consorem

CONSORTIUM DE RECHERCHE EN EXPLORATION MINÉRALE

RAPPORT D'ACTIVITÉ **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 MÉTAUX PRÉCIEUX DU QUÉBEC · LAURENTIA EXPLORATION

INNOVEXPLO · BHP · O3 Mining · CANADIAN ROYALTIES INC. · WALLBRIDGE · YAMANAGOLD

NioBay METALS · QC COPPER & GOLD · BARRICK · GOLDSPOT DISCOVERIES CORP. · Énergie et Ressources naturelles Québec · Développement économique Canada pour les régions du Québec · Canada Economic Development for Quebec Regions

UQAC Université du Québec à Chicoutimi · CERM Centre d'études sur les ressources minérales · UQÀM Université du Québec à Montréal · UQAT Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue · URSTM Unité de recherche et de service en technologie minérale de l'Abitibi-Témiscamingue · SIDEX · misa · RESSOURCES & INDUSTRIE MINES · Société de développement de la Baie-James Québec

DES PROJETS PERTINENTS ET APPRÉCIÉS, DES RÉSULTATS PROMETTEURS ET UN CONSORTIUM EN PLEINE CROISSANCE

Chers partenaires du CONSOREM,

Marco Gagnon
Président du CONSOREM

Il nous fait plaisir de vous présenter le bilan des activités pour l'exercice 2022-2023. Cette année a été marquée par l'arrivée de trois nouveaux membres industriels portant ainsi le total à vingt-trois, ce qui constitue un sommet historique. Ceci souligne encore une fois la pertinence de cette structure de recherche appliquée précompétitive-collaborative unique qui répond directement aux besoins de l'industrie par ses activités de recherche, de transfert de connaissances et de formation. Encore une fois, l'engagement et la synergie de l'ensemble de nos membres industriels, gouvernementaux, et universitaires ainsi que de l'équipe de recherche et de la direction ont fait en sorte que le consortium a poursuivi sa progression en 2022-2023. Le CONSOREM a poursuivi cette année la mise en œuvre de son Plan stratégique 2020-2025 avec la révision du mode d'élection des administrateurs, de son calendrier annuel et des critères d'évaluation des projets. Le financement du consortium a été assuré par les contributions de ses membres, du ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec, du ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie du Québec ainsi que de Développement économique Canada.

Comme vous pourrez le constater à la lecture de ce rapport d'activités, l'année 2022-2023 du CONSOREM a été bien remplie avec la réalisation de 9 projets de recherche par nos chercheurs et chercheurs associés incluant un projet en collaboration avec le Groupe MISA et un projet de compilation des cibles d'exploration CONSOREM. Les résultats de ces projets de recherche touchant une variété de sujets et de substances minérales sur l'ensemble du territoire québécois ont une fois de plus fourni de nouveaux modèles et outils d'exploration pour l'industrie. Le CONSOREM a également contribué de façon significative à sa mission de transfert des connaissances par la réalisation de 8 ateliers de formation pour ses membres qui ont rejoint 334 participants, par l'organisation et sa participation à des événements qui rejoignent l'ensemble de la communauté géoscientifique et par de nombreuses publications.

Benoit Lafrance
Directeur du CONSOREM

Nous terminons en soulignant le travail remarquable de toute l'équipe et l'engagement indéfectible des membres. Le directeur tient également à souligner le départ de Marco Gagnon à titre de président au cours des quatre dernières années ainsi que le départ de Dominique Genna à titre de chercheur au cours des dix dernières années, leurs grandes implications ont sans aucun doute contribuée au succès du CONSOREM.

Différents défis attendent le CONSOREM au cours de la prochaine année comme la poursuite de la mise en œuvre du Plan stratégique, la consolidation de son équipe de recherche et le renouvellement du financement provenant de nos partenaires gouvernementaux. Nous sommes convaincus que le CONSOREM saura relever ces défis poursuivant ainsi son rôle de structure de recherche collaborative unique qui contribue au succès de l'exploration minérale au Québec.

Table des matières

Structure organisationnelle	4
Bilan des activités administratives	7
Bilan des activités du comité de gestion scientifique	9
Bilan des activités de recherche	11
Productions scientifique et techniques du CONSOREM	26
Productions scientifique et techniques du CONSOREM disponibles au public	27
Activités de transfert ouvertes à l'ensemble de la communauté géoscientifique	29
Contribution à d'autres activités de recherche, d'enseignement et de diffusion	34

Introduction

Le consortium de recherche en exploration minérale (CONSOREM) est un partenariat de recherche appliquée précompétitive et collaborative unique qui regroupe des membres industriels, gouvernementaux et universitaires afin de contribuer au succès de l'exploration minérale sur l'ensemble du territoire québécois. Le consortium permet de mettre en commun des ressources humaines et financières, de donner accès à la recherche aux petites sociétés d'exploration minérale et de tester des idées d'avant-garde et novatrices puisqu'il possède sa propre équipe de chercheurs. Depuis plus de 20 ans, son mode de fonctionnement, basé sur la participation proactive des entreprises, fait en sorte de favoriser la production d'outils géotechnologiques qui répondent directement aux besoins stratégiques de l'industrie.

Les bénéfices collectifs passent également par un transfert efficace des technologies et des connaissances vers ses membres, puis vers l'ensemble de la communauté géoscientifique contribuant ainsi à la formation de personnel hautement qualifié.

Le CONSOREM contribue également à l'exploration minérale responsable en fournissant à l'industrie des outils et des méthodes plus performantes, ce qui demande moins d'investissement et occasionne moins d'impacts environnementaux pour arriver à une découverte.

Le présent rapport d'activités 2022-2023 du CONSOREM permet de présenter les faits saillants des projets de recherche ainsi qu'une description des activités administratives, de formation et de transfert de connaissances. •

Visitez consorem.ca

Mission

Contribuer au succès de l'exploration minérale au Québec par des projets de recherche innovants de nature précompétitive-collaborative choisit par l'industrie, et par la formation et le transfert vers les utilisateurs.

Vision

Assurer la pérennité de la recherche précompétitive et du transfert dans le domaine de l'exploration minérale au Québec. Chef de file incontournable, sa notoriété et ses percées majeures transcendent toutes les frontières par la production d'outils géotechnologiques innovants pour une industrie plus performante.

Objectifs généraux

le développement de technologies et de connaissances appliquées à l'exploration minérale;

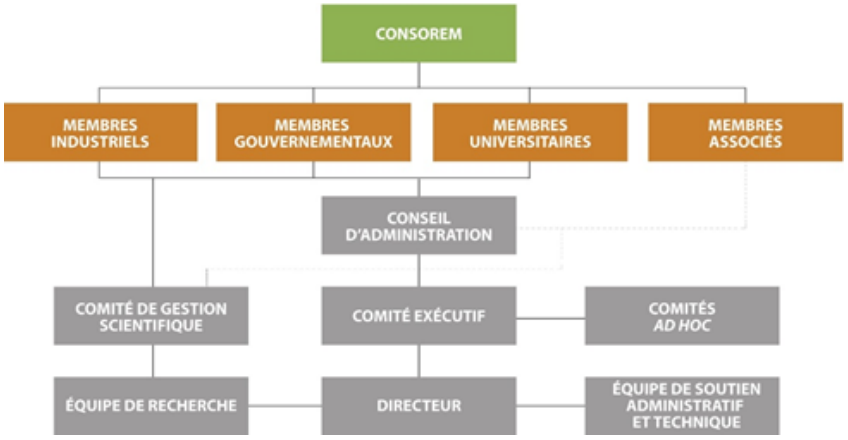
le développement de modèles d'exploration minérale;

l'animation et le transfert vers les utilisateurs industriels;

la formation de personnel hautement qualifié en exploration minérale.

Structure organisationnelle

Les membres industriels, universitaires, gouvernementaux et associés constituent le fondement du consortium et collaborent avec l'équipe de recherche et la direction. La gouvernance du CONSOREM (organigramme ci-dessous) est assurée par le conseil d'administration qui est composé d'un.e administrateur.trice par membre. Un.e représentant.e par membre est également nommé sur le comité de gestion scientifique (CGS). La structure du CONSOREM est complétée par le comité exécutif (CE) et les comités ad hoc. Le directeur assure la liaison entre le CA, le CE et le comité de gestion scientifique (CGS) et dirige les activités de recherche, de diffusion et de transfert. Il est supporté par l'adjointe à la direction et la technicienne en comptabilité .



Organigramme du CONSOREM

Le financement du consortium en 2022-2023 était assuré par les cotisations d'adhésion des membres industriels, d'une contribution de l'Agence de développement économique Canada pour les régions du Québec (DEC), d'un financement du ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec (MRNF) et du Programme d'appui au développement des secteurs stratégiques et des créneaux d'excellence (PADS) du ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie du Québec (MEIE) à travers le Groupe MISA.

Les membres adhérents du CONSOREM étaient composés en 2022-2023 de 23 membres industriels, 3 membres universitaires, 2 membres gouvernementaux et 4 membres associés. Trois nouveaux membres se sont joint au CONSOREM pour l'année 2022-2023 soit, Québec Copper & Gold, Barrick Gold et Goldspot Discoveries. •

NOS MEMBRES INDUSTRIELS

SOQUEM · GLENCORE · AGNICO EAGLE · ALAMOS GOLD INC. · OSISKO MINIÈRE OSISKO · RESSOURCES FALCO · MIDLAND EXPLORATION · PROBE METALS INC · ABITIBI GÉOPHYSIQUE · eldorado gold Québec · HARFANG EXPLORATION INC. · QPM CORPORATION MÉTAUX PRÉCIEUX DU QUÉBEC · LAURENTIA EXPLORATION · INNOVEXPLO · BHP · Minière O3 · CANADIAN ROYALTIES INC. · WALLBRIDGE · YAMANAGOLD · NioBay METALS · QC COPPER & GOLD · BARRICK · GOLDSPOT DISCOVERIES CORP.

NOS MEMBRES GOUVERNEMENTAUX

Énergie et Ressources naturelles Québec · Développement économique Canada pour les régions du Québec · Canada Economic Development for Quebec Regions

NOS MEMBRES UNIVERSITAIRES

UQAC Université du Québec à Chicoutimi · CERM Centre d'études sur les ressources minérales · UQÀM Université du Québec à Montréal · UQAT Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue · URSTM Unité de recherche et de service en technologie minérale de l'Abitibi-Témiscamingue

NOS MEMBRES ASSOCIÉS

SIDEX · misa · RESSOURCES & INDUSTRIE MINES · Société de développement de la Baie-James Québec

Équipe

Le CONSOREM possède sa propre équipe de recherche qui est entièrement dédiée à la réalisation de la programmation scientifique annuelle. Cette équipe, appuyée par l'équipe de gestion, compte également sur l'implication de professeurs-chercheurs universitaires, de chercheurs associés et sur de nombreux collaborateurs.

Nos chercheuses et chercheurs

Stéphanie Lavaure
Professeure-chercheuse sous octroi

Dominique Genna
Professeur invité

Morgane Gigoux
Professeure-chercheuse sous octroi

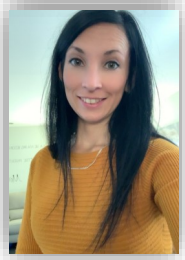
Silvain Rafini
Professeur-chercheur sous octroi

Sylvain Trépanier
Chercheur associé

Équipe de gestion

Benoit Lafrance
Directeur

Brigitte Poirier
Adjointe à la direction



Mélanie Durand-Paquet
Technicienne comptable

Mélanie Lambert
Géomaticienne

Nos collaborateurs 2022-2023

PROFFESSEURS – CHERCHEURS-CHEUSES	
Marc Legault	Professeur – UQAT
Sarah Dare	Professeure – UQAC
Réal Daigneault	Professeur - UQAC
Michel Jébrak	Professeur émérite – UQAM
Stéphane de Souza	Professeur – UQAM
Charles L. Bérubé	Professeur adjoint – Polytechnique de Montréal
Patrick Mercier-Langevin	Commission Géologique du Canada (CGC)
COLLABORATEURS	
Jean-Luc Cyr	Chercheur associé - consultant
Hugo Dubé-Loubert	Géologue - MRNF
Jean Goutier	Géologue consultant

Le conseil d'administration (CA) est l'entité légale de la corporation qui assure l'atteinte des objectifs stratégiques et financiers du CONSOREM. En 2022-2023, il était composé de 27 administrateurs (23 membres industriels réguliers; 2 membres gouvernementaux; 3 membres universitaires) et de quatre observateurs (4 membres associés) (Encadré Administrateurs -trices). Il y a eu cette année 3 conseils d'administration (68e, 69e et 70e) et la 23e Assemblée générale annuelle.

Le comité exécutif (CE) assure pour sa part le suivi des activités de gestion et le suivi des activités des comités *ad hoc*. Il y a eu **7** rencontres du comité exécutif qui est composé des officiers Marco Gagnon (président), Claude Pilote (vice-présidente), Pierre-Brubé (vice-président), Gino Roger (vice-président) ainsi que de Stéphane de Souza (administrateur), Benoit Lafrance (directeur) et Brigitte Poirier (secrétaire). Les principaux faits saillants des réalisations du comité exécutif, en plus du suivi des différents dossiers courants, ont été de revoir le mode de réalisation des états financiers et de l'élection des administrateurs.

Les fondateurs du CONSOREM

Les fondateurs du CONSOREM sont Réal Daigneault, Michel Jébrak et Michel Gauthier. Réal et Michel J. sont tous les deux encore actifs, respectivement comme administrateur et conseiller scientifique.

Administrateurs.trices

Industriels

Marco Gagnon , Président—Probe Gold
Pierre Bérubé, Vice-président—Abitibi Géophysique
Gino Roger , Vice-président—Exploration Midland
Claude Pilote , Vice-présidente—Ressources Falco
Olivier Grondin — Agnico Eagle
Raynald Vincent — Alamos Gold
Normand Champigny - CMPQ
Jacques Simoneau – Eldorado Gold Québec
Alexis Paulin-Bissonnette –Exploration Laurentia
Normand Dupras – Glencore
Vincent Dubé-Bourgeois—GoldSpot
François Huot– Exploration Harfang
Alain Carrier – InnovExplo
Rose-Anne Bouchard —Minière Osisko
Louis Gariépy – Minière O3
Tony Brisson – SOQUEM
Pascal Paré —BHP
Simon Houle —Barrick Gold
Yueshi Lei — Canadian Royalties
Charles Beaudry — Qc Copper&Gold
Sebastien Bernier — Yamana Gold
Peter Lauder — Wallbrige
Jean-Sébastien David — Niobay Metals

Universitaires

Réal Daigneault – UQAC
Fiona-Ann Darbyshire – UQAM
Jovette Godbout – UQAT

Gouvernementaux

Jean-Yves Labbé — MERN
Ann-Émilie Desbiens — DEC

Associés

Alain Beauséjour — Groupe MISA
Isabelle Cadieux — SIDEX
Paul Dumas — Tertio
Simon T. Hébert — SDBJ

Les comités *ad hoc* (communication, technique-aviseur et financement) ont été mis en place dans le but d'assurer la mise en œuvre de certaines des actions prévues à la planification stratégique 2020-2025 du CONSOREM (encadré ci-contre). Il y a eu 4 rencontres au total des comités *ad hoc*. Cette année, le comité technique-aviseur a fait la révision des critères d'évaluation pour la faisabilité et la livraison des projets du CONSOREM alors que le comité financement a fait avancer le dossier de la propriété intellectuelle et des questions entourant la possibilité de mise en marché de certain résultats de recherche du CONSOREM avec Annie Chamberland d'Axelys (accompagnement en développement et transfert d'innovations à haut potentiel issue de la recherche publique).

La direction a également été accompagnée durant 4 rencontres par Claude Riverin, coach en amélioration continue en entreprise de MNP, afin d'améliorer le plan d'action et de suggérer un modèle de plan de communication simplifié.

Comités *ad hoc*

« Les comités *ad hoc* assurent la mise en œuvre de la planification stratégique du CONSOREM »

Comités *ad hoc*

Comité communication

Marco Gagnon — Probe Gold
Claude Pilote — Ressources Falco
Alain Beauséjour — Groupe MISA
Benoit Lafrance — CONSOREM
Brigitte Poirier — CONSOREM

Comité aviseur-technique

Marco Gagnon — Probe Gold
Serge Perreault—Consultant
Pierre Bérubé—Abitibi Géophysique
Michel Jébrak—UQAM
Benoit Lafrance — CONSOREM
Brigitte Poirier — CONSOREM

Comité financement

Marco Gagnon — Probe Gold
Gino Roger — Exploration Midland
Jovette Godbout — UQAT
Normand Champigny— CMPQ
Benoit Lafrance — CONSOREM
Brigitte Poirier — CONSOREM

Le comité de gestion scientifique (CGS) est composé d'un.e représentant.e par membre, soit 31 représentants.es pour l'année 2022-2023 (voir encadré ci-contre). Les activités de transfert des connaissances du CONSOREM vers ses membres passent principalement par les activités du CGS qui incluent l'exercice de programmation scientifique annuelle, les réunions du comité ainsi que les activités d'accompagnement (voir le projet 2022-09). Par le fait même, le mandat des représentants du CGS est de s'impliquer activement dans la proposition de nouveaux projets qui alimenteront la nouvelle programmation scientifique annuelle, d'assurer le suivi des travaux de recherche et d'entretenir une dynamique d'échange de connaissances et de données entre les membres et l'équipe de recherche. De plus, les représentants.es sont responsables de transférer les bases de données ainsi que les documents confidentiels et autres documents à l'interne de leur entreprise. Enfin, ce sont également les membres du CGS qui sont responsables de coordonner la participation aux formations continues offertes par les chercheurs du CONSOREM au sein de leur organisation (projet 2022-09).

Activités de transfert pour les membres

« Le CGS, à travers ses activités, assure un transfert et un échange d'idées entre l'équipe de recherche et les membres afin de favoriser l'avancement des connaissances dans le domaine de l'exploration minérale. »

Représentants.es CGS

Industriels

Luc Théberge — Probe Gold
Nadine Veillette — Abitibi Géophysique
Jean-François Larivière—Exploration Midland
Claude Pilote—Ressouces Falco
Olivier Côté-Mantha—Agnico Eagle
Simon Comtois-Urbain—Alamos Gold
Pascal Paré—BHP
Pape Mactar-Dieng — Eldorado Gold Québec
Rémi Clairet— Exploration Laurentia
Stéphane Faure — Glencore
Antoine L. Ouellet — GoldSpot
Jérôme Lavoie — Harfang Exploration
Arnaud Fontaine— InnovExplo
Rose-Anne Bouchard— Minière Osisko
Sébastien Vigneau—Minière O3
Anthony Franco de Toni—SOQUEM
Pierre Bedeaux— Barrick Gold
Maxim Boisvert—Canadian Royalties
Charles Beaudry— Qc Coppper&Gold
Dominic Chartier—Yamana Gold
Nicolas Gaillard—Wallbridge
Jacquelin Gauthier—Niobay Metals

Universitaires

Sarah Dare—UQAC
Stéphane de Souza—UQAM
Marc Legault—UQAT

Gouvernementaux

Yannick Daoudene—MERN
Patrick Mercier-Langevin—CGC

Associés

Isabelle Cadieux—Sidex
Simon T. Hébert—SDBJ

Une des composantes uniques du CONSOREM est que la proposition et la sélection des projets réalisés chaque année proviennent directement des membres du CGS lors de l'exercice de programmation scientifique. Ce processus vise à discuter des problématiques et des enjeux propres au domaine de l'exploration minérale auprès de nos membres industriels, dans le but de récolter de nouvelles idées de projet. La base de la démarche pour choisir la programmation scientifique annuelle existe depuis plus de 20 ans et a fait l'objet de certaines améliorations au cours des 3 dernières années, notamment en simplifiant la récolte de nouvelles idées de projet et en tenant certaines réunions en mode virtuel. Cette année, le processus a encore fait l'objet d'une démarche visant la bonification de la méthode de la sélection des projets tel qu'identifié comme objectif dans la planification stratégique 2020-2025. En parallèle aux étapes classiques de la programmation, certains membres ont donc été sollicités pour tester d'autres outils d'aide à la sélection des projets ainsi que pour réviser les critères d'évaluation des projets utilisés pour la faisabilité et la livraison.

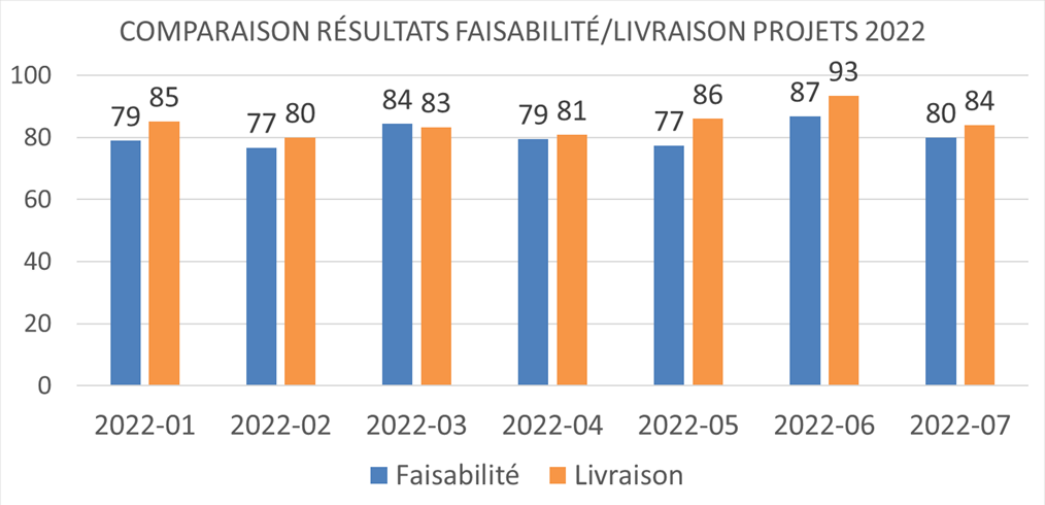
Cette année, la récolte de nouvelles idées de projet, sous la forme d'un sondage en ligne a permis de générer pour la nouvelle programmation scientifique 2023-2024, 7 nouvelles propositions de projet régulier et 1 projet MISA en plus de reconduire 14 idées de projets non réalisés des années antérieures pour un total de 22 projets. Par la suite, une rencontre en présence avec 26 participants a eu lieu pour discuter des nouvelles idées de projets le 15 février 2023.

La liste courte des projets regroupés par bloc thématique a été présentée le 27 mars 2023 auprès de 21 participants. Le vote de sélection finale de 8 projets a été effectué en ligne du 27 mars au 6 avril 2023. En plus des réunions pour la programmation scientifique, le comité de gestion scientifique (CGS) du CONSOREM tient des réunions pour la faisabilité, le suivi et la livraison des projets de recherche.

La faisabilité des projets 2022 a été présentée en trois séances par visioconférence les 6, 8 et 13 septembre 2022 avec 27 participants à chaque rencontre. Durant ces réunions, le CGS fait l'évaluation des projets afin de déterminer s'il est bien orienté et y exprime également ses attentes selon 5 critères : 1) pertinence pour l'exploration, 2) potentiel R&D et innovation, 3) réalisme des objectifs, 4) méthodologie proposée et 5) intérêt général pour le projet. Les résultats d'évaluation de la faisabilité montrent que la perception relative des projets selon les 5 critères d'évaluation varie de 77 à 87 % (graphique ci-dessous).

La deuxième rencontre permet de présenter l'avancement des projets. Ces réunions ont eu lieu dans le cadre de Québec Mines + Énergie 2022, soit les 24 et 25 novembre 2022 : 26 et 22 participants respectivement ont pris part aux réunions. Les membres du CGS en profitent pour faire des commentaires, recadrer certains projets ou encore fournir des données terrain selon le cas. La livraison des projets a été présentée en deux séances les 26 et 27 avril 2023 à Montréal. Vingt participants ont pris par à chacune de ses réunions. À cette occasion, les membres ont évalué les résultats pour chacun des projets selon cinq critères: 1) résultats pratiques pour l'exploration, 2) composante recherche et/ou innovation, 3) rencontre des objectifs, 4) qualité des résultats et 5) appréciation générale du projet. La perception des résultats des projets à la livraison selon les 5 critères varie de 80 à 93 % (graphique ci-dessous).

Dans presque tous les cas, l'évaluation des résultats de la livraison dépasse l'évaluation de la faisabilité, ce qui indique que les membres sont satisfaits des résultats livrés et que les attentes ont été atteintes. Ceci souligne également l'excellent travail de l'équipe de recherche.



La programmation 2022-2023 comptait 6 projets réguliers, 1 projet collaboratif avec le Groupe MISA, 1 projet de compilation des cibles d'exploration CONSOREM (2000 à 2022) et 1 projet d'accompagnement. Les projets réguliers permettent de développer de nouveaux outils, de nouvelles méthodes et des logiciels prototypes en plus de générer, dans certains cas, des cibles d'exploration. Les projets avec le Groupe MISA sont des suites de projets CONSOREM pour lesquels il existe une possibilité de développement d'une échelle de niveau de maturité technologique 3 à 6 (échelle TRL) (validation du concept, échelle laboratoire) vers un niveau de maturité technologique plus élevé (7 à 9, démonstration du prototype, essais dans un environnement opérationnel). Le projet d'accompagnement se distingue des projets réguliers ayant pour objectif de favoriser l'implantation des outils CONSOREM chez les équipes d'exploration des membres.

Les projets de recherche ont permis de générer 74 produits livrables aux membres soit, 21 présentations *PowerPoint*, 1 rapport scientifique et 6 à venir, 1 nouvelle version du logiciel LithoModeleur v.4.4.1 et 3 bibliographies.

Pour chaque projet, un résumé est présenté en plus d'une fiche sommaire identifiant les objectifs, les résultats et les innovations. Les résumés complets des résultats des projets ainsi que les rapports finaux, une fois la période de confidentialité terminée, sont disponibles dans la bibliothèque virtuelle du CONSOREM, section programmation scientifique pour les résumés et section rapports scientifiques pour les rapports.

Projets 2022

2022-01: Intégration/synthèse des outils pour le traitement de l'environnement secondaire – phase II

2022-02: Valorisation des données de susceptibilité magnétique pour l'exploration minérale phase II (optimisation dans la mise en œuvre d'inversions géophysiques 3D)

2022-03: Évaluation de l'efficacité de la méthode biogéochimique d'échantillonnage d'écorce d'épinette ("spruce-bark sampling") pour la détection de gisements de métaux usuels et précieux

2022-04: Acquisition et valorisation des données géométallurgiques à un stade précoce d'exploration.

2022-05: Utilisation des méthodes statistiques multivariables en géochimie de l'exploration - Revue des méthodes et applications pratiques.

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

2022-07: Vectorisation géochimique au sein des intrusions mafique-ultramafiques pour l'exploration des gîtes magmatiques à Ni-Cu-EGP – projet MCS.

2022-09: Accompagnements

2022-10: Base de données de compilation des cibles d'exploration du CONSOREM de 2000 à 2022

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

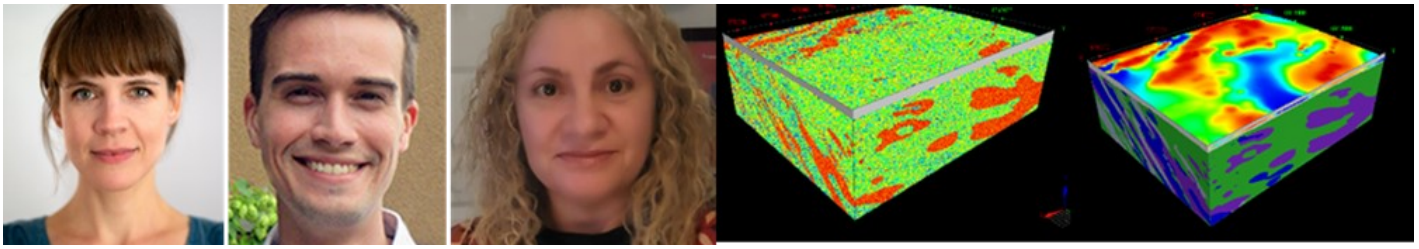
Silvain Rafini, Ph.D. – CONSOREM
Collaborateur : Sylvain Trépanier, géo, M. Sc.A.

L'environnement secondaire (ES) constitue l'ensemble des milieux minéraux liquides, solides et gazeux dans lesquels se produisent des remobilisations géochimiques 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 fixé 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. 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, 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 ; 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 ». •

Objectif : Réaliser une intégration/synthèse des travaux du CONSOREM sur la thématique de la géochimie de l'environnement secondaire (ES) en exploration.

Résultats : 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, desservant contient 17 fiches thématiques textuelles et plusieurs outils informatiques implémentés dans LITHOMODELEUR (mode « ES »).

Innovations : Structure du guide, arbre de décision sur la réalisation d'un levé d'ES, implémentation numérique dans le logiciel.



Projet 2022-02 : Valorisation des données de susceptibilité magnétique pour l'exploration minérale – phase II (optimisation dans la mise en œuvre d'inversions géophysiques 3D)

Par Morgane Gigoux, Ph.D. – CONSOREM
Collaborateurs : Sylvain Trépanier, géo, M. Sc.A. ; Charles L. Bérubé, Ph.D., Professeur adjoint, Polytechnique de Montréal et Francine Fallara, géologue senior 3D, Glencore

Dans la première phase du projet, un premier volet 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) tester 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 améliorer les 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).

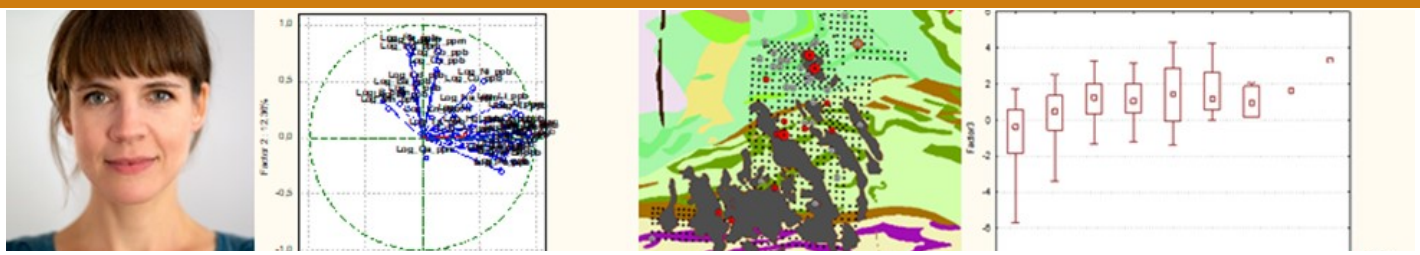
La seconde phase réalisée cette année a permis de renforcer et de valoriser les outils développés précédemment pour l'optimisation des inversions 3D en géophysique. Pour atteindre les objectifs, plusieurs étapes ont dû être réalisées successivement : 1) bâtir un modèle lithologique de la zone d'étude; 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; 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'inversions géophysiques 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 réalisés mettent en évidence que peu importe la densité de contraintes utilisées, 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. Ce qui souligne clairement les limites de la méthodologie inverse en géophysique, sa complexité et le danger des interprétations hâtives en exploration minérale. •

Objectif : Guide méthodologique et pédagogique pour une utilisation éclairée de la susceptibilité (K) dans les modèles d'inversions en exploration minérale pour les non-géophysiciens et évaluation de l'impact de la densité de données de K sur les résultats d'inversion.

Résultats : Prédiction et propagation de la susceptibilité en dehors des forages à partir de l'auto-encodeur;
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. Les contraintes ponctuelles par forages permettent de réduire de moitié les erreurs sur la solution des inversions contraintes.

Innovation : Application et valorisation de l'outil auto-encodeur développé en phase 1.



Projet 2022-03 : Évaluation de l'efficacité de la méthode biogéochimique d'échantillonnage d'écorce d'épinette pour la détection de gisements de métaux usuels et précieux

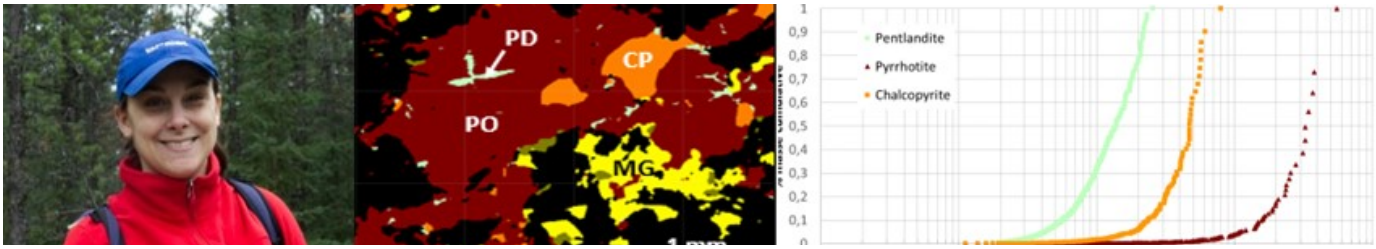
Par Morgane Gigoux, Ph.D. – CONSOREM
Collaborateur : Sylvain Trépanier, géo., M. Sc.A.

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 des végétaux peuvent être considérés 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, les 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 en 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 SIGEOM. 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.•

Objectif : 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.

Résultats : 60 % du signal géochimique des écorces d'épinettes noires sont contrôlés par les paramètres environnementaux (tourbière et pH) et métaboliques (croissance et diamètre); 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; la méthode par analyse résiduelle des composantes principales permet de filtrer les effets des tourbières et du métabolisme.

Innovations : Fichier de 63 cibles d'anomalies résiduelles (seuil 2, > 99e percentile); 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).



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

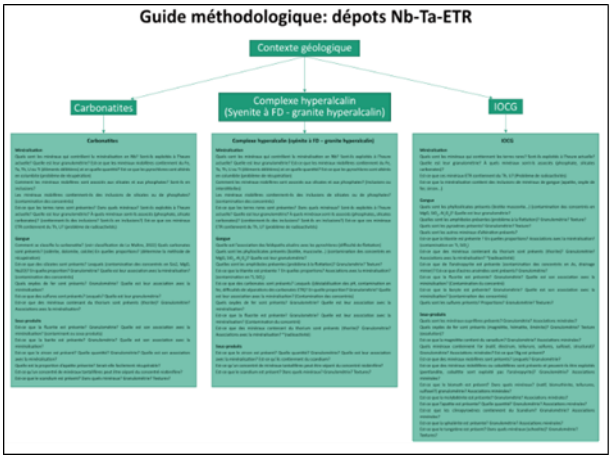
Par Stéphanie Lavaure, géo, Ph. D. — CONSOREM

La géométallurgie est une science qui regroupe plusieurs domaines d'expertises (géologie, métallurgie, chimie, génie minier, etc.) dans le 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 étant 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 intéressé aux gisements de sulfures massifs volcanogènes (SMV), aux gisements Nb-Ta-ETR et aux gisements de Fe-Ti ±V±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 1). 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 guides. Ces données peuvent servir à comparer la chimie des minéraux contenant les substances recherchées dans les indices avec celles de gisements de classe mondiale.

La méthodologie établie a été mise en application sur quinze indices de la région Saguenay Lac-Saint-Jean, soit 8 indices Ni-Cu±Co, 4 indices Nb-Ta-ETR et 3 indices Fe-Ti±V±P. Une compilation des informations existantes pour chacun des indices a été réalisée à partir de rapports disponibles sur le SIGEOM et des diverses thèses universitaires disponibles. Pour 11 de ces indices, des données minéralogiques ont également été acquises de manière automatisée sur des lames minces et sur des sections polies avec les outils ARTSection et ARTMin (développé par IOS Services Géoscientifiques). Une méthode de valorisation des données 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 Saguenay–Lac-Saint-Jean 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 Saguenay–Lac-Saint-Jean (SLSJ) (Figure 2).



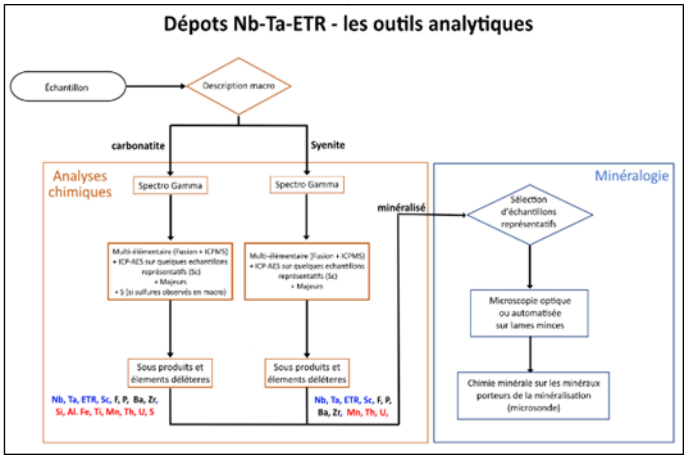
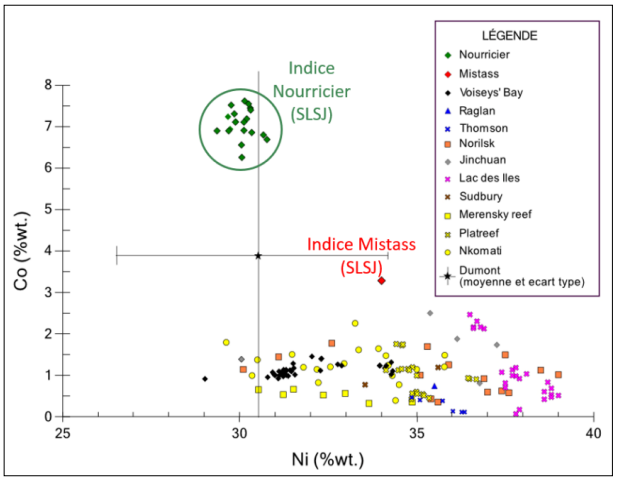


Figure 1 : Guide méthodologique pour les dépôts Nb-Ta-ETR.



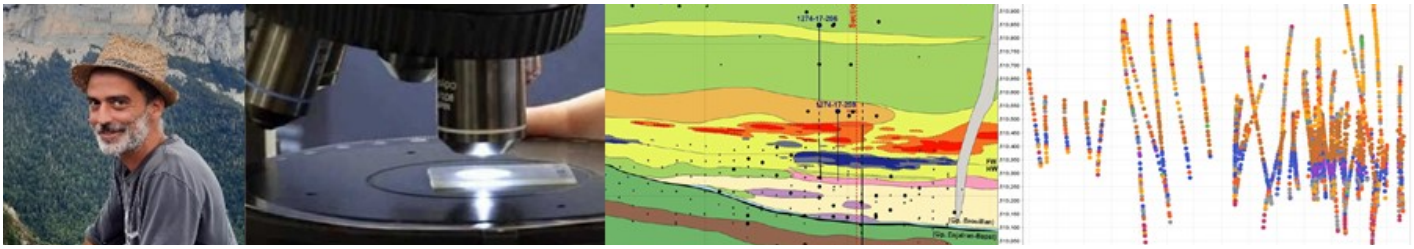
Sources des données : Cabri et al., 1984 ; Chen et al., 2015 ; Chopard, 2017 ; Darlington Manyeruke, 2007 ; Dare et al., 2010; Dare et al.; 2014; Duran, 2015; Huss, 2002 ; Godel, 2007; Jiao et al., 2017 ; Kelvin, 2015 ; Liwanag, 2001 ; Mansur, 2020 ; Royal Nickel Corporation, 2019 ; Soquem et Mines d'or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

Figure 2 : Teneur en Ni vs Co dans les pentlandites.

Objectif : 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); 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.

Résultats : 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; 1 guide d'outils analytiques pour acquérir les données à l'étape précoce d'exploration + BD Access.

Innovations : 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.



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

Silvain Rafini, Ph.D. – CONSOREM
Collaborateur : Sylvain Trépanier, géo, M. Sc.A.

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, 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 volcanogènes. Ces tests ont été réalisés pour les applications suivantes de l'exploration : classification lithologique, classification métasomatique et vectorisation.

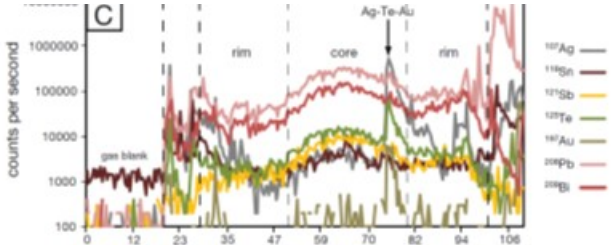
Les résultats démontrent sans équivoque les performances remarquables de ces outils : caractérisation fine des unités lithologiques et des altérations hydrothermales, définition des assemblages géochimiques prospectifs. Le caractère itératif des *workflows* s'avère être incontournable, de même que les multiples étapes de validation par des allers-retours entre l'espace des données et l'espace des connaissances géologiques, géochimiques, géographique. 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 portants 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, validation des résultats. Une deuxième phase de ce projet est prévue en 2023. •

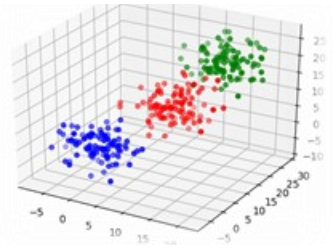
Objectif : Guide pédagogique des statistiques multivariées pour les géologues et Évaluer l'utilisation des méthodes statistiques multivariée pour résoudre les problèmes de géochimie en exploration minérale.

Résultats: 1 catalogue des algorithmes et de leurs fondements, et l'identification des *workflows* (flux opérationnels) efficaces pour la résolution de problèmes pratiques en exploration en contexte de minéralisations volcanogènes.

Implémentation des fonctionnalités pour le traitement multivarié dans LithoModeleur v. 4.4.1.

Innovations: 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.





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

Dominique Genna, géo.,Ph.D. – CONSOREM
Collaborateurs : Sylvain Trépanier géo., M. Sc.A, Damien Gaboury, géo., Ph.D., Jean Goutier géo., M.Sc., Hugo Dubé -Loubert, géo., Ph.D.

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 impliquait 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. En plus de ces analyses, 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 bases de 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 « minerai », avec un taux de succès de 78 %. La prédiction de la classe métallogénique des pyrites identifiées comme « minerai » est basée sur une banque de données de plus de 3000 analyses couvrant la variabilité gitologique 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* intermediaire; porphyre; sulfure massif volcanogène) sont prédictibles avec un taux de succès de 73 % et permettent d'identifier rapidement les métallotectes 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. 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 entrainé, il a été testé à beaucoup plus grande échelle sur des 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 %; 969/5147 analyses), mais aussi d'identifier plusieurs trainées glaciaires parfois rattachées à des indices connus, mais aussi générant 13 secteurs cibles pour l'exploration aurifère. La figure 1 donne l'exemple de trainées 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 année incluent le protocole analytique robuste, la banque de données Access ainsi que l'interface logicielle. •

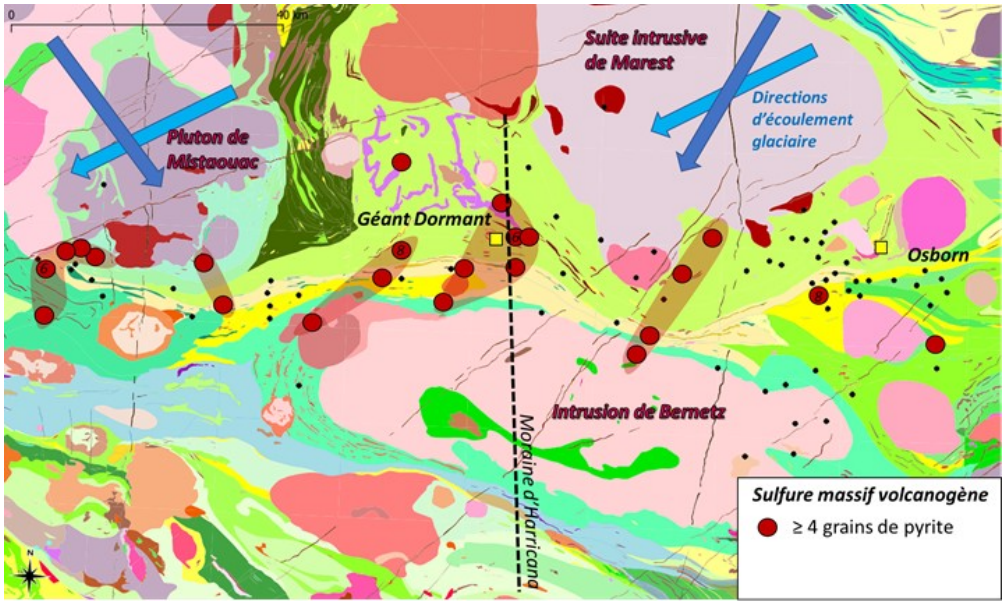
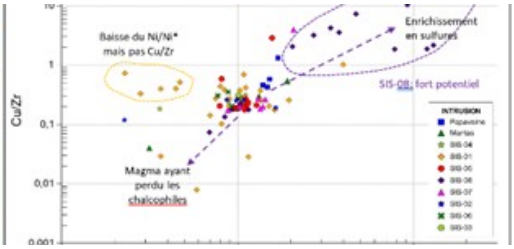


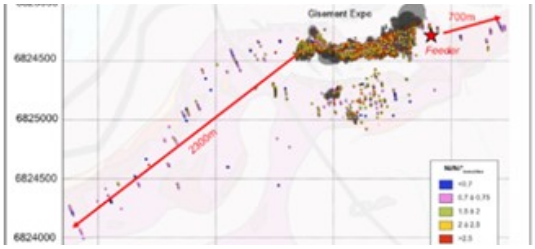
Figure 1 : Trainées glaciaires plurikilométriques présentant des pyrites de la signature « Sulfure Massif Volcanogène » identifiées sur le secteur de la rivière Octave. Les points noirs représentent les sites d'échantillonnages et les cercles rouges les échantillons avec plus de 4 grains possédant une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

Objectif : Rendre accessible l'utilisation de la chimie de la pyrite en contexte de campagne d'exploration aurifère au travers de 3 sous-objectifs : 1) Discriminer le style de minéralisation aurifère; 2) Positionner l'échantillon dans un système minéralisateur (vectoriser) ; 3) Déterminer la fertilité aurifère d'un secteur.

Résultats : 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); démonstration du potentiel d'utilisation de la pyrite pour vectoriser dans les roches, mais aussi dans l'environnement secondaire (Rivière Octave); développement d'une interface logiciel permettant le traitement avancé et le stockage des données (20 000) analyses.

Innovations : Méthodologie innovante d'acquisition des données *in situ* efficace et applicable dans des contextes d'exploration minérale; conception de diagrammes de discrimination permettant de comparer les signatures chimiques des pyrites et utilisation de l'IA pour la classification des gîtes aurifères.





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

Stéphanie Lavaure, géo., Ph. D. — CONSOREM
Collaborateur : Sylvain Trépanier, géo., M. Sc. A.– Chercheur associé

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 rendant 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 (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).

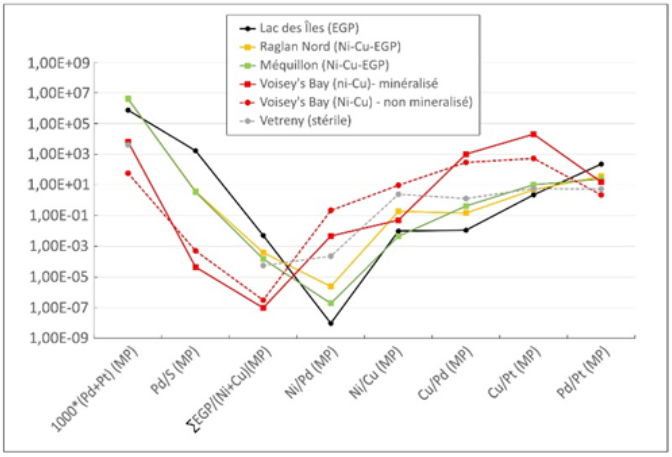


Figure 1: **Signatures des intrusions dans le nouveau diagramme RA-EGPIII**. Intrusions ayant un potentiel pour les gisements Ni-Cu pauvres en EGP (Voisey's Bay, troctolites minéralisées et non minéralisées), les gisements Ni-Cu riches en EGP (formation de Raglan, minéralisation disséminée), les gisements 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 Brügmann *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.

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 rendant 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 (développé à partir d'une sélection de komatiites du Georoc).

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).

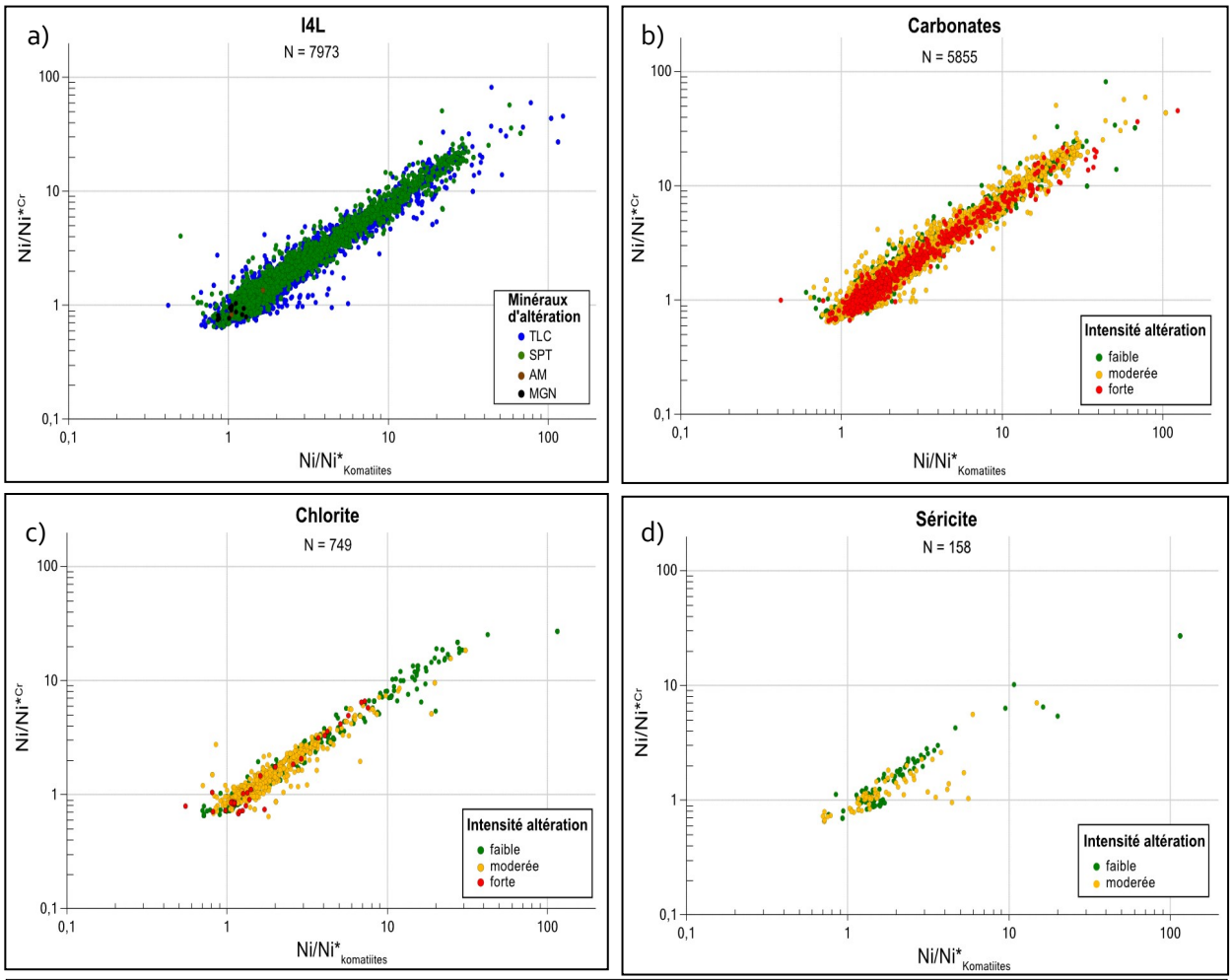


Figure 2: Comparaison du Ni/Ni*komatiites et Ni/Ni*Cr pour les péridotites encaissant le gisement de Grasset : L'indice Ni/Ni*komatiites a été calculé avec le nouvel indice unaire dans Lithomodeleur (construit à partir de l'équation de la courbe de corrélation entre le Ni et le MgO dans les péridotites non minéralisées du Géoroc) 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.

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 identifiable jusqu'à 2300 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 $Ni/Ni^*_{komatiite}$ permet tout de même de quantifier les observations pétrographiques.

Un autre apport important du projet est le développement de deux nouveaux diagrammes : $Ni/Ni^*_{komatiites}$ vs. Cu/Zr (pour les magmas ultramafiques archéens et paléoprotérozoïques) et $Ni/Ni^*_{mafiques}$ vs. 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 priorisés à l'utilisation seuls des indices unaires $Ni/Ni^*_{komatiites}$ et $Ni/Ni^*_{mafiques}$.

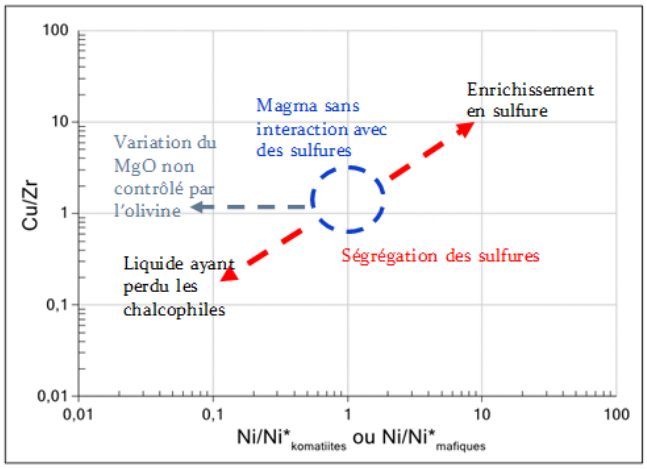


Figure 3: Principe des diagrammes $Ni/Ni^*_{komatiites}$ vs. Cu/Zr et $Ni/Ni^*_{mafiques}$ vs. Cu/Zr

Le Cu et le Zr étant tous les deux très incompatibles lors de la cristallisation fractionnée, la combinaison du ratio Cu/Zr avec 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, à des fins de vectorisation, la géochimie est 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. •

Objectifs : Identifier les outils géochimiques (profils, signature, ratio) qui permettent de vectoriser l'exploration à l'intérieur de suites de roches mafique-ultramafiques et documenter les effets de l'altération sur les outils développés.

Résultats: Nouveau diagramme RA-EGPIII pour identifier la fertilité des intrusions pour les gisements Ni-Cu et EGP; Méthode de calcul du ratio Ni/Ni*Cr en fonction de l'équation de corrélation entre le nickel et le chrome; combinaison de l'indice Ni/Ni*komatiites et Ni/NI*mafiques avec le ratio Cu/Zr dans deux nouveaux diagrammes afin d'identifier la ségrégation de sulfures.

Innovations: Développement de nouveaux outils et diagrammes afin d'identifier la fertilité des intrusions et de vectoriser à l'intérieur de celle-ci.

Projet 2022-09 : Accompagnements CONSOREM

Les activités d'accompagnement sont des formations sous forme de rencontres virtuelles ouvertes à tous les membres du CONSOREM et contribuent à une part importante des activités de transferts des connaissances vers ceux-ci. Cette année, 11 choix d'atelier ont été proposés par l'équipe de recherche. Les membres devaient choisir à l'aide d'un sondage en ligne leurs 3 ateliers préférés de façon à en retenir 8. Le tableau suivant présente la liste des 8 rencontres d'accompagnement tenues par visioconférences ZOOM (Encadré ci-contre). Au total, 334 participants ont été rejoint lors des accompagnements cette année ce qui est similaire à l'année 2021-2022 qui avait intéressé 332 participants. •

Accompagnements 2022-2023

20 déc. 2022 : Géochimie de l'environnement secondaire appliquée à l'exploration minérale (nouveau) , par Silvain Rafini — 40 participants

12 jan.2023 : Atelier sur le plutonisme et minéralisation, par Morgane Gigoux — 52 participants

19 jan.2023 : Analyse des veines hydrothermales en contexte de minéralisations aurifères orogéniques (« gîtes filoniens »), par Silvain Rafini — 62 participants

24 janv. 2023 : Atelier pratique pour la résolution de problèmes en géochimie avec LithoModeleur (nouveau) , par Sylvain Trépanier — 23 participants

07 fév.2023 : Atelier MagnetoModeleur (version 4.0.0), par Jérôme Lavoie — 20 participants

23 février 2023 : Atelier thématique sur le Ni-Cu, par Stéphanie Lavaure — 43 participants

14 mars 2023 : Qualification et quantification de l'altération hydrothermale, par Morgane Gigoux — 53 participants

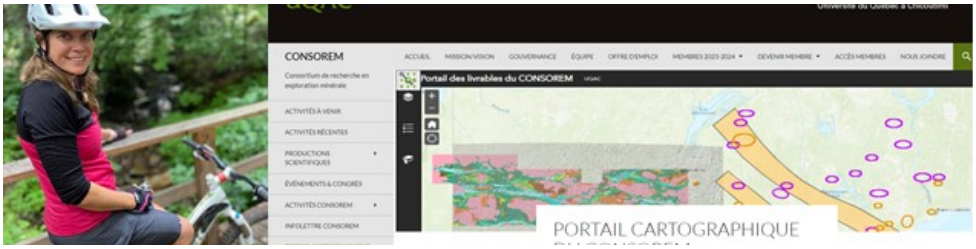
30 mars 2023 : Utilisation des éléments semi-volatils en exploration minérale, par Dominique Genna — 41 participants

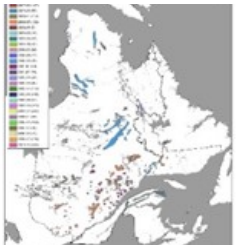
Objectifs : Transfert des connaissances vers l'industrie en favorisant les discussions et échanges avec les géologues des entreprises membres (formation continue reconnue).

Regrouper, revoir et présenter plusieurs projets des années antérieures dans des ateliers thématiques proposés par les chercheurs ;

Apprendre le fonctionnement des logiciels de prototypage développés par le CONSOREM.

Résultats: 8 rencontres par ZOOM ;
20 entreprises d'exploration et un organisme gouvernemental rejoints ;
2 présentations d'atelier logiciel ;
6 ateliers thématiques.





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

Mélanie Lambert, ing., M. Sc.A. — CONSOREM
Collaborateur : Benoit Lafrance, géo., 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^2), régionale (>100 km^2), zonale (1-100 km^2) ; 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 un hyperlien cliquable, au rapport de projet et à leur fiche respective (en format PDF), ce qui facilite la consultation des rapports.

Les dossiers de livraisons comprennent des fichiers en format *shapefile*, *geopackage* (GPKG) et *file geodatabase* (FGDB).

La *file géodatabase* est un format qui permet d'associer les domaines (ex. : groupe métallogénique) à un champ comportant une bande déroulante pour choisir la valeur d'intérêt (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 permettent l'ouverture par le logiciel MapInfo uniquement. La symbologie des couches permet d'être importé 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, mais seront éventuellement accessibles à tous une fois la période de confidentialité terminée. •

Consultez : Portail cartographique du CONSOREM

Objectifs : Compiler les cibles d'exploration générées par les projets de recherche du CONSOREM réalisés de 2000 à 2022 ; Construire une base de données homogène pour l'ensemble des données avec les domaines et champs les plus renseignées possible et convertir l'ensemble des données au système de coordonnées NAD 83 Québec Lambert.

Résultats: 11490 cibles compilées dont :

6 455 cibles ponctuelles (correspondant à 20 projets);
4 994 cibles surfaciques (polygones) (correspondant à 28 projets) ;
91 cibles linéaires (correspondant à 2 projets).

Les cibles disponibles sous différents formats géomatiques.

LithoModeleur version 4.4.1

LithoModeleur 4.4.1

Sylvain Trépanier, géo., M. Sc.A.

Le logiciel LithoModeleur est un logiciel maison qui est développé par le CONSOREM depuis plus de 15 ans, est programmé en Visual Basic et sert à faire le traitement et l'interprétation de données lithogéochimiques qui sont entrées en mode tableur Access. Le logiciel est distribué sous licence annuelle aux entreprises du CONSOREM. La plate-forme logicielle LithoModeleur comporte plusieurs modules notamment deux méthodes de traitement : (1) le bilan de masse par précurseur modélisé et (2) le calcul de minéraux normatifs CONSOREM pour les roches métamorphiques. Il s'agit d'outils qui permettent de mieux définir les empreintes d'altération hydrothermale utiles à la délimitation des secteurs favorables pour l'exploration dans le secteur minier. D'autres modules permettant la construction de différents types de diagrammes et d'analyse statistique.

La nouvelle version 4.4.1 offre d'autres possibilités, Outil d'analyse de la qualité des données de laboratoire réalisé dans la cadre du projet 2022-05, incluant :

Séparation en groupes d'analyses selon les éléments analysés ou par un champ indiquant le type d'analyse;
Graphiques d'identification de la qualité de chaque élément pour chaque groupe ou fenêtre texte indiquant les éléments dépassant les seuils critiques de basse qualité;
Lien avec les analyses multivariables
Ajout de la méthode log-ratio et de la normalisation par moyenne et écart-type dans les analyses statistiques;
Outil de détermination des anomalies par méthode non-paramétrique (centiles et écarts interquartiles);
Identification des groupes d'échantillons d'une base de données selon éléments / absents pour optimiser le nombre d'éléments / analyses dans les outils statistiques multivariables;
Outil d'identification des anomalies multivariables par la distance de Mahalanobis;
Histogrammes;
Diagrammes Q-Q (quantile-quantile).

Nouveaux diagrammes et indices

20 Indices d'anomalies pour les écorces d'épinettes noires en Abitibi;
Diagrammes et indices pour l'exploration du Ni-Cu projet 2022-07 : Ni vs MgO, indices Ni et Ni attendu par MgO pour intrusions mafiques et komatiites, diagramme Cu/Zr vs. Ni – Ni attendu;
Nouveaux diagrammes et indices issus de la littérature;
Diagramme arachnide multi-éléments pour l'analyse des pyrites;
Outil d'importation des configurations de bases de données à partir des versions précédentes du logiciel;

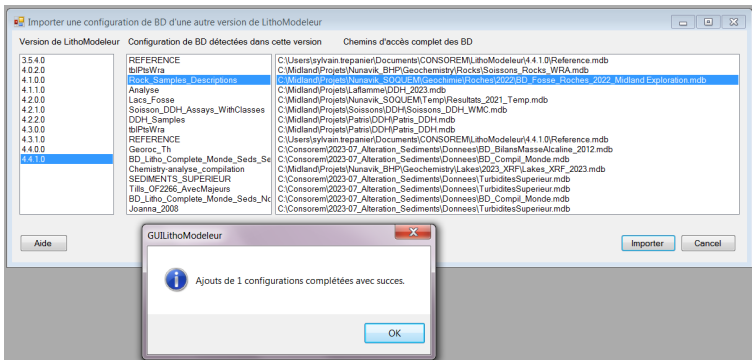
Outil d'importation des diagrammes / indices à partir de versions précédentes du logiciel.

L'équipe de chercheuses et de chercheurs génère chaque année, par la réalisation de leurs projets, un ensemble de bases de données, de fichiers de données cartographiques, de données brutes, de rapports, et de listes bibliographiques qui sont rendus disponibles aux membres.

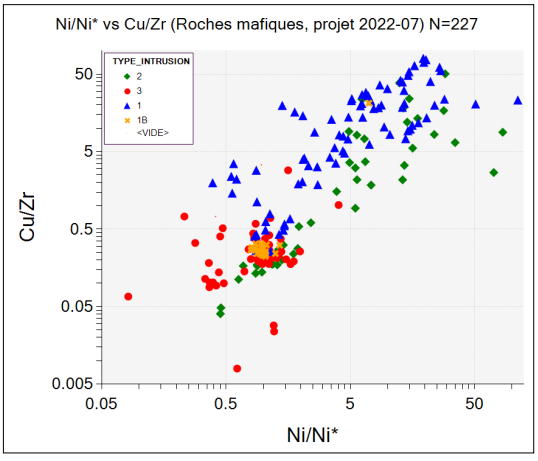
Les outils technologiques qui découlent des résultats des projets de recherche et qui sont développés au CONSOREM sont de trois types : les outils méthodologiques (OM) qui sont de nouvelles méthodes élaborées ou modifiées par le CONSOREM et qui permettent de traiter un ensemble de données indépendamment du territoire; les outils d'aide à l'interprétation (OAI) et à la décision qui permettent l'intégration, la comparaison et l'analyse d'un ensemble de données spécifiques afin d'évaluer le potentiel minéral; les outils de ciblage (OC) ,qui grâce à l'intégration de données de diverses banques et/ou par l'acquisition de nouvelles connaissances permettent d'appliquer de nouveaux concepts afin de délimiter des zones prospectives sur des territoires spécifiques.

Les projets 2022 ont permis de générer 14 nouveaux outils d'exploration minérale pour les membres, dont 6 outils méthodologiques (OM) 6 outils d'aide à l'interprétation (OAI) et 2 outils de ciblage (OC) (encadré ci-contre).

a)



b)



Outil logiciel LithoModeleur : a) Module d'importation des configurations des BD; b) Diagramme et indices pour l'exploration Ni-Cu (projet 2022-07).

Synthèse des outils par projet

Méthodologique (OM)

2022-01 : Guide d'utilisation de l'environnement secondaire pour l'exploration minérale

2022 -02 : Guide méthodologique et pédagogique pour une utilisation éclairée de « K » dans les modèles d'inversions en exploration minérale

2022-03 : Guide méthodologique pour la détection de gisements de métaux usuels et précieux dans les écorces d'épinettes

2022-04 : Guide méthodologique : Au, SMV Cu-Zn±Pb, Ni-Cu±Co±EGP magmatique, ETR-Nb-Ta, Fe-Ti±V±P

2022-05 : Catalogue des algorithmes et de leurs fondements, identification de « workflows » efficace pour la résolution de problèmes pratiques en exploration en contexte de minéralisations volcanogènes

2022-06 : Méthodologie d'acquisition des données in situ efficace et applicable dans des contextes d'exploration minérale

Aide à l'interprétation (OAI)

2022-01 : Guide d'utilisation de l'environnement secondaire pour l'exploration minérale

2022 -02 : Guide méthodologique et pédagogique pour une utilisation éclairée de « K » dans les modèles d'inversions en exploration minérale

2022-04 : 4 bases de données *Access* de chimies minérales

2022-05 : Fonctionnalités pour le traitement multivarié : analyse qualité et préparation des données, algorithmes dans LithoModeleur 4.4.1

2022-06 : Diagrammes de discrimination permettant de comparer les signatures chimiques des pyrites

2022-07 : Nouveau diagramme RA-EGPIII pour identifier la fertilité des intrusions pour les gisements Ni-Cu et EGP dans LithoModeleur et indices uniares

Ciblage (OC)

2022-03 : cibles d'exploration associées à la biogéochimie de l'épinette noire

2022-06 : cibles exploration associées à la chimie de la pyrite

Les outils de ciblages permettent de mettre en valeur certains secteurs selon les résultats des projets. Nous classons ces cibles selon : 1) l'aspect tangible et 2) sa dimension. Les cibles tangibles ou directes (niveau 1) sont celles associées à des données factuelles sur le terrain (p. ex. un échantillon ou une anomalie géophysique). Les cibles intangibles ou indirectes (niveau 2) sont celles issues de modélisations géologiques et/ou numériques, donc basées sur des hypothèses ou des méthodes. Elles peuvent être classées en priorité 1 ou 2 selon le cas. La dimension des cibles est décrite comme suit : territoire favorable dépassant la centaine de km^2 (cible régionale); dépassant le km^2 (cible zonale) inférieur au km^2 (cible locale). Les résultats de deux projets ont généré des cibles d'exploration, le projet 2022-03 qui a généré 63 cibles d'exploration et le projet 2022-06 qui a généré 13 cibles d'exploration.

Cibles d'exploration 2022

Projet 2022-03 : Cibles d'épinettes anomalies seuil 1 et 2

63 cibles de Niveau 1, à l'échelle locale de Priorité 2

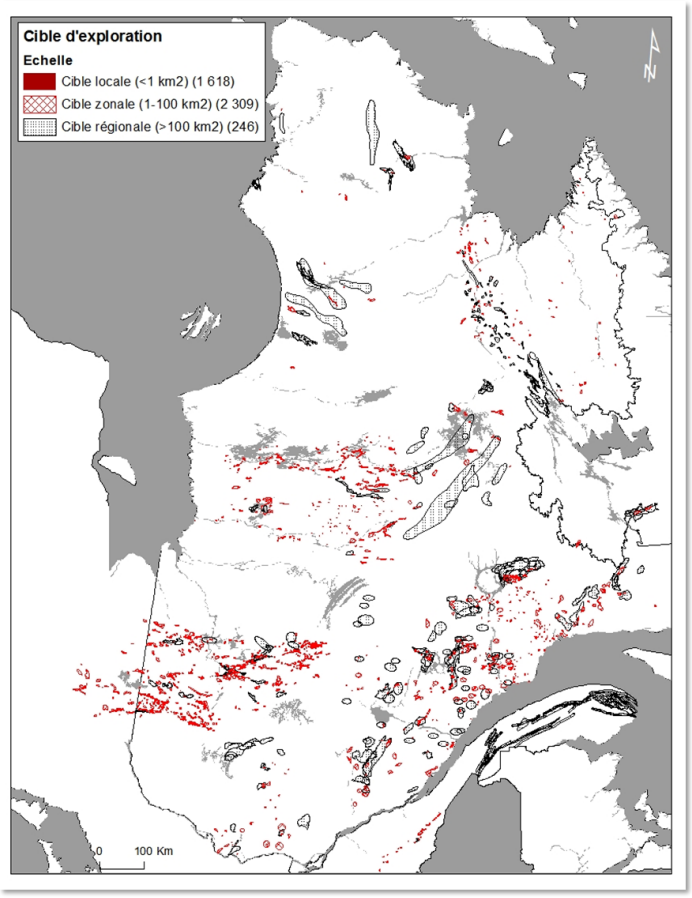
(Éléments : As, Bi, Hg, Sb, Pb, Cu, Zn, Ag, Li, Ni)

Projet 2022-06 : Cibles 202206001 à 202206013

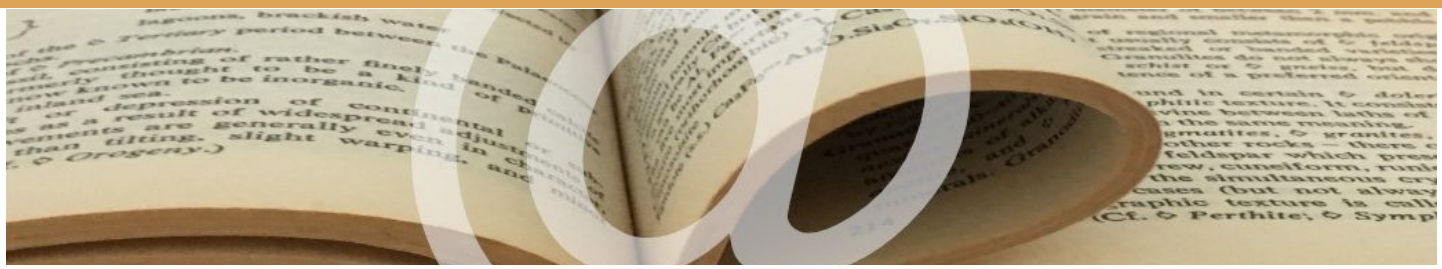
13 cibles de Niveau 2, à l'échelle Zonale de Priorité 1*

(Secteur rivière octave : Minéralisation aurifère : SMV et orogénique)

L'ensemble des cibles d'exploration sont maintenant compilés dans leur ensemble et disponibles aux membres par le biais d'une base de données disponible dans la bibliothèque virtuelle du CONSOREM.



Exemple des cibles d'exploration surfaciques dans la BD des cibles du CONSOREM (Lambert, M.2022).



Les projets de recherches génèrent plusieurs documents rendus publics une fois libérés de la confidentialité. Ces documents sont disponibles dans la bibliothèque virtuelle du CONSOREM.

Un rapport technique du CONSOREM a été mis en ligne cette année, soit celui du projet 2017-05 : Hydrogéochimie des eaux souterraines appliquées à l'exploration minérale - phase 2 – Plusieurs rapports sont en révision finale et seront disponibles au cours de l'année à venir.

Les résumés des projets 2021 libérés de la confidentialité ont été mis en ligne dans la bibliothèque virtuelle du CONSOREM et sont accessibles au public (voir encadré ci-dessous).

Résumés des projets rendus publics

2021-01 : Intégration/synthèse des outils pour le traitement de l'environnement secondaire

2021-02: Valorisation des données de susceptibilité magnétique en exploration minérale

2021-03: Synthèse métallogénique, métamorphique, géochronologique et structurale d'Eeyou Istchee Baie-James – Phase II

2021-04: Acquisition et valorisation des données géométallurgiques à un stade précoce d'exploration

2021-05: Minéralisation de type skarn à Cu-Au en contexte volcanique archéen

2021-06: Utilisation de la chimie des pyrites en contexte d'exploration aurifère : Optimisation du protocole analytique et applications – MISA

2021-07: Traitement automatique des levés magnétométriques : Le logiciel prototypage « MagnetoModeleur »– MISA (P5)

Les chercheurs et chercheuses publient, en collaboration avec d'autres scientifiques, des articles scientifiques en lien avec leurs projets de recherche au CONSOREM ou d'autres travaux de recherche en dehors des activités du CONSOREM. 3 articles scientifiques et 1 rapport scientifique ont été publiés (encadré ci-dessous).

Articles scientifiques et rapport

Articles scientifiques

Caraballo E, Beaudoin G, Dare S, Genna D, Peterson S. Relvas JMRS, Piercey SJ (Accepté) Trace elements composition of chalcopyrite from volcanogenic massive sulfide deposits: variation and implications for provenance recognition. Economic Geology.

Méité, D., Rafini, S., Chesnaux, R., & Ferroud, A. (2022). Review of Petroleum and Hydrogeology Equations for Characterizing the Pressure Front Diffusion during Pumping Tests. Geosciences, 12(5), 201.

Méité, D., Chesnaux, R., Rafini, S., & Ferroud, A. (2023). Characterizing the radius of influence during pumping tests using the absolute critical drawdown criterion: Cases of integer flow dimensions. Journal of Hydrology, 129096

Rapport scientifique

Richard, D., Rafini, S., Chenaux, R., Claveau-Mallet, D., Barbeau, B., 2022, Évaluation du risque de contamination des puits résidentiels par les virus, Rapport MELCC, 124p.

Activités de transfert ouvertes à l'ensemble de la communauté géoscientifique

Les activités de transfert ouvertes à l'ensemble de la communauté géoscientifique permettent, entre autres, la diffusion des résultats des projets CONSOREM après la période de confidentialité réservée aux membres. Ces activités favorisent également la formation d'une relève hautement qualifiée en exploration minérale. Il s'agit de forums organisés par le CONSOREM et de la tenue de séances de formation, d'ateliers ou de conférences dans le cadre de congrès ou de colloques. L'encadré dresse la liste des principales activités réalisées par le CONSOREM. Les webdiffusions de plusieurs de ces événements sont maintenant disponibles pour visionnement dans la bibliothèque virtuelle du CONSOREM, dans la section événements et congrès.

Le CONSOREM diffuse également ses résultats et ses activités par l'entremise de son site web, des réseaux sociaux et par la publication d'article large publique. Le nombre d'abonnés de notre page LinkedIn a connu une augmentation de 134 personnes au courant de l'année 2022-2023 pour atteindre 750 personnes.

20e Forum Technologique 2022

Liste des activités de transfert

20e Forum Technologique CONSOREM—1er juin 2022

Les minéraux critiques et stratégiques et les projets et outils d'exploration aurifère (dans le cadre d'Explo Abitibi 2022)
11 conférences / **168** participants en ligne, **80** sur place

Xplor 2022—6 octobre 2022

Conférence de Stéphanie Lavaure CONSOREM - La géométallurgie dès l'exploration préliminaire des indices de minéraux critiques et stratégiques
1 conférence / **40** participants sur place

Québec Mines + Énergie — 22 novembre 2022
Atelier CONSOREM - Savoirs et méthodes en exploration minérale au Québec : nouveaux résultats des recherches du CONSOREM
7 conférences / **32** participants sur place

Québec Mines + Énergie — 24 novembre 2022

Session de conférences organisée par CONSOREM - La géochimie dans tous ses états! Nouveautés et perspectives pