



# consorem

CONSORTIUM DE RECHERCHE EN EXPLORATION MINÉRALE



## Résumés des projets 2022-2023

**SOQUEM**

**GLENCORE**

**AGNICO EAGLE**

**ALAMOS GOLD INC.**

**OSISKO**  
MINIÈRE OSISKO

**RESSOURCES FALCO**

**MIDLAND**  
EXPLORATION

**PROBE**  
GOLD

**ABITIBI**  
GÉOPHYSIQUE

**ELDORADO GOLD**  
Québec

**HARFANG**  
EXPLORATION INC.

**QPM**  
CORPORATION  
MÉTALURGIE DU QUÉBEC

**LAURENTIA**  
EXPLORATION

**INNOVEXPLO**

**BHP**

**Minière O3**

**CANADIAN ROYALTIES INC.**

**WALLBRIDGE**

**YAMANAGOLD**

**NioBay**  
METALS

**QC COPPER & GOLD**

**BARRICK**

**GOLDSPOT**  
DISCOVERIES CORP.

**Ressources naturelles et Forêts Québec**

**Développement économique Canada pour les régions du Québec**

**Canada Economic Development for Quebec Regions**

**UQAC**  
Université du Québec à Chicoutimi

**GERM**  
GÉOLOGIE ET MINÉRAUX  
SUR LES RESSOURCES MINÉRALES

**UQAM**

**Université du Québec à Montréal**

**UQAT**

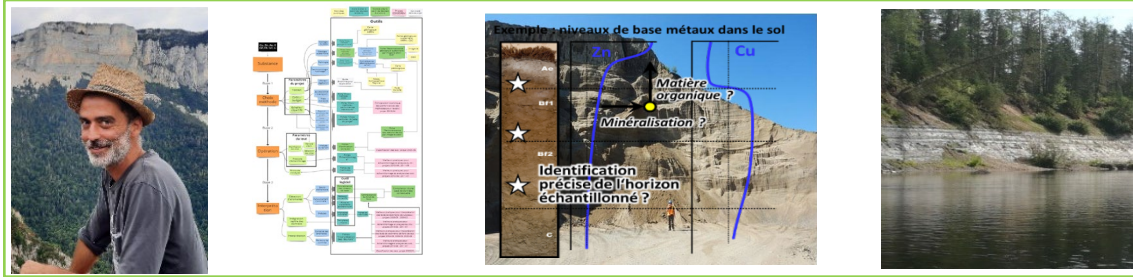
**URSTM**  
Unité de recherche et de service en ingénierie minérale de l'Abitibi-Témiscamingue

**SIDEX**

**misa**

**RESSOURCES & INDUSTRIE MINES**

**Société de développement de la Baie-James Québec**



## Projet 2022-01: Intégration / synthèse des outils de traitement de l'environnement secondaire pour l'exploration minérale – Phase II

**Sylvain Rafini**, Ph. D.

Collaboration: Sylvain Trépanier<sup>1</sup>, M. Sc. A.

<sup>1</sup>Exploration Midland

L'environnement secondaire (ES) constitue l'ensemble des milieux minéraux liquides, solides et gazeux dans lesquels se produisent des remobilisations géochimiques et physiques du socle rocheux primaire par l'action des processus superficiels de diverses natures : glaciaires, météorologiques, hydrologiques, hydrogéologiques, etc. L'analyse de l'ES pour l'exploration minérale constitue un ensemble de méthodes visant la découverte des gîtes par la détection de leur empreinte secondaire. Cette approche est largement utilisée depuis les années 70 et a contribué à de nombreuses découvertes au Québec et ailleurs dans le monde. Au Québec, un territoire recouvert à plus de 85% de sédiments glaciaires transportés, ces méthodes sont particulièrement utiles et pertinentes. Les méthodes d'ES pour l'exploration minérale ont été largement abordées dans le champ académique, et ont fait l'objet d'un grand nombre de projets gouvernementaux avec notamment l'acquisition de larges bases de données à vocation exploratoire. Enfin, il s'agit de la thématique la plus abordée au CONSOREM avec 18 projets de recherches réalisés entre 2001 et 2023. La présente étude s'est fixée pour objectif l'intégration et la synthèse de ces projets de recherche ainsi que des connaissances accessibles dans la littérature, dans le but de produire un guide

d'utilisation de l'ES pour l'exploration minérale. Plutôt qu'un simple inventaire de connaissances, ce guide est structuré autour d'un arbre de décision synthétisant les paramètres à considérer dans les prises de décision aux étapes successives de la réalisation ou de l'interprétation d'un levé d'ES. Il existe une diversité de natures d'empreintes métallogéniques mesurables dans l'ES, dans différents milieux et selon différentes méthodes. La formation de ces empreintes implique souvent le télescopage de processus complexes et variables dans le temps et dans l'espace. Il s'ensuit que la faisabilité des différentes méthodes est, elle aussi, variable selon les contextes environnementaux, géologiques et métallogéniques. Ceci définit un ensemble de paramètres propres au terrain qu'il est nécessaire de prendre en considération dans le choix approprié de la méthode, qui est la première étape d'un levé. Ce choix implique par ailleurs des paramètres propres au levé : échelle d'exploration et dimension de la zone de prospection, budget et objectifs. Par la suite, lors de la deuxième étape qui est celle de l'opération du levé, plusieurs paramètres sont à considérer dans la planification des stations, le choix et la reconnaissance des milieux d'échantillonnage, et les protocoles d'échantillonnage et d'analyse. Enfin, l'interprétation des levés et la détection des anomalies est une troisième étape particulièrement délicate impliquant : 1- la validation des données par un retour sur l'homogénéité des milieux d'échantillonnage et l'imprécision du jeu de données, et 2- l'identification d'anomalies prospectives par un contrôle du bruit de fond au moyen d'outils déterministes ou statistiques.

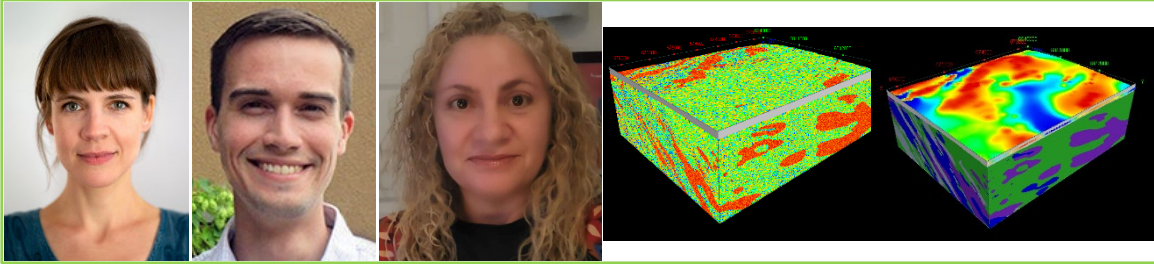
Ces trois grandes étapes sont complexes et critiques dans la réussite des levés d'ES pour

l'exploration minérale. Le présent guide procure au praticien les connaissances nécessaires pour réaliser les choix appropriés au cours de ces étapes successives. Le guide est accompagné

d'outils informatiques programmés dans le logiciel original LithoModeleur sous la forme d'un nouveau mode « Environnement secondaire ».

#### FICHE SOMMAIRE PROJET 2022-01

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objectifs</b>       | ♦ Réaliser une intégration/synthèse des travaux du CONSOREM sur la thématique de la géochimie de l'environnement secondaire (ES) en exploration                                                                                                                                                           |
| <b>Résultats</b>       | ♦ Création d'un guide d'utilisation de l'ES pour l'exploration minérale. Le guide dresse un état des connaissances actuelles. Il est structuré autour d'un arbre de décision qui contient 17 fiches thématiques textuelles et plusieurs outils informatiques implémentés dans LithoModeleur (mode « ES ») |
| <b>Innovations</b>     | ♦ Structure du guide, arbre de décision sur la réalisation d'un levé d'ES, implémentation numérique dans le logiciel                                                                                                                                                                                      |
| <b>Produits livrés</b> | ♦ Guide + outils logiciels                                                                                                                                                                                                                                                                                |



## Projet 2022-02: Valorisation des données de susceptibilité magnétique pour l'exploration minérale – phase II

**Morgane Gigoux, Ph. D.**

Collaboration: Charles Bérubé<sup>1</sup>, Ph. D, et Francine Fallara<sup>2</sup>, M. Sc. A.

