

15^e FORUM CONSOREM TECHNOLOGIQUE DIVEX

VAL-D'OR
23 mai
2017

RECUEIL DES RÉSUMÉS



ios SERVICES
GÉOSCIENTIFIQUES 2

UQÀM

OSISKO
REDEVANCES AUBIFÈRES

FALCO
RESOURCES

URSTM/UQAT

Société
du Plan Nord
Québec

AGNICO EAGLE

RICHMONT

SOQUEM

Affaires municipales
et Occupation
du territoire
Québec

GLENCORE

PROBE
METALS INC

HERM

Énergie et Ressources
naturelles
Québec

MIDLAND
EXPLORATION

InnovExplo

UQAC



Développement
économique Canada
pour les régions du Québec

Canada Economic
Development
for Québec Regions



CONSOREM
Consortium de recherche
en exploration minérale

AEMQ
ASSOCIATION DE
L'EXPLORATION MINÉRIÈRE
DU QUÉBEC



DIVEX
DIVERSIFICATION
DE L'EXPLORATION
MINÉRIÈRE AU QUÉBEC

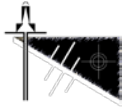
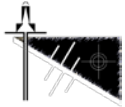


Table des matières

Mot du coordonnateur CONSOREM	iv
Le Segment volcanique Taschereau-Amos-Senneterre (Abitibi) et son	5
Géologie de la mine Éléonore, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur, Québec.....	4
Utilisation des éléments volatils en exploration minérale: méthode d'analyse et exemples d'application.	6
Contexte géologique du projet Amaruq, Nunavut : apports d'outils sur mesure dans la caractérisation d'un gisement	7
Guides d'exploration régionale pour les porphyres à Cu (Au, Mo) en Gaspésie	7
Stratégie d'échantillonnage des mesures LIBS in situ de la teneur en or dans des échantillons miniers – optimisation par analyse statistique	9
Minéralisations hydrothermales Au – W associées à des dykes de syénite : le projet Dolodau – secteur de Chapais, Abitibi.	10
Le rôle du géologue au cœur d'une étude de faisabilité	11
Le potentiel en minéralisations de type Sulfures Massifs Volcanogènes (SMV) de la région de Chibougamau-Chapais, Sous-province géologique de l'Abitibi (Québec, Canada).	13
Quantifier l'altération dans un VMS métamorphisé au grade des amphibolites, l'exemple du dépôt de Coulon.....	15
Perspectives hydrogéochimiques pour l'exploration minérale : les eaux de surface.....	16
Programme des conférences	19



Mot du coordonnateur CONSOREM

9h.00 : Réal Daigneault, CONSOREM

Le Forum technologique CONSOREM-DIVEX est une activité qui permet à la communauté géoscientifique de se rassembler et de s'informer sur différents projets actifs en exploration minière ou sur des développements récents en recherche liée à l'exploration minérale.

Le 15e Forum technologique se tient, l'espère-t-on, à l'aube d'une relance du secteur minier. Les dernières années ont été celles du ralentissement économique avec d'importantes répercussions dans le secteur minier au Canada et au Québec. S'il est difficile de contribuer aux variables influençant l'économie minière mondiale, il importe de mettre en place des mesures contracycliques qui permettent de mieux se positionner lors de la reprise. Une performance accrue en exploration permet de faire ressortir des projets de meilleure qualité. La recherche et l'innovation en exploration minérale est l'un des instruments permettant d'arriver à cette fin.

Le CONSOREM est issu d'une concertation d'entreprises, d'universités et de gouvernements afin de développer la recherche et l'innovation dans le secteur de l'exploration minérale au Québec. Faut-il le rappeler, l'exploration minérale est à la base de tout développement minéral. Le Québec demeure un territoire fertile, mais assujéti à plusieurs impératifs sociaux, environnementaux et législatifs. De meilleures connaissances, de meilleurs modèles d'exploration et des outils plus performants pour la délimitation des zones potentielles sont les ingrédients qui permettront ultimement de faire émerger les meilleurs gisements pour le futur.

Par ailleurs, le CONSOREM a entamé sa 18e année de fonctionnement sur une note positive avec la continuité de partenariats financiers gouvernementaux et l'adhésion de nouvelles entreprises.

Vous pourrez constater tout au long de la journée la qualité des résultats de divers projets de recherche menés chez CONSOREM, chez DIVEX, ainsi que chez nos partenaires du secteur minéral.

En espérant que l'année 2017-2018 soit celle de la reprise attendue, l'équipe du CONSOREM et de DIVEX vous souhaite un bon Forum!

Réal Daigneault

Coordonnateur du CONSOREM

Le Segment volcanique Taschereau-Amos-Senneterre (Abitibi) et son potentiel métallogénique pour l'or et les métaux de base

9h.20 : Stéphane Faure, CONSOREM

Ce projet résume les résultats d'une interprétation géologique du segment de roches volcaniques archéennes de Taschereau-Amos-Senneterre (STAS) dans le sud de la Sous-province de l'Abitibi. Il s'agit d'une synthèse qui s'inscrit dans une série de compilations régionales des grands camps miniers de l'Abitibi entrepris par le CONSOREM depuis 2005. Le principal objectif de ces études est de réinterpréter la géologie 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. La nouvelle vision régionale qui se dégage 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-ÉGP magmatique.

Le STAS est le plus grand ensemble volcanique solidaire de l'Abitibi bordé par des failles majeures, mais il est le plus pauvre en contenu métal par km². En effet, l'ancienne mine de Zn de Barvue-Abcourt a été la seule exploitation jusqu'à présent. Le segment volcanique est assez bien documenté sur le plan cartographique et stratigraphique, mais la géochronologie, la structure, et la métallogénie demeurent des points faibles de la compréhension géologique. Les forages et les milliers d'échantillons géochimiques comptabilisés dans le SIGÉOM n'ont jamais été intégrés et considérés de manière systématique dans une synthèse régionale, pas plus que les levés magnétiques et électromagnétiques de haute résolution réalisés après les plus récentes campagnes de cartographie du début des années 2000. Le but du projet est d'apporter une vision globale métallogénique, des stratégies d'exploration, et des cibles pour des minéralisations aurifères ou en métaux de base.

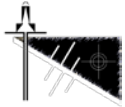
Sur le plan géologique, les principaux faits saillants de cette étude sont qu'il y a plus de roches felsiques que sur les cartes précédentes, leur superficie passant de 194 à 404 km² et plus de roches ultramafiques, dont les surfaces passent de 22 à 38 km². La position des

frontières entre les groupes n'a pas beaucoup changé (moins de 1 km), mais des modifications mineures ont été apportées en fonction des nouvelles données de forage et de géochimie. En particulier, les traitements géochimiques ont permis de mieux distinguer les domaines basaltiques de ceux andésitiques.

