographiques traditionnels et permet une évaluation régionale du potentiel minéral.

Le secteur à l'étude se trouve à la limite des provinces de Churchill et du Supérieur, ce qui se traduit par une signature très contrastée des unités cartographiées, mais également par des variations de composition minéralogique et géochimique des sédiments glaciaires et fluvioglaciaires. Le secteur ouest de la zone est marqué par des zones extensives de felsenmeer et des crêtes rocheuses gélifractées. La portion sud-est est caractérisée par des formes fuselées et allongées, témoignant de l'activité d'un important courant de glace au cours de la dernière glaciation. Les morphologies de surface inhérentes à ce courant de glace sont confinées dans un corridor faisant près de 75 km de longueur et plus de 40 km de largeur.

Près de 300 échantillons ont été prélevés à travers la zone d'étude. La fraction fine des échantillons de till sera soumise à des analyses par ICP-MS et des concentrés de minéraux lourds seront réalisés afin de récupérer les minéraux indicateurs pour différents types de gisements (kimberlitiques, métaux usuels, sulfures, etc.). Finalement, la géochimie de certains de ces minéraux indicateurs sera caractérisée au microscope électronique. Cette photoprésentation présente les résultats préliminaires du projet de la rivière Arnaud à la suite des travaux réalisés en 2017.

G40

Apports de l'imagerie satellite de haute résolution à la cartographie du Quaternaire et à l'analyse du transport glaciaire : exemples de la région de Kangirsuk (Ungava, Nunavik)

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

Le récent développement de l'imagerie satellitaire de haute résolution contribue grandement aux projets de levés du Quaternaire et de prospection glaciocérosédimentaire. En effet, combiné aux photographies aériennes, l'imagerie satellitaire permet de documenter en détail la nature des dépôts de surface et la géomorphologie des terrains englacés, en plus d'identifier les principales directions d'écoulement glaciaire.

En 2010, le Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec (BCGQ) a fait l'acquisition d'images satellitaire RapidEye couvrant la partie nord du 53^e parallèle du territoire québécois. Ces dernières furent utilisées afin de créer une mosaïque en couleurs naturelles ayant une résolution de cinq mètres au sol. Plus récemment, le BCGQ a également fait l'acquisition d'un levé satellitaire Pléiades ayant une résolution nettement plus précise, soit de 50 cm au sol. Les images obtenues couvrent une superficie de 920 km², englobant pratiquement toute la 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 les nombreuses séquences d'écoulement compliquent la prospection glaciocérosédimentaire. La caractérisation de ces séquences d'écoulement glaciaires passe donc par la cartographie de détail.

À l'été 2017, un projet de cartographie de dépôts du Quaternaire fut mis en œuvre dans un secteur couvert par les levés Pléiades et RapidEye. Ce projet de maîtrise, résultat d'un partenariat entre le BCGQ et l'Université du Québec à Montréal (UQAM), a permis d'effectuer une cartographie de détail de la distribution spatiale en surface des principaux ensembles sédimentaires du Quaternaire et des formes de terrain associées au transport glaciaire du feuillet SNRC 25D08. Ces travaux comprennent une étude comparative de la résolution cartographique pouvant être atteinte par les levés Pléiades (50 cm) vs celle obtenue par les levés Rapideye (5 m). Compte tenu des coûts élevés d'acquisition des images Pléiades, il est essentiel d'en évaluer leurs retombées lorsque celles-ci sont utilisées à des fins de cartographie ou de glacio-prospection.

Une campagne d'échantillonnage de till et d'esker fut également réalisée dans le feuillet SNRC 25D08 afin d'évaluer le potentiel minéral du secteur par l'analyse des concentrés de minéraux lourds. À partir de l'analyse géochimique de la fraction fine de la matrice des tills, les indices géochimiques développés ont permis de caractériser la dynamique glaciaire associée à leur mise en place et de déterminer de façon relative les distances de transport effectives.

G41

Étude des altérations synvolcaniques de la ceinture des Escoumins (centre de la Province de Grenville, Québec) : implications pour l'exploration de gisement de type SMV dans des terrains métamorphisés

Pierre-Arthur Groulier, Aphrodite Indares (Memorial U),
Abdelali Moukhsil (MERN), Stephen J. Piercey (Memorial U)

La Ceinture volcano-sédimentaire des Escoumins (CESC) représente les restes d'un système d'arc insulaire d'âge pinwarrien (1,5-1,4 Ga) dans le centre de la Province de Grenville, métamorphisés au faciès des amphibolites. Les roches supracrustales de la CESC appartiennent au Groupe de Saint-Siméon (GSS) et consistent, de la base vers le sommet, en une séquence métasédimentaire de bassin océanique (Formation de Saint-Paul-du-Nord), une association lithologique dominée par des roches volcaniques bimodales d'arc (Formation de Moulin à Baude) et une séquence détritique de bassin intra-arc (Formation de Port-aux-Quilles).

La Formation de Moulin à Baude possède le potentiel économique le plus marqué et a fait l'objet de travaux de cartographie détaillée. Cette formation témoigne d'une évolution débutant par a) des andésites basaltiques et des dacites de type arc océanique (unité MAB1) auxquelles succèdent b) des basaltes et des roches volcaniques felsiques plus alcalines de type d'arc en extension, avec des niveaux exhalatifs (unité MAB2), puis c) des basaltes et des ferrobasaltes de type arrière-arc (unité MAB3) au sommet.

La présence de stratifications entrecroisées dans les quartzites, ainsi que de coussins et de vésicules dans les roches basaltiques indique un environnement sous-marin de faible profondeur. Les unités MAB1 et MAB2 contiennent aussi un réseau de veines de quartz-épidote de caractère régional, indicatif d'une altération hydrothermale sous-marine, et sont hôtes d'indices de Cu ± Au-Ag. De plus, de complexes zones d'altération caractérisées par des changements de composition sont observées dans MAB2, avec notamment au sein des roches mafiques : 1) Fe-Mg de type chloritique; 2) Ca-Mg-K-Si ± Mn de type calco-silicaté; 3) silicification. Au sein des roches felsiques : 1) K-Si-Fe ± Ca (séricitisation); 2) Si-Ca-Fe; 3) altération argileuse avancée; 4) Fe-Mg-Na. Des indices de Cu-Zn-Pb ± Au-Ag sont associés à ces altérations.

Les environnements d'arcs océaniques sous-marins en extension, comme ceux à l'origine du CESC, sont caractérisés par de forts gradients géothermiques et sont favorables à la mise en place de gisement de type sulfures massifs volcanogènes (SMV) enrichis en or. Les niveaux exhalatifs et métasédimentaires marquant la limite entre les unités MAB2 et MAB3 témoignent d'un arrêt du volcanisme propice à la formation de systèmes hydrothermaux vigoureux.

Les caractéristiques primaires des altérations de l'unité de MAB2 ont aussi été documentées au moyen d'une étude pétrographique et géochimique, complétée par l'utilisation de MEB-MLA et d'analyses de minéraux marqueurs à la micro-sonde, dans le but d'identifier des marqueurs et de proposer un modèle d'exploration pour les gisements de type SMV à l'échelle de la CESC.

Potentiel de minéralisation en silice au Québec

N'golo Togola (MERN)

Les sources de silice sont abondantes au Québec et comprennent des formations de grès ou de quartzite, des veines ou des amas de quartz massif et des dépôts de sable quartzueux. Ces substances siliceuses se retrouvent dans les provinces géologiques de Grenville, du Supérieur, des Appalaches et des Basses-Terres du Saint-Laurent.

Dans la Province des Appalaches, les gîtes de silice sont associés à des unités de grès quartzifère (arénite quartzifère). Il s'agit de niveaux épais et continus de grès quartzifère qui présentent une teneur moyenne en silice généralement supérieure à 96 % SiO_2 . Certains niveaux de grès quartzifère de haute pureté renferment une teneur en silice de 99,7 % SiO_2 . Des veines de quartz massif qui coupent les unités de roches sédimentaires (ardoise, phyllade) présentent parfois des teneurs élevées en silice pouvant atteindre 98,6 à 99,9 % SiO_2 . Ces veines de quartz hydrothermal sont des corps géologiques lenticulaires d'extension limitée, ne dépassant guère 200 m de longueur par 10 à 20 m de largeur.

Dans la Plate-forme du Saint-Laurent, les gîtes de silice sont associés à des unités de grès quartzifère. Les bancs de grès quartzifère les plus purs, comme ceux de la Formation de Cairnside (Groupe de Potsdam), contiennent jusqu'à 99,5 % SiO_2 .

La Province de Grenville renferme de nombreux gîtes de silice associés à des unités de quartzite issus d'assemblage de roches métasédimentaires. Ceux-ci correspondent à des niveaux de quartzite pur à très pur dont la teneur moyenne en silice varie de 98,2 % à 99,5 % SiO_2 . Certains niveaux de quartzite de haute pureté ont par endroit une teneur en silice de 99,7 % SiO_2 .

Les amas de quartz dans les pegmatites granitiques ainsi que les veines ou lentilles de quartz que l'on trouve en plusieurs endroits dans la Province de Grenville constituent également d'autres sources potentielles de silice. Ces corps géologiques présentent localement des teneurs élevées en silice variant de 97,6 à 99,2 % SiO_2 . Le gisement de silice du lac Bouchette, associé à une veine de quartz, a déjà fait l'objet d'exploitation dans le passé.

Dans la Province du Supérieur, des gîtes de silice correspondent à des unités de grès siliceux (lambeaux de roches sédimentaires) d'âge paléoproterozoïque. Par ailleurs, cette province comprend également des filons de quartz minéralisés en substances métallifères qui peuvent constituer aussi des sources potentielles de silice.

Des dépôts de sable naturel d'origine marine ou deltaïque (dépôts du Quaternaire), fortement remaniés ou dérivés de roches à haute teneur en silice, constituent également une source de silice au Québec. On extrait de ces dépôts par lavage et tamisage un sable relativement pur dont la teneur en silice varie de 95 % à 97 % SiO_2 .

Les ardoises au Québec

N'golo Togola (MERN)

Les ardoises au Québec sont associées à des unités de roches sédimentaires d'âge cambrien à dévonien présentes au sein de la Province des Appalaches. La Formation de Témiscouata, la Formation de Saint-Victor et le Mélange de Saint-Daniel sont les entités géologiques les plus intéressantes pour la recherche d'ardoise commerciale.

La production d'ardoise a été intense au Québec de 1854 à 1923. Les activités d'exploitation étaient surtout concentrées dans les régions de l'Estrie, de la Montérégie et du Témiscouata, plus particulièrement dans les secteurs de Kingsbury, de Windsor, de Brompton, de Kingsey et de Danville près d'Asbestos. Les autres secteurs ayant fait l'objet d'extraction d'ardoise sont ceux d'Acton Vale et de Granby.

Actuellement, il existe seulement quatre carrières pour l'extraction des ardoises au Québec. Ces sites d'exploitation sont situés dans les secteurs de :

- ▶ Saint-Marc-du-Lac-Long (Témiscouata)
- ▶ Bromptonville (Estrie)
- ▶ Kingsbury (Estrie)
- ▶ Danville (Estrie)

Dans le secteur de Saint-Marc-du-Lac-Long (Témiscouata), on exploite une ardoise qui fait partie d'un vaste assemblage d'ardoise, de siltstone et de quartzite assignés à la Formation de Témiscouata. Cette ardoise gris foncé est utilisée principalement pour la fabrication de tuiles de recouvrement de toiture destinées au marché des États-Unis et de l'Europe (Belgique, France, Pays-Bas, Luxembourg). Les ardoises extraites dans le secteur de Saint-Marc-du-Long servent également à la production de pierre d'aménagement paysager.

Dans le secteur de Bromptonville (Estrie), on exploite une ardoise gris foncé, presque noire, de la Formation de Saint-Victor (Groupe de Magog). Elle est utilisée dans le recouvrement de plancher, de murs ou de comptoirs, comme pierre d'aménagement paysager (sous forme de dalles) ainsi que pour la production de pierre concassée.

Dans le secteur de Kingsbury (Estrie), on exploite une ardoise verte associée au Mélange de Saint-Daniel. Cette ardoise est surtout utilisée pour la fabrication de pierres d'aménagement paysager. Elle sert également pour la production de moellons pour murets et de pierre d'enrochement.

Dans le secteur de Danville (Estrie), on exploite une ardoise grise à gris noirâtre associée au Mélange de de Saint-Daniel. Cette ardoise est surtout utilisée pour la fabrication de pierres d'aménagement paysager. Elle sert également pour la production de moellons pour murets et de pierre concassée.

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

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

Le secteur d'étude est situé à environ 2 km à l'est de la ville de Val-d'Or. Il se compose de roches volcaniques andésitiques de la Formation de Val d'Or, dans lesquelles se trouve également une panoplie de phases intrusives, de géométrie et de compositions variables, en relation avec plusieurs couloirs de déformation ductile. Ce secteur expose plusieurs familles de roches intrusives compétentes encaissées dans des roches volcaniques et volcanoclastiques, des couloirs de déformation ductile, de l'altération hydrothermale et des veines de quartz-tourmaline. L'ensemble pourrait être favorable aux minéralisations aurifères, le secteur étant situé dans le prolongement oriental des mines Sigma et Lamaque. Toutefois, l'absence de valeur aurifère dans les veines justifie une étude plus approfondie du secteur. Les principaux objectifs de cette étude sont de caractériser les différentes unités intrusives, d'établir les relations chronologiques entre celles-ci, de préciser la nature de l'altération et finalement de déterminer le synchronisme entre ces diverses intrusions et la déformation régionale.

La zone d'étude proprement dite consiste en cinq affleurements décapés mécaniquement. Plusieurs familles d'intrusions ont été reconnues sur le terrain. Outre les dykes synvolcaniques de gabbro, la zone d'étude comprend : 1) des dykes de porphyre feldspathique, 2) plusieurs phases de diorite présentant des faciès lamprophyriques et 3) différentes phases de diorite à hornblende. Ces différentes intrusions sont communément altérées en chlorite-biotite, en épidote et en séricite. Les dykes de porphyre feldspathique sont surtout de direction E-W et d'épaisseur métrique. Les phases intrusives de diorite au faciès lamprophyrique forment une masse irrégulière et mal définie dans la partie orientale des affleurements, de même que quelques dykes de direction NE-SW. Finalement, les dykes de diorite à hornblende sont d'épaisseur métrique, avec une orientation dominante NE-SW. Les dykes de porphyre sont recoupés par les diorites au faciès lamprophyrique et tous deux sont recoupés par les dykes de diorite à hornblende. Plusieurs couloirs de déformation sont présents et affectent l'ensemble des phases intrusives à divers degrés. Ils sont d'épaisseur décimétrique à métrique, de direction généralement E-W avec un pendage abrupt. Le couloir situé le plus au nord se distingue avec une direction NW-SE. Si les linéations d'éirement sont localement en composante pendage (sub-verticales), la zone d'étude se distingue par des linéations en composante direction (subhorizontales) et des indicateurs de cisaillement dénotant un mouvement de décrochement dextre. La composante de mouvement horizontal dextre du secteur contraste avec les mouvements inverses reconnus dans les zones de cisaillement aurifères des mines Sigma et Lamaque. Ces éléments feront partie d'un mémoire de maîtrise en cours de réalisation à l'UQAC, avec le support du MERN.

Géologie et compilation du secteur La Corne (32C05-NW), Abitibi

Pierre Pilote (MERN), Réal Daigneault (CERM-UQAC),
Jean David, Christelle Lambert, James Moorhead (MERN)

Cette campagne de terrain consiste en la cartographie à l'échelle de 1/20 000 et en la compilation du quart nord-ouest du feuillet SNRC 32C05, soit la région de La Corne, située dans la partie méridionale de la Sous-province de l'Abitibi. Cette région est constituée d'unités volcaniques (Groupe de Kinojévis et Formation de Landrienne), sédimentaires (Formation de Caste) et intrusives (Batholite tarditectonique à post-tectonique de La Corne daté à 2680-2642 Ma, hôte de la mine de lithium de la société North American Lithium), toutes d'âges archéens. Le métamorphisme régional observé passe du niveau des amphibolites dans la demie sud de la carte à celui des schistes verts supérieurs dans sa moitié nord.

Le Groupe de Kinojévis contient les formations de Deguisier (FD : 2718-2720 Ma) et de Lanaudière (FNau : 2716-2718 Ma). La FD se compose principalement de volcanites mafiques et, par endroits, de volcanites intermédiaires à felsiques. La FNau comprend des volcanites et des intrusions ultramafiques et mafiques, avec par endroits des volcanites intermédiaires à felsiques, ainsi que de minces niveaux volcanoclastiques pyriteux. La Formation de Landrienne (FLan : 2727 Ma) est constituée de volcanites mafiques, intermédiaires et felsiques. Elle contient de nombreux niveaux minces de roches volcanoclastiques riches en pyrite, de même que des minéralisations de type sulfures massifs volcanogènes (Zn-Cu, propriété Landome). La Formation de Caste (FC : 2691 Ma) contient des grès, des siltstones et des turbidites. Elle est en contact de faille le long de sa bordure nord avec les volcanites de la FNau.

L'orientation générale de la stratification dans la FD, la FNau et la FC est variable, passant de E-W dans la partie ouest de la carte, à ESE dans la partie est, avec un pendage modéré vers le nord (35°-60°). La schistosité régionale S1, de modérément à intensément développée, est communément subparallèle à la stratification S0. La linéation d'éirement L1 est contenue dans la fabrique S1 et plonge vers le nord ou le NE.