<sup>1</sup>Polytechnique Montréal, département des génies civil, géologique et des mines; <sup>2</sup>Glencore

Ce projet s'inscrit dans le cadre de la convention CONSOREM-MRNF pour le développement d'outils géotechnologiques pour l'exploration des métaux précieux, usuels et des minéraux critiques et stratégiques au Québec.

Dans la première phase du projet, un premier volet du projet a été consacré à valoriser les données de susceptibilité magnétique (K) en créant un outil numérique permettant quatre applications pratiques : 1) la détection de coupure, 2) la détermination de la résolution optimale des prises de mesures, 3) l'analyse de sensibilité du signal prédit aux lithologies et 4) le test de la prédiction de K à partir des lithologies et inversement. Au total, plus de 1 million de données publiques et privées ont été utilisées pour la réalisation de ce premier objectif. En parallèle, un second volet a été dédié à l'amélioration des estimations des proportions de magnétite et de pyrrhotite à partir d'analyses de roches totales et du soufre dans le logiciel LithoModeleur (Norme CIPW et Norme Bas Grade).

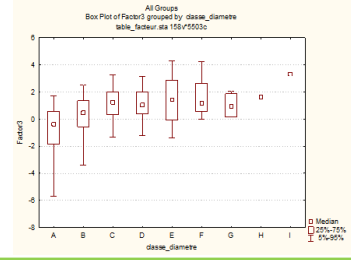
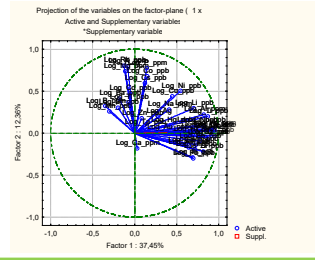
La seconde phase réalisée cette année a permis de renforcer et de valoriser les outils développés précédemment pour l'optimisation des inversions 3D en géophysique. Pour atteindre les objectifs, plusieurs étapes ont dû être réalisées

successivement : 1) bâtir un modèle lithologique de la zone d'étude ; 2) associer des valeurs de susceptibilité magnétique à chacune des cellules du modèle ; 3) simuler la carte de l'anomalie magnétique mesurée au-dessus du modèle géologique à partir du modèle de référence ; 4) procéder à la modélisation inverse sans aucune contrainte initiale ; 5) ajouter des contraintes globales puis augmenter progressivement la densité de contraintes ponctuelles ; et 6) analyser l'impact des contraintes sur les solutions des inversions en comparant avec le modèle des étapes 1 et 2.

La zone 5-8 de Mine Raglan a été choisie pour réaliser ces étapes. La collaboration avec Francine Fallara a permis de travailler à partir d'un modèle lithologique 3D simplifié de la zone d'étude (environ 12 millions de cellules et cinq unités lithologiques). Les étapes d'inversion géophysique ont été réalisées à partir du logiciel Geoscience Analyst (Mira Geosciences) avec le module Pro Geophysics. Les résultats obtenus par Charles Bérubé, spécialiste dans les inversions de données magnétiques, démontrent l'utilité d'ajouter des contraintes ponctuelles pour diminuer de moitié l'erreur sur les inversions. Aussi, les différents tests d'inversions réalisées mettent en évidence que peu importe la densité de contraintes utilisée, la carte magnétique retrouvée par inversion (contrainte ou non contrainte) est toujours similaire à la carte magnétique associée au modèle de référence, même si le modèle 3D de susceptibilité sous-jacent est complètement différent. Ces résultats soulignent clairement les limites de la méthodologie inverse en géophysique, sa complexité et le danger des interprétations hâtives en exploration minérale.

## FICHE SOMMAIRE PROJET 2022-02

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objectifs</b>       | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Rédaction d'un guide méthodologique et pédagogique pour une utilisation éclairée de la susceptibilité (K) dans les modèles d'inversions en exploration minérale pour les non-géophysiciens</li><li>♦ Évaluation de l'impact de la densité de données de K sur les résultats d'inversion</li></ul>                                                                                                                            |
| <b>Résultats</b>       | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Prédiction et propagation de la susceptibilité en dehors des forages à partir de l'auto-encodeur</li><li>♦ Les contraintes globales de K (SI) permettent de réduire de 1,2 fois les erreurs sur l'inversion non contrainte et évitent la production de valeurs aberrantes</li><li>♦ Les contraintes ponctuelles par forages permettent de réduire de moitié les erreurs sur la solution des inversions contraintes</li></ul> |
| <b>Innovations</b>     | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Application et valorisation de l'outil auto-encodeur développé en phase 1</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Produits livrés</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Guide méthodologique</li><li>♦ Présentations</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |



## Projet 2022-03: Évaluation de l'efficacité de la méthode biogéochimique d'échantillonnage d'écorces d'épinettes noires en exploration au Québec

**Morgane Gigoux, Ph. D.**

Collaboration: Sylvain Trépanier<sup>1</sup>, M. Sc. A.

<sup>1</sup>Exploration Midland

La méthode biogéochimique est basée sur le fait que les racines de la plante pénètrent les horizons du sol et aient accès au roc fracturé et aux eaux souterraines locales leur permettant d'accumuler certains éléments métalliques dans leurs écorces, leurs aiguilles et/ou leurs feuilles (Colin Dunn, 2007). En d'autres termes, la biogéochimie est basée sur la capacité de la plante à absorber, concentrer et métaboliser les métaux dans ses tissus. Selon Hulme et al., (2006), la géochimie de l'humus et celle des végétaux peuvent être considérées comme l'extension en surface du substrat géologique. Cependant, la relation entre la présence de minéralisation dans le sous-sol et les compositions géochimiques des tissus des végétaux n'est pas toujours simple à déterminer. Depuis 2018, des levés biogéochimiques sont utilisés de façon plus soutenue en exploration par certaines compagnies au Québec, bien que la méthode existe depuis près d'un siècle. En cause, un certain scepticisme et une méconnaissance du monde végétal, bien éloigné de celui de la géologie et de l'industrie minière. Cette complexité dépend de différents paramètres qui vont interagir entre eux ; les facteurs physico-chimiques et physiologiques de la plante, son métabolisme ainsi que ses interactions avec l'environnement, vont tous venir se superposer au signal géologique et

métallogénique. Par conséquent, plusieurs questions essentielles relatives à l'utilisation du signal biogéochimique dans les végétaux en exploration demeurent ouvertes : 1) est-on capable de détecter l'empreinte d'un gisement dans les tissus d'un arbre ?; 2) si oui, quelle en est sa composition ?; 3) quels sont les facteurs qui peuvent influencer la composition de l'empreinte et de quelle manière ? (protocole d'échantillonnage, nature et épaisseur du sol, drainage, système racinaire, topographie, climat, métabolisme, géologie, contaminations, type de tissu échantillonné) ; 4) quelles sont les méthodes statistiques et/ou géostatistiques appropriées au traitement de ces données ?; 5) quelles conclusions en tirer sur l'efficacité de la méthode en exploration ?