L'analyse de toutes les données de stratification et de polarité (SIGÉOM) et les données historiques sur les différentes cartes géologiques ont permis de préciser la position des traces axiales de plis régionaux et de prolonger leur extension sur plusieurs kilomètres. Les principaux couloirs de déformation connus ont été précisés à l'aide de la géophysique, de descriptions d'affleurement ou de forage, et de cartes géologiques. Dans la partie centrale du segment, plusieurs nouveaux petits couloirs de déformation orientés NO-SE ont été interprétés parallèlement à des couloirs connus minéralisés (gisements Fontana et Duvay par exemples). La majorité des couloirs orientés E-O ont une composante de cisaillement inverse, alors que les couloirs NO-SE ont une composante en décrochement dextre. L'orientation pratiquement N-S du couloir de déformation de Bolduc en fait une structure unique en Abitibi.

Des plutons d'âge inconnu ou des plutons interprétés comme syntectoniques ont été réinterprétés sur une base géochimique comme étant synvolcaniques. Un groupe de plutons dans le secteur de Senneterre montre un intérêt pour l'exploration aurifère et de 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 4 groupes mafiques (Amos, La Marandière, Béarn et Figuery inférieur) soulèvent la possibilité qu'il s'agisse d'un même épisode volcanique et horizon stratigraphique. La distribution des basaltes sur la carte pourrait résulter de la complexité structurale engendrée par une combinaison de plis et de failles. Il y aurait lieu



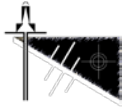
de revoir la nomenclature stratigraphique pour ces groupes en incluant le groupe des Volcanites de l'Est (nom informel d'un assemblage de roches volcaniques mafiques dans la partie est du segment), même si ce dernier présente des différences notables. Les groupes de lac Arthur et de Figury supérieur partagent beaucoup de similitudes, mais des éléments clés comme la présence de laves amygdalaires, de volcanoclastites transitionnelles avec des horizons de volcanites felsiques tholéitiques distinguent ces deux groupes. Il y est donc recommandé de conserver cette nomenclature.

Pour l'exploration des SMV, quatre zones d'altération hydrothermale typiquement volcanogène de plus de 6 km² sont identifiées, dont trois dans le groupe de Lac Arthur. Il s'agit de zones entourant les gisements de SMV de Barvue-Abcourt et Amos Mine, mais aussi deux zones aux extrémités du STAS où il y a que des indices de métaux de base de connus. Ces zones sont reliées à des dômes de rhyolites de type FII et FIII. L'autre secteur ciblé pour l'exploration des SMV est situé au NO du STAS, dans le groupe de lac Arthur, entre les plutons de Guyenne et de Berry. En résumé, il existe des systèmes hydrothermaux dans le STAS dont les envergures se comparent à ceux des grands camps miniers de l'Abitibi. Des zones de lessivage d'éléments alcalins ou à albite-épidote sont des indications que des systèmes hydrothermaux de haute température et acides d'envergure ont été actifs.

Plusieurs filons-couches de roches ultramafiques sont connus dans le STAS, dans lequel le gisement géant de Dumont Nickel est situé. La première dérivée verticale du champ magnétique total met clairement en évidence les

filons-couches différenciés de gabbro et pyroxénite. Des valeurs et des ratios d'éléments majeurs (Al₂O₃, TiO₂ et MgO) d'échantillons géochimiques ont permis de localiser des zones à cumulus d'olivine que l'on trouve à Dumont Nickel.

Pour l'exploration de l'or, un des premiers constats réalisé est que la majorité des failles NO-SE coulissantes dextres sont minéralisées en or. C'est le cas des gîtes au cœur du segment, et ceux le long des failles Macamic, Jolin et Bolduc en bordure du segment volcanique. Les failles NO-SE qui n'ont pas de minéralisation aurifère connue sont donc considérées a priori fertiles. Quatre secteurs d'intérêt sont proposés pour l'exploration aurifère dans le STAS. 1) Les structures NO-SE au cœur du segment associées à des contrastes rhéologiques dans les plutons; 2) le couloir de Chicobi sud; 3) le couloir de Landrienne; et 4) le couloir de Bolduc caractérisé par un ensemble de failles ductiles N-S injectées d'une multitude de dykes, et comportant au moins 3 intrusions importantes. Dans les plutons situés au cœur du segment, les failles aurifères orientées NO-SE sont des structures en extension et en cisaillement de type « crack and seal ». Elles sont interprétées comme s'étant développées dans une zone de relais entre deux couloirs ESE-ONO. Par contraste rhéologique avec les roches volcaniques, tous les plutons de cette région sont susceptibles d'avoir développé de telles structures, par exemple les plutons peu explorés de Trécesson et d'Amos. La présence de minéralisations volcanogènes autour de ces plutons pourrait aussi avoir contribué à l'enrichissement et la concentration subséquente dans des pièges structuraux.



Géologie de la mine Éléonore, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur, Québec

10h.00 : Arnaud Fontaine (Étudiant boursier Divex), INRS

Arnaud Fontaine (INRS – Eau Terre Environnement), Benoît Dubé (CGC-Québec), Michel Malo (INR – Eau Terre Environnement), Simon Jackson, Vicki McNicoll (CGC-Ottawa), Christine Beausoleil (Goldcorp) et Jean Goutier (MERN)

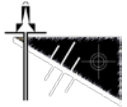
La mine Éléonore est la première mine d'or de classe mondiale du territoire d'Eeyou Istchee Baie-James. En production commerciale depuis avril 2015, la mine contient actuellement des réserves de 4,57 millions d'onces (23,44 Mt à 6,07 g/t d'or), des ressources mesurées et indiquées de 0,93 million d'onces (5,14 Mt à 5,66 g/t d'or) et des ressources inférées de 2,35 millions d'onces (9,73 Mt à 7,11 g/t d'or).

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

schistes à biotite et à actinolite (zone du Lac); iv) des zones de remplacement à phlogopite, à actinolite et à diopside (zone du Nord).

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

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



Utilisation des éléments volatils en exploration minérale: méthode d'analyse et exemples d'application.

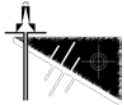
10h.40 : Dominique Genna, CONSOREM

L'évolution remarquable des techniques analytiques permet aujourd'hui de réaliser de façon routinière, et à des prix abordables, des analyses en éléments traces pour une grande partie du tableau périodique des éléments chimiques. Cependant, une proportion mineure des éléments communément analysés est utilisée en exploration minérale. Le potentiel d'utilisation des autres éléments demeure mal évalué. Dans l'optique d'optimiser l'utilisation des éléments traces en exploration minérale, deux approches ont été utilisées dans le cadre de ce projet : 1) la documentation des éléments traces d'intérêts en exploration minérale et 2) la documentation des méthodes de dissolution et d'analyse des éléments traces dans les laboratoires commerciaux. Un groupe d'éléments (Ge, As, Se, Cd, In, Sn, Sb, Te, Hg, Tl, Pb, Bi) identifiés comme « volatils » sont quasi-systématiquement détectés dans les halos d'altération de 4 types de gisements hydrothermaux compilés : porphyres, or orogénique, SMV et SEDEX.