La caractéristique structurale dominante de cette région est la présence du système composite de chevauchement-Faille Destor-Porcupine-Manneville et de leurs multiples ramifications. Ces ramifications sont formées de zones de cisaillement et de failles longitudinales d'envergure telles que Manneville Nord, Matissard, Aiguebelle et Abcourt, orientées EW à ESE et à pendage modéré vers le nord (35° à 60°). La composante initiale de déformation dans cette région est représentée par la vaste Zone de chevauchement de Manneville. Cette zone, caractérisée par une schistosité régionale S1 à pendage modéré (35° à 60°) vers le nord, est observée systématiquement dans l'ensemble des unités volcaniques du Groupe de Kinojévis, de la FLan et des unités sédimentaires de la FC, soit une étendue N-S de 6 à 8 km sur une distance E-W minimale de plus de 80 km. Ceci en fait une des structures précoces fondamentales dans l'architecture de l'Abitibi. Ce chevauchement est en grande partie responsable des polarités stratigraphiques opposées observées entre la FD (polarité nord) et la FNau (polarité sud) le long de la Faille d'Aiguebelle, ainsi que de la présence inusitée d'unités volcaniques beaucoup plus vieilles (FLan : 2727 Ma) au style structural nettement distinct, plissées en un vaste synclorium de dimension kilométrique et bordées par les failles d'Aiguebelle et d'Abcourt.

Certaines de ces ramifications ont été réactivées plus tardivement lors de l'épisode Destor-Porcupine. Elles sont spatialement associées à la création de bassins sédimentaires (conglomérats polygéniques) d'âge Timiskaming (au NE du Batholite de La Corne) ainsi qu'à plusieurs indices aurifères. Ces ramifications contiennent des dykes ou des stocks de composition monzonitique ou tonalitique d'âges très variés. Les diversités observées dans les styles de minéralisations aurifères, leurs altérations et leurs âges illustrent l'existence probable de plusieurs types, qui ont atteint leur apogée à des époques distinctes.

G49

Zones favorables à l'exploration déterminées par régression spatiale multiple à partir des sédiments de fond de lacs pour les levés du secteur du lac Assinica, d'Abitibi sud-est et de Mistassini nord-est

Fabien Solgadi (MERN)

Le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec a réalisé entre 2013 et 2015 trois levés géochimiques de sédiments de lacs dans les secteurs du lac Assinica (portions des feuillets SNRC 32F, 32G, 32J et 32K), d'Abitibi sud-est (portions des feuillets SNRC 31N, 32B, 32C, 32G et 32F) et de Mistassini nord-est (portions des feuillets SNRC 22M, 23D, 32P et 33A).

Dans un premier temps, les valeurs brutes de ces levés ont été simplement mises en plan et extrapolées à l'aide de la méthode des voisins naturels. Ces cartes permettent d'identifier rapidement les zones de sédiments enrichis en un élément. Cette représentation présente toutefois le désavantage de ne pas tenir compte des teneurs de fond naturelles qui varient dans le milieu échantillonné en fonction des lithologies environnantes. D'autres facteurs environnementaux, comme la profondeur des lacs, la proportion de matière organique, l'oxygénation ou le pH, affectent aussi la concentration de certains éléments dans les sédiments.

Pour ces raisons, la méthode de régression spatiale multiple a été appliquée à ces données. Le principe de ce traitement repose sur la notion que la teneur d'un élément chimique dans un échantillon résulte de la combinaison d'une composante d'origine lithologique ou environnementale (1) associée parfois à une composante anormale provenant d'une minéralisation proximale (2).

La méthode de régression spatiale multiple permet donc d'estimer la teneur d'origine lithologique ou environnementale (1) d'un élément (teneur de fond naturelle) à partir des autres éléments analysés et en tenant compte des autres échantillons situés à moins de 20 km du sédiment analysé. Une valeur résiduelle est ensuite calculée et correspond à la différence entre la concentration réelle mesurée dans l'échantillon et celle prédite par le calcul de régression spatiale multiple. Les résiduelles positives les plus importantes sont censées représenter l'apport d'une minéralisation proximale (2).

Des zones ponctuelles favorables à l'exploration ont été définies par cette méthode et sont disponibles dans le SIGÉOM pour ces trois levés

G50

État des nouvelles compilations géoscientifiques au Québec

Pierre Lacoste, Ghyslain Roy, Simon Auclair, Simon Bourassa, Charles St-Hilaire, Julie Vallières, N'Golo Togola, Mona Baker, Marie-Andrée Vézina, Nathalie Bouchard, Ricardo Escobar, Jean Marie Nzengue (MERN)

Le traitement et la diffusion de la connaissance géoscientifique représente une part importante du mandat de Géologie Québec. Comme les années précédentes, Géologie Québec présente les nouvelles données compilées qui ont été intégrées à la base de données du SIGÉOM. Pour chacune des entités géoscientifiques concernées, le portrait offert montre les secteurs où de nouvelles données ont été intégrées au SIGÉOM ou qui ont fait l'objet de mises à jour. Cet état des compilations vise à vous renseigner sur les nouvelles connaissances acquises pour les entités géoscientifiques suivantes :

- ▶ géologie du socle (ou substratum rocheux);
- ▶ géologie du Quaternaire;
- ▶ gîtes et indices – substances métalliques;
- ▶ gîtes et indices – substances non métalliques;
- ▶ gîtes et indices – pierres architecturales, industrielles et concassées;
- ▶ forages.

Géochimie et pétrogenèse des roches volcaniques et sédimentaires de la partie sud-ouest de la Sous-province du Pontiac (Témiscamingue)

Marc Richer-Lafèche (INRS-ETE), Jean Goutier, James Moorhead (MERN)

Au Québec, la partie ouest du Témiscamingue est une région complexe caractérisée par une histoire géologique s'étalant sur plus de 2,7 Ga ponctuée d'événements géologiques enregistrés dans des séquences de roches volcaniques archéennes, des roches sédimentaires archéennes, protérozoïques et ordoviciennes ainsi que dans des cheminées kimberlitiques (143 Ma). La région, hôte du Rift du lac Témiscamingue et de son graben, a connu des tremblements de terre récents (magnitude de 6,2 le 1^{er} janvier 1935; magnitude de 5,0 le 1^{er} janvier 2000). Cette structure, tectoniquement active, explique en partie la préservation d'un imposant registre de roches sédimentaires protérozoïques et ordoviciennes dans cette partie du Bouclier canadien.

Les unités de roches supracrustales archéennes font partie de la Sous-province du Pontiac. Ces unités sont plus jeunes que celles de la Ceinture volcano-plutonique de l'Abitibi. Dans la région, les unités archéennes forment deux séquences distinctes. La première est constituée de roches volcaniques ultramafiques et mafiques différenciées associées au Groupe de Baby qui occupe la partie centrale de la région étudiée (secteurs d'Angliers et de Fugèreville). La seconde, constituée des roches sédimentaires archéennes variablement métamorphisées du Groupe de Pontiac, occupe une vaste superficie dans les secteurs de Notre-Dame-du-Nord, de Nédélec et de Rollet. La partie ouest et sud-ouest de la zone d'étude est caractérisée par la présence des roches sédimentaires huroniennes du Groupe de Cobalt. Des conglomérats polygéniques, des arénites et des quartzites de la Formation de Lorrain recouvrent le socle archéen en de nombreux endroits dans les régions de Duhamel, de Ville-Marie et de Lorrainville.

Ce projet de recherche consiste principalement en une étude géochimique régionale visant à combler l'absence ou la faible densité de données géochimiques dans la partie ouest du Témiscamingue. Cette région, cartographiée par le MERN dans les années 1960 et 1970, a fait l'objet de relativement peu de travaux géoscientifiques dans le passé. Ainsi, 450 sites ont été échantillonnés et cartographiés. Les échantillons de roches supracrustales ont été systématiquement analysés pour les éléments majeurs et en traces (ICP-AES, ICP-MS). L'étude portera une attention particulière à la pétrogenèse des unités de roches volcaniques et à l'origine des roches sédimentaires archéennes et protérozoïques de la région du Témiscamingue. Un sous-échantillonnage représentatif des échantillons de ces unités sera utilisé pour la détermination des isotopes de Sm-Nd et de Lu-Hf. De plus, les 450 sites d'échantillonnage ont fait l'objet de mesures pétrophysiques dans le but de produire une banque de données de valeurs de densité et de susceptibilité magnétique. Lors de la cartographie, un spectromètre portable (gamma) a été utilisé pour mesurer plus de 1000 concentrations en K (%), en eU (ppm) et en eTh (ppm).

Signatures paragenétiques et lithogéochimiques des systèmes métasomatiques polymétalliques à oxydes de fer et à éléments alcalins et calciques : des outils d'exploration et d'interprétation

Louise Corriveau (CGC-Q), Olivier Blein (BRGM), Anthony Reid (Geological Survey of South Australia), Pierre-Henri Trapy, Félix Gervais (Polytechnique), Alain Cayer, Jocelyn Pelletier et Mia Pelletier (Kintavar inc.)

L'étude des liens spatio-temporels, chimiques et génétiques entre les gîtes d'U et d'Au-Co-U encaissés dans des albitites, les gîtes à Cu-Au ou à terres rares associés aux oxydes de fer (IOA et IOCG) et les gîtes polymétalliques au sein de skarns des provinces du Grenville et de l'Ours (Canada) et d'Olympic (Australie) démontre que les faciès d'altération contrôlent la précipitation des métaux et les associations métallifères et non les sources des métaux et des fluides. Les signatures chimiques des divers faciès permettent d'estimer la fertilité potentielle des systèmes étudiés et de les distinguer d'autres familles de gîtes, même s'ils sont fortement métamorphisés. Les systèmes les plus fertiles sont ceux qui conjuguent une évolution des faciès d'albitites, de Ca-Fe et de K-Fe à haute température aux faciès d'altération K-Fe et Ca-Mg de basse température. La réactivation de systèmes précoces parfois métamorphisés se traduit par une remobilisation des métaux sous la forme de brèches ou de veines. Les liens entre les paragenèses et les compositions chimiques dans ces systèmes permettent de déjouer les défis à l'exploration que posent le métamorphisme et les remobilisations, ainsi que d'identifier et d'explorer les systèmes sur le terrain à l'aide de protocoles de cartographie et d'outils d'exploration lithogéochimiques adaptés. La portée de ces outils en terrains fortement sous explorés est ici testée sur un cas d'étude grenvillien. Le Complexe gneissique de Bondy dans la Ceinture métasédimentaire centrale montre de fortes affinités lithologiques et géochimiques avec les gîtes IOCG du groupe à hématite (p. ex. Olympic Dam et Mantoverde) et leur toit épithermal, ce qui appuie des modélisations pétrogénétiques où les réactions entre les oxydes de fer et les phyllosilicates donnent lieu à des assemblages métamorphiques riches en grenat, en pyroxène ou en biotite tels qu'observés dans le complexe. Les veines minéralisées en Cu (Ag) en représentent des remobilisations tardives. Les encaissants volcano-plutoniques (1,36-1,39 Ga), les roches métasomatiques et la gneissosité sont coupés par des roches alcalines (1,07 Ga). Un autre système au nord de la ceinture (propriété Mitchi) présente des caractéristiques similaires. On y observe une série d'indices minéralisés en Cu-Ag-Mo, en Cu-Mo-Au-Co-Ni-W et en ETR-U-Th-Mo associée à des skarns à phlogopite, à des brèches à magnétite, à des pegmatites à apatite, à des filons polymétalliques à chalcopryrite et à du métasomatisme alcalin. La nature holistique du modèle paragenétique utilisé et les exemples de relations spatio-temporelles entre les types de gîtes illustrent les avantages d'une cible d'exploration élargie pour les contextes québécois et canadiens prometteurs, incluant ceux affectés par un métamorphisme de forte intensité.

Le segment Taschereau-Amos-Senneterre et son potentiel métallogénique

Stéphane Faure, Réal Daigneault (UQAC)

La géologie du segment de roches volcaniques archéennes de Taschereau-Amos-Senneterre (STAS) dans le sud de la Sous-province de l'Abitibi a été réinterprétée en fonction des plus récentes données géologiques et géophysiques, dont une bonne proportion a été acquise après les campagnes de cartographie du gouvernement du Québec. Le nouveau modèle cartographique du segment étudié permet de mieux comprendre les différents contextes de minéralisation et de proposer des cibles d'exploration pour l'or, les sulfures massifs volcanogènes à Zn-Cu-Ag et le Ni-Cu-EGP magmatique. Le STAS est un vaste ensemble volcanique bordé par des failles majeures, mais représente le domaine le plus pauvre en Abitibi en termes de contenu en métaux par kilomètre carré. L'analyse de toutes les données de stratification et de polarité (SIGÉOM) et les données historiques provenant des différentes cartes géologiques ont permis de préciser la position des traces axiales des plis régionaux et de les poursuivre sur plusieurs kilomètres. Les principaux couloirs de déformation connus ont été précisés à l'aide de la géophysique, des descriptions d'affleurements ou de forages et des cartes géologiques. Des plutons d'âge inconnu ou des plutons interprétés auparavant comme syntectoniques ont été réinterprétés sur une base géochimique comme étant synvolcaniques. Un groupe de plutons dans le secteur de Senneterre montre un potentiel pour l'exploration de l'or et des sulfures massifs volcanogènes (SMV). Un nouveau pluton est interprété dans le Couloir de Bolduc, au sud-est de Senneterre. Sur le plan stratigraphique, les fortes ressemblances de faciès volcaniques et de compositions géochimiques entre les quatre groupes mafiques (Amos, La Marandière, Béarn et Figuery inférieur) soulèvent la possibilité que ces unités représentent un même épisode volcanique, et par conséquent un même niveau stratigraphique. Pour l'exploration des SMV, quatre zones d'altération hydrothermale typiquement volcanogènes de plus de 6 km² sont identifiées, dont trois au sein du Groupe du Lac Arthur. Il s'agit 1) de zones entourant les gisements de SMV de Barvue-Abcourt et d'Amos Mine, 2) et 3) de deux zones aux extrémités du STAS et 4) au NW du STAS, dans le Groupe du Lac Arthur, d'une zone localisée entre les plutons de Guyenne et de Berry. De même, quatre secteurs d'intérêt sont proposés pour l'exploration aurifère dans le STAS : 1) les structures NW-SE au cœur du segment associées à des contrastes rhéologiques dans les plutons; 2) le Couloir de Chicobi-Sud; 3) le Couloir de Landrienne; 4) le Couloir de Bolduc caractérisé par un ensemble de failles ductiles N-S injectées d'une multitude de dykes.

Optimisation des mailles de forages pour les besoins du calcul de ressources

Lucie Mathieu, Réal Daigneault (CERM-UQAC), Robert Namour (Glencore), Stéphanie Lavaure (Arianne Phosphate)

Les estimations de ressources sont l'un des principaux actifs des compagnies minières. Elles sont réalisées à partir de calculs complexes, qui peuvent présenter des erreurs, et ne font pas toujours l'objet d'une évaluation complète de l'incertitude ou du degré de confiance que l'on peut accorder au modèle. Cette étude a été menée dans le cadre d'un projet du CONSOREM qui a permis de faire une revue des méthodes de calcul des ressources les plus souvent utilisées et qui a mis l'accent sur l'importance d'évaluer l'incertitude pour permettre une prise de décision éclairée. La façon traditionnelle d'estimer un volume est de dessiner des surfaces dans l'espace à partir de données de forage à l'aide d'un logiciel 3D, ce qui produit des modèles très dépendants de l'interprétation que le géologue fait du gisement. Ce type de modèle est rassurant, car le géologue contrôle chaque étape de la confection du *wireframe*, mais il est aussi déterministe puisqu'une seule solution est considérée. Aussi, rien ne permet d'évaluer la qualité de cette solution; c.-à-d. qu'il est impossible d'estimer l'incertitude. D'autres méthodes existent, mais la plus complète, et celle qui permet au mieux d'évaluer la probabilité que la zone minéralisée ait un volume et une forme donnés, s'appelle « simulations conditionnelles ». Cette méthode a été testée dans le cadre de cette étude, sur des données de forages d'entreprises membres du CONSOREM : Arianne Phosphate et Glencore. Comme les simulations conditionnelles permettent une véritable évaluation de la qualité d'un modèle en 3D, elles peuvent être utilisées pour comparer des modèles produits à partir de divers jeux de données de forage, ce qui a permis de comparer les résultats obtenus à partir de différentes mailles de forage. Ces études de cas ne permettent pas de dégager un standard de maille pour un type de gisement spécifique, les mailles devant probablement être ajustées au cas par cas. Cependant, ce projet a permis de mettre de l'avant le grand potentiel des simulations conditionnelles et de fournir des clés pour faciliter leur utilisation.

Identification des minéraux indicateurs par micro-XRF

Laurène-Marie Wavrant, Émilie Bédard, Georges Beaudoin (UL)

La demande croissante de matières premières a encouragé les scientifiques à chercher les techniques les plus efficaces pour découvrir de nouvelles ressources minérales. L'utilisation des minéraux indicateurs est devenue, au cours des vingt dernières années, une méthode d'exploration importante. En effet, cette méthode a fait ses preuves notamment dans la découverte de gisements diamantifères et aurifères. L'utilisation des minéraux indicateurs étant de plus en plus fréquente en exploration, le développement d'une technique d'identification rapide et efficace de ces minéraux est donc devenu essentiel.