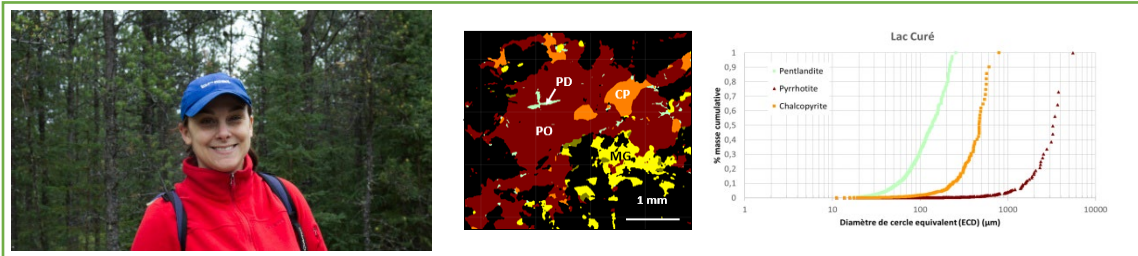
Les résultats du projet ont démontré que 60 % du signal géochimique des écorces d'épinettes noires sont contrôlés par les paramètres environnementaux (tourbière et pH) et métaboliques (croissance et diamètre). Ces résultats se sont limités aux écorces dans des contextes d'exploration loin de minéralisations connues (bruit de fond), et qui n'ont pas été réduites en cendre avant analyses. Les analyses en composantes principales (ACP) ont notamment démontré que les tourbières avaient un fort impact sur les teneurs métalliques dans les écorces. La pente topographique et le diamètre de l'arbre ont également un effet quantifiable sur les concentrations métalliques. Le projet a permis de mettre en évidence certaines limites de la méthodologie dans la détection des anomalies à partir des valeurs brutes ; sans traitement statistique dédié à ce type de données, la génération de fausses anomalies est quasi-systématique en exploration en biogéochimie. L'efficacité de la méthode et ses chances de succès en exploration sont donc dépendantes de plusieurs paramètres

dont certains ont été qualifiés et quantifiés dans ce travail. Néanmoins, aucune donnée n'a été collectée directement au-dessus d'un gisement connu ou à proximité de zones minéralisées importantes identifiées dans le SIGÉOM. Ainsi, la question fondamentale de

l'efficacité de la méthodologie en contexte d'exploration reste en suspens. Les résultats préliminaires ayant fortement suscité l'intérêt des membres industriels, une suite au projet est envisagée pour consolider l'approche.

### FICHE SOMMAIRE PROJET 2022-03

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objectifs</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Documenter et optimiser l'utilisation de la méthode biogéochimique en exploration minérale au Québec; faire ressortir un signal exploitable en exploration pour vectoriser la minéralisation à travers les variables métaboliques, pédologiques et géomorphologiques.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Résultats</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ 60 % du signal géochimique des écorces d'épinettes noires sont contrôlés par les paramètres environnementaux (tourbière et pH) et métaboliques (croissance et diamètre);</li> <li>♦ Le bruit de fond (médiane) en métaux des épinettes dans les tourbières est de 1,3 à 3 fois supérieur à celui des épinettes en dehors des tourbières;</li> <li>♦ La méthode par analyse résiduelle des composantes principales permet de filtrer les effets des tourbières et du métabolisme;</li> <li>♦ Fichier de 63 cibles d'anomalies résiduelles (seuil 2, &gt; 99e percentile).</li> </ul> |
| <b>Innovations</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Création d'indices de calculs dédiés à la biogéochimie dans LithoModeleur 4.4.0, à partir de l'utilisation des statistiques multivariées (résiduelle sur ACP)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Produits livrés</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Fichier Excel des cibles d'anomalies résiduelles (seuil 2, &gt; 99e percentile)</li> <li>♦ Indices de calculs dans LithoModeleur 4.4.0 (à partir de la géochimie des écorces non réduites en cendre)</li> <li>♦ Guide méthodologique et présentations</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



## Projet 2022-04 : Acquisition et valorisation de données géométallurgiques à un stade précoce d'exploration – phase 2

**Stéphanie Lavaure, Ph. D.**

La géométallurgie est une science qui regroupe plusieurs domaines d'expertises (géologie, métallurgie, chimie, génie minier, etc.) et a pour but d'améliorer la compréhension de la variabilité d'un gisement et d'en optimiser le développement. Elle permet de lier les caractéristiques géologiques d'un gisement et de son encaissant avec leur comportement à l'usine de traitement de minerai et dans les parcs à résidus. En effet, les propriétés géologiques des roches (fracturation, minéralogie, granulométrie, géochimie, etc.) vont déterminer les capacités de concassage et de broyage, l'efficacité de la récupération, la qualité des concentrés, mais aussi le potentiel de valorisation des résidus miniers. L'objectif final de la géométallurgie est de créer des bases de données regroupant l'ensemble des informations liées aux opérations minières autant au niveau du minerai que des roches encaissantes. Ces bases de données sont alimentées tout au long du cycle minier depuis l'étape d'exploration à la restauration minière. Les données minéralogiques sont une information essentielle de ces bases de données.

Intégrer une analyse des données minéralogiques dès l'exploration précoce est avantageux pour i) identifier les valorisations possibles du minerai et des futurs résidus miniers, et ii) déterminer le plus tôt possible les éventuels problèmes opérationnels qui devront être adressés lors des études

techniques. L'introduction de la géométallurgie dès l'exploration précoce permettrait donc d'ajouter une couche d'informations supplémentaires afin de prioriser les travaux sur les indices les plus prometteurs autant en termes de teneur qu'en termes de qualité.

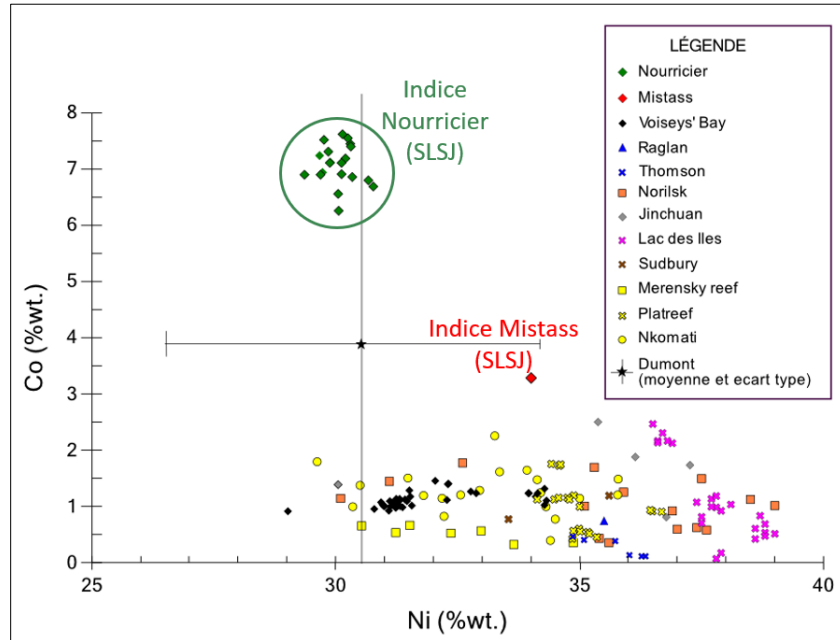
À travers une revue détaillée de la littérature, la première année du projet 2021-04 a permis d'établir un catalogue des problématiques géométallurgiques communes aux gisements aurifères ainsi qu'un catalogue pour les gisements Ni-Cu-Co-EGP magmatiques. La deuxième année s'est intéressée aux gisements de sulfures massifs volcanogènes (SMV), aux gisements Nb-Ta-ETR et aux gisements de Fe-Ti  $\pm$  V  $\pm$  P. Pour chacun de ces types de gisement, une liste a été établie pour 1) les minéraux susceptibles de contenir la substance recherchée et les sous-produits possibles, 2) les minéraux susceptibles de contenir des éléments problématiques (délétères) et 3) les facteurs minéralogiques influençant la performance lors du traitement de minerai. Un guide méthodologique, identifiant l'ensemble des éléments à évaluer selon la substance et le type d'indice, a ensuite été élaboré (Figure 1). Enfin, un guide des outils analytiques pouvant être utilisés pour acquérir les données nécessaires à l'évaluation a été réalisé (Figure 2). Ces guides aideront à la mise en place de protocoles d'acquisition de données chimiques et minéralogiques à l'étape précoce de l'exploration en fonction du type d'indice.