Les éléments du groupe des « volatils » présentent généralement un point de fusion bas et leur utilisation nécessite des précautions particulières lors de la dissolution des échantillons pour éviter leur volatilisation (typique lors des processus de fusion). Il est donc recommandé d'utiliser une méthode d'analyse qui ne fait pas intervenir de dissolution (INAA – activation neutronique), ou une méthode de dissolution qui limite la volatilisation de ces éléments. De plus certains de ces éléments « volatils » (Sb et Tl par exemple) ont des comportements ambivalents. Ils peuvent se comporter à

la fois comme des chalcophiles et lithophiles (Tl) ou sidérophiles (Sb). Ce comportement leur permet d'être incorporés à la fois dans la structure des sulfures et celle de certains silicates (exemple du Tl : pyrite et séricite). Ce comportement ouvre des perspectives particulièrement intéressantes pour l'utilisation des « volatils » en exploration (reconnaissance des halos d'altération associés à des minéralisations économiques, dispersion dans l'environnement secondaire, etc.), mais implique une méthode de dissolution adéquate pour quantifier les éléments présents dans la structure des sulfures et des silicates.

L'exemple des amas de SMV de la ceinture de Flin Flon (Saskatchewan-Manitoba) sera présenté en détail. La Commission Géologique du Canada offre une banque de données de plus de 150 analyses de sulfures massifs provenant de 40 zones minéralisées comprenant des anciennes mines, des indices et des amas complètement stériles. Soixante éléments sont analysés par fusion Li-tétraborate et ICP-AES pour les majeurs, dissolution 4 acides et ICP-MS pour les mineurs et traces et INAA pour As, Au, Hg et Se. Nous proposons qu'il soit possible, en utilisant les éléments volatils Sb-Tl-Se, de discriminer des intersections de pyrite/pyrrhotite massive associées à des minéralisations économiques (Cu-Zn) ou simplement faisant partie d'un amas complètement stérile. Sb-Tl et Se ont des comportements physico-chimiques (solubilité, transport, etc.) similaires aux métaux économiques (Zn et Cu, respectivement), mais semblent plus mobiles dans les fluides hydrothermaux et sont susceptibles d'être fixés dans les sulfures stériles (en particulier la pyrite).



Contexte géologique du projet Amaruq, Nunavut : apports d'outils sur mesure dans la caractérisation d'un gisement

11h.00: Marjorie Simard, Agnico Eagle

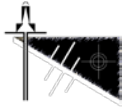
Marjorie Simard, Olivier Côté-Mantha et Patrice Barbe, Mines Agnico Eagle Division Exploration

Le projet aurifère Amaruq (4,2 Moz @ 4,6 g/t Au) est localisé dans la région du Kivalliq au Nunavut, à 50 km de la mine Meadowbank d'Agnico Eagle. Le projet est encaissé par les roches archéennes du Groupe de Woodburn Lake (ca. 2.71 Ga) appartenant au domaine de Rae de la Province géologique du Churchill. Ces roches sont polydéformées et métamorphisées au faciès des schistes verts supérieur. Les dépôts minéralisés formant le projet Amaruq sont encaissés au sein d'une séquence de roches orientées NE-SW comprenant une alternance de roches mafiques-ultramafiques, de grauwackes, de cherts, de mudstones graphitiques riches en fer et de formations de fer au faciès silicaté.

Deux principaux dépôts ont été identifiés au sein de la propriété Amaruq soient: le dépôt Whale Tail et le dépôt I-V-R. Deux styles de minéralisation de nature contrastante sont observés sur le projet Amaruq soient : (1) disséminations de pyrrhotite-arsénopyrite ± pyrite-or libre d'apparence stratoïde et, (2) veines de quartz ± carbonates ± sulfures ± or libre. Le dépôt Whale Tail montre une géométrie ondulante, mais dominée par un pendage subvertical vers l'est. Ce dépôt est principalement caractérisé par les minéralisations de type sulfures disséminées encaissées dans des formations de fer au faciès silicaté et/ou sulfuré et dans des horizons de cherts. La minéralisation dans les horizons de chert est spatialement associée à une forte silicification pénétrative (« silica flooding ») oblitérant les textures primaires. Les veines de quartz ± carbonates sont également observées à Whale Tail et sont

présentement interprétées comme étant discordantes par rapport à la minéralisation de type stratoïde. Le dépôt I-V-R est interprété comme étant localisé dans une zone de charnière de pli et démontre un fort contrôle structural. Celui-ci est davantage caractérisé par la présence de veines de quartz ± carbonates à pendage faible vers le sud-est et de nature discordante qui sont localisées au sein de corridors de roches fortement déformées et associées à une altération potassique à biotite et/ou séricite.

Différents outils et techniques ont été développés par l'équipe d'exploration d'Amaruq afin d'optimiser l'intégration des interprétations géologiques en cours de campagne de forage. En effet, étant donné la rapidité à laquelle les campagnes de forage évoluent, il a été primordial depuis le début du projet d'établir et de maintenir de bonnes pratiques au niveau de la description des carottes de forage incluant une légende géologique adaptée, des fiches d'identification claires, l'utilisation d'un analyseur XRF portable pour aider à l'identification des unités géologiques ainsi que la prise de photographies de qualité de la totalité des carottes de forage. Les interprétations géologiques faites à l'aide des données résultant de l'utilisation de ces outils sur mesure ont été intégrées au logiciel Leapfrog GeoTM. Ceci a permis de créer un modèle 3D implicite évoluant en temps réel afin que l'équipe puisse l'utiliser à diverses fins, dont l'identification de cibles de forage en 3D, et les ré-estimations des ressources.



Guides d'exploration régionale pour les porphyres à Cu (Au, Mo) en Gaspésie

11h20 : Silvain Rafini, CONSOREM

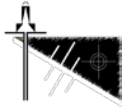
Le potentiel pour des gîtes majeurs d'affinité porphyrique est connu en Gaspésie depuis plusieurs décennies, suite à la découverte des gîtes de rang mondial à Murdochville. Ceci a motivé plusieurs décennies d'efforts d'exploration, relativement vains, au demeurant... Le mandat du présent projet était donc de réévaluer ce potentiel, revisiter les données et les concepts d'exploration et développer de nouvelles approches pour l'exploration régionale de ces gîtes.

Les intrusions documentées en Gaspésie sont essentiellement dévoniennes, autrement dit syn- à tardi-orogénèse acadienne, laquelle se manifeste par une transpression NO-SE (ré)activant de grands systèmes décrochant profonds OSO-ENE à ESE-ONO. Ces intrusions forment de petits plutons perçant ponctuellement à travers la couverture sédimentaire siluro-dévonienne de Gaspé à la faveur de ces grands accidents verticaux, et se trouvent en plus grande concentration dans le centre-nord de la Péninsule où ils forment le « triangle igné », secteur essentiellement composé de roches plutoniques et volcaniques. Bien qu'encore énigmatique et controversé, le contexte géodynamique acadien est vraisemblablement de type collisionnel, post-subduction, avec épaissement crustal, autrement dit un contexte propice aux gîtes hydrothermaux magmatiques davantage aurifères que purement cuprifères (magmas issus de la fusion d'une croûte inférieure préalablement métasomatisée par la subduction), ce qui est parfaitement corroboré par l'assemblage rencontré à Mines Gaspé : Cu-Au-Mo. Il apparaît donc en premier lieu que les régions favorables sont concentrées le long des quelques grandes failles acadiennes dextres, lesquelles sont bien connues, ainsi que dans le triangle igné, au centre. Le long des failles, des contrôles plus locaux sont reliés à des relais en tension ou des inflexions de la trace de la faille, comme le spectaculaire relais du système de Mines Gaspé, propice à

la formation de drains verticaux conduisant l'ascension magmatique (possiblement pulsée par le glissement périodique de la faille).