La micro-XRF a été utilisée afin de tester son efficacité pour déterminer la nature des minéraux présents dans un échantillon de composition minéralogique connue. À cette fin, deux échantillons issus de concentrés de grains de tills et de fragments de minéraux de collection ont été préparés. Le premier échantillon est composé de 50 grains fixes (nature et position connues), tandis que le second échantillon est composé de grains mobiles (nature connue, position variable). La taille des grains varie de 0,5 à 1 mm. Les échantillons sont composés en majorité de minéraux lourds (tourmaline, hornblende, scheelite, grenat, etc.) et de quelques minéraux plus légers (feldspaths, quartz, etc.). Les cartes élémentaires ainsi que les spectres des compositions des grains de l'échantillon fixe ont été obtenus avant d'appliquer la méthode sur l'échantillon mobile. Dans le but de vérifier la méthode, l'échantillon mobile a été analysé dix fois à la micro-XRF. Les résultats permettent de reconnaître la présence d'une majorité de minéraux dans les échantillons, à l'exception de la tourmaline et de la hornblende qui ne peuvent être différenciées par la méthode de micro-XRF.

La chalcopryrite comme minéral indicateur pour discriminer les types de gisements : une étude préliminaire

Émilie Bédard, Audrey Goulet, Anne-Aurélié Sappin, Georges Beaudoin, Sheida Makvandi (UL)

La chalcopryrite a le potentiel d'être un minéral indicateur utile pour l'exploration. Il s'agit d'un minéral commun dans divers types de minéralisation, qui résiste bien à l'altération mécanique et chimique. Néanmoins, la chalcopryrite est peu étudiée par rapport à la magnétite et à d'autres minéraux indicateurs, car l'abondance de la plupart des éléments en traces est faible. La composition de la chalcopryrite de seize gisements, provenant d'un large éventail de gîtes (Ni-Cu, EGP, SMV, porphyre, skarn, IOCG, veine de Cu de type Opémiska, Kupferschiefer et or de type orogénique), a été analysée par microsonde électronique et LA-ICP-MS afin de décrire les signatures géochimiques caractéristiques de chaque type de gîtes.

Les échantillons des seize gisements comprennent une quantité variable de grains de chalcopryrite (~ 4 à 90 %). Ces grains varient en taille (grain fin à grossier), sont xénomorphes et contiennent généralement des inclusions d'oxydes, de sulfures et/ou de silicates. Les données obtenues de l'analyse à la microsonde sont essentiellement inférieures ou proches des limites de détection. Parmi les seize éléments mineurs et en traces analysés, les concentrations en Se, en Zn, en Ba, en Ag, en Ni et en Sn sont significativement supérieures aux limites de détection. En revanche, les données de 18 (Ag, As, Au, Bi, Cu, In, Mn, Ni, Pb, Pd, Ru, S, Sb, Se, Sn, Te, V et Zn) des 25 éléments (y compris les éléments majeurs Cu et S) mesurés par LA-ICP-MS ont moins de 40 % de valeurs censurées. Dans l'ensemble, la chalcopryrite des dépôts de types SMV et porphyre possède des concentrations élevées en Ag (~ 100 ppm), tandis que la chalcopryrite des gîtes d'or orogéniques est généralement appauvrie en Ag (ainsi qu'en Se). Des teneurs élevées en Zn (~ 100 ppm) sont observées dans les gîtes de types SMV, Ni-Cu et EGP, alors que les valeurs du Zn dans les gîtes de types skarn et Kupferschiefer sont faibles (<10 ppm). Les teneurs en Pd et en Ni dans les dépôts de Ni-Cu et d'EGP sont généralement supérieures au contenu en Pd-Ni des autres types de gîtes. En particulier, les concentrations de Pd dans les skarns sont très faibles. La chalcopryrite des gîtes de types SMV, skarn et veine de type Opémiska est également enrichie en In (> 10 ppm). Ces résultats préliminaires indiquent que la composition en Ag, en Ni, en Pd, en Se et en Zn de la chalcopryrite est discriminante pour différents types de minéralisation et semblent indiquer que la chalcopryrite pourrait être un minéral indicateur fiable pour l'exploration de différents types de gîtes.

Propriétés physicochimiques des oxydes de fer détritiques comme indicateurs de provenance : étude de cas du district uranifère de Kiggavik (Nunavut, Canada)

Sheida Makvandi, Georges Beaudoin (UL), David Quirt, Patrick Ledru (Areva Resources Canada), Beth McClenaghan (CGC-O)

Cinq cent soixante-quinze grains d'oxydes de fer (magnétite et hématite) des fractions ferromagnétiques de 0,25-0,5 mm et de 0,5-2,0 mm provenant de dix échantillons de till prélevés par la Commission géologique du Canada en amont glaciaire, au-dessus et en aval glaciaire des gîtes uranifères de Kiggavik, au Nunavut (Canada), ont été examinés dans le cadre de cette étude. Les objectifs sont de déterminer leur texture de surface, leur forme, la distribution granulométrique, l'angularité, les associations minérales et la composition chimique des minéraux par microscope à balayage électronique (SEM), par analyse de libération minérale (MLA) et par analyse à la microsonde électronique (EPMA). Le SEM révèle que la surface de 30 % des grains d'oxydes de fer dans les tills de Kiggavik présente différentes textures mécaniques comme des rainures incurvées, des broutures concaves, des dépressions et des cassures conchoïdales, indiquant un transport par d'épais glaciers continentaux (> 800 m). La surface des autres grains détritiques, incluant ceux qui présentent ces textures mécaniques, est partiellement à entièrement recouverte d'une mince couche d'oxyde de fer précipité. Cet enrobage suggère que la précipitation des oxydes de fer a eu lieu après le transport glaciaire et est probablement le produit de l'oxydation et de la météorisation chimique concomitante. L'analyse micromorphologique indique que 65 % des grains ont des bordures subarrondies à arrondies, tandis que 30 % des grains sont angulaires à subangulaires; la fraction résiduelle étant soit très angulaire, soit très arrondie. Les bordures arrondies sont reconnues comme étant le résultat de l'abrasion des grains provoquée par un transport fluvial. Toutefois, dans les tills de Kiggavik, elles ressemblent à la forme arrondie des oxydes de fer détritiques présents dans les roches épicalstiques de la Suite de Snow Island et dans l'arénite quartzifère de la Formation de Thelon. L'analyse statistique (analyse des composantes principales; ACP) montre que la composition des minéraux associés et/ou imbriqués avec les oxydes de fer est non seulement distincte dans les différents échantillons de till, mais aussi dans les différentes fractions granulométriques d'un même échantillon. En effet, de plus fortes proportions de hornblende, de quartz, de gahnite, de grunérite, d'apatite, de chromite et de sulfures sont imbriquées avec les oxydes de fer dans la fraction de till de 0,5-2,0 mm, comparativement à la fraction de 0,25-0,5 mm où les oxydes de fer sont plutôt imbriqués avec le pyroxène, la titanite, le rutile, l'olivine et le zircon. Cette observation concorde avec les données géochimiques pour les grains d'oxydes de fer, puisque l'ACP des données EPMA indique que les patrons géochimiques qui caractérisent les oxydes de fer dans la fraction de till de 0,5-2,0 mm présentent des différences notables comparativement à ceux de la fraction 0,25-0,5 mm. L'ACP indique une contribution fortement positive de V, de Ni, de Cr et de Mn et une contribution fortement négative de Ti, d'Al et de Si pour les oxydes de fer dans la fraction de till de 0,5-2,0 mm, comparativement à la fraction plus fine. Dans l'ensemble, ces résultats soulignent l'importance de sélectionner des fractions granulométriques représentatives et appropriées dans le till ou d'autres sédiments, lorsque les oxydes de fer sont utilisés comme minéraux indicateurs en exploration minière. En particulier, la fine granulométrie ($\leq 0,2$ mm) de l'hématite enrichie en uranium (450 ppm en moyenne) des échantillons épicalstiques de la Suite de Snow Island suggère qu'il serait judicieux d'analyser la fraction < 0,25 mm des tills de Kiggavik pour l'exploration uranifère.

Reconnaissance optique de sulfures et d'oxydes en grains à l'aide d'une caméra multispectrale

Ludivine Mathieu, L. Paul Bédard, Alexandre Néron (UQAC), Réjean Girard (IOS)

L'étude des tills, un outil clé pour l'exploration minérale, requiert l'observation d'une importante quantité de grains afin d'identifier et de dénombrer les minéraux indicateurs. Réalisées dans des laboratoires spécialisés, les méthodes actuelles de reconnaissance des minéraux en grains sont sujettes à l'erreur humaine et sont fastidieuses à réaliser. L'utilisation de la spectrométrie multispectrale comme méthode de reconnaissance des minéraux en grains apporte une piste de solution en permettant le traitement d'une grande quantité de matériau et en améliorant la qualité de l'information.

La spectrométrie multispectrale est une imagerie de précision qui mesure des bandes spectrales contiguës du domaine optique (0,3-2,5 μm), pour ensuite analyser leur signature spectrale. Celle-ci permet de caractériser et de quantifier des composants présentant des spectres similaires, mais différenciables. La reconnaissance automatisée par spectrométrie multispectrale a été développée par Alexandre Néron en collaboration avec IOS Services Géoscientifiques. À l'aide d'une caméra multispectrale, il nous est aujourd'hui possible d'identifier en simultanément les grains d'or présents dans un concentré contenant plusieurs milliers de grains, avec un taux de fiabilité supérieur à 90 %.

L'objectif principal de cette étude, réalisée dans le cadre d'une maîtrise, est d'étendre cette méthode à l'identification des sulfures et des oxydes en grains. Des études réalisées dans les années 90 montrent que ces minéraux possèdent des spectres optiques différents. Elles indiquent aussi qu'un lien évident peut être établi entre le spectre optique d'un minéral et sa cristallographie. L'imagerie multispectrale est déjà utilisée pour la caractérisation de carottes de forage, et donc de sections polies. La complexité de cette étude réside dans le fait que les échantillons choisis sont des grains et qu'ils présentent une surface irrégulière qui influence directement leur signature spectrale.

L'acquisition des images est réalisée à partir d'une caméra multispectrale et d'un microscope stéréoscopique. Les résultats préliminaires indiquent que les spectres de certains minéraux considérés se différencient aisément, alors que d'autres présentent des spectres similaires. Les spectres mesurés sur les minéraux qui se distinguent serviront à établir des critères discriminants.

Mesure *in situ* de l'or dans des échantillons miniers par spectroscopie induite par laser (LIBS)

Maryline Castello, Marc Constantin, Marcel Laflamme, (UL), Kheireddine Rifai (UL/CNRC), Blandine Nguengang Kamwa (UL), Mohamad Sabsabi (CNRC), François Vidal (INRS-EMT), Kostantinos Fytas (UL), Alain Blouin (CNRC)

Le Québec compte dix-sept mines produisant pour environ 1,5 milliard de dollars d'or annuellement. Bien que l'industrie minière entraîne plus de 4500 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.

De nombreux échantillons de roches sont prélevés quotidiennement dans les mines d'or et envoyés aux laboratoires pour déterminer leur concentration en or par pyroanalyse. Un délai, généralement de 24 à 48 heures, oblige les exploitants miniers soit à prendre des décisions opérationnelles avant de connaître les résultats d'analyse, soit à 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 pourrait être obtenue par une technologie émergente, la spectroscopie laser au plasma (LIBS : Laser Induced Breakdown Spectroscopy).

Les données proviennent de six mines d'or situées dans la région de l'Abitibi appartenant aux quatre sociétés minières participantes. : Agnico Eagle (mines Lapa, Laronde et Goldex), Yamana Gold et Agnico Eagle (mine Canadian Malartic), Hecla Québec (mine Casa Berardi) et Iamgold (mine Westwood).

La technique LIBS est une méthode prometteuse, qui nécessite un étalonnage et une validation afin d'obtenir des mesures *in situ* fiables et précises de l'or. Pour répondre à ces objectifs, des analyses quantitatives pour les éléments majeurs, obtenues par XRF (analyse par fluorescence X), et les études pétrographiques ont permis d'améliorer et de mieux comprendre le signal LIBS. À cet effet, une base de données caractérisant les dépôts a été mise en place, à laquelle est ajoutée la courbe d'étalonnage LIBS appropriée. Enfin, les analyses avec la technique LIBS sont validées par des laboratoires externes au projet qui mesurent la concentration d'or par pyroanalyse combinée à une analyse par activation neutronique, par absorption atomique et/ou gravimétrique.

Optimisation de la stratégie d'échantillonnage *in situ* dans les minerais d'or par spectroscopie induite par laser

Blandine Nguengang Kamwa, Marcel Laflamme, Marc Constantin (UL), Kheireddine Rifai (CNRC/UL), Maryline Castello (UL), Mohammed Sabsabi (CNRC), François Vidal (INRS-EMT), Fytas Konstantynos (UL), Paul Bouchard, Alain Blouin (CNRC)

Au Québec, on retrouve de nombreuses mines métallifères, parmi lesquelles dix-sept sont des mines d'or produisant plus de 1,5 M\$ CA d'or annuellement. Dans ces mines aurifères, des centaines d'échantillons de roche sont collectés chaque jour et envoyés au laboratoire afin de déterminer leur concentration en or. Étant donné que les résultats du laboratoire ne sont disponibles qu'après 24 à 48 h, il s'en suit un impact direct négatif sur les activités minières.

Depuis plusieurs décennies, les entreprises minières sont à la recherche d'une solution qui permettrait de réaliser les analyses en or en temps réel et *in situ*. Les avancées technologiques des dernières années laissent croire que la spectroscopie sur plasma induite par laser (LIBS) pourrait constituer une technologie prometteuse pour mesurer en temps réel et *in situ* la teneur en or des échantillons. Considérant la taille de chaque point produit par le laser sur un échantillon de roche, à savoir 600 µm, de très nombreux tirs seront requis afin d'obtenir un résultat représentatif de l'échantillon analysé. À titre d'exemple, pour un échantillon de carotte de 50 cm de long dont 70 à 80 % de la surface est analysée, 10 000 tirs lasers seront nécessaires pour obtenir un résultat représentatif de l'échantillon, avec un temps d'acquisition d'une demi-journée en laboratoire.

Bien qu'un appareil portable puisse être plus rapide, le temps de prise des mesures demeure un élément important à considérer. Pour cette raison, l'objectif de ce projet est de minimiser le nombre de tirs LIBS requis pour analyser un échantillon, tout en demeurant représentatif de ce dernier, et ainsi obtenir une mesure fiable et précise de la teneur en or.

Pour atteindre cet objectif, une analyse statistique descriptive est appliquée sur les données LIBS obtenues sur la surface des échantillons analysés. Cette analyse statistique descriptive est combinée à plusieurs modèles de motifs, ce qui permet de sélectionner les tirs suivant l'un ou l'autre de ces motifs. Ainsi, après avoir sélectionné les tirs associés à un motif, le pas entre les tirs est varié de 2 à 10. L'analyse commence par l'évaluation de la moyenne et de la variabilité de la teneur en or sur les données brutes. Les meilleurs motifs sont ceux qui permettent d'obtenir une teneur en or comprise dans l'intervalle de confiance, et ce, avec un nombre de tirs minimal.

La présentation démontrera la capacité de réduire d'environ 90 % le nombre de tirs LIBS à réaliser sur les échantillons pour obtenir une teneur en or représentative. Elle présentera également le nombre de tirs minimal nécessaire pour différents types de minéralisation, de matériau et de gisement.

Géologie et géochimie des filons-couches mafiques-ultramafiques des permis au nord du district de Ni-Cu-(EGP) de Raglan, Ceinture de Cape Smith, Nunavik, Québec

Dylan J. McKevitt, C. Michael Lesher (LaurentianU),
Michel G. Houlié (GSC-Q)

La minéralisation en Ni-Cu-(EGP) de calibre mondial au sein de la Formation de Raglan, dans la Ceinture de Cape Smith (CCS, 1,9-1,8 Ga), au Nunavik, est encaissée dans un ensemble de complexes de péridotite-pyroxénite, le long du contact entre les unités sus-jacentes formées de basaltes komatiitiques et de coulées différenciées de pyroxénite-péridotite (Groupe de Chukotat) et de métapélites (Groupe de Povungnituk), dans lesquelles des filons-couches massifs à différenciés de gabbro-pyroxénite-péridotite se sont mis en place. Toutes ces roches ont été métamorphosées, à l'échelle régionale, au faciès inférieur des schistes verts, mais les textures ignées (par ex. : les microspinifex dans les basaltes, les cumulats dans les péridotites) et les structures (par ex. : les brèches de coulée sommitales et les joints en colonne et polygonaux dans les péridotites et les pyroxénites, les coussins dans les basaltes) sont bien préservées. Le contact Chukotat-Povungnituk apparaît deux fois du fait des chevauchements à vergence nord dans la partie centre-est de la CCS, mais il n'est pas clair si les corps de gabbro-péridotite et de péridotite à proximité du contact dans le domaine nord (les permis au nord) font partie de la Formation de Raglan (très favorables aux minéralisations de Ni-Cu-(EGP)) ou s'ils représentent des filons-couches mis en place dans la partie supérieure du Groupe de Povungnituk (nettement moins favorables). Ce projet a pour objectif d'établir le lien entre les complexes de péridotite-pyroxénite connus le long du contact dans le domaine inférieur (c'est-à-dire la Formation de Raglan) et les unités moins connues le long du contact dans le domaine supérieur (c'est-à-dire les unités dans les permis au nord). Il sera aussi déterminé si les unités des permis au nord sont des chenaux de lave envahissants et des coulées en feuilletés chenalisées (comme la Formation de Raglan) ou s'il s'agit de filons-couches chenalisés et de filons-couches en feuilletés (comme ceux du Groupe de Povungnituk). Des travaux de terrain ont été effectués l'été dernier sur une période de cinq semaines, le long des 23 km couverts latéralement par les permis au nord, soit du nord du lac East jusqu'au nord de la zone 13-14. En tout, 167 échantillons de leucogabbro à gabbro mafique, de pyroxénite, de pyroxénite à olivine et de péridotite ont été prélevés, y compris le long de trois transects distants de 200 à 450 mètres au travers des corps mafiques-ultramafiques de NC20C Gorge, de Deception Ridges et de Tiriganiaq. Ces derniers ont été prélevés pour réaliser une caractérisation des textures et de la géochimie et pour comparer nos résultats avec ceux des études antérieures ainsi qu'avec une base de données géochimiques récemment compilée pour l'ensemble de la CCS. Trois grands types d'unité ont été reconnus dans les permis au nord : à prédominance mafique, à prédominance ultramafique et mafique-ultramafique différenciée. Les trois présentent localement des joints en colonne et polygonaux, indiquant un contexte intrusif à faible profondeur ou extrusif. Les variations observées dans les textures à cumulats d'olivine, les textures poëcilitiques et les contacts inférieurs localement transgressifs sont similaires à ceux observés dans la Formation de Raglan. Les analyses pétrographiques et géochimiques à venir permettront de mieux cerner leur origine (extrusive ou intrusive), leur stratigraphie (Formation de Raglan ou filons-couches de Povungnituk) et leur potentiel pour les minéralisations en Ni-Cu-(EGP).