Plusieurs bases de données de chimies minérales pour différents gisements et gîtes ont été montées à partir de données provenant de la littérature pour chacun des



générées a ensuite été établie, notamment pour l'évaluation de la granulométrie des différentes phases minérales et des inclusions. La chimie minérale des indices étudiés du SLSJ a été comparée aux bases de données montées dans les différents

guides. Les résultats ont notamment montré la forte teneur en cobalt des pentlandites de certains indices du SLSJ (Figure 3).

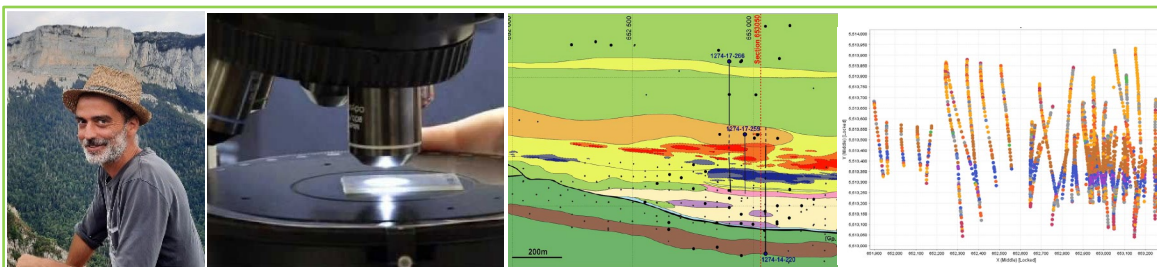


**Figure 3.** Teneur en Ni vs Co dans les pentlandites.

Source des données : Cabri *et al.*, 1984; Chen *et al.*, 2015; Chopard, 2017; Darlington Manyeruke, 2007; Dare *et al.*, 2010; Dare *et al.*, 2014; Duran, 2015; Huss, 2002; Godel, 2007; Jiao *et al.*, 2017; Kelvin, 2015; Liwanag, 2001; Mansur, 2020; Royal Nickel Corporation, 2019; Soquem et Mines d'or Virginia, 2000 and 2001; Van Zyl, 1996; Wang *et al.*, 2021

## FICHE SOMMAIRE PROJET 2022-04

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objectifs</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Établir un catalogue des problématiques géométallurgiques communes pour différents types de minéralisation (Au, Ni-Cu±Co±EGP magmatique, SMV Cu-Zn±Pb, Fe-Ti±V±P, Nb-Ta-ETR);</li> <li>♦ Produire un guide d'aide à la mise en place de protocoles d'acquisitions de données chimiques et minéralogiques à l'étape précoce de l'exploration en fonction du type d'indices.</li> </ul>             |
| <b>Résultats</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ 4 guides méthodologiques comprenant une description des minéraux susceptibles de contenir la substance recherchée et les sous-produits possibles ou les éléments délétères et les facteurs minéralogiques qui influencent la performance au traitement;</li> <li>♦ 1 guide d'outils analytiques pour acquérir les données à l'étape précoce d'exploration et banque de données Access.</li> </ul> |
| <b>Innovations</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Méthode novatrice de l'évaluation de la granulométrie des différentes phases minérales et des inclusions à partir des analyses minéralogiques automatisées sur lames minces et sur sections polies.</li> </ul>                                                                                                                                                                                    |
| <b>Produits livrés</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Six présentations PowerPoint</li> <li>♦ 4 bases de données Access de chimies minérales <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ni-Cu±Co±EGP : pentlandite, pyrrhotite, chalcopryrite</li> <li>○ SMV Cu-Zn±Pb : sphalérite, chalcopryrite, galène</li> <li>○ Nb-Ta-ETR : monazite, bastnaésite, xénotime, allanite, britholite, pyrochlore, columbite</li> </ul> </li> </ul>                      |



## Projet 2022-05 : Utilisation des méthodes statistiques multivariées en géochimie de l'exploration - Revue des méthodes et applications pratiques

**Sylvain Rafini, Ph. D.**

Collaboration: Sylvain Trépanier<sup>1</sup>, M. Sc. A.

<sup>1</sup>Exploration Midland

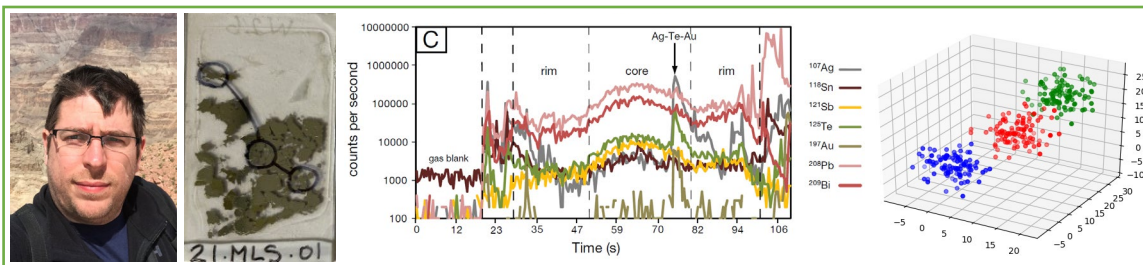
Depuis les années 2000, on observe un changement de tendance tel que le flux de données géochimiques disponible devance globalement le flux de nouvelles connaissances procurées par ces données. Il s'agit d'un changement général, non spécifique au domaine de la géochimie. Une conséquence classique est que les approches traditionnelles d'analyse des données basées sur la connaissance (*knowledge-driven*) ne sont pas aptes à valoriser l'ensemble des données disponibles et sont remplacées, au moins partiellement, par des approches statistiques multivariées, non basées sur la connaissance (*data-driven*) mais permettant d'analyser simultanément les relations entre un grand nombre de variables. L'utilisation adéquate de ces deux approches complémentaires a prouvé son efficacité à faire progresser la connaissance dans plusieurs domaines de la science. En géochimie de l'exploration, ces outils ont un grand potentiel pour diverses opérations de reconnaissance lithologique et prospective mais demeurent peu utilisés par les géologues d'exploration. La présente étude avait pour objectif d'évaluer l'utilité de ces méthodes pour contribuer à résoudre les problèmes routiniers de l'exploration minérale, et de définir les modalités d'utilisation de ces méthodes. Le premier volet a permis de dresser un catalogue des principaux algorithmes d'analyse statistique

multivariée existants, regroupés en trois catégories : réduction de dimension, apprentissage non supervisé et apprentissage supervisé. Les fondements et postulats statistiques de ces algorithmes sont passés en revue. Dans un second volet, différentes séquences de traitement (*workflows*) impliquant les algorithmes Kmean et Analyse en Composante Principale (ACP) ont été testées sur une base de données réelle en environnement de minéralisations volcano-gènes. Ces tests ont été réalisés pour les applications suivantes de l'exploration : classification lithologique, classification métasomatique et vectorisation.

Les résultats démontrent sans équivoque les performances remarquables de ces outils : caractérisation fine des unités lithologiques et des altérations hydrothermales, et définition des assemblages géochimiques prospectifs. Le caractère itératif des *workflows* s'avère être incontournable, de même que les multiples étapes de validation par des allers-retours entre l'espace des données et l'espace des connaissances géologiques, géochimiques et géographiques. Ce travail a permis d'identifier les *workflows* efficaces et leurs conditions d'utilisation. Enfin, un troisième volet s'est attardé à approfondir la compréhension des procédures de résolution de ces algorithmes et à tester leurs limites et leurs pièges, dans le but de circonscrire leur champ d'utilisation et de déterminer les prérequis portant tant sur les propriétés statistiques des jeux de données que sur leur qualité, ainsi que les transformations préalables. Différents outils de statistiques multivariées ont été implémentés dans le logiciel LithoModeleur : algorithmes, évaluation de la qualité analytique, préparation de variables et validation des résultats. Une deuxième phase de ce projet est prévue en 2023.