Par ailleurs, une portion importante du Nouveau-Brunswick (NB) est couverte par une ceinture plutonique affleurante, essentiellement dévonienne, constituant un métallotecte magmatique hydrothermal très bien documenté. Il est proposé que cet « arc acadien » se prolonge au NE, sous le centre de la Gaspésie, où il forme d'importantes masses plutoniques enfouies sous les sédiments de Gaspé, affleurant localement pour former le triangle igné et produisant les dykes et plutons observés le long des failles. Les arguments sont essentiellement le synchronisme et l'analogie des affinités géochimiques avec les intrusions gaspésiennes, ainsi que la présence au centre de la Gaspésie d'une très large anomalie magnétique positive, de grande longueur d'onde, transversale au grain structural et étendue dans l'axe de l'arc acadien du NB. Sur la base de la continuité de ce métallotecte, un nouveau regard est porté sur la métallogénie magmatique gaspésienne et plusieurs guides d'exploration très novateurs peuvent être utilisés, exportés de la métallogénie magmatique très bien documentée au NB :

1. On distingue au NB deux types de gîtes aurifères magmatiques : le type porphyrique classique avec les skarns associés (gîtes Nicholas-Denys, Connel Mount., Déboullie, etc.) et le type « Reduced Intrusion-Related Gold Systems » (RIRGS : Clearance Stream, Poplar Mount.). Ce dernier type, qui n'a jamais été exploré en Gaspésie, présente des caractéristiques très distinctes du premier avec notamment un assemblage Au-As-Sb, une disposition en veines massives avec altérations restreintes, distales vis-à-vis de l'intrusion, et un magma réduit (par contamination supracrustale ?) typiquement de la série ilménite +/- magnétite. Ceci fait écho avec plusieurs minéralisations Au-Sb-As décrites en Gaspésie (i.e., gîte Castor), mais non



reconnues comme RIRGS, la description formelle et rigoureuse de ce modèle génétique par les auteurs étant relativement récente. Plusieurs minéralisations décrites comme épithermaux aurifères pourraient s'avérer appartenir à cette catégorie. Un dernier type est constitué des Greisens à Sn (Mount Pleasant), typiquement lié à des magmas plus réduits encore, et plus tardifs (post-acadiens).

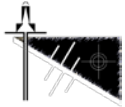
2. Afin d'investiguer l'existence de signatures géochimiques discriminantes permettant de juger de la fertilité des intrusions gaspésiennes pour ces différents types de gîtes, les spectres REE-HFSE des intrusions associées aux gîtes et indices connus, au NB et en Gaspésie, ont été analysés. Il s'avère que les signatures spectrales forment trois groupes très homogènes et très discriminants pour les trois types de gîtes magmatiques décrits ci-dessus (porphyres, RIRGS et Greisens à Sn). Ces signatures ont donc été recherchées en Gaspésie et plusieurs cibles géochimiques ont pu être identifiées pour les porphyres et les RIRGS. En revanche, sensiblement aucune intrusion gaspésienne ne semble montrer de signature analogue aux Greisens à Sn du NB, les magmas n'étant vraisemblablement pas assez réduits.

Cette application en Gaspésie de proxys géochimiques exportés du NB semble montrer des différences significatives entre les intrusions du triangle igné (centre-nord), et celles encaissées le long des failles décrochantes acadiennes (faille Grand Pabos) : le centre-nord montre essentiellement des intrusions à potentiel de gîte porphyrique tandis que, au sud, la faille Grand Pabos et ses environs contiennent des intrusions des deux types avec dominance des intrusions à RIRGS, notamment à son extrémité orientale où, par ailleurs, des indices Au-As ont été rapportés à proximité d'intrusions intermédiaires réduites ($Fe_2O_3/FeO < 0,4$). Par ailleurs, des cibles géochimiques pour des intrusions à fort potentiel de gîte porphyrique ont été détectées par leur rapport Sr/Y (Rohrlack et Louck, 2005) et suivant un indice empirique établi lors du projet 2011-07.

Parallèlement, une compilation régionale récente de plusieurs levés magnétiques haute-résolution effectuée par la CGC a permis la détection systématique de plutons à potentiel de gîte porphyrique. Par analogie avec les signatures des plutons portant les gîtes Sullipek, Mines Gaspé et Mid-Patapedia, il est établi que la signature mag recherchée est une anomalie positive de faible longueur d'onde, ponctuelle, patatoïde, spatialement restreinte (diamètre env. 1 km), recoupant le grain structural et contrastant fortement avec les sédiments encaissants. Ces signatures sont très efficacement rehaussées par la dérivée horizontale en augmentant la charte de couleurs sur les très hautes valeurs. Plusieurs cibles ont été détectées par cette approche, en prenant soin d'éviter les anomalies anthropiques (usines) donnant des signatures très semblables à celles recherchées.

Pour finir, la région est intégralement couverte de levés de sédiments de fond de ruisseaux, constituant une base de données de plus de 120 000 échantillons collectés sur plusieurs décennies. Nous bénéficions ici des traitements approfondis effectués lors d'un projet antérieur (2009-02) : tri par protocoles, analyse du bruit de fond, nivellement des levés, rehaussement des anomalies. Ce projet avait déterminé statistiquement plusieurs indices d'exploration, dont l'usage n'avait pas été généralisé. Plusieurs bassins versants anomaux sont donc identifiés par des assemblages spécifiques d'anomalies suggérant la présence de minéralisations porphyriques, skarns ou RIRGS.

Plusieurs approches novatrices ont été décrites dans cette étude. Le recoupement des anomalies d'environnement secondaire avec les cibles géochimiques et les intrusions détectées au mag haute-résolution conduit à la proposition de plusieurs secteurs à haut potentiel métallogénique.



Stratégie d'échantillonnage des mesures LIBS in situ de la teneur en or dans des échantillons miniers – optimisation par analyse statistique

11h40 : Blandine Nguegang Kamwa (Étudiante boursière Divex), Université Laval

B. Nguegang Kamwa (Université Laval), Marcel Laflamme (UL), Marc Constantin (UL), Kheireddine Rifai (CNRC-UL), Maryline Castello (UL), Mohamad Sabsabi (CNRC), Alain Blouin (CNRS), Paul Bouchard (CNRC), François Vidal (INRS), Konstantinos Fytas (UL)

Le Québec possède le plus grand nombre de mines métallifères au Canada, bien qu'en valeur minière, il est le deuxième (AMC, 2015). En fait, sur ses 26 mines métallifères, le Québec compte 18 mines d'or qui produisent pour environ 1.8 milliard de dollars d'or annuellement. Au Canada, et plus précisément dans la province de Québec, l'industrie minière fait face à d'importants défis tels que : des gisements exploités ou dans le processus de découverte ayant des teneurs de plus en plus basses, des minéralisations de plus en plus complexes couplées à des niveaux d'impuretés de plus en plus élevés, en plus des pressions justifiées pour continuer d'améliorer ses performances environnementales (Sillitoe, 2010). Tous ces défis tendent à augmenter les coûts d'exploration et de production. Afin de faire face à ces défis et de poursuivre ses activités, l'industrie minière au Québec investit dans de nouvelles technologies capables de répondre à ces besoins. L'une de ces technologies permettrait de mesurer, en temps réel, la teneur du minerai lors des étapes d'exploration et de production.