Évaluation de la distribution des minéraux d'altération et des variations spatiales dans la composition chimique des minéraux dans les roches de l'éponte inférieure de la partie nord du couloir aurifère de Bug Lake : implications comme vecteurs d'exploration

Marie Létourneau, Daniel J. Kontak, Joe Petrus
(Laurentian U), Darin Wagner (Balmoral Resources)

Le système aurifère La Martinière (SALM) de Balmoral Resources est formé d'un ensemble de zones aurifères récemment découvertes (2011), situées à 50 km à l'est de la mine de calibre mondial Detour Lake (16,4 Moz Au; 440,8 Mt à 0,97 g/t d'or). Le SALM se trouve près de la limite nord de la prolifique Sous-province archéenne de l'Abitibi, qui s'étend de façon continue de l'Ontario jusqu'au Québec. La Zone de faille de Bug Lake (ZFBL), un couloir structural réactivé orienté NNW et incliné vers l'est à 50-80°, est l'un des deux principaux couloirs minéralisés qui englobent le SALM. Encaissé au sein de la ZFBL et subparallèle à cette dernière, le porphyre de Bug Lake (PBL; datation U-Pb *in situ* sur zircon de 2737 ± 11 Ma, donnée préliminaire) sépare une intrusion gabbroïque multiphasée à l'ouest (éponte inférieure) d'un assemblage volcano-sédimentaire d'environ 2730 Ma (le domaine de Manthet; âge réinterprété en fonction de datations U-Pb obtenues latéralement au gisement de Detour Lake) contenant des dykes mafiques à felsiques à l'est (éponte supérieure). La minéralisation le long de la ZFBL est contrôlée par la structure et associée à des veines de quartz (± carbonate) qui présentent localement des textures colloforme et crustiforme, avec une altération associée des épontes (chlorite-carbonate-quartz-séricite-leucoxène). Les teneurs notables en or sont concentrées le long des bordures du PBL. Des enveloppes minéralisées qui s'étendent jusque dans les roches encaissantes sont définies : 1) *Upper Bug Zone* (UBZ) dans l'éponte supérieure et 2) *Lower Bug Zone* (LBZ) dans l'éponte inférieure. D'autres zones minéralisées secondaires, subparallèles, plus distales et de moindre envergure, les zones HW et FW, peuvent aussi présenter de hautes teneurs en or (> 5 g/t Au).

La ZFBL est structurellement divisée en deux segments, *Bug North* (BN) et *Bug South* (BS), par un décalage dextre le long de la Zone de faille Mid-Swamp. Des faciès d'altération hydrothermale distincts sont observés dans les roches de l'éponte inférieure du segment BN, où un gabbro distal à magnétite-quartz peu altéré contenant du leucoxène blanc (titanite, oxydes de Fe-Ti) passe graduellement à un gabbro à quartz avec du leucoxène rose (titanite, TiO₂) en s'approchant de la ZFBL. L'analyse géochimique de la chlorite à travers la zone d'altération reflète une augmentation graduelle du Mg en s'approchant de la zone minéralisée, avec des tendances similaires observées dans les carbonates, où la dolomite se superpose à la calcite précoce. En combinant ces nouvelles connaissances avec les résultats préliminaires de datations U-Pb *in situ* de titanites hydrothermales dans le gabbro de l'éponte inférieure (1143 ± 78 Ma), il semble apparent que la zone minéralisée à Bug Lake, quoique d'origine orogénique, ait été réactivée au fil du temps.

G75

Intégration et visualisation en 3D des données à la mine Cooke : potentiel pour l'exploration locale et régionale

Valentine Le Grand De Mercey, Marie Kieffer, Audrey Roudon, Damien Gaboury, Réal Daigneault (UQAC)

La mine Cooke, l'une des quatre exploitations minières du camp minier de Chapais, a produit 2 131 649 tonnes courtes (t.c.) à 0,66 % Cu et 0,151 oz/t Au (28 137 766 livres de cuivre et 271 456 onces d'or), de janvier 1976 à novembre 1989, ainsi que des quantités moindres de zinc, d'argent, de cobalt et de tungstène. Toutefois, le potentiel minéral résiduel autour de la mine demeure sous-évalué depuis sa fermeture.

La représentation des teneurs en Au, en Cu, en Ag et/ ou en Zn du bloc modèle a permis de mettre en évidence quatre zones minéralisées montrant des cibles potentielles d'exploration dans le secteur de la mine : les veines Cu-Au « 60 » à l'ouest, la zone Cu-Au Chibougamau Copper-Ventures (CCV) au nord, la zone Zinc au sud et l'extension en profondeur des veines n° 7 et n° 9 de la mine en allant vers l'est.

La réalisation du modèle en 3D a montré que les deux veines principales (n° 7 et n° 9) exploitées à Cooke suivent l'orientation E-W du Filon-couche de Bourbeau, mais sont légèrement sécantes par rapport à ses bordures. Ainsi, la veine n° 9 est majoritairement contenue dans le leucogabbro, puis dans le gabbro à quartz plus en profondeur avec un pendage subvertical. La veine n° 7 est contenue dans le leucogabbro, mais tend à se rapprocher de la pyroxénite, à la base du filon-couche. Les deux veines ont un pendage similaire dans les niveaux supérieurs et tendent à s'éloigner l'une de l'autre en profondeur, ce qui peut suggérer le début d'un pli.

Au niveau régional, la visualisation en 3D suggère que la zone CCV, située au nord de la mine Cooke, dans le Gabbro de Ventures du Complexe de Cummings, pourrait représenter le prolongement en profondeur qui existait sous l'ancienne mine Springer (12 751 713 t.c. à 2,56 % Cu et 0,031 oz/t Au; 651 324 058 livres de cuivre et 497 962 onces d'or, décembre 1953 à juin 1991), laquelle aurait été remontée et déplacée le long de la faille Gwillim vers le nord-est. Les minéralisations de la mine Springer sont contenues en majorité dans des veines de magnétite-cuivre (or) plus ou moins radiales dans un nez de pli du Gabbro de Ventures.

Enfin, la présence d'un niveau riche en zinc au sud et à l'ouest de la mine indique la présence d'un système volcanogène dans le secteur, confirmant le potentiel de SMV de la région.

G76

Intégration et visualisation en 3D des données essentielles pour le potentiel minéral : application à l'ancienne mine Cooke, Chapais

Valentine Le Grand De Mercey, Marie Kieffer, Audrey Roudon, Damien Gaboury, Réal Daigneault (UQAC)

Le camp minier de Chapais, autrefois connu en tant que camp cuprifère, est le dernier camp historique de la Sous-province de l'Abitibi n'ayant pas été réévalué pour son potentiel aurifère. La municipalité de Chapais et les acteurs de la région souhaitent corriger cette situation et connaître le potentiel des anciennes mines fermées depuis 1991. C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet MITACS de modélisation en 3D de la mine Cooke. Le travail effectué durant quatre mois a permis d'établir une méthodologie de sélection, de compilation et de validation des données, ainsi que leur intégration dans le modèle en 3D de la mine Cooke. Un des défis du projet a été de construire un modèle fiable ne nécessitant pas l'intégration de l'ensemble des données disponibles pour le secteur. La méthode présentée détaille les critères de choix des données qui ont été compilées ainsi que le traitement et l'homogénéisation des bases de données. Les données utilisées proviennent des fiches de forages du SIGÉOM et des compagnies, ainsi que des plans de niveaux de la mine Cooke. Elles n'ont pas reçu un traitement homogène. Par exemple, selon le niveau de criticité, les données factuelles (coordonnées, plongée, teneurs, etc.) ont été traitées différemment des données subjectives issues d'une interprétation (nom des lithologies, des failles, etc.). Le traitement a été divisé en plusieurs étapes : compilation des forages de surface, des forages souterrains, des intervalles de lithologies, des intervalles de failles majeures, puis des teneurs de zones minéralisées. Finalement, les données ont été intégrées pour construire le modèle géologique. Le modèle obtenu a été successivement raffiné. Il permet une meilleure visualisation du changement d'attitude des filons-couches de Bourbeau et de Ventures en profondeur. Le bloc modèle est recoupé par les principales failles de la zone. Les déplacements le long des failles apportent une nouvelle information et amènent de nouvelles interprétations du secteur d'étude. Cependant, le bloc en 3D reste de dimension modeste (9 km² en surface), tandis que les objets modélisés ont une ampleur régionale : les interprétations effectuées à l'échelle du bloc sont donc difficilement extrapolables. La limite principale du traitement est la densité irrégulière de l'information des forages. Malgré tout, le projet est un succès puisqu'il a permis de développer une méthodologie pour imager en 3D un secteur sans une compilation totale de l'ensemble des données.

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

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

Le projet B26, détenu à 100 % par SOQUEM, se situe à 5 km au sud de l'ancienne mine Selbaie. Il se trouve dans la Zone volcanique nord de la Ceinture de roches vertes archéennes de l'Abitibi, plus spécifiquement au sein de l'arc volcanique Brouillan-Matagami, dans la partie sud-ouest du Complexe volcanique de Brouillan. Le gîte B26 est encaissé dans un empilement de roches volcaniques felsiques à intermédiaires transitionnelles du Groupe de Brouillan, à proximité du contact avec les unités mafiques tholéitiques du Groupe d'Enjalran présent au sud. Les zones minéralisées et les roches hôtes, à sommet vers le sud, ont subi un important raccourcissement N-S associé à une forte schistosité E-W à fort pendage vers le sud. Les zones minéralisées ont également subi un étirement, comme indiqué par leur plongée à 55 à 60° vers l'ouest.

Le gîte B26 se démarque par un enrichissement relativement important en Au et en Ag dans certains secteurs spécifiques. La nature et les contrôles de la distribution des métaux précieux demeurent mal compris. Les objectifs du projet sont de : 1) définir les styles de minéralisation ainsi que les associations métalliques; 2) déterminer l'importance relative des principaux facteurs primaires et/ou secondaires exerçant un contrôle sur la distribution et la géométrie des zones de métaux précieux.

Le gîte B26, associé à un large halo d'altération à muscovite-chlorite, montre une zonalité bien développée du nord (base) vers le sud (sommet). Des veines de chalcopryrite ± pyrite semi-massives à massives forment une zone à Cu-Au à la base du système, alors qu'une lentille de sulfures massifs à Zn-Pb riche en Ag se trouve quelques dizaines de mètres plus haut dans la stratigraphie. Une rhyolite aphanitique présente au-dessus du niveau de sulfures massifs est par endroits remplacée partiellement par de la sphalérite et de la pyrite. Cette rhyolite de l'éponte supérieure est aussi coupée par des veines tardives à fort angle par rapport aux plans de la schistosité principale E-W, dans lesquels sont remobilisés des sulfures de Zn-Pb-Ag et où l'argent natif est commun.

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

Minéralisation aurifère associée à des essais de dykes felsiques : paramètres fondamentaux de la formation de gisements importants? Le cas de Dragon Gold 167, Chibougamau.

Jacynthe Bleau, Adrien Boucher, Gaétan Clément, Damien Gaboury (UQAC)

Le but de ce projet de maîtrise, financé par MITACS et MR Boréal, est d'établir des critères pour mieux cibler les contextes favorables à la formation de gisements aurifères à basse teneur – large volume de classe mondiale. Objectivement, ce projet vise à définir les paramètres clés qui contrôlent la distribution des valeurs aurifères en lien avec les caractéristiques géométriques, de composition et structurales des essais de dykes de porphyre quartzo-feldspathique (PQF). La propriété Dragon Gold 167 renferme des essais de PQF de densité, de longueur et d'épaisseur variables, qui sont fracturés et minéralisés en or, ce qui en fait un terrain idéal pour cette étude. Les travaux de terrain de l'été 2017 comprenaient de la cartographie et de l'échantillonnage. Trois décapages exposent des essais de PQF parallèles et verticaux, orientés E-W, au sein d'une zone de déformation E-W connue comme le Corridor de France. Ces dykes varient en épaisseur de 1 à > 10 m et sont suivis sur plus de 1 km. La variation de la taille des phénocristaux et de leur proportion dans les dykes individuels nécessitent des injections multiples ($n > 5$). Ces dykes sont encaissés dans des basaltes coussinés à massifs fortement déformés. La déformation hétérogène, manifestée par une schistosité E-W verticale et pénétrante avec une linéation d'étirement subverticale, est principalement développée aux contacts des PQF. Des dykes mafiques coupent les PQF et ont également enregistré la déformation. La minéralisation prend la forme de veines et de veinules subverticales de quartz et de pyrite orientées N-S (350° à 020°), lesquelles se sont développées principalement au sein des PQF compétents. Ces veines sont incompatibles avec l'empreinte de la déformation ductile et nécessitent un mouvement décrochant dextre faible pour expliquer leur formation à la fin de l'épisode de déformation. La distribution des veines est hétérogène dans les dykes et leur abondance semble être favorisée par la proximité de corridors de déformation intense. L'altération hydrothermale correspond à une forte altération en carbonates de fer en bordure des veines, mais aussi dans l'entièreté des PQF. La séricite est proximale aux veines contenant de la pyrite disséminée. L'analyse des inclusions fluides par spectrométrie de masse à sonde solide (LAMEQ) a révélé que les fluides sont essentiellement carboniques avec N_2 et C_2H_6 . Ce type de fluides non aqueux est typiquement trouvé dans les gisements aurifères de classe mondiale et explique l'intensité de la carbonatation.

Les minéralisations périgranitiques du Pluton de East-Sullivan, district de Val-d'Or, Abitibi

Florent Bigot (UQAM), Philippe Berthelot (Alexandria Minerals) et Michel Jébrak (UQAM)

Le district aurifère de Val-d'Or (Lamaque, Sigma, Goldex) présente les archétypes des minéralisations en or dites « orogéniques » reliées à la circulation de fluides métamorphiques fini-orogéniques. Cependant, il existe des minéralisations en or très différentes sur la bordure sud du Pluton de East-Sullivan situées au cœur de la propriété d'Alexandria Minerals, immédiatement au nord de la Faille de Cadillac et au sud-est de la ville de Val-d'Or.

Le secteur, largement exploré depuis les années 30, est l'hôte d'indices de Cu-Mo (Ducros zone 1) et de Cu-Au-Ag (Ducros zone 2) sur la bordure sud du pluton; il s'agit de minéralisations de chalcopryrite, de molybdénite et de pyrite encaissées dans des faciès monzonitiques épidotisés et hématitisés. Découvertes plus au sud pendant les années 60, les zones Orenada 2 et 4, des minéralisations orogéniques, font actuellement l'objet de travaux d'exploration d'Alexandria Minerals.

Dans ce secteur, les roches volcaniques mafiques intercalées de filons-couches et de dykes gabbroïques de la Formation de Héva sont plissées et métamorphisées au faciès des schistes verts. Le Pluton de East-Sullivan y constitue un vaste intrusif d'affinité calco-alcaline à alcaline. Il comprend des monzonites et des trachytes qui présentent des affinités avec la famille des plutons sanukitoïdes syntimiskaming. Au sud du contact de l'intrusion, les volcanites présentent un métamorphisme de contact avec la formation de cornéennes sur les 200 premiers mètres, en plus de nombreuses brèches hydrauliques minéralisées. Ces brèches, cimentées par un assemblage d'épidote, de carbonates, de magnétite, de pyrite et de chalcopryrite, sont parfois enrichies en or. Elles ont été observées aux indices Orenada (zone 5), Hogg et Jolin, ainsi qu'à la propriété Vaumont, près de Louvicourt, à 30 km à l'est de l'intrusion. Les zones de bréchification les plus intenses forment des couloirs subparallèles au contact de l'intrusion, avec un pendage vers le nord à 60°, et coupent par endroit les cornéennes. Ce style de minéralisation présente des similitudes avec celui de la mine Akasaba, située à 10 km plus à l'est, lequel est interprété comme un skarn.

Le secteur du Pluton de East-Sullivan constitue un cas exceptionnel de coexistence de minéralisations périplutoniques, volcanogéniques et orogéniques à or et à cuivre dans la Ceinture de l'Abitibi.