## FICHE SOMMAIRE PROJET 2022-05

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objectifs</b>       | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Rédiger un guide pédagogique des statistiques multivariées pour les géologues</li><li>♦ Évaluer l'utilisation des méthodes statistiques multivariée pour résoudre les problèmes de géochimie en exploration minérale</li></ul>                                                                                                |
| <b>Résultats</b>       | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Catalogue des algorithmes et de leurs fondements, et identification des workflows (flux opérationnels) efficaces pour la résolution de problèmes pratiques en exploration en contexte de minéralisations volcanogènes</li><li>♦ Implémentation des fonctionnalités pour le traitement multivarié dans LithoModeleur</li></ul> |
| <b>Innovations</b>     | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Démonstration des performances et des modalités d'utilisation des traitements multivariés avancés pour la classification lithologique, la classification métasomatique et la vectorisation de l'exploration</li></ul>                                                                                                         |
| <b>Produits livrés</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Plusieurs nouvelles fonctionnalités dans LithoModeleur</li><li>♦ Trois présentations PowerPoint</li></ul>                                                                                                                                                                                                                     |



## Projet 2022-06: Utilisation de la chimie des pyrites en contexte d'exploration aurifère : Optimisation du protocole analytique et applications – Phase II

**Dominique Genna, Ph. D.**

Collaboration: Sylvain Trépanier<sup>1</sup>, M. Sc. A., Damien Gaboury<sup>2</sup>, Ph. D., Jean Goutier<sup>3</sup> and Hugo Dubé-Loubert<sup>3</sup>, Ph. D.

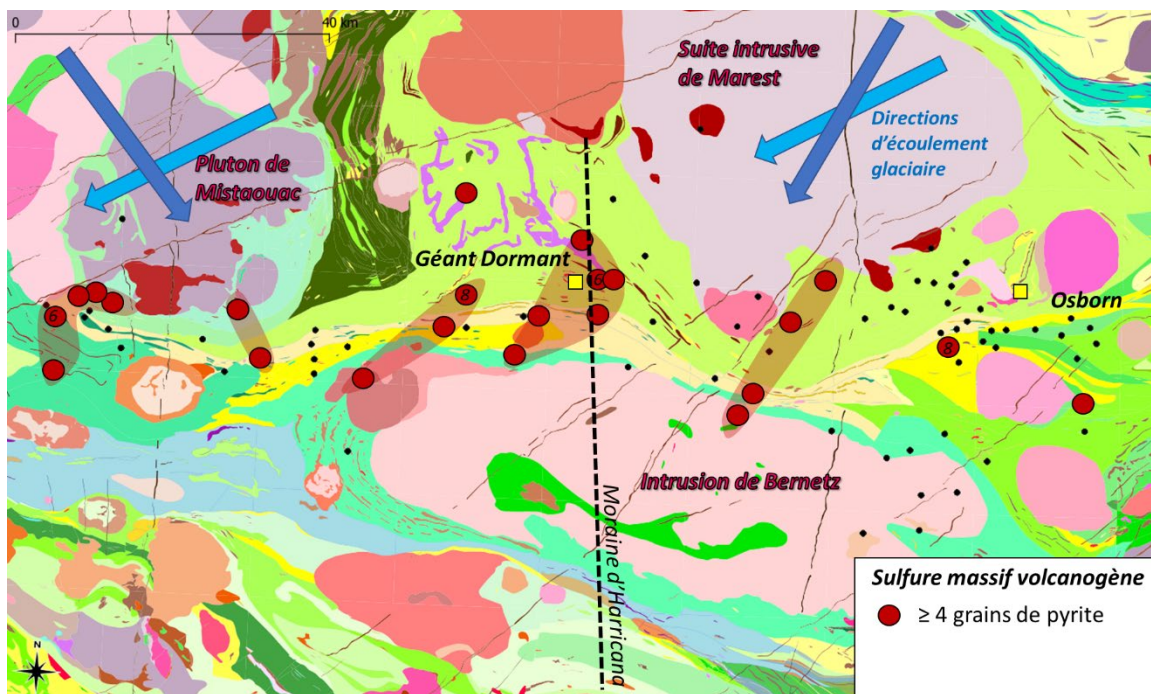
<sup>1</sup>Exploration Midland, <sup>2</sup>UQAC, <sup>3</sup>MRNF

La pyrite est un minéral omniprésent de la paragenèse des minéralisations aurifères. Sa signature en métaux traces est influencée par plusieurs paramètres incluant principalement la source des fluides (eau de mer vs métamorphique vs magmatique) et les conditions de précipitations (température, fugacité d'oxygène, pH, etc.). Ce projet de recherche collaboratif CONSOREM-MISA visait la mise en œuvre, sur 2 années (projets 2021-06 et 2022-06), d'un nouvel outil pour l'exploration aurifère à partir de la signature chimique de la pyrite. Il fait suite à un projet de démonstration de l'efficacité du concept (projet 2019-02). En utilisant les éléments traces contenus dans la pyrite, trois objectifs ont été atteints : 1) déterminer la fertilité (le potentiel aurifère), 2) discriminer le style de minéralisation et 3) vectoriser vers les zones les plus riches (cœur du système aurifère). L'approche méthodologique implique la quantification précise, au LA-ICP-MS (LabMaTer, UQAC), du cortège métallique présent dans les pyrites provenant d'environnements stériles (sédimentaire et métamorphique) et des pyrites représentatives de la diversité des types de minéralisations aurifères du Québec. Une revue extensive de littérature a aussi permis

de compiler près de 12 000 analyses provenant de 110 gisements couvrant la diversité métallogénique aurifère mondiale. Les données font partie des livrables du projet et peuvent servir de base comparative pertinente. Au total, c'est plus de 20 000 analyses qui sont valorisées dans le cadre du projet.

Cette deuxième année du projet a surtout permis d'automatiser complètement la prédiction de la typologie des pyrites sur la base de leurs compositions en éléments traces. Le processus se fait en deux étapes : 1) prédiction de la fertilité et 2) prédiction de la classe métallogénique. Afin d'avoir une prédiction robuste de la fertilité, plus de 900 analyses de pyrites provenant d'environnements stériles (sédimentaire, métamorphique et volcanogène distal) ont été complétées.

L'algorithme d'intelligence artificielle utilisé (Random Forest) permet de classer les pyrites en deux groupes : « stérile » et « minéral », avec un taux de succès de 78%. La prédiction de la classe métallogénique des pyrites identifiées comme « minéral » est basée sur une banque de données de plus de 3 000 analyses couvrant la variabilité géologique du territoire de l'Abitibi. Huit classes (veine quartz-carbonate-tourmaline; veine précoce quartz-albite; veine polymétallique; disséminée dominée par arsénopyrite; *intrusion-related* felsique; *intrusion-related* intermédiaire; porphyre; sulfure massif volcanogène) sont prédictibles avec un taux de succès de 73% et permettent d'identifier rapidement les métalotectes afin d'affiner les stratégies d'exploration. En plus de la classification, l'interface logicielle, développée dans le cadre du projet, identifie le gisement connu qui possède la chimie la plus proche parmi une banque de données de pyrites provenant de 42 mines de l'Abitibi.



**Figure 1.** Traînes glaciaires plurikilométriques présentant des pyrites de la signature « Sulfure Massif Volcanogène » identifiées sur le secteur de la Rivière Octave. Les points noirs représentent les sites d'échantillonnages et les cercles rouges, les échantillons avec plus de 4 grains possédant une signature de type SMV.

L'outil a été validé dans un test à l'aveugle sur 6 échantillons fournis par un partenaire industriel. Les résultats confirment l'excellente performance de la méthode.