Pour les métaux de base, tels que le cuivre, le plomb et le zinc, une telle approche est déjà possible par l'utilisation de la fluorescence à rayons X (XRF) (Figuroa-Cisterna et al., 2011). Toutefois, l'utilisation de cette méthode d'analyse pour le minerai d'or est inadéquate en raison de la limite de détection de l'or de l'ordre de 50 ppm. En effet, la teneur en or dans les mines est généralement 50 à 100 fois plus basse. C'est donc dans cette optique d'innovation que

l'Université Laval en collaboration avec le CNRC, l'INRS et quatre compagnies minières (Agnico- Eagle, Hecla Québec, lamgold et Canadian Malartic) a lancé le projet « Développement d'une méthode de mesure de l'or par spectrométrie laser plasma (LIBS) », lequel est supporté financièrement par le programme Développement durable du secteur minier du FRQNT, par Mitacs et par les partenaires miniers du projet.

Le LIBS est une technique analytique non destructive qui permet d'obtenir la concentration des éléments en temps réel et in situ. Les données LIBS d'un échantillon analysé se présentent sous la forme d'une matrice de taille $m \times n$, où m représente le nombre de lignes et " n " le nombre de colonnes. Actuellement, afin d'être représentatif de la surface de l'échantillon analysé, il est nécessaire de réaliser une multitude de points, ce qui a pour conséquence un temps d'analyse de plusieurs minutes. Afin d'obtenir la teneur en or d'un échantillon le plus rapidement possible, il devient donc impératif d'optimiser le nombre de points à réaliser sur la surface rocheuse à analyser.

Pour arriver à résoudre cette problématique, huit (8) motifs d'échantillonnage différents ont été élaborés et appliqués aux données LIBS obtenues sur les différents échantillons analysés. Une statistique descriptive a été réalisée sur ces derniers en vue d'obtenir la teneur en or des échantillons, tout en gardant un intervalle de confiance de 95% sur la teneur obtenue.



Minéralisations hydrothermales Au – W associées à des dykes de syénite : le projet Dolodau – secteur de Chapais, Abitibi.

13h30: Damien Gaboury, LAMEQ, UQAC

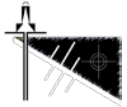
Damien Gaboury, Christina Thouvenot, Gabrielle Varieras, Yann Bureau et Frank Guillemette

Les minéralisations aurifères associées aux syénites ont fait l'objet de travaux de recherche récents en Abitibi (Jébrak et collaborateurs). L'hypothèse avancée est que l'or et les fluides minéralisateurs trouvent leur source des intrusions alcalines. Un des éléments clé à cette démonstration est la composition en métaux traces des minéralisations qui devrait différer de celle des gisements orogéniques plus classiques. De plus, les fluides hydrothermaux devraient être différents en termes de volatils. Le projet Dolodau, détenu par Multi-Ressources Boréal, est un laboratoire naturel tout désigné, car la minéralisation aurifère est associée à un essaim de dykes syénitiques avec des teneurs Au et W et des dykes de carbonatite. Les travaux de décapage de 2016 ont fourni des expositions spectaculaires qui ont permis une cartographie détaillée et un échantillonnage des minéralisations, le tout financé en partie par MITACS. Les dykes syénitiques sont orientés E-W, subverticaux et sont pyritisés, altérés en séricite, chlorite et carbonates. Ces dykes sont recoupés et recourent des cisaillements ductiles fragiles subverticaux, orientés NNW-SSE. Il y a donc un synchronisme entre l'injection des dykes et la déformation orthogonale. La zone principale correspond à un corridor de déformation de <2 m à mouvement dextre avec une veine de quartz cherteuse qui renferme les plus hautes valeurs Au (30 g/t) et W (15% WO₃). Les encaissants correspondent à des roches volcaniques mafiques et des gabbros. Les analyses au LA-ICP-MS ont été effectuées sur les pyrites de 10 lames minces des dykes (n=77) et sur 7 lames minces des encaissants (n=51). La signature géochimique des pyrites dans les dykes et les encaissants est caractérisée par un enrichissement relatif d'éléments granophiles : Se, Sn, Te et Hg. Les profils des valeurs médianes pour les métaux des

dykes et des encaissants sont très similaires, outre un appauvrissement systématique pour les encaissants, impliquant une même origine pour les pyrites des dykes et des encaissants. Pour tester l'origine de l'or, des corrélations avec les métaux diagnostiques d'une origine magmatique (Sn, Te, Ag, Sb, W, Bi, Mo, Hg) et métamorphique (As, Ni, Co) ont été réalisées. Les meilleures corrélations des métaux granophiles sont : Sb (R² = 0,51), Te (R² = 0,51), Ag (R² = 0,45), Sn (R² = 0,41), W (R² = 0,30), Bi (R² = 0,16) et Mo (R² = 0,07). Il existe donc des corrélations significatives entre Au et Sb, Ag, Te, Sn ± Bi qui supportent une origine magmatique de l'or. Par contre, les métaux considérés comme diagnostiques des minéralisations orogéniques : As (R² = 0,49), Ni (R² = 0,47) et Co (R² = 0,39) possèdent également des corrélations significatives. Les inclusions fluides sont distribuées en trainées qui recourent les veines. L'étude des volatils qui composent les inclusions fluides (n=17) révèle la présence de CO₂, N₂, C₂H₆ et en faible proportion de H₂O. La présence de C₂H₆ est typique d'une contribution de fluides métamorphiques où l'or trouve sa source de shales graphiteux pyriteux. Les résultats démontrent donc une double origine des fluides et de l'or pour Dolodau : magmatique et métamorphique. Cette double origine est également documentée pour le projet Boyvinet (SOQUEM) dans un contexte similaire. Il semble donc que les syénites fournissent un bagage métallique magmatique, mais que la surimpression par des fluides métamorphiques est importante pour enrichir en or les minéralisations.

Damien Gaboury, Christina Thouvenot, Gabriel Varieras, Yan Bureau : UQAC - LAMEQ

Frank Guillemet – Multi-Ressources Boréal Inc.



Le rôle du géologue au cœur d'une étude de faisabilité

13h50 : Guilhem Servelle, InnovExplo

Guilhem Servelle, Carl Pelletier et Alain Carrier (InnovExplo)

L'étude de faisabilité constitue le stade d'étude ultime pour le démarrage d'un projet minier. Théoriquement garante de la réalisation technique et de la viabilité économique du projet, l'étude de faisabilité se doit d'avoir révisé l'ensemble des paramètres clés de la façon la plus exhaustive que possible avant le lancement d'une opération.

L'établissement des réserves, la (ou les) méthode d'exploitation, la métallurgie avancée incluant le design final de l'usine, le traitement des eaux, l'impact sur la communauté ainsi que l'incidence du projet sur l'environnement sont autant de volets, entre autres, qui sont développés dans cette étude. Dans sa globalité, l'étude de faisabilité vient compiler et documenter les avis techniques raisonnables de l'ensemble des disciplines qui seront impliquées dans la future exploitation. Ces mêmes avis techniques se doivent d'être conformes aux normes en vigueur et se doivent de suivre les meilleures pratiques de l'industrie.

Les études précédant une étude de faisabilité (Étude Économique Préliminaire et Préfaisabilité) sont généralement accompagnées d'une intensification des travaux géologiques qui vise à réduire du mieux possible les incertitudes liées à l'estimation de la ressource minérale ou encore à la récupération par des travaux divers : forage de conversion, échantillonnage en vrac, décapages, rampe d'exploration, etc. Ainsi, théoriquement, les aspects géologiques ne constituent plus le nerf de la guerre pour un projet qui arrive au stade de la faisabilité.

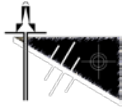
Le modèle géologique d'un projet minier se doit d'être le plus robuste que possible, et ce, depuis l'exploration jusqu'à la mise en opération. Nous ne reviendrons pas ici sur l'importance de prendre en considération le maximum

d'éléments géologiques (d'altérations, de minéralisations, structuraux ...) en vue de l'établissement du modèle, ni de l'efficacité à porter sur la qualité de la prise de données et de leur gestion et ni sur la façon d'estimer adéquatement les ressources minérales.

Le rôle du géologue doit rester prépondérant au sein d'une étude de faisabilité. Au-delà de la ressource minérale, support des réserves, le géologue se doit de venir apporter son soutien en s'impliquant étroitement avec les autres disciplines. Son apport peut passer par de simples avis et recommandations jusqu'à la création de modèles litho-structuraux et géo-métallurgiques afin d'interagir avec l'élaboration de la séquence minière.

Le rôle du géologue doit être défini le plus tôt possible, dès l'initiation de l'étude, et rencontrer l'ensemble des autres acteurs. Ainsi, certains avis et recommandation de bases telles que la présence d'une faille qui recoupe le cœur du dépôt ou l'identification d'une variabilité dans le contenu et le type de la minéralisation peuvent permettre d'améliorer significativement la direction à prendre dans le déroulement de l'étude. S'il est avéré que la création d'un modèle litho-structural est pertinente, sa réalisation peut s'échelonner sur plusieurs mois et il conviendra donc de l'initier le plus tôt possible.

Bien qu'étude de faisabilité soit synonyme de stade avancé, le géologue se doit de commencer par aller « explorer » ou « ré-explore » les données de bases. À titre d'exemple, si les descriptions de sondages mentionnent l'existence d'un secteur très fortement altéré en silice ou d'un secteur de la ressource enrichie en arsénopyrite finement disséminée, ces informations sont susceptibles d'intéresser le métallurgiste. Si ce dernier fait l'un ou l'autre (ou les deux !!) de ces points comme un fait matériel, le géologue



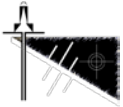
pourra être amené à compiler cette information, la modéliser et l'associer au modèle de blocs de l'estimation de la ressource. Il en va de même pour de l'information de surface telle que de la cartographie de décapage de la zone minéralisée. Si l'allure des zones minéralisées bâties suivant l'information en forage présente une dichotomie avec la cartographie, au-delà d'avoir un impact sur l'estimation des ressources, cette information peut être présentée à l'ingénieur minier en charge de l'établissement des réserves. Toute indication sur les possibilités d'amincissement/épaississement local va l'aider à optimiser les dimensions de développements, de chantiers ainsi que les méthodes d'exploitation.

Le géologue peut être amené à devoir répondre à certaines questions sur les volumes de roche extérieurs aux zones minéralisées. Ainsi, la personne en charge du volet de la gestion des résidus miniers peut demander à connaître la répartition de la quantité en sulfure dans le futur minerai et dans la roche encaissante. Là également, un modèle de quantité de sulfure associé au modèle de blocs de ressources peut s'avérer pertinent quant à la gestion du matériel générateur acide.

Le rôle du géologue passe également par une projection dans les besoins de la future opération. Parent pauvre lors

de l'établissement des futurs besoins en personnel et en travaux additionnels, le géologue se doit d'insister sur les besoins humains et, dans le cadre d'une opération souterraine, en forage de définition adéquate. Ainsi, le besoin en forage de définition, intrinsèquement lié à la géologie du dépôt, reste trop souvent sous-estimé dans les cas de gîte à métaux précieux filoniens voir absent dans le cas de sulfures massifs.

Interaction pluridisciplinaire, investigation depuis la donnée de base jusqu'à l'élaboration d'un modèle numérique, projection dans le déroulement de la future opération, autant de points qui font du géologue un acteur à part entière de la réalisation d'une étude de faisabilité.



Le potentiel en minéralisations de type Sulfures Massifs Volcanogènes (SMV) de la région de Chibougamau-Chapais, Sous-province géologique de l'Abitibi (Québec, Canada).

14h10 : Rémi Claret / Université du Québec à Chicoutimi, Damien Gaboury (UQAC) et François Leclerc (MERN)

Mots clefs : Chibougamau-Chapais, SMV, Minéralisations, Cartographies, Stratigraphie, LA-ICP-MS

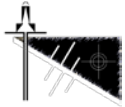
Le district de Chibougamau-Chapais fut l'un des principaux camps producteurs de Cu et Au en Amérique du Nord pendant la seconde moitié du XX^e siècle. Ces métaux ont été exploités à partir de veines typiques du district, et seulement deux gisements de sulfures massifs volcanogènes (SMV) y sont connus : l'ancienne mine Lemoine et le gisement Lac Scott. Ce projet de maîtrise vise à démontrer l'existence d'un potentiel sous-estimé en gîtes de SMV à travers plusieurs décapages récents minéralisés. Un total de quatre secteurs répartis autour de Chibougamau, et regroupant chacun une dizaine de décapages, ont été cartographiés. Ces secteurs sont : 1) le Lac Taché-Km 25, 2) l'indice David, 3) Saw Mill et 4) Indian Lake. La maîtrise répond à trois objectifs que sont : la démonstration que les indices sont volcanogènes, leur positionnement dans la stratigraphie régionale et la caractérisation de la fertilité des systèmes hydrothermaux. Les outils utilisés à cet effet sont la cartographie de détail des décapages, l'analyse lithogéochimique des roches hôtes et les éléments traces des pyrites quantifiés par LA-ICP-MS.

Pour tous les indices visités, l'affinité volcanogène a été démontrée, grâce aux principaux arguments suivants : 1) des lentilles de sulfures semi-massifs à massifs concordantes, 2) des couloirs discordants enrichis en chlorite noire, silice et sulfures (pyrite et chalcoprite notamment), 3) un environnement volcanique sous-marin montrant des périodes propices au développement de SMV, et finalement, 4) des phénomènes syn-volcaniques (failles, dykes) recoupant les lentilles sulfurées.

La combinaison des assemblages volcanosédimentaires locaux et la géochimie des roches hôtes ont permis de

définir l'emplacement des zones étudiées dans l'empilement volcanique régional. Ainsi, l'indice David et le secteur Lac Taché-Km25 appartiendraient au même intervalle est-ouest correspondant à une interface entre les Membres de David et d'Allard. Il s'agit d'un horizon particulièrement prospectif, car il contient les deux indices mentionnés ci-dessus, ainsi que de nombreuses occurrences de formation de fer et d'exhalites, et possède des signatures géochimiques semblables aux roches environnantes le gisement du Lac Scott. 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 de Saw Mill. La succession de roches, selon la polarité Ouest, enchaîne des rhyodacites lobées, une lentille sulfurée métrique et des turbidites. Cet assemblage a déjà été identifié au nord du Lac Chibougamau comme le sommet du Membre d'Allard, soit la toute fin du second cycle volcanique de cette région. L'affinité géochimique des roches d'Indian Lake corrobore cette hypothèse. Le secteur Saw Mill - Indian Lake expose donc toute la séquence terminale de la Formation de Waconichi, démontrant également que le Membre d'Allard se positionne au sommet du reste de cette formation. Cela montre qu'il existe des minéralisations volcanogènes dans des intervalles situés au-dessus du gisement Lac Scott dans l'empilement volcanique admis. En plus de démontrer un certain télescopage de SMV au sommet du second cycle volcanique, ces deux secteurs permettent de dégager des guides d'exploration pour la région de Chibougamau-Chapais.

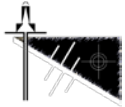
La signature en éléments traces des pyrites a été étudiée en analogie avec des travaux réalisés à Matagami. Les résultats



montrent que la méthodologie par LA-ICP-MS employée à Matagami semble également valide à Chibougamau. Les ratios Se/Tl vs As démontrent en outre que les fluides hydrothermaux à l'origine des minéralisations dans les secteurs cartographiés ont atteint des températures nécessaires à la concentration de minéraux économiques.

Les différentes études réalisées dans ce projet permettent d'affirmer que le district de Chibougamau-Chapais a un potentiel important en minéralisations volcanogènes. Les

interprétations, notamment stratigraphiques, et des données LA-ICP-MS, révèlent que ce district est le théâtre d'une activité hydrothermale puissante qui n'est pas limitée aux seuls épisodes minéralisateurs à l'origine des gisements Lac Scott et Mine Lemoine.

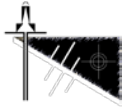


Quantifier l'altération dans un VMS métamorphisé au grade des amphibolites, l'exemple du dépôt de Coulon.

14h30 : Lucie Mathieu, CONSOREM

Le dépôt de Coulon est un sulfure massif volcanogène (SMV) situé à la Baie James, Craton du Supérieur, Québec, qui a été métamorphisé dans les conditions du faciès des amphibolites. La chimie et la minéralogie de la partie du halo d'altération de ce SMV située à proximité des lentilles minéralisées sont étudiées à partir d'échantillons collectés sur le terrain et de 5583 analyses chimiques appartenant à Osisko Inc. L'altération est quantifiée avec des calculs normatifs et de bilans de masse, et la performance et la pertinence de ces méthodes dans un contexte d'exploration sont étudiées. Dans les systèmes de SMV, les roches altérées proximales aux zones minéralisées sont caractérisées par un métasomatisme multiélément qui peut être quantifié précisément par des méthodes de type bilans de masse, qui ont été appliquées avec succès dans la zone étudiée. Cependant, les calculs de bilans de masse nécessitent la documentation d'un précurseur, ce qui n'est pas toujours possible dans un contexte d'exploration ; et c'est pourquoi une méthode alternative (c.-à-d. indices d'altération) a également été testée. Dans la plupart des systèmes SMV, l'altération proximale est caractérisée par chlorite

(chloritisation), muscovite (sericitisation), et quartz (silicification) tandis que, pour le dépôt de Coulon, les roches altérées contiennent principalement cordiérite, biotite, sillimanite, et quartz. Les indices d'altération ont été calculés à partir de minéraux observés et normatifs, et procurent des résultats satisfaisants similaires à ceux obtenus avec les calculs de bilans de masse. À partir de ces résultats, des recommandations sont formulées qui permettront d'estimer l'intensité de l'altération dans la carothèque à partir des proportions des minéraux observés. Les indices d'altération sont sensibles à la composition des précurseurs et, à cause du métamorphisme de haut grade, la chloritisation et la séricitisation ne peuvent pas être précisément quantifiées. Reconnaître ces limites est essentiel à une quantification correcte de l'altération dans des zones métamorphisées dans des conditions de haut-grade. [Résumé repris de : Mathieu, L., Bouchard, R. A., Pearson, V., & Daigneault, R. (2016). The Coulon deposit: quantifying alteration in volcanogenic massive sulphide systems modified by amphibolite-facies metamorphism. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 53(12), 1443-1457.]



Perspectives hydrogéochimiques pour l'exploration minérale : les eaux de surface

14h50 : Silvain Rafini / CONSOREM

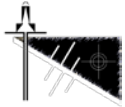
Dans l'environnement, les métaux se dispersent naturellement à partir des gisements métalliques. La détection de ces empreintes géochimiques, diluées, mais très étendues, constitue un vecteur de premier ordre pour l'exploration des corps métalliques qui en sont la source. De fait, depuis les années 1970, les analyses de concentrations métalliques dans les sols, les sédiments glaciaires, les sédiments de ruisseaux et de fond de lacs, ont constitué un outil d'exploration privilégié par les géologues du Québec, et ont largement contribué aux découvertes. La détection de telles empreintes dans les eaux souterraines a été envisagée dans les années 1970, mais son développement drastiquement retardée par les moyens analytiques limités de l'époque. Avec la généralisation des techniques ICP-MS et ICP-MS Haute-Résolution, cette méthode connaît un important essor dans plusieurs régions métallifères (Australie, Alaska, Espagne) où de telles empreintes ont été reconnues et analysées, confirmant ainsi l'utilité des levés hydrogéochimiques à des fins d'exploration.

Les dépôts affleurants ont été largement explorés, les efforts sont tournés vers le potentiel plus en profondeur, ce qui requiert le développement d'outils novateurs adaptés. Dans le contexte du Bouclier canadien, couvert en grande partie par les sédiments glaciaires, la méthode visée revêt un intérêt particulier : elle fournit un échantillonnage direct des niveaux inférieurs profonds, et la nature du couvert glaciaire ne restreint pas, a priori, son efficacité.

La revue littéraire révèle un certain nombre d'études expérimentales réalisées durant les deux dernières décennies dans le but d'évaluer la méthode dans une variété de contextes métallogénique, géologique, climatique et hydrogéologique. Dans la plupart des cas, l'hydrogéochimie détecte efficacement l'empreinte des corps minéralisés, confirmant le potentiel de la méthode pour l'exploration locale. Toutefois, la nature de cette

empreinte, les différents contrôles qu'elle subit, ainsi que les performances globales de la méthode, varient fortement d'un contexte à l'autre. Il apparaît en particulier qu'une bonne connaissance des conditions hydrogéologiques du site est vitale pour une interprétation valable des résultats. Le contexte de couverture glaciaire n'étant pas documenté, le présent projet se fixait pour mandat de fournir une évaluation préliminaire de la méthode au Québec. Il s'agissait : 1) de vérifier l'existence d'une empreinte géochimique dans l'eau au contact d'un sulfure massif (SM); 2) à différentes profondeurs sous la couverture glaciaire; et 3) en s'éloignant du corps. À ces objectifs premiers s'ajoutent des tests de protocoles d'échantillonnage visant à établir la méthodologie optimale.

Un levé de 30 échantillons d'eau souterraine a donc été réalisé en août 2016 sur le gîte Phelps Dodge 1 (camp de Matagami, Abitibi), grâce à une collaboration entre l'UQAC, le CONSOREM, et GLENCORE. Ce levé a démontré qu'un SM zincifère enfouit à plus de 300 mètres de profondeur incluant une épaisse couverture glaciaire produit un halo métallique détectable dans l'aquifère de socle à des distances de plusieurs centaines de mètres du dépôt. Ce halo présente un enrichissement en Zn ainsi qu'en plusieurs éléments intermédiaires et traces mobiles dans le milieu aqueux. L'empreinte de subsurface est multi-élément : Zn, Fe, Sb, Sn, Se, Be, Ag, V, Cu, Pb, Ni, Co, SO₄²⁻. Elle se fractionne en profondeur pour devenir Zn, Fe, (Sb). Le fractionnement latéral, c'est-à-dire sur le chemin de dispersion du halo, reflète la mobilité relative des traceurs et leur facteur d'enrichissement : l'empreinte proximale, à environ 100 m du SM, est Zn, Fe, Sb, Be, (Sn, SO₄²⁻), l'empreinte distale, environ 500 m, est Zn, Fe, (Sn). Plusieurs forages réputés négatifs, car ayant raté le SM de quelques dizaines de mètres, et sans « senteur ou signal » à l'analyse de la carotte, contiennent une eau très nettement modifiée par le SM proximal : l'analyse de l'eau dans ces



forages aurait donc permis aux géologues de suspecter la présence d'un corps métallique proximal et de vectoriser. Par ailleurs, plusieurs éléments de cette empreinte sont corrélés avec le temps de résidence de l'eau dans le socle. Une correction est donc requise pour rehausser les anomalies profondes, par normalisation sur un élément conservateur (i.e., dont la mobilité est peu affectée par les conditions Eh-pH et les éléments majeurs) et non enrichi au contact du SM. Le Ti apparaît comme le meilleur candidat, toutefois ce ratio doit être confirmé sur un plus grand nombre d'échantillons; le ratio par Cl proposé dans la littérature s'avère inapproprié.

L'étude hydrogéologique permet ici de raffiner l'interprétation du levé. La mesure des niveaux statiques permet d'établir l'amont et l'aval hydraulique, et donc le chemin de dispersion. L'analyse des majeurs révèle une eau calcique très peu saline, impliquant une forte interconnexion avec l'eau contenue dans le till carbonaté sus-jacent, confirmée par le comportement physique de l'aquifère: répartition des charges hydrauliques, absence de rabattements au pompage. Par ailleurs, on observe une dilution par les eaux météoriques au moyen d'une rampe d'accès avortée dans les années 80'.

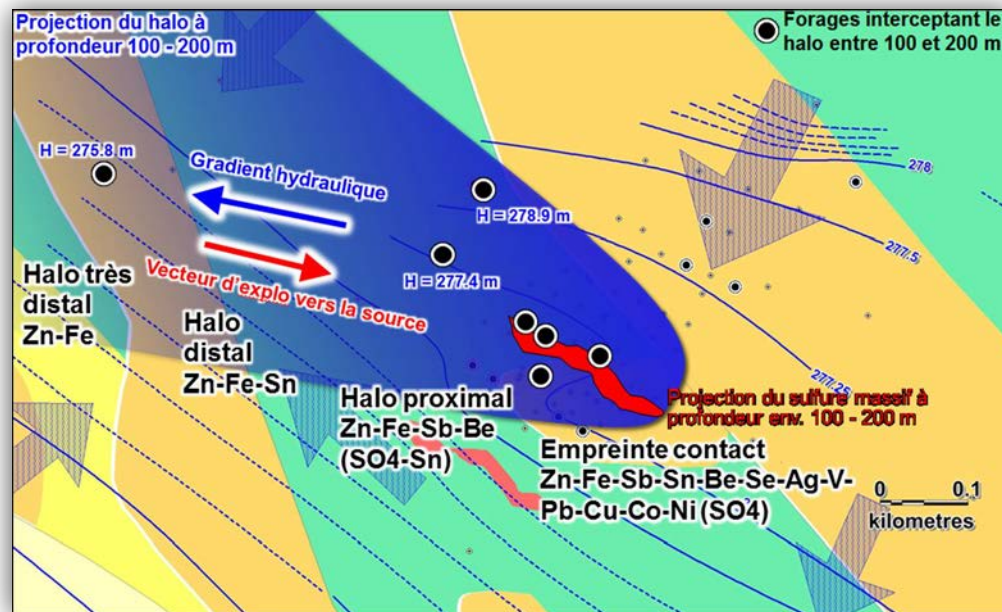
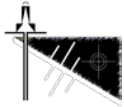
Les tests de protocoles d'échantillonnage indiquent que l'empreinte est suffisamment forte pour être détectée au protocole passif : bailer. Le protocole actif, avec purge et pompage à faible débit, plus élaboré, semble fournir une empreinte plus marquée, bien que les concentrations soient très diminuées, dans le cas présent, par la dilution évoquée plus haut. Plusieurs points d'amélioration du protocole passif sont identifiés, notamment afin de

l'exploration dans la direction de l'amont hydraulique.

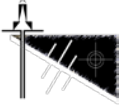
diminuer le temps de rééquilibrage avec CO₂ atmosphérique lors de l'extraction. Les avantages et inconvénients respectifs des deux protocoles ont été reconnus, toutefois des investigations supplémentaires sont nécessaires afin de déterminer le protocole le mieux adapté.

Plusieurs facteurs doivent être documentés dans l'optique d'une utilisation optimale de cette méthode en exploration : 1) le mécanisme de solubilisation métallique en contexte de faible oxygénation (gîtes profonds), et ses contrôles ; 2) les traceurs hydrogéologiques permettant de corriger le type d'eaux (recharge vs eau ancienne) et l'influence de la profondeur du forage et de l'échantillon ; 3) impact de la profondeur de l'échantillon lors d'un échantillonnage « aveugle » (c.a.d., sans connaître la profondeur du corps minéralisé) ; 4) temps de repos requis après arrêt du forage.

L'analyse des eaux souterraines à partir de forages pourrait devenir une systématique lors des campagnes d'exploration. Elle a le potentiel d'étendre la portée des informations accessibles par le forage, en complément des autres méthodes indirectes déjà utilisées en routine (géophysique : Pulse EM). Cette augmentation de la valeur ajoutée des forages pour un moindre coût améliorerait les performances de l'exploration, notamment profonde et en contexte de couverture transportée. Cette étude préliminaire conclue à un « go ». Il est recommandé de poursuivre les investigations expérimentales de cette méthode.



REPRÉSENTATION DU HALO DE DISPERSION MÉTALLIQUE ÉMANANT DU GÎTE PHELPS DODGE 1 ENTRE 100 ET 200 M DE PROFONDEUR, ET SON FRACTIONNEMENT HORIZONTAL.



Programme des conférences