Contrôles sur la distribution de l'or à l'intérieur du gisement Horne 5, Rouyn-Noranda, Québec

Alexandre Krushnisky (INRS-ETE), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Pierre-Simon Ross (INRS-ETE), Vicki McNicoll (CGC-O), Jean Goutier (MERN), Lyndsay Moore (McGill), Claude Pilote et Claude Bernier (Ressources Falco)

Le gisement Horne est un gisement archéen de type sulfures massifs volcanogènes (SMV) riches en or de classe mondiale, situé à l'intérieur du Groupe de Blake River, dans la Ceinture de roches vertes de l'Abitibi. La production historique, provenant principalement des zones Upper H et Lower H, est évaluée à 53,7 Mt à 6,06 g/t (325,4 t Au ou 10,5 Moz). De nouvelles ressources pour le gisement Horne 5, verticalement sous les zones Upper H et Lower H, s'élèvent à 113,4 Mt de minerai à 1,54 g/t Au (174,9 t Au ou 5,63 Moz).

Le gisement Horne 5 est encaissé dans des unités volcanoclastiques basculées à l'intérieur du bloc structural de Horne entre les failles de Horne Creek, au nord, et d'Andésite, au sud. Les roches volcanoclastiques felsiques sont des tufs à lapillis, des brèches et des tufs finement lités recoupés par une série de dykes mafiques généralement stériles. L'or est spatialement associé à un assemblage de pyrite, de sphalérite, de chalcopryrite et de magnétite. La minéralisation forme une série de lentilles de sulfures massifs à semi-massifs d'épaisseurs variables (0,5 à 10 m, quelques lentilles \geq 10 m). Ces lentilles sont intercalées dans de larges bandes de roches volcanoclastiques felsiques altérées en séricite contenant des sulfures disséminés et en filonnets ainsi que des fragments de sulfures massifs à divers niveaux stratigraphiques.

Les résultats préliminaires indiquent que la distribution de l'or à l'intérieur du gisement Horne 5 est contrôlée en partie par la nature des lithologies encaissantes. La minéralisation s'est principalement mise en place lors de l'infiltration des fluides hydrothermaux dans les unités volcanoclastiques non consolidées et, localement, lors du remplacement des fragments felsiques sous le fond marin. Les zones riches en or, généralement associées aux sulfures massifs, semi-massifs et en filonnets, se retrouvent dans les niveaux de roches volcanoclastiques plus grossières et donc plus perméables (tufs à blocs et à lapillis, brèches). La présence de tufs finement lités et d'unités felsiques cohérentes au-dessus de ces zones a aussi influencé la distribution de la minéralisation en agissant comme barrières aux fluides hydrothermaux ascendants. Le degré de remobilisation de l'or due à la déformation et au métamorphisme, bien qu'agissant sur une échelle assez localisée, reste à être établi plus en détail.

Les travaux en cours, qui incluent des analyses par LA-ICP-MS des sulfures et la modélisation 3D de la distribution des métaux, en plus de la géochronologie, permettront de préciser la nature des zones aurifères et le lien entre la minéralisation en or, les sulfures, les roches encaissantes et la déformation. Ce projet contribuera ainsi à une meilleure compréhension des systèmes aurifères synvolcaniques anciens.

Nature et style de l'altération hydrothermale associée aux minéralisations aurifères du projet LaRonde Zone 5 (projet LZ-5), Abitibi, Québec

Émile Boily-Auclair (UL), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), David Pitre (Mines Agnico Eagle), Georges Beaudoin (UL)

La zone 5 de la mine LaRonde (projet LZ-5 : ~18 Mt à 2,8 g/t Au, soit des réserves et des ressources combinées de 1,6 million d'onces d'or), laquelle faisait anciennement partie du gisement Bousquet 1 (1,27 million d'onces produites de 1978 à 1996), se trouve dans le camp minier de Doyon-Bousquet-Laronde (DBL), au sein de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi. Depuis juin 2016, la compagnie Mines Agnico Eagle procède au développement du projet LZ-5, dont la mise en exploitation est prévue pour 2018.

La géologie du gisement LZ-5 consiste en une succession d'unités volcaniques à volcanoclastiques, notamment de tufs et de tufs à lapillis et à blocs, de composition variant de mafique à felsique, et d'andésites ± basaltes du Groupe de Blake River (membre inférieur de la Formation de Bousquet). Les roches sont très déformées, localement cisailées et fortement altérées. Une schistosité régionale E-W à pendage vers le sud (~80 à 90°) est observée dans la quasi-totalité des unités et la polarité stratigraphique est vers le sud.

La zone minéralisée principale (zone 5) du projet LZ-5 est encaissée dans les roches plus ou moins massives de l'unité hétérogène de Bousquet, soit des schistes basaltiques à andésitiques. On la trouve sous la forme de réseaux discordants de veinules de pyrite millimétriques à centimétriques (10-20 %) et, dans une moindre mesure, sous la forme de pyrite très finement disséminée, en amas et/ou en fragments centimétriques allongés (0 à 10 %). Des quantités mineures ou des traces de chalcopryrite, de sphalérite et de pyrrotite sont également présentes. L'or est principalement présent en inclusions dans la pyrite, mais aussi sous la forme d'or natif libre, d'électrum (Au-Ag) et de tellure. Deux autres zones minéralisées secondaires et discontinues (zones 4 et 4.1) se trouvent à quelques dizaines de mètres au sud de la zone 5. La minéralisation y est similaire, mais les teneurs en or sont moins élevées.

À travers les trois zones minéralisées du projet LZ-5, on reconnaît des bandes gris pâle d'épaisseur décimétrique à métrique contrastant fortement avec les roches environnantes. Ces bandes, contenant jusqu'à 20 % de sulfures, ont jusqu'ici été décrites à partir d'intersections en forage comme étant des niveaux de tufs felsiques. Cependant, des fronts d'altération discordants, des veines décimétriques de quartz-carbonate de part et d'autre des bandes lessivées et la présence de failles centimétriques boueuses discordantes par rapport aux unités gris pâle semblent plutôt indiquer la présence de couloirs d'altération hydrothermale. Cette étude vise à mieux comprendre la nature et le style de ces couloirs d'altération associés aux zones aurifères du projet LZ-5.

Géologie et métallogénie du gîte aurifère Pierre, propriété Menarik, Baie-James

Maxym-Karl Hamel-Hébert, Stéphane De Souza (UQAM), François Goulet (Harfang Exploration), Hugues Guérin-Tremblay (Laurentia Exploration), Michel Gauthier (Gardin), Normand Goulet (UQAM)

La propriété Menarik est située dans la Sous-province de La Grande à la Baie-James, à 50 km au sud de Radisson. Détenue par Harfang Exploration, elle est l'hôte de plusieurs indices aurifères, dont le plus important est le gîte Pierre, où des veines et un stockwerk forment des zones aurifères atteignant, par exemple, 0,9 g/t Au sur 68 m. La propriété comprend une séquence volcano-sédimentaire constituée de roches volcaniques mafiques à intermédiaires néoarchéennes (2732 ± 8/-6 Ma) appartenant au Groupe de Yasinski, sur lequel repose la Formation d'Ekomiak, composée, de la base au sommet, de conglomérat polygénique et de wacke lithique alternant avec des niveaux de siltstone, de chert et de formation de fer. La Formation d'Ekomiak (<2735 Ma) est coupée par des intrusions porphyriques monzodioritiques datées à 2712,4 ± 1,4 Ma. Le conglomérat est jointif, granoclassé et interstratifié avec des grès lithique montrant des laminations entrecroisées métriques, suggérant ainsi une origine fluviale-alluviale rappelant les conglomérats de type Timiskaming du sud de l'Abitibi. La propriété peut être divisée en deux domaines métamorphiques, un au faciès des schistes verts dans la partie nord et l'autre au faciès amphibolite dans la partie sud. La transition entre ces domaines est abrupte et est interprétée comme étant marquée par la Faille de Menarik. Les roches sédimentaires sont affectées par une schistosité de flux (S_n) à fort pendage vers le nord (70-90°) et de plan axial à des plis P_n serrés à isoclinaux à forte plongée (~ 60°) et par un clivage de crénulation S_{n+1} . Les intrusions de monzodiorite sont affectées par D_n et D_{n+1} . Localement, elles sont cataclastiques, particulièrement le long des contacts nord et sud, et sont préférentiellement coupées par des veines de quartz ± carbonate ± pyrite aurifères. Le gîte Pierre est encaissé dans une monzodiorite altérée en chlorite-calcite-ankérite-hématite qui est coupée par des veines dont les épontes ne sont que localement séricitisées. La minéralisation aurifère se présente sous la forme d'un stockwerk, de veines laminées en remplissage de faille ainsi que de veines de quartz massif. Les travaux de cartographie indiquent que l'indice Pierre s'est développé dans une zone de charnière de pli à forte plongée. La monzodiorite porphyrique possède un fort potentiel aurifère du fait de sa composition et de sa nature cassante, propice à la formation de veines. La nature des veines, des roches hôtes et des conglomérats environnants, ainsi que le métamorphisme relativement faible de la propriété Menarik, rappelle le contexte de certaines minéralisations aurifères des secteurs de Kirkland Lake et de Timmins en Ontario.

Pépérites dans la Sous-province de Pontiac : indice de magmatisme durant la formation d'un bassin sédimentaire

Adrian Rehm, Taus R.C. Jørgensen, Harold L. Gibson, Bruno Lafrance (U Laurentienne)

La Sous-province de Pontiac est un bassin sédimentaire archéen situé au sud de la Faille de Larder Lake-Cadillac. Ce bassin comprend des séquences de grès turbiditiques contenant quelques rares niveaux de roches volcaniques mafiques et ultramafiques, le tout coupé par des plutons felsiques à intermédiaires. Les grès turbiditiques du Pontiac se sont déposés il y a 2682 Ma, un âge similaire au Groupe de Porcupine en Ontario, mais plus vieux que les conglomérats fluviaux du Groupe de Timiskaming. Une unité de roches volcaniques mafiques et ultramafiques située au lac Bellecombe, à vingt kilomètres au sud de Rouyn-Noranda, a été cartographiée en détail. Ce niveau a été interprété comme une écaille tectonique qui aurait été introduite dans le Pontiac durant la déformation et le chevauchement du bassin du Pontiac par les roches volcaniques de la Sous-province de l'Abitibi. En contradiction avec cette interprétation, des pépérites ont été trouvées le long de dykes et de filons-couches mafiques, au contact entre le niveau de roches volcaniques mafiques et ultramafiques et les grès turbiditiques du Pontiac. Ceci indique que ces dykes et filons-couches mafiques se sont mis en place avant que les sédiments du Pontiac soient complètement consolidés. Si cette interprétation est correcte, la formation du bassin du Pontiac impliquerait un événement volcanique mafique et ultramafique plus jeune que ceux connus dans la Sous-province de l'Abitibi. Ces magmas auraient migré du manteau vers la surface le long de failles profondes recoupant le bassin du Pontiac. La géochimie des dykes et des filons-couches mafiques sera comparée à celle des roches volcaniques mafiques et la composition des zircons détritiques des pépérites sera comparée à celle des grès turbiditiques du Pontiac afin de vérifier cette interprétation.

Le projet Kwyjibo : caractérisation pétrologique de la minéralisation en terres rares d'un gîte d'oxydes de fer et d'apatite, Province de Grenville

David Martineau, Anthony Williams-Jones (McGill), Serge Perreault (SOQUEM)

Le projet Kwyjibo est un gîte mésoprotérozoïque d'oxydes de fer, d'apatite et de terres rares situé dans la partie nord-est de la Province de Grenville. Ce gîte présente des teneurs élevées en éléments de terres rares (ETR) avec 40 à 45 % d'ETR dits économiques, tels que le néodyme, le terbium, le dysprosium et l'yttrium. Par le passé, la minéralisation a été décrite comme étant de type IOCG (*Iron Oxide Copper Gold*). Toutefois, elle présente plusieurs similitudes avec les gîtes de type IOA (*Iron Oxide-Apatite*), comme celui du camp minier de Kiruna en Suède. Le gîte Kwyjibo est encaissé dans un granite gneissique leucocrate du Complexe de Canatiche. Il est situé à proximité d'une faille de chevauchement qui sépare le Complexe de Manitou, un complexe métamorphique composé de séquences de roches supracrustales et d'orthogneiss granitique, du Complexe de Canatiche. Le principal niveau minéralisé en terres rares est l'horizon Josette. Celui-ci a été subdivisé en trois zones : la brèche supérieure, la magnétite et la brèche inférieure. La brèche supérieure comprend un granite gneissique leucocrate à yeux de quartz, localement d'aspect fragmentaire, qui est injecté par des veines de magnétite et de minéraux calcosilicatés. Sous-jacent à cette brèche, la magnétite est injectée par un cortège de veines de minéraux calcosilicatés et de phosphates porteurs de terres rares. Cette zone présente une association entre une magnétite primaire à grains fins contenant de l'apatite disséminée et des niveaux décimétriques de magnétite et d'apatite à grains grossiers. Ces dernières unités sont bréchifiées par des veines de magnétite, d'apatite, de britholite, d'allanite, d'andradite et de titanite à grains grossiers. La brèche inférieure, sous la magnétite, est caractérisée par un granite gneissique leucocrate recoupé par des stockwerks de veines de magnétite, d'apatite, de britholite, d'allanite et d'autres minéraux calcosilicatés.

L'objectif principal de ce projet de recherche est de développer un modèle métallogénique de l'enrichissement en terres rares du gîte Kwyjibo. Premièrement, une étude pétrographique détaillée de la minéralogie au microscope électronique à balayage (MEB) et une caractérisation chimique des minéraux par spectroscopie à dispersion d'énergie (SDE) facilitera la compréhension minéralogique et texturale de la minéralisation et permettra de d'établir la paragenèse du gîte. Par la suite, une caractérisation pétrochimique des minéraux porteurs de terres rares sera réalisée avec l'analyse des lames minces à l'aide d'une microsonde munie d'un spectromètre à dispersion de longueur d'onde. La dernière étape portera sur une caractérisation géochimique des différents faciès minéralisés en terres rares et de la magnétite primaire par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS). Ces analyses spécifiques sont nécessaires pour comprendre l'enrichissement en terres rares et la signature chimique de la minéralisation de l'horizon Josette.

Étude pétrographique et géochimique des pyrochlores de la carbonatite du Complexe alcalin de Saint-Honoré, Saguenay, Québec

Donovan Desjardins, L. Paul Bédard (UQAC)

La carbonatite de Saint-Honoré est l'une des trois carbonatites actuellement exploitées pour le niobium (Nb) dans le monde, parmi les quelque 527 intrusions de carbonatite connues. Or, les caractéristiques pétrographiques et géochimiques des carbonatites porteuses de gisements de Nb demeurent peu documentées. Les pyrochlores (Pcl), des minéraux typiques des carbonatites niobifères, présentent souvent une chimie et des textures très hétérogènes au sein d'un même gisement. Ceci suggère qu'ils ont enregistré plusieurs événements au cours de la formation du gisement. Les relations de recoupement à Saint-Honoré démontrent que la carbonatite est le résultat de plusieurs épisodes magmatiques. Dans le but de vérifier si le gisement de Nb est le résultat d'une seule pulsation magmatique ou d'une succession de pulsations fertiles entraînant une accumulation du Nb, une étude pétrographique et géochimique des pyrochlores de la carbonatite de Saint-Honoré a été entreprise. La carbonatite de Saint-Honoré représente l'endroit idéal pour mener ce genre d'étude, étant donné qu'elle n'a pas été affectée par des événements majeurs après sa mise en place tels que le métamorphisme.

Les minéralisations se présentent essentiellement sous la forme de pyrochlore $[(Na,Ca_2)Nb_2O_6F]$ associé à l'apatite (Ap) et à la magnétite (Mgt) ou à la biotite (Bt). L'assemblage Pcl-Ap-Bt est observé près de la surface; les pyrochlores sont idiomorphes à grain fin (100-200 μm) et l'apatite est assez abondante pour former des petits rubans continus. L'assemblage Pcl-Ap-Mgt est observé plus en profondeur; les pyrochlores sont plus grossiers (500-1000 μm), avec des bordures irrégulières parsemées d'inclusions d'apatite qui semble indiquer l'existence d'au moins deux épisodes de croissance. Ces deux assemblages minéralogiques peuvent être le résultat de deux événements minéralisateurs différents ou d'un seul événement qui a concentré le pyrochlore fin avec la biotite dans la partie supérieure de l'intrusion et le pyrochlore grossier avec la magnétite dans sa partie inférieure. Les analyses *in situ* démontrent que la plupart des zonations oscillatoires observées sont dues aux variations des concentrations en Ta, en Th et en U. Des pyrochlores avec des teneurs anormales en UO_2 (10 à 14 %) ont été observés localement, dont certains sont métamictes. Les terres rares sont concentrées en bordure des grains, témoignant d'une évolution de la composition du magma carbonatitique. Des phénomènes d'altération tardifs, comme la columbitisation, ont aussi affecté localement la chimie des pyrochlores.

Contrôles structuraux et lithologiques sur l'or associés aux formations de fer rubanées : aperçu du gisement Tiriganiaq, district de Meliadine

Brayden St.Pierre (INRS-ETE), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Michel Malo (INRS-ETE), Jean-Claude Blais, Guilhem Servelle, Marjorie Simard, Morgan Hjorth (Mines Agnico Eagle)

Les gisements aurifères encaissés dans les formations de fer rubanées (FFR) forment communément des gisements de classe mondiale, notamment au Canada. Près de 90 % du socle rocheux québécois est constitué de roches précambriennes du Bouclier canadien, ce qui pourrait représenter un potentiel important pour les gisements associés aux FFR au Québec.

Le projet minier Meliadine, détenu à 100 % par Mines Agnico Eagle, est situé dans la Ceinture de roches vertes de Rankin Inlet, au Nunavut, et comprend plusieurs gisements et gîtes aurifères spatialement associés à la Faille crustale de Pyke et à ses failles subsidiaires. Ces gisements encaissés en partie ou entièrement dans des FFR sont associés au remplacement des lits de magnétite par de l'arsénopyrite grossière en bordure de veines de quartz-carbonate. Le gisement Tiriganiaq, au centre de la propriété, est le plus important du secteur.

Les zones principales 1000 et 1100 du gisement Tiriganiaq sont spatialement associées à la Faille subsidiaire de Lower, à pendage modéré à abrupt vers le nord, et à des veines laminées décimétriques à métriques en remplissage de faille qui sont associées à des veines d'extension déformées. D'autres zones minéralisées telles que les zones 1150 et 1250, au nord des zones 1000 et 1100, montrent une géométrie plus complexe, ce qui rend leur évaluation plus compliquée et qui suppose des contrôles supplémentaires sur la distribution du minerai. Les objectifs de ce projet sont de documenter la géométrie des zones 1150 et 1250, de définir leur évolution par rapport aux épisodes de déformation et d'analyser le rôle potentiellement joué par certaines lithologies (p. ex. les FFR) sur la localisation des veines et la distribution des teneurs.

Les travaux en cours indiquent que la distribution de l'or dans la zone 1150 est contrôlée par de minces zones de cisaillement à composante inverse et à pendage modéré vers le nord qui se superposent à la foliation principale à pendage plus abrupt et de plan axial aux plis associés. Des veines d'extension à pendage faible vers le sud, associées aux zones de cisaillement et aux veines en remplissage de faille, se sont développées préférentiellement dans les niveaux décimétriques à métriques plissés des FFR, près des zones de cisaillement inverses.

La cartographie des secteurs récemment accessibles sous terre permettra de découvrir ce qui contrôle la distribution et la densité des veines d'extension à pendage faible vers le sud des zones 1150 et 1250, c.-à-d. savoir si ces veines d'extensions sont plus importantes dans les zones de charnière ou le long des flancs de plis transposés. La cartographie et l'étude d'échantillons orientés permettront de déterminer les composantes verticales et latérales de mouvement le long des zones de cisaillement à pendage nord et de comprendre la géométrie des zones à haute teneur.

Analyse des sédiments glaciaires par comptage des clastes et des grains d'or sur la propriété Amaruq, Nunavut

Nicolas Boulianne-Verschelden, Victor de Bronac de Vazelhes, Georges Beaudoin (UL), Isabelle McMartin (CGC-O), Olivier Côté-Mantha, Marjorie Simard (Mines Agnico Eagle)

La propriété aurifère Amaruq, située à 50 km au nord-ouest de la mine d'or Meadowbank, au nord de Baker Lake au Nunavut, fait l'objet d'une étude des environnements du Quaternaire afin de faciliter l'interprétation de la dispersion glaciaire de la minéralisation. Le secteur couvert par le projet Amaruq comprend des unités lithologiques faisant partie du Groupe de Woodburn Lake, incluant des roches volcanoclastiques felsiques à intermédiaires, des roches volcaniques mafiques à ultramafiques, des formations de fer, des quartzites ainsi que des grauwackes. La minéralisation est principalement encaissée par des formations de fer silicatées, des cherts, des mudstones graphitiques riches en fer et des veines de quartz \pm carbonate. À l'été 2016, treize échantillons ont été récoltés le long d'un transect orienté NNW, soit parallèlement à l'écoulement glaciaire principal. La position du transect et des sites d'échantillonnage ont été déterminés par rapport aux anomalies en As du levé géochimique réalisé par Mines Agnico Eagle en 2015. Un comptage des grains d'or et des clastes a été effectué pour chacun des échantillons. Deux types de dépôts glaciaires sont observés le long du transect. Le plus abondant est un till à matrice silteuse contenant une grande quantité de blocs. Le second contient moins de blocs et présente une matrice argileuse. Le premier semble avoir une composante plus proximale, tandis que le second une composante plus distale. Le comptage a permis de dénombrer entre 31 et 2433 grains d'or (normalisé à 10 kg d'échantillon sur la table à secousse) par échantillon le long du transect. La taille des grains varie entre 15 et 500 μm , avec une largeur médiane de 50 μm et une longueur médiane de 75 μm . La morphologie des grains d'or est majoritairement intacte (*pristine*), soit 92 % des grains. En amont du niveau minéralisé connu, le nombre de grains d'or est faible, avec une proportion importante de grains à morphologie modifiée et remodelée. Le nombre de grains atteint un maximum à 1000 mètres au nord de la minéralisation affleurante, avec une morphologie principalement intacte. Le compte de clastes de quartz laiteux le plus élevé coïncide avec ce maximum. La cause de ce décalage peut être reliée à : 1) la présence d'une autre zone minéralisée inconnue; 2) une libération secondaire par des blocs de la zone minéralisée; 3) la distance nécessaire pour que le panache de dispersion atteigne la surface; ou 4) la possibilité que l'anomalie soit couverte par une autre couche de till.

Assimilation stochastique en 3D de données géophysiques du gisement Lator, Manitoba, Canada

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

L'approche conventionnelle pour produire une distribution juste et précise des propriétés physiques des gisements est basée sur des algorithmes déterministes de moindres carrés qui fournissent, par construction, un seul modèle en 3D à très faible résolution de la variabilité spatiale des propriétés physiques dans le sol. Récemment, des approches d'inversions stochastiques ont permis d'obtenir des modèles plus réalistes de la distribution spatiale des propriétés physiques.

Dans cette étude, nous proposons un algorithme d'inversion stochastique dont l'objectif principal est de produire un modèle de densité et de conductivité réaliste d'un point de vue géologique, et ce, avec un minimum d'inadéquation entre les données observées et mesurées de gravité et d'électricité-résistivité-tomographie (ERT) de surface. Cette méthode considère au départ un modèle géologique conceptuel en 3D (en accord avec la géologie régionale et les relations pétrophysiques). Ce modèle est ensuite utilisé comme modèle de base pour générer de manière stochastique plusieurs scénarios géologiques en 3D respectant à la fois les données géologiques en forages et le modèle conceptuel en utilisant la méthode de simulation multipoints (MPS). Par la suite, les distributions initiales des propriétés physiques sont utilisées dans un algorithme de cosimulation séquentielle gaussienne en vue de générer des modèles pétrophysiques pour chaque paramètre à l'intérieur de chaque unité géologique précédemment simulée. Ces modèles numériques pétrophysiques permettent de modéliser les mesures gravimétriques et d'ERT. Enfin, une approche d'optimisation heuristique a permis de combiner les modèles pétrophysiques afin de minimiser l'écart entre les données mesurées et simulées sur les modèles combinés.

Cette méthodologie est appliquée au gisement Lator, un gisement de sulfures massifs volcanogènes aurifères situé dans la Ceinture protérozoïque de Flin Flon-Snow Lake, au Manitoba (Canada). La minéralisation s'étend de 570 m à environ 1170 m de profondeur sous la surface.

Il est à noter que cette méthodologie ne requiert aucune inversion et que chaque modèle (géologique, géophysique) est à très haute résolution. Comme nous sommes en mode direct, il n'y a pas de problème de compatibilité entre les résolutions et les échelles des différentes mesures. De ce fait, les modèles générés par l'approche proposée sont plus réalistes tant au niveau géologique qu'au niveau du respect des distributions stochastiques des propriétés. Cette méthodologie ouvre la voie à l'utilisation des modèles pétrophysiques pour guider la prédiction des teneurs.

Cette approche offre l'avantage d'utiliser conjointement plusieurs mesures géophysiques dans la construction du modèle et de donner accès à l'incertitude sur l'estimation des réserves en incluant explicitement l'incertitude reliée à chaque mesure géologique et géophysique.

Résultats préliminaires du projet de cartographie des dépôts du Quaternaire des régions de Laval, des Laurentides et de Lanaudière

Carole-Anne Kenny, Robert-André Daigneault, François Hardy, Martin Roy, Michel Lamothe (UQAM)

En 2017, le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) a entrepris dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) un nouveau projet de cartographie des formations superficielles dans les régions de Laval, des Laurentides et de Lanaudière. Une équipe de quaternaristes de l'UQAM (départements de Géographie et des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère) a été mandatée pour couvrir en partie ou en totalité 20 feuillets SNRC à l'échelle de 1/50 000 (31G09, 31G16, 31H12, 31H13, 31H14, 31I03, 31I04, 31I05, 31I06, 31I11, 31I12, 31I13, 31J01, 31J06, 31J07, 31J08, 31J09, 31J10, 31J11, 31J14). À l'été 2017, une campagne de terrain de six semaines a été réalisée sur 3,6 feuillets de la région de Lanaudière (la totalité de 31I04 et des parties de 31I05, 31I06, 31I11, 31I12, 31I13, et 31J09). Ces travaux avaient pour objectif de valider l'origine des dépôts en se basant sur l'interprétation des photos aériennes et de compléter leur description à l'aide de géofiches. Outre leur origine, ces géofiches contiennent des informations sur la sédimentologie et la stratigraphie des formations superficielles ainsi que sur la direction et la chronologie des marques d'écoulement glaciaire observées. Cette collecte de données a permis la réalisation de 497 géofiches sur un territoire de 3357 km². La compilation finale des données recueillies est prévue pour le printemps 2018.

La région étudiée à l'été 2017 est intéressante pour l'étude du Quaternaire. Non seulement elle se situe au contact entre le Bouclier canadien et les Basses-terres du Saint-Laurent, mais on y observe, notamment, des vestiges de la Moraine de Saint-Narcisse et de la Mer de Champlain. La compilation préliminaire des marques d'écoulement glaciaire (29 sites) indique une direction principale d'écoulement vers le SSE. Durant l'épisode glaciaire, il y a eu mise en place d'un till sableux dont l'épaisseur maximale est de 6 m (région de Chertsey). Les vestiges associés à la Moraine de Saint-Narcisse sont présents dans les régions de Saint-Gabriel-de-Brandon et de Sainte-Émélie-de-l'Énergie, sous forme de dépôts de juxtaglaciaires et de dépôts d'épandage proglaciaire subaquatique. Des deltas sableux observés dans les vallées du Bouclier canadien indiquent l'altitude maximale atteinte par la mer de Champlain. Les altitudes mesurées au sommet de ces deltas indiquent que la limite marine est d'approximativement 235 mètres entre Rawdon et Saint-Gabriel-de-Brandon. Au sud-est du terrain d'étude, dans le secteur de Saint-Liguori, des sédiments marins d'eau profonde sont présents.

Sédimentation glaciaire à post-glaciaire du Quaternaire tardif dans trois fjords lacustres adjacents de la Côte Nord au Québec (Est du Canada) : résultats de l'analyse sédimentologique et micropaléontologique

Obinna P. Nzekwe, Pierre Francus (INRS-ETE, GEOTOP), Guillaume St-Onge (UQAR, GEOTOP), Patrick Lajeunesse (UL), Camille Brice, Anne De Vernal (GEOTOP), Antoine G. Poiré (INRS-ETE, UL), Édouard G.H. Philippe (Inst. Physique du Globe, GEOTOP), David Fortin (Northern Arizona U.), Alexandre Normandeau (CGC-A)

Les fjords lacustres sont des lacs allongés aux rives escarpées qui sont situés dans des vallées glaciaires ou préglaciaires surcreusées. Dans la bande littorale de la Côte Nord au Québec, des profils à haute résolution de la sous-surface et des carottes de sédiments ont été obtenus dans trois fjords lacustres adjacents (les lacs Pentecôte, Walker et Pasteur) afin de reconstruire l'histoire géomorphologique de leurs bassins versants durant le Quaternaire tardif (glaciaire à post-glaciaire). Cinq unités sismostratigraphiques ont été décrites : socle acoustique, sédiments compactés par la glace, limons et argiles à laminations rythmiques, plaine deltaïque à l'extrémité du lac et sédiments post-glaciaires. La transition entre la sédimentation proglaciaire et postglaciaire dans les bassins versants des lacs Pentecôte et Walker a été datée respectivement à 7240 \pm 25 années avant aujourd'hui (¹⁴C) et à 7060 \pm 25 années avant aujourd'hui (¹⁴C), basée sur des datations par SMA au radiocarbone. Toutefois, il nous manque une compréhension adéquate des corrélations directes terre-mer relativement à la sédimentologie et à la palynologie. Cette photoprésentation présente nos premiers travaux visant à explorer les analyses lithologiques, géochimiques (microfluorescence X) et palynologiques, combinées avec la datation au radiocarbone des carottes récupérées, afin de reconstruire la paléogéographie de la région d'étude durant la transition entre les sédimentations proglaciaire et postglaciaire.

Utilisation des forages miniers comme outil principal pour l'estimation des flux thermiques en recherche en géothermie : données de la Fosse du Labrador, Nord-du-Québec

Mafalda Alexandra Miranda, Jasmin Raymond, Inès Kanzari, Nicolò Giordano (INRS-ETE), Crystel Dezayes (BRGM)

Les trous forés pour l'exploration minière s'avèrent utiles pour l'évaluation du potentiel en ressources géothermiques. Les carottes de forage récupérées fournissent des renseignements précieux sur les caractéristiques lithologiques et structurales en profondeur. Les échantillons de carottage permettent l'analyse des propriétés thermiques et des concentrations en éléments radiogéniques, alors que le trou de forage lui-même peut être utilisé pour mesurer la température en profondeur.

Dans le cadre de cette étude, deux trous de forage (FAU-16-004 et FAU-16-010) réalisés par la société minière Osisko sur la propriété aurifère Kan, située dans la Fosse du Labrador, à près de 100 km au sud-ouest de Kuujuaq, ont été utilisés pour mesurer les profils de température afin d'estimer le gradient géothermique et le flux thermique en surface dans ce secteur. Les mesures de température et de profondeur ont été prises avec une sonde RBR Duet dont la précision est de $\pm 0,002$ °C et ± 25 cm. La sonde a été placée dans les trous de forage une vingtaine de minutes avant de commencer les mesures, afin d'assurer un équilibre thermique entre la sonde et l'eau souterraine. Les mesures de température ont été prises en continu, en maintenant un rythme de 1 mètre par 10 secondes, avec au moins 10 profondeurs de calibration le long du profil. Le profil de température de FAU-16-004 présente une profondeur verticale réelle de 121 m et celui de FAU-16-010 de 104 m.

En éliminant les perturbations de température diurnes et saisonnières, le gradient géothermique moyen de FAU-16-004 est de $7,7 \text{ mK m}^{-1}$ et celui de FAU-16-010 de $3,0 \text{ mK m}^{-1}$. La conductivité thermique présumée pour l'ardoise est de $2,0 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. En appliquant la loi de Fourier sur la conduction thermique, le flux thermique calculé se situe entre $13\text{-}15 \text{ mW m}^{-2}$ (FAU-16-004) et $6\text{-}8 \text{ mW m}^{-2}$ (FAU-16-010). Ces valeurs de flux thermique sont valides si l'on suppose que le régime thermique de la croûte terrestre est à l'état d'équilibre. Toutefois, compte tenu des variations climatiques des températures au sol en surface, des corrections paléoclimatiques sont requises afin de calculer les champs de température théoriques non perturbés et pour éviter de sous-estimer le flux thermique. Après correction du gradient géothermique pour les effets paléoclimatiques du récent réchauffement climatique et des quatre dernières glaciations du Quaternaire, le flux thermique estimé pour FAU-16-004 est de $42,5$ à $44,5 \text{ mW m}^{-2}$ et celui pour FAU-16-010 de 35 à 37 mW m^{-2} .

Les résultats préliminaires d'estimations des flux thermiques en surface dans le nord de la Fosse du Labrador indiquent un potentiel géothermique limité qui ne pourrait être exploité qu'à des fins d'utilisation directe. Des études plus poussées seront nécessaires pour déterminer si la géothermie pourrait être une option viable pour les communautés et les mines nordiques.

Évaluation du potentiel géothermique de la mine Éléonore

Edgardo Jose Alvarado, Jasmin Raymond, Félix-Antoine Comeau (INRS-ETE), David Labrecque (Goldcorp)

Plusieurs mines situées dans les régions nordiques doivent chauffer les galeries souterraines en raison des conditions climatiques froides. L'appel de puissance requis pour chauffer les galeries avec un système électrique est élevé et entraîne des coûts énergétiques importants. Les sociétés minières emploient donc des hydrocarbures pour combler leur besoin calorifique, mais l'impact environnemental demeure un enjeu de taille. L'une des solutions de remplacement, reposant sur des ressources locales et ayant une faible consommation électrique, est l'énergie géothermique issue de l'eau de dénoyage de la mine. L'objectif de ce projet est d'évaluer le potentiel géothermique de la mine Éléonore de Goldcorp, située dans la municipalité Eeyou Istchee Baie-James dans la région Nord-du-Québec. Plus précisément, ce projet vise à caractériser la ressource géothermique afin de concevoir un système de pompe à chaleur (PAC) adapté aux opérations minières, qui permettra de réduire les coûts, la consommation d'hydrocarbures et les émissions de gaz à effet de serre (GES).

En premier lieu, un bilan énergétique a été réalisé pour établir la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer les galeries. Ensuite, des échantillons d'eau ont été prélevés à la sortie de la mine, à l'entrée et à la sortie de l'usine de traitement des eaux industrielles ainsi qu'à la sortie de l'émissaire. Les résultats des analyses chimiques ont permis d'évaluer le risque de corrosion et d'entartrage. D'autre part, les données de température et de débit de l'eau ont été recueillies par Goldcorp. À l'aide de toutes ces informations, un système de PAC préliminaire a été conçu pour calculer la quantité d'énergie géothermique qui peut être extraite de l'eau de dénoyage de la mine.

Les résultats montrent que la zone de sortie de l'eau de dénoyage serait l'emplacement ayant le plus de potentiel géothermique, avec un débit d'eau moyen de $337 \text{ m}^3/\text{h}$ et une température moyenne de $12,4$ °C, bien qu'un risque d'entartrage soit présent. Un système de PAC muni d'un échangeur de chaleur intermédiaire installé à la sortie de la mine permettrait de produire 30 % des $26,2 \text{ GWh}/\text{année}$ nécessaires pour chauffer les galeries souterraines, de diminuer les coûts de chauffage de 22 %, en plus de réduire les émissions de GES d'environ 1700 tonnes/année. Les recherches se poursuivront pour développer un modèle numérique hydrogéologique pour évaluer la quantité d'énergie disponible durant l'exploitation de la mine, tout en assurant le maintien de la ressource géothermique. Les résultats serviront à dresser un portrait technico-économique de la solution.

Évaluation détaillée de l'effet de la géométrie des chambres ouvertes sur la probabilité d'un effondrement de chantier

Shahriyar Heidarzadeh, Ali Saeidi, Alain Rouleau (UQAC)

Les ruptures du massif rocheux provoquées par les contraintes sont parmi les sources d'instabilité les plus courantes dans les mines souterraines profondes au Canada. Les méthodes d'abattage en chambres ouvertes, l'une des techniques d'excavation les plus couramment utilisées dans les mines souterraines au Canada, créent des chantiers de grandes dimensions qui sont susceptibles de s'effondrer sous l'effet des contraintes. En conditions de faible confinement, les effondrements provoqués par les contraintes se produisent sous l'effet de deux principaux modes : rupture gravitaire contrôlée par la structure (en tension) et rupture fragile du massif rocheux. La probabilité de rupture (PR) dépend de plusieurs facteurs, en particulier de la géométrie de la chambre ouverte. Dans cette étude, une méthodologie est proposée pour évaluer les effets des paramètres géométriques des chantiers (c'est-à-dire le rayon hydraulique (HR) du toit du chantier, la largeur du chantier et l'angle du toit du chantier) sur la PR à l'aide de modélisations numériques. Différentes fourchettes de données pour chaque paramètre ont été définies à partir d'études antérieures sur plusieurs géométries de chambres ouvertes dans les mines souterraines canadiennes. En utilisant une technique de simulation de type Monte-Carlo, combinée avec un code de différence finie *FLAC3D*, 3 600 modèles ont été simulés, présentant des chantiers avec différentes caractéristiques géométriques, classés selon la largeur moyenne et les gammes de valeurs pour le rayon hydraulique et l'angle du toit. Des valeurs minimales pour la contrainte induite principale (σ_3) et le *brittle shear ratio* (BSR) du massif rocheux ont été utilisés comme indicateurs d'instabilité, afin d'évaluer la présence de conditions de rupture pour chaque modèle. La PR pour différentes catégories de géométries de chantiers a été calculée en considérant les deux modes de rupture, soit la rupture gravitaire lié à la relaxation (en tension) et la rupture fragile du massif rocheux. Les effets individuels et interactifs des paramètres de la géométrie des chantiers sur la PR pour chaque catégorie géométrique ont été analysés en utilisant un modèle factoriel général à plusieurs niveaux. Enfin, des techniques d'optimisation mathématiques ont été employées pour estimer les conditions des chantiers les plus stables (ayant une PR minimale) en déterminant les fourchettes optimales pour chaque paramètre de la géométrie des chantiers.

Dimensionnement des chantiers remblayés de la mine Niobec en utilisant la modélisation 3D

Sandra Lalancette, Ali Saeidi et Alain Rouleau (UQAC)

Niobec exploite une mine souterraine de niobium à Saint-Honoré au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Elle veut étudier la possibilité de récupérer une partie des piliers en remplissant les chantiers avec du remblai en pâte pour aider à la stabilité des ouvrages. L'objectif de cette étude est d'évaluer la stabilité des chantiers primaires dans les niveaux plus profonds de la mine et de vérifier la stabilité des chantiers miniers selon les nouvelles dimensions proposées en présence de remblai dans les ouvrages avec le logiciel *FLAC3D*.

Dans un premier temps, les paramètres géomécaniques du massif rocheux ont été déterminés à partir des résultats des essais en laboratoire et de la classification géomécanique du massif rocheux. Les paramètres de la roche intacte ont été établis à partir des résultats des essais de laboratoire réalisés sur des échantillons de roche provenant de la mine Niobec. De même, des essais en laboratoire ont été réalisés pour déterminer les paramètres mécaniques du remblai en pâte. Le critère de rupture de Hoek et Brown est le plus approprié pour le massif rocheux, alors que le critère de Mohr-Coulomb semble le mieux adapté au remblai en pâte.

Les données sur les discontinuités au sein du massif rocheux révèlent qu'une importante famille de discontinuités subhorizontales est présente à tous les niveaux étudiés pour la modélisation numérique, de même que deux familles subverticales beaucoup moins importantes et orientées est-ouest et NE-SW. Une famille subverticale orientée nord-sud est observée dans les chantiers et les galeries du bloc 4. La plupart des discontinuités ont été regroupées en familles selon leur orientation, mais près de la moitié d'entre elles sont considérées d'orientation aléatoire.

D'autres données d'entrée importantes pour la modélisation numérique sont les contraintes *in situ*. Par conséquent, une analyse détaillée des résultats des essais antérieurs a été réalisée pour estimer ces contraintes. Trois différents scénarios pour l'estimation des contraintes en profondeur ont été analysés selon les données des campagnes de mesures de contraintes *in situ* ayant été faites dans le passé par Niobec.

Les résultats de la modélisation numérique indiquent qu'avec les dimensions actuelles, les chantiers primaires du bloc 4 pourront être exploités sans problèmes, mais qu'il risque d'y avoir des instabilités dues à la tension dans les piliers entre les chantiers primaires des blocs 5-6. Aussi, on peut affirmer que les piliers horizontaux laissés en place entre les chantiers des blocs 4 et 5 sont de dimension correcte.

Surveillance microsismique des mines en temps réel

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

En raison de l'épuisement des mines près de la surface, l'exploitation minière en grande profondeur est devenue de plus en plus importante au cours des dernières années. L'extraction de la roche génère des cavités, ce qui mène à des contraintes élevées autour de l'excavation et peut causer des ruptures dans le massif rocheux, surtout en grande profondeur. Des cas extrêmes de dégagement d'énergie peuvent provoquer des explosions de roches violentes, qui se traduisent par des décès ou des blessures pour le personnel sous terre et par des dommages aux structures de la mine.

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

Pour surveiller adéquatement l'activité microsismique d'une mine, deux éléments clés sont requis : un bon modèle de vitesse sismique afin de prévoir la localisation des événements et une bonne façon d'intégrer chaque nouvel événement causé par l'activité minière.

L'objectif de cette recherche est de développer une méthode innovante et efficace de mise à jour du modèle de vitesse pour pouvoir surveiller la mine en temps réel et, en connaissant ses propriétés mécaniques, constituer un outil qui permettra de prendre des décisions liées à la sécurité des travailleurs et à la production, entre autres.

Cette recherche repose sur deux piliers fondamentaux :

- ▶ Premièrement, intégrer plusieurs modèles de vitesse avec différentes résolutions (journaux de forage, mesures microsismiques, mesures sur échantillons), au moyen d'une simulation statistique, et générer un ensemble de modèles à partir de ceux-ci.
- ▶ Deuxièmement, mettre ces modèles à jour en ajoutant les nouveaux événements en temps réel à travers le filtre Ensemble Kalman (enKF). Grâce à la rapidité du filtre enKF, il est possible de faire une mise à jour en temps réel.

En plus de localiser des hypocentres, il sera possible de voir où la vitesse change. Ceci permettra de mettre en évidence les zones où le massif rocheux subit des contraintes, et donc les zones susceptibles de rompre.

Évaluation de l'effet de la résistance matricielle de la roche intacte dans le processus de l'érodabilité hydraulique du roc

Lamine Boumaiza, Ali Saeidi (UQAC), Marco Quirion (Hydro-Québec)

La méthode la plus utilisée au monde pour l'évaluation de l'érodabilité hydraulique du roc est celle d'Annandale (1995, 2006), une méthode qui se base sur la corrélation entre la force érosive de l'eau et la capacité de résistance du roc. Cette capacité est évaluée à l'aide de l'indice de Kirsten (1982), initialement développé pour évaluer l'excavabilité mécanique des matériaux. Cet indice est déterminé par un produit de pondération de certaines caractéristiques géomécaniques associées à la roche intacte et le massif rocheux, telles que la résistance matricielle de la roche intacte, la taille des blocs rocheux concernés par l'érosion, la résistance au cisaillement des discontinuités et la structure relative des blocs rocheux. Pells (2016) a noté que la résistance d'un massif rocheux fracturé est principalement contrôlée par ses discontinuités. La résistance matricielle de la roche intacte contribue donc de façon très limitée, voire négligeable, à l'érodabilité hydraulique du roc. Cependant, l'indice de Kirsten est largement dominé par une pondération de la résistance matricielle de la roche intacte pour un intervalle variant de 0,87 à 280 MPa. Afin d'évaluer l'impact de cette caractéristique dans le processus de l'érodabilité hydraulique du roc, une analyse statistique combinée à une analyse de sensibilité a été effectuée. Selon les résultats obtenus, il a été observé que la résistance matricielle de la roche intacte n'a aucun effet lorsqu'elle est supérieure à environ 50 MPa.

Annandale, G.W., 1995. Erodibility. *Journal of Hydraulic Research*; volume 33, pages 471-494.

Annandale, G.W, 2006. *Scour Technology – Mechanics and Engineering Practice*. McGraw-Hill Civil Engineering Series; 430 pages.

Kirsten, H.A.D., 1982. A classification system for excavation in natural materials. *The Civil Engineer in South Africa*; volume 24, pages 293-306.

Pells, S., 2016. *Erosion of Rock in Spillways*. Pells Consulting.

Étude de l'équilibre séculaire des résidus miniers

Claire Dalencourt, Dominic Larivière (UL)

La gestion durable des résidus miniers est un problème que rencontrent les industries minières tant québécoises que mondiales. En effet, ces rejets pouvant représenter jusqu'à 99 % du minerai extrait nécessitent des installations permettant leur stockage, mais également une surveillance concernant leur possible impact environnemental.

Dans le cadre d'un projet visant à valoriser les résidus miniers en tant qu'agent fertilisant, il est nécessaire de mesurer leur teneur en éléments radioactifs pendant les prochaines années afin d'obtenir l'aval des instances réglementaires. Pour ce faire, nous souhaitons développer une méthode d'analyse rapide, robuste, précise et abordable pour pouvoir quantifier la radioactivité. En effet, les méthodes actuelles ne permettent pas de répondre simultanément à ces quatre critères. Nous proposons donc une extraction de cinq radionucléides spécifiques (^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th) sur des résines séquencées – cationiques et imprégnées en vue de réduire les interférents et le temps d'analyse. Ces radionucléides ont déjà été identifiés comme des éléments majeurs pour déterminer le potentiel radioactif par les instances réglementaires.

Ainsi, l'étude de la radioactivité des rejets permettra d'établir des plans de prédiction dans les prochaines années et de statuer sur leur possible commercialisation dans une approche de développement durable.

Développement d'un procédé de récupération des métaux d'intérêt présents dans les déchets de piles alcalines

Kulchaya Tanong, Lan Huong Tran, Lucie Coudert, Guy Mercier, Jean-Francois Blais (INRS-ETE)

Au Canada, près de 671 millions d'unités de piles primaires ont été vendues en 2015, y compris près de 173 millions d'unités dans la province de Québec. Concernant les piles secondaires, des ventes de 22 millions d'unités étaient attendues au Canada en 2015. Actuellement, seulement 10 % des piles usagées mises au rebut sont recyclées; les 90 % restants sont incinérés ou enfouis avec les déchets domestiques. Par conséquent, plusieurs milliers de tonnes de déchets sont envoyées chaque année vers des lieux d'élimination en raison du manque de technologies innovantes et rentables permettant de les recycler. Dans les procédés actuels, le tri manuel limite considérablement le potentiel de recyclage des déchets de piles en raison des coûts élevés de main-d'œuvre et du manque de technologies existantes. Le développement d'une nouvelle filière de traitement des déchets de piles sans tri manuel préalable est fortement encouragé d'un point de vue environnemental et économique. Ce projet de recherche s'intéresse au recyclage et à la valorisation des métaux d'intérêt présents dans les déchets de piles mélangées. Le mélange des piles usagées contient des piles alcalines, des piles Zn-C, des piles Ni-Cd, des piles Ni-MH, des piles Li-ion et des piles Li-M. Les poudres métalliques obtenues après traitement physique ont été lixiviées avec du H_2SO_4 . Après l'étape de solubilisation, le Zn a été récupéré sélectivement par extraction avec solvant, suivie d'une étape d'électrodéposition. La combinaison des deux méthodes a permis la récupération de 123 kg/t Zn de poudre de piles, avec une pureté de 99 %. Le Cd et Mn ont été ensuite extraits en utilisant du DEHPA. L'étape d'extraction a été suivie par une électrodéposition pour récupérer sélectivement 34 kg/t Cd de poudre de piles sous forme métallique pure à 98 %. Après la récupération du Cd par une électrodéposition sélective, le pH de la solution a été ajusté par ajout de NaOH et de Na_2CO_3 afin d'obtenir du MnCO_3 . Une quantité de 550 kg/t de MnCO_3 a été récupérée, avec une pureté de 94 %. Après avoir récupéré le Zn, le Mn et le Cd, les impuretés ont été éliminées en utilisant le solvant. Une solution pure de NiSO_4 est obtenue et, après ajout de Na_2CO_3 , le Ni est récupéré sous forme de carbonates (36 kg/t Ni de poudre métallique) purs à 98 %. Seule les coûts direct de revalorisation ont été calculés et ils sont estimés à 1078 \$/tonne de poudre métallique, alors que les revenus totaux ont été estimés à 2313 \$/tonne de poudre métallique.

G101

Optimisation d'une méthode d'extraction acide des éléments de terres rares dans les résidus de bauxite

Julie Rochette, Dominic Larivière (UL)

Les éléments de terres rares (ETR) sont des matériaux utilisés dans plusieurs nouvelles technologies. Contrairement à ce que laisse entendre leur nom, les ETR ne sont pas si rares. En effet, ces éléments sont dispersés en faible quantité un peu partout dans la croûte terrestre. La production d'ETR à partir de minerais tels que la monazite n'est pas bénigne pour l'environnement. De nouvelles ressources sont envisagées pour minimiser l'impact environnemental de l'extraction minière de gisements d'ETR. Parmi ces ressources, les résidus miniers produits par la fabrication d'aluminium (boues rouges) semblent une solution intéressante.

L'objectif de ce projet vise le développement d'une méthode d'extraction acide qui permet d'extraire sélectivement les ETR tout en minimisant les éléments de la matrice des boues rouges. Initialement, une digestion complète a été effectuée afin de connaître les concentrations des éléments présents dans la matrice des résidus de bauxites. Par la suite, des digestions avec des acides dilués (chlorhydrique, nitrique et sulfurique) ont été effectuées à différentes conditions de pH, de température et de temps de chauffage. Les ETR ont été analysés par ICP-MS et les éléments majeurs par ICP-OES. Dans le but de simplifier les mises en solution, une technique statistique d'analyse des résultats a été utilisée, c'est-à-dire le plan factoriel. Cette technique permet de varier plusieurs paramètres en même temps, en plus de vérifier l'interconnectivité des paramètres étudiés.

Lors de ces mises en solution, un pourcentage acceptable d'ETR est extrait préférentiellement aux autres constituants de la matrice. Suivant l'étape de mise en solution, une extraction liquide-liquide avec un ligand de type *diglycolamide* et une coprécipitation sont effectuées afin de séparer les éléments entre eux.

G102

Comment exploiter les principes de succession végétale et les associations microbiennes pour réussir sa réhabilitation minière à faible coût, sans amendement et sans préparation du site?

Sébastien Roy, Sophie Lalonde, Pier-Anne Bélanger, Louis Garneau, Kathleen Barrette, Martine Migneault (USherbrooke)

La végétalisation fait partie des dernières étapes de la réhabilitation minière et l'un des grands enjeux dans ce domaine est de l'accomplir en diminuant le plus possible ses coûts autant monétaires qu'écologiques (CO₂). Notre groupe de recherche a développé différentes approches pour améliorer la survie de semis boréaux dans les conditions difficiles représentées par les haldes de stériles et les parcs de résidus fins acidogènes et non acidogènes. Parmi les semis boréaux que nous utilisons pour nos recherches appliquées en végétalisation, les aulnes se démarquent en raison de leur adaptabilité exceptionnelle. Ces plantes pionnières colonisent naturellement et enrichissent les sols pauvres en nutriments tels les gravats et les sables, facilitant ainsi la succession végétale. Avec sa capacité de former une association symbiotique avec la *Frankia*, une actinobactérie fixatrice d'azote atmosphérique présente dans le sol, l'aulne contribue annuellement à l'apport de matière organique riche en azote dans le sol. Au-delà de ce bilan azoté positif, l'utilisation de ces espèces boréales contribuera à la séquestration de CO₂ par leur croissance vigoureuse, mais réduira aussi l'empreinte CO₂ des opérations, puisqu'aucun amendement ni préparation du site n'est nécessaire. Les coûts du transport et de l'étalement de matière organique associés aux méthodes traditionnelles de végétalisation sont du coup éliminés. L'empreinte écologique réduite de cette approche représente une contribution mesurable envers nos responsabilités en développement durable.

Nous présentons aujourd'hui les résultats de plantations sur des stériles et des résidus fins non acidogènes et non amendés du site minier Sigma à Val-d'Or et sur des résidus fins acidogènes non amendés dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue. Pour les plantations d'aulnes et de conifères utilisant notre système de pochettes sur les haldes de stériles, il a été constaté que les taux de survie et la croissance des arbustes sont très intéressants, même en absence de toute préparation du site. Sur les résidus fins, les conditions sont souvent difficiles pour les arbustes (sécheresse, vents forts occasionnant une abrasion par le sable) et pour l'établissement d'une succession végétale (vents qui emportent les feuilles tombées à l'automne). Des plantations en bosquets ont montré une atténuation de la mortalité des jeunes semis ainsi qu'une accélération de la croissance des plants et une rétention de la litière riche en azote. Des plantations herbacées avec les semis forestiers ont permis de vérifier qu'il y avait un effet protecteur et que l'utilisation concomitante de plantes herbacées et de semis était compatible (absence de compétition significative) et avantageuse pour la survie et le développement des semis.

Cette recherche appliquée génère des solutions réalisables à échelle industrielle qui se traduisent par des gains économiques, écologiques et opérationnels considérables, et ce, sur différents types de sites dégradés.

G103

L'exploitation de microorganismes indigènes pour améliorer la survie et le développement de plantes pionnières lors de la réhabilitation de sites perturbés

Sophie Lalonde, Sébastien Roy (USherbrooke)

Un des objectifs du rétablissement d'un couvert végétal sur un site perturbé est de sécuriser le site en question, principalement via la prévention de la propagation des contaminants, et ce, tout en préservant la biodiversité. L'efficacité de ce genre de système est dépendante de plusieurs facteurs, notamment de l'espèce végétale employée, mais surtout des facteurs environnementaux comme la composition du sol et les interactions plantes-microorganismes. Plusieurs études ont d'ailleurs démontré que le potentiel de réhabilitation d'un site peut être grandement amélioré par l'effet des microorganismes présents dans le sol.

Les microorganismes indigènes sont des bactéries bénéfiques pour la croissance végétale, puisque ce sont, pour la plupart, des habitants du sol possédant des traits de promotion de croissance. Ceux-ci sont reconnus pour favoriser la capture des nutriments présents dans le sol et stimuler la croissance et le rendement de la plante, sans pour autant affecter son environnement. Très souvent, l'établissement d'un inoculant microbien peut poser problème sur le terrain dû à sa difficulté de rivaliser avec les bactéries déjà présentes dans le sol. L'avantage majeur des microorganismes indigènes réside donc dans le maintien de la structure de la flore du sol, tout en créant un environnement optimal et favorable au développement des végétaux.

Nous avons par conséquent développé différentes stratégies d'inoculation en serre pour améliorer la survie de semis dans des conditions difficiles, notamment en étudiant l'association symbiotique entre l'aulne et la *Frankia*, une bactérie du sol capable de fixer l'azote atmosphérique. Notre étude porte d'ailleurs sur l'apport supplémentaire que pourraient apporter les microorganismes indigènes à l'aulne crispé et à l'aulne rugueux, deux plantes caractéristiques du Québec, dans la réhabilitation de sites dégradés. En nous basant sur les principes de ces associations plantes-microorganismes, notre recherche vise justement à exploiter ces microorganismes, naturellement présents dans les tissus racinaires des aulnes, pour développer des inoculants microbiens.

G104

Le microbiome racinaire : un outil prometteur pour améliorer la performance des arbustes indigènes employés pour la réhabilitation minière au Québec

Louis Garneau, Pascale B. Beauregard, Sébastien Roy (USherbrooke)

Les aulnes sont des arbustes rustiques indigènes employés pour la végétalisation d'environnements dégradés tels que les sites miniers. Ces arbustes doivent leur grande adaptabilité aux conditions difficiles à des interactions microbiennes bénéfiques au niveau de leurs racines. Ces microorganismes présentent des mécanismes variés d'atténuation de stress et de promotion de la croissance végétale. La fixation d'azote atmosphérique, par exemple, permet aux plantes d'acquérir de l'azote ammoniacal à partir de l'air, subvenant ainsi à leurs besoins lorsque le sol ne peut fournir une quantité suffisante d'azote pour soutenir la croissance. Les bactéries filamenteuses du genre *Frankia* sont particulièrement efficaces en ce qui concerne ce mécanisme, puisqu'elles forment des structures racinaires spécialisées nommées nodules. Dans ces nodules, les bactéries peuvent obtenir des nutriments produits par les plantes et fournir en échange l'azote fixé. D'autres bactéries nodulaires que *Frankia* peuvent également posséder des traits de promotion de la croissance végétale. Nous avons isolé de ces bactéries (p. ex. *Pseudomonas* spp. et *Micromonospora* sp.) du site Sigma à Val-d'Or et des tests *in vitro* ont été effectués afin de reconnaître des activités associées à une résistance accrue au stress ou à une augmentation de la vitesse de croissance des plantes. De ces 24 isolats bactériens appartenant à 14 genres distincts, bon nombre se sont avérés capables de plusieurs activités métaboliques intéressantes. Nous avons détecté les traits de promotion de la croissance végétale suivants chez ces souches : la solubilisation de sources non biodisponibles de phosphore minéral, la production d'hormones végétales auxiniques, la production de métallophores et la fixation d'azote. Ces souches microbiennes pourraient améliorer la réponse des plantes sur des sites miniers vis-à-vis le manque de nutriments des résidus miniers ainsi que les stress encourus par les semis forestiers, par exemple la sécheresse, l'enneigement, la présence de métaux lourds toxique ou encore, ailleurs au Canada, la salinité élevée des résidus. Notre équipe de recherche vise à élaborer un inventaire des microorganismes bénéfiques permettant la survie et la croissance vigoureuse des transplants employés lors d'efforts de végétalisation sur des sites hostiles à l'établissement des plantes, et ce, à faible coût comparé aux techniques de végétalisation traditionnelles.

G105

Colonisation naturelle d'un site minier aurifère sur 50 ans : comparaison des populations microbiennes, de la structure élémentaire du sol et du potentiel de transfert de métaux lourds dans les plantes

Vanessa Gagnon (USherbrooke-CNRC),
Michaël Rodrigue-Morin (USherbrooke), Charles W. Greer (CNRC-McGill), Sébastien Roy (USherbrooke)

L'exploitation minière au Québec et au Canada entraîne la libération de plusieurs contaminants dans l'environnement, y compris les métaux qui se trouvent solubilisés de la roche mère. Ces métaux libres dans les sols font partie des facteurs à l'origine des problèmes environnementaux tels que la production de drainage minier acide et la phytotoxicité. Ces déséquilibres nuisent à l'établissement d'activités biologiques essentielles à la végétalisation naturelle des sites miniers. Un site minier dans le nord du Québec présente un gradient de végétation indigène ayant colonisé naturellement les résidus miniers sur cinq décennies. Le gradient a été établi en suivant un patron d'absence de colonisation végétale jusqu'à la forêt boréale non touchée par les activités minières. Le gradient de végétation nous a permis d'observer les diverses associations entre le degré de végétalisation, les microorganismes du sol et les propriétés élémentaires variant sur le gradient.

Les analyses en composante principale (PCA) ont révélé une ségrégation spatiale différente du contenu élémentaire des sols de la forêt boréale. Plus précisément, des analyses de la variance (ANOVA) ont mis en lumière une concentration statistiquement plus importante en cadmium, en cobalt, en manganèse, en nickel, en plomb et en zinc, ainsi que des concentrations plus faibles en cuivre et en sélénium dans les sols de la forêt boréale.

Par ailleurs, des analyses en coordonnées principales (PCoA) et l'indice de biodiversité montrent respectivement une répartition spatiale et une biodiversité semblable des populations microbiennes entre les gradients de végétation. Ces résultats semblent indiquer qu'une diversité microbienne naturelle peut être soutenue par les végétaux, quelles que soient les conditions édaphiques retrouvées sur ce site.

De plus, des analyses canoniques (RDA) dénotent une corrélation entre les sols de la forêt boréale et la présence des genres microbiens *Pseudomonas* sp. et *Rhodospirillaceae* sp. D'un autre côté, le gradient présentant une faible croissance végétale révèle une corrélation plus forte avec les *Acidobacteriaceae* spp. et les *Pedospaerales* spp. Par conséquent, la microflore sous les différentes espèces végétales est davantage influencée par la densité de végétation que par l'espèce végétale individuelle. Ceci suggère qu'il y a un processus global de réhabilitation en cours et non un processus spécifique à l'espèce végétale.

Finalement, notre étude a permis de montrer les différences élémentaires et microbiennes entre les niveaux de végétation présents sur le site minier, ce qui nous permettra de mieux cibler les microorganismes ayant le meilleur potentiel comme inoculant des plantes servant à végétaliser des sites miniers présentant divers degrés de végétalisation.

G106

Isolement et sélection d'endophytes fongiques pour la phytostabilisation des métaux lourds dans le sol

Steve Lalancette, Carole Beaulieu, Sébastien Roy (USherbrooke)

La présence de métaux lourds dans la solution du sol peut engendrer diverses réactions de toxicité chez les plantes. Lorsqu'absorbés par ces dernières, les métaux peuvent se propager dans la chaîne alimentaire. La phytostabilisation permet, à l'aide de divers processus biologiques, de modifier la forme chimique des métaux ou d'en fixer les ions afin d'en diminuer la toxicité, tout en les maintenant dans le sol, évitant de la sorte leur translocation. Ainsi, les endophytes fongiques des plantes peuvent jouer un rôle clé dans l'établissement d'un couvert végétal en milieu contaminé par deux mécanismes, soit en diminuant la toxicité du sol et en favorisant la mobilisation d'éléments nutritifs par la plante. Parmi les mécanismes diminuant la toxicité, la production par les champignons de divers composés organiques dans la rhizosphère permet de fixer nombre d'ions métalliques. Les polymères de chitine, de glucane et de galactosamine de la paroi cellulaire des champignons ont également de nombreux groupements (carboxyle, amine, hydroxyle, sulfate et phosphate) permettant l'absorption d'ions métalliques. Finalement, les champignons possèdent de nombreux mécanismes intracellulaires permettant de fixer et de séquestrer les ions métalliques pénétrant à l'intérieur de leurs cellules. Les champignons peuvent également contribuer à la nutrition de la plante par la dégradation de composés organiques ou minéraux. Ces mécanismes sont encore plus avantageux au niveau de la plante lorsque les endophytes forment des structures mycorhiziennes, les champignons agissant directement à titre de filtres biologiques et pouvant transférer directement les nutriments à la plante.

Dans cette étude, nous avons prélevé des échantillons racinaires d'aulnes sur des sites miniers contenant des métaux lourds, de même que sur des sites non contaminés. Les endophytes fongiques des racines d'aulnes ont été isolés et identifiés en laboratoire. Pour chaque endophyte, la tolérance envers quatre métaux (cuivre, nickel, zinc et arsenic) et divers pH acides a été mesurée, puis comparée à celle des autres endophytes. Les endophytes fongiques les plus tolérants seront testés pour leur capacité à améliorer la survie et/ou la croissance végétale en présence de métaux lourds, le tout dans le but de mieux préparer les semis (par leur inoculation en serre) qui seront utilisés pour la végétalisation des sites miniers.

G107

Rétablissement autonome de la biodiversité boréale sur les sites miniers : l'importance relative des conditions du substrat et perturbations humaines

Antoine Tardif, Bill Shipley, Chiara Chelo, Jean-Philippe Bellenger, Sébastien Roy (USherbrooke)

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. Alors, quelles espèces sont à privilégier et dans quel ordre temporel? Est-ce que la colonisation naturelle (spontanée) peut nous fournir 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. Un relevé de végétation a permis de dénombrer 59 espèces végétales présentes sur le site. Le site étudié présente deux gradients : 1) un gradient de perturbations humaines et 2) un gradient des résidus caractérisé par des conditions abiotiques extrêmes (pH acide à alcalin, teneurs élevées en arsenic et en métaux lourds dans le sol, absence de matière organique, texture sablonneuse avec de fortes fluctuations d'humidité). Le niveau de végétalisation sur le plan de la biomasse aérienne était davantage déterminé par le niveau de perturbations humaines que par les conditions du substrat. Par contre, le niveau de perturbations humaines, le pH, la teneur en eau et la composition élémentaire ont influencé les espèces établies et leurs associations. Nous avons pu calculer la préférence de chaque espèce pour chacune de ces quatre variables environnementales. Cette étude nous permettra de définir les paramètres à employer lors d'opérations de végétalisation sur les sites miniers de manière à accélérer la réhabilitation écologique, à miser sur les capacités naturelles des végétaux et à maximiser la biodiversité résultante.

G108

Potentiel de translocation et de toxicité du drainage minier acide envers l'aulne, un arbuste de choix en restauration minière

Michaël Rodrigue-Morin, Jean-Philippe Bellenger, Sébastien Roy (USherbrooke)

L'activité humaine disperse plusieurs contaminants dans l'environnement et leur mobilité dépend largement de leur biodisponibilité. Pour l'industrie minière, il est primordial de comprendre les enjeux environnementaux associés aux stériles acidogènes producteurs de drainage minier acide (DMA). La présente étude visait à évaluer le potentiel de translocation des métaux dans les aulnes employés en réhabilitation minière et son effet sur la symbiose qu'ils forment avec une bactérie du sol fixatrice d'azote. Des études en serre ont été faites sur différentes variétés d'aulne mis en contact avec du DMA de la mine aurifère Doyon, en Abitibi-Témiscamingue. L'investigation a été conduite de manière à évaluer si des aulnes accidentellement exposés au DMA pouvaient présenter un danger de dispersion de métaux lourds dans l'environnement (chute des feuilles). L'étude a été réalisée pour évaluer l'effet d'une exposition ponctuelle au DMA sur les aulnes, de manière à simuler un événement temporaire ou accidentel d'exposition à ce contaminant tels une crue printanière ou un déversement de digue. Les espèces ligneuses utilisées sont l'aulne crispé et l'aulne rugueux inoculés ou non avec l'actinobactérie *Frankia*. Une étude précédente avait montré que l'établissement symbiotique diminuait avec l'augmentation de la concentration en métaux lourds. Des analyses ICP-MS (métaux) avaient aussi montré que la nodulation (présence de symbiose) avait un effet bénéfique sur la capacité de la plante à réguler la quantité interne en métaux. La présente étude a été menée en induisant la symbiose avant l'ajout de DMA et a révélé que c'est en grande partie la bactérie *Frankia* et la symbiose qui sont affectées par un ajout de DMA. Une fois la symbiose établie, la *Frankia* serait protégée à l'intérieur du nodule et pourrait fournir de l'azote à la plante. Pour des plants âgés de six mois, il a été démontré que même s'il y avait accumulation de certains métaux dans les feuilles, cette accumulation était grandement réduite lorsque la symbiose était bien établie. L'aulne en symbiose a le grand avantage de pouvoir enrichir le sol en azote et des essais sur le terrain ont montré que ceux-ci sont aptes à se développer à même les haldes de stériles. L'aulne et la *Frankia* semblent donc être des candidats de choix pour la végétalisation des sites miniers et des secteurs à proximité de ceux-ci.

ACRONYMES

L'italique est utilisé pour la version anglaise

3M : 3M Company

Alliance Magnésium

APESA : Association pour l'environnement et la sécurité en Aquitaine

APNQL : Assemblée des Premières Nations du Québec et du Labrador

BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières, France

CanmetMINES: Centre canadien de la technologie des minéraux et de la technologie (Ressources naturelles Canada)

CEFRIO : Centre facilitant la recherche et l'innovation dans les organisations

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

CGC : Commission géologique du Canada

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

CGC-O : Commission géologique du Canada, Ottawa

CGC-Q : Commission géologique du Canada, Québec

CNRC : Conseil national de Recherche Canada

COREM : Consortium de recherche en minéralogie

CONSOREM : Consortium de recherche en exploration minérale

SNC : Consortium SMi-Stavibel

CRIQ : Centre de recherche industrielle du Québec

CRPG : Centre de recherches pétrographiques et géochimiques, France

CTTEI : Centre de transfert technologique en écologie industrielle

Dundee : Dundee Technologies Durables

EDC : Exportation et Développement Canada

GEOTOP UQAM-McGILL : Centre de recherche en géochimie et en géodynamique de l'Université du Québec à Montréal et de l'Université McGill

Glencore-CCR : Affinerie CCR (Glencore)

HEC : HEC Montréal

IAMGOLD : IAMGOLD Corporation

I-EDDEC: Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire

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

Inst. Physique du Globe : Institut de Physique de Globe de Paris

IOS : IOS Services Géoscientifiques

LA-ICP-MS: Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

LAMEQ : Laboratoire de métallogénie expérimentale et quantitative

McGill : Université McGill

MERN : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

Mines Agnico-Eagle

MISA : Groupe MISA - Mines, Innovations, Solutions et Applications

MQQ : Mouvement québécois de la qualité

NMX : Nemaska Lithium

Northern Arizona U. : Northern Arizona University

Polytechnique : École Polytechnique de Montréal

RNCan : Ressources naturelles Canada

SDMT : Strategic Development of Mining Technology

SMV : sulfures massifs volcanogènes

SNC : SNC-Lavalin

UBC: University of British Columbia

UBC-O: University of British Columbia-Okanagan

U de Lorraine : Université de Lorraine

UdeM : Université de Montréal

UdeSherbrooke : Université de Sherbrooke

U de Toulouse : Université de Toulouse

UL : Université Laval

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

ULaurentienne/*LaurentianU* : Université Laurentienne/*Laurentian University*

UofT : University of Toronto

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

UQAR : Université du Québec à Rimouski

UQAT : Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