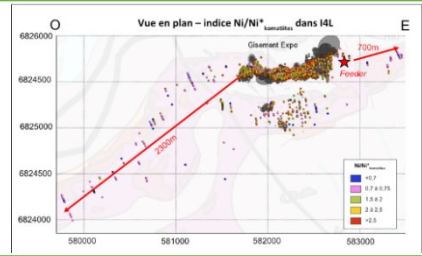
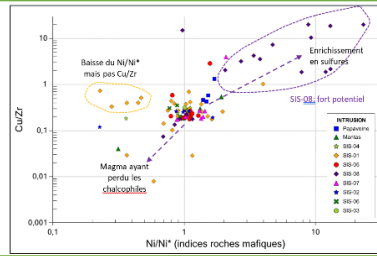
Une fois l'algorithme entraîné, il a été testé à beaucoup plus grande échelle sur les échantillons provenant du secteur de la Rivière Octave (Figure 1), un territoire sous une importante couverture quaternaire, afin de tester le potentiel de vectorisation dans l'environnement secondaire. Un partenariat avec le MRNF a permis d'accéder à 118 concentrés de pyrites provenant de 90 forages sonic réalisés entre 2008 et 2013. Plus de 5 000 analyses ont été acquises sur les concentrés de ce territoire. L'algorithme a permis non seulement de cibler les pyrites provenant d'environnement métallogénique (« minerai » 18%; 969/5 147 analyses), mais aussi d'identifier plusieurs traînes glaciaires

parfois rattachées à des indices connus, mais aussi générant 13 secteurs cibles pour l'exploration aurifère. La figure 1 donne l'exemple de traînes rattachées à des contextes de sulfures massifs volcanogènes aurifères.

Nous démontrons avec ce projet que la signature chimique de la pyrite peut être valorisée en contexte d'exploration minérale aussi bien à des stades précoces qu'en évaluation de projet (identification du style métallogénique). Le potentiel de vectorisation est aussi bien présent, autant dans les roches (2021-06) que dans l'environnement secondaire (2022-06). Les livrables de cette deuxième phase incluent le protocole analytique robuste, la banque de données Access ainsi que l'interface logicielle.

## FICHE SOMMAIRE PROJET 2022-06

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objectifs</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Rendre accessible l'utilisation de la chimie des sulfures en contexte de campagne d'exploration aurifère par l'entremise de 3 sous-objectifs : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1) Discriminer le style de minéralisation aurifère</li> <li>○ 2) Positionner l'échantillon dans un système minéralisateur (vectoriser)</li> <li>○ 3) Déterminer la fertilité aurifère d'un secteur</li> </ul> </li> </ul>                                                                                               |
| <b>Résultats</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Discrimination automatique robuste 1) de la fertilité et 2) du type de minéralisation, basé une approche géologique, mais couplée à une approche utilisant l'intelligence artificielle (Random Forest)</li> <li>♦ Démonstration du potentiel d'utilisation de la pyrite pour vectoriser dans les roches, mais aussi dans l'environnement secondaire (Rivière Octave)</li> <li>♦ Développement d'une interface logiciel permettant le traitement avancé et le stockage des données (20 000) analyses.</li> </ul> |
| <b>Innovations</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Méthodologie innovante d'acquisition des données <i>in situ</i> efficace et applicable dans des contextes d'exploration minérale</li> <li>♦ Conception de diagrammes de discrimination permettant de comparer les signatures chimiques des pyrites et utilisation de l'IA pour la classification des gîtes aurifères</li> </ul>                                                                                                                                                                                 |
| <b>Produits livrés</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ 1 rapport, 3 présentations</li> <li>♦ Logiciel d'importation des données LA-ICP-MS et de classification automatisée</li> <li>♦ Banque de données Access</li> <li>♦ 13 secteurs cibles</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |



## Projet 2022-07 : Vectorisation géochimique au sein des intrusions mafiques-ultramafiques pour l'exploration des gîtes magmatique à Ni-Cu-EGP

**Stéphanie Lavaure, Ph. D.**

Collaboration: Sylvain Trépanier<sup>1</sup>, M. Sc. A.

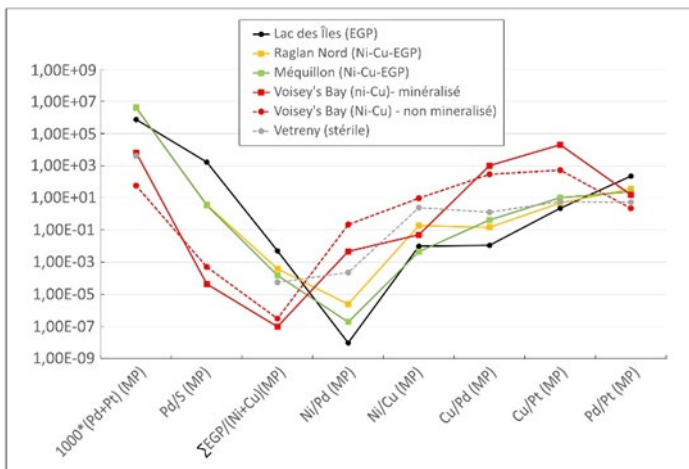
<sup>1</sup>Exploration Midland

Les gisements magmatiques sont une source importante de Ni, Cu et platinoïdes. Ces gisements proviennent de la ségrégation de liquide sulfuré à partir de magmas de composition mafique à ultramafique enrichis en soufre. Plusieurs outils d'exploration sont disponibles dans la littérature et diverses méthodes ont également été développées au CONSOREM au cours des deux dernières décennies pour cibler ces minéralisations. Ces outils sont principalement utilisés à l'échelle régionale afin d'identifier les systèmes magmatiques fertiles. La difficulté de l'exploration de ce type de gisement est d'orienter par la suite les travaux vers les zones favorables à l'accumulation de gisements économiques de sulfures riches en métaux (vectorisation). Ces gisements sont souvent de petite taille (quelques

centaines de mètres), mais sont associés à des systèmes plurikilométriques très dynamiques. Les roches adjacentes aux minéralisations ne sont donc pas nécessairement les magmas desquels les sulfures ont été extraits, ce qui rend l'empreinte géochimique de ces gisements particulièrement difficile à établir.

L'objectif du projet était donc de déterminer s'il est possible de reconnaître la présence de halos géochimiques suffisamment étendus dans les roches magmatiques hôtes dans le but d'établir une méthode de vectorisation par géochimie.

Une revue de la littérature et des anciens projets réalisés au CONSOREM sur la thématique Ni-Cu a été effectuée pour 1) documenter l'état des connaissances sur la dynamique de la mise en place des minéralisations et des magmas associés ainsi que les outils géochimiques développés pour identifier le processus de ségrégations et 2) évaluer l'utilité de ces outils pour la vectorisation. Parmi ces outils, le diagramme RA-EGP+ (projet CONSOREM 2003-09 et 2008-11), le diagramme Ni vs. MgO



**Figure 1.** Signatures des intrusions dans le nouveau diagramme RA-EGPIII.

Intrusions ayant un potentiel pour les gisements Ni-Cu pauvres en EGP (Voisey's Bay, troctolites minéralisées et non minéralisées), les gisements Ni-Cu riches en EGP (formation de Raglan, minéralisation disséminée), les gisements EGP pauvres en Ni-Cu (Lac des Îles, minéralisation disséminée) et des komatiites stériles (Vetreny, zone basale). La signature correspond à la médiane des données de Lightfoot et al., 2012 sur Voisey's Bay, de Brüggmann et al., 1989 sur le Lac des Îles, de Barnes et Giovenazzo, 1990 sur la formation de Raglan et de Pushtel and Hamayun, 2001 sur Vetreny.

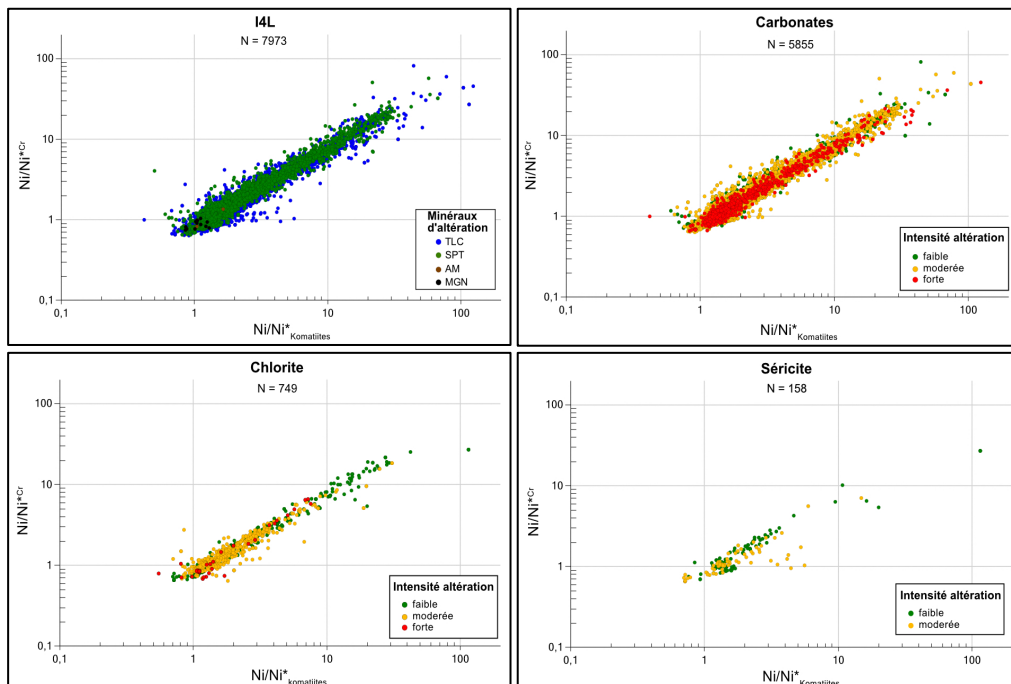
(Lightfoot *et al.*, 2001 et 2012) et le ratio Cu/Zr ont été examinés afin d'évaluer leur potentiel pour la vectorisation. En se basant sur ces outils, de nouveaux diagrammes et indices ont été développés et intégrés dans LithoModeleur dont le nouveau diagramme RA-EGPIII (Figure 1).

Dans ce nouveau diagramme, les variables faisant intervenir l'iridium ont été éliminées afin de rendre le diagramme plus en adéquation avec les éléments analysés de façon routinière par les compagnies d'exploration. De plus, toutes les variables sont normalisées au manteau primitif, ce qui rend la normalisation plus uniforme. Les données du gisement Grasset ont servi à évaluer l'effet de l'altération hydrothermale sur le calcul de l'indice  $Ni/Ni^*_{komatiites}$  qui a été développé à partir d'une sélection de komatiites du recueil de données GEOROC (<https://georoc.eu/>). Pour ce faire, l'indice unaire  $Ni/Ni^*_{komatiites}$  (calculé à partir du magnésium qui est sensible à l'altération) a été comparé à un nouveau ratio  $Ni/Ni^*$

calculé à partir du chrome ( $Ni/Ni^*_{Cr}$  qui est non sensible à l'altération). Ce nouveau ratio  $Ni/Ni^*_{Cr}$ , spécifique au gisement de Grasset, est calculé à partir de l'équation de la courbe de corrélation entre le Ni et le  $Cr_2O_3$  pour les péridotites non minéralisées ( $S < 1000$  ppm) de Grasset. Les résultats montrent que la serpentinisation affecte peu le calcul de l'indice unaire  $Ni/Ni^*_{komatiites}$  tout comme l'altération en carbonates ou en chlorite (Figure 2).

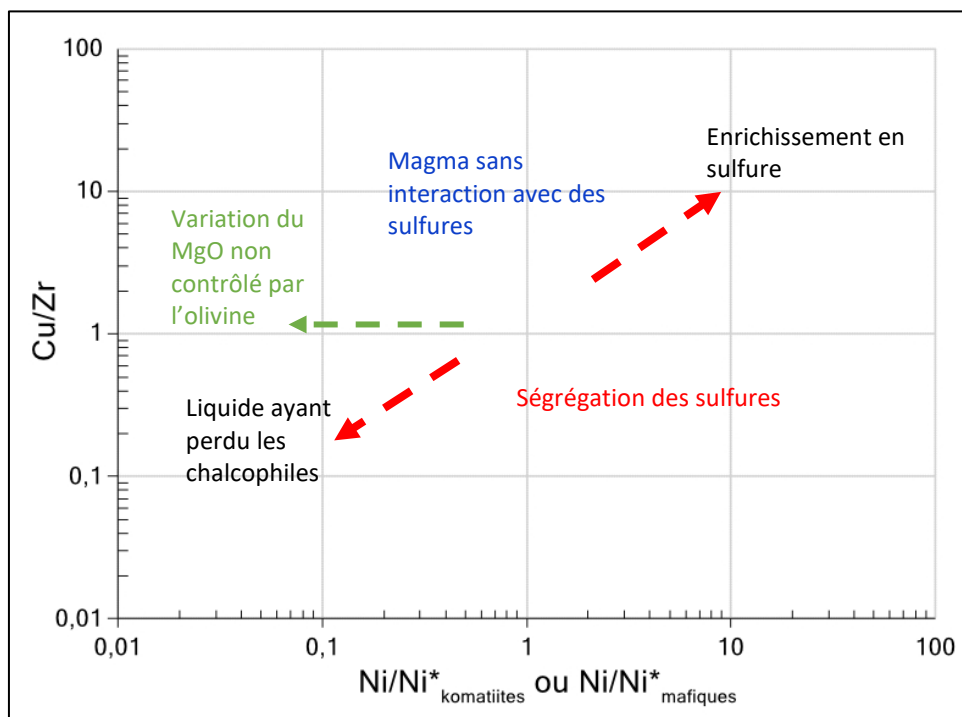
L'altération en séricite quant à elle, n'affecte pas l'indice unaire  $Ni/Ni^*_{komatiites}$  lorsqu'elle est d'intensité faible, cependant, lors d'une altération en séricite d'intensité modérée, il convient de faire attention et idéalement l'indice unaire  $Ni/Ni^*_{Cr}$  devrait être utilisé. Ainsi, dans les roches fortement altérées, il est recommandé d'analyser le chrome.

Pour ce qui est du volet vectorisation du projet, l'utilisation de l'indice  $Ni/Ni^*_{komatiites}$  sur le gisement Expo a permis de voir que l'appauvrissement en nickel du dyke est



**Figure 2.** Comparaison du  $Ni/Ni^*_{komatiites}$  et  $Ni/Ni^*_{Cr}$  pour les péridotites encaissant le gisement de Grasset

L'indice  $Ni/Ni^*_{komatiites}$  a été calculé avec le nouvel indice unaire dans LithoModeleur (construit à partir de l'équation de la courbe de corrélation entre le Ni et le MgO dans les péridotites non minéralisées du recueil de données GEOROC (<https://georoc.eu/>)) et l'indice  $Ni/Ni^*_{Cr}$  a été calculé à partir de l'équation de la courbe de corrélation entre le nickel et le  $Cr_2O_3$  dans les péridotites non minéralisées de Grasset.



**Figure 3.** Principe des diagrammes  $\text{Ni/Ni}^*_{\text{komatiites}}$  vs.  $\text{Cu/Zr}$  et  $\text{Ni/Ni}^*_{\text{mafiques}}$  vs.  $\text{Cu/Zr}$ .

identifiable jusqu'à 2 300 m du gisement en aval de l'écoulement magmatique. Autant au niveau du gisement Expo que du gisement de Grasset, les péridotites encaissantes s'enrichissent en nickel à l'approche du gisement. Cependant, cet enrichissement est visible uniquement à quelques dizaines de mètres du gisement dans les deux cas. Cet enrichissement en nickel correspond à un enrichissement observable en sulfures disséminés, mais l'utilisation de l'indice  $\text{Ni/Ni}^*_{\text{komatiite}}$  permet tout de même de quantifier les observations pétrographiques.

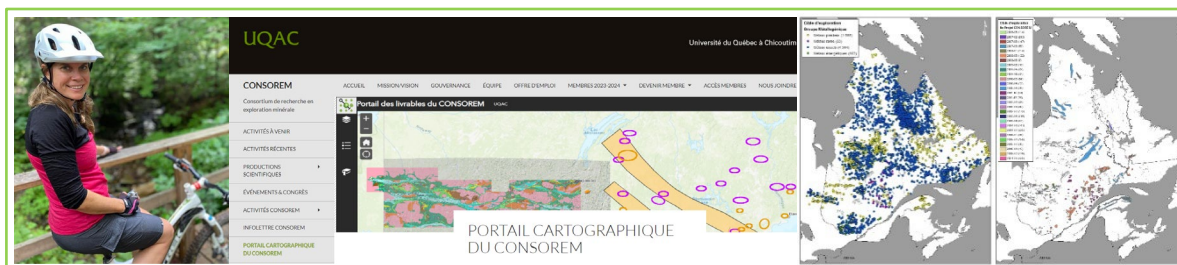
Un autre apport important du projet est le développement de deux nouveaux diagrammes :  $\text{Ni/Ni}^*_{\text{komatiites}}$  vs.  $\text{Cu/Zr}$  (pour les magmas ultramafiques archéens et paléoprotozoïques) et  $\text{Ni/Ni}^*_{\text{mafiques}}$  vs.  $\text{Cu/Zr}$  (pour les magmas mafiques). Ces nouveaux diagrammes permettent de facilement visualiser si une intrusion a subi de la ségrégation de sulfures (Figure 3).

Lorsque le Zr est disponible, ces diagrammes devraient être prioritaires à l'utilisation seuls des indices unaires  $\text{Ni/Ni}^*_{\text{komatiites}}$  et  $\text{Ni/Ni}^*_{\text{mafiques}}$ . Le Cu et le Zr étant tous les deux très incompatibles lors de la cristallisation fractionnée, la combinaison du ratio  $\text{Cu/Zr}$  avec  $\text{Ni/Ni}^*$  dans un diagramme permet d'identifier les roches dont la variation de MgO n'est pas contrôlée par la variation d'olivine (Figure 3).

Ce projet a confirmé que la géochimie est un outil robuste pour évaluer la fertilité d'une intrusion. Néanmoins, pour des fins de vectorisation, la géochimie devrait être considérée comme étant complémentaire aux observations pétrographiques et à une étude structurale locale qui devraient être réalisées en premier lieu afin d'identifier les zones susceptibles d'avoir accumulé le liquide sulfuré.

## FICHE SOMMAIRE PROJET 2022-07

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objectifs</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Identifier les outils géochimiques (profils, signature, ratio) qui permettent de vectoriser l'exploration à l'intérieur de suites de roches mafiques-ultramafiques et documenter les effets de l'altération sur les outils développés</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Résultats</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Nouveau diagramme RA-EGPIII pour identifier la fertilité des intrusions pour les gisements de Ni-Cu et EGP</li> <li>♦ Méthode de calcul du ratio <math>Ni/Ni^*_{Cr}</math> en fonction de l'équation de corrélation entre le nickel et le chrome</li> <li>♦ Combinaison de l'indice <math>Ni/Ni^*_{komatiites}</math> et <math>Ni/Ni^*_{mafiqes}</math> avec le ratio Cu/Zr dans deux nouveaux diagrammes afin d'identifier la ségrégation de sulfures</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Innovations</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Développement de nouveaux outils et diagrammes afin d'identifier la fertilité des intrusions et de vectoriser à l'intérieur de celle-ci</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Produits livrés</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Trois présentations PowerPoint</li> <li>♦ Base de données Access des échantillons de komatiites stériles provenant du recueil de données GEOROC (<a href="https://georoc.eu/">https://georoc.eu/</a>)</li> <li>♦ 2 nouveaux indices unaires dans LithoModeleur : <math>Ni/Ni^*_{komatiites}</math> et <math>Ni/Ni^*_{mafiqes}</math></li> <li>♦ 4 nouveaux diagrammes LithoModeleur <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Diagramme RA-EGPIII</li> <li>○ Diagramme Ni vs MgO (modifié de Lightfoot et al., 2012)</li> <li>○ Diagrammes <math>Ni/Ni^*_{komatiites}</math> vs. Cu/Zr (magmas ultramafiques archéens et paléoprotérozoïques)</li> <li>○ Diagrammes <math>Ni/Ni^*_{mafiqes}</math> vs. Cu/Zr (magmas mafiques)</li> </ul> </li> <li>♦ Rapport</li> </ul> |



## Projet 2022-10 : Compilation des cibles d'exploration du CONSOREM de 2000 à 2022

**Mélanie Lambert, M. Sc. A.**

Collaboration: Benoît Lafrance, Ph. D.

La compilation habituelle des données géomatiques des projets a été bonifiée cette année par la compilation de l'ensemble des cibles d'exploration générées de 2000 à 2022 par le CONSOREM. Ce travail a exigé de compiler et de structurer de manière uniforme l'ensemble des cibles sous la forme de trois géométries soit, point, ligne et polygone. Un système de coordonnées commun (NAD 83 Québec Lambert) a été utilisé pour la projection de l'ensemble des données et pour faciliter leur affichage. Les tables des attributs ont été configurées pour l'ensemble des cibles et les champs peuplés selon la disponibilité de l'information, soit : numéro de projet ; type de cibles ; groupe métallogénique ; contexte métallogénique ; nom de la cible ; substances principales ; substance secondaire (1,2 et 3) ; échelle de la cible : locale (< 1 km<sup>2</sup>), régionale (>100 km<sup>2</sup>), zonale (1-100 km<sup>2</sup>) ; niveau de la cible ; feuillet SNRC ; province géologique ; etc.

Un total de **11 490** cibles ont été compilées, soit **6 455** cibles ponctuelles (20 projets), **4 994** cibles surfaciques (polygones, 28 projets), **91** cibles linéaires (2 projets).

Chacune des cibles est associée grâce à des hyperliens cliquables au rapport de projet et à leur fiche respective (en format PDF) dont elle provient dans ArcMap, ce qui facilite la consultation des rapports. Les dossiers de livraisons comprennent des fichiers en format *shapefile*, *geopackage* (GPKG) et *file geodatabase* (FGDB).

*File géodatabase* est un format qui permet d'associer les domaines (p. ex., groupe métallogénique) à un champ comportant une bande déroulante pour choisir la valeur d'intérêt (p. ex., métaux précieux, métaux ferreux, métaux rares). Le format *geopackage* est une base de données qui peut être ouverte par tous les logiciels de traitement spatial (QGIS, ArcMap, MapInfo). Le format *shapefile* présente les couches par type d'entités, points, ligne polygones (ArcMap et QGIS). Les formats .TAB permette l'ouverture par le logiciel MapInfo uniquement. La symbologie des couches peut être importée directement grâce à des fichiers (.lyr) ou encore en ouvrant directement les (.mxd) associés à la base de données (uniquement dans ArcMap).

Les résultats de la compilation sont disponibles uniquement pour les membres du CONSOREM pour l'instant, mais seront éventuellement accessibles à tous une fois la période de confidentialité terminée.

## FICHE SOMMAIRE PROJET 2022-10

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objectifs</b>       | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Compiler les cibles d'exploration du CONSOREM pour l'ensemble des projets de recherche du CONSOREM réalisés de 2000 à 2022</li><li>♦ Construire une base de données homogènes pour l'ensemble des données avec les domaines et champs les plus renseignés possibles</li><li>♦ Convertir l'ensemble des données au système de coordonnées NAD 83 Québec Lambert</li></ul> |
| <b>Résultats</b>       | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ <b>11 490</b> cibles compilées dont :<ul style="list-style-type: none"><li>○ <b>6 455</b> cibles ponctuelles (20 projets)</li><li>○ <b>4 994</b> cibles surfaciques (polygones; 28 projets)</li><li>○ <b>91</b> cibles linéaires (2 projets)</li></ul></li></ul>                                                                                                         |
| <b>Produits livrés</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>♦ Fichiers en format shapefile</li><li>♦ Fichiers format geopackage (GPKG)</li><li>♦ File geodatabase (FGDB)</li><li>♦ Fichiers en format .TAB (MapInfo)</li><li>♦ Présentation PowerPoint</li></ul>                                                                                                                                                                       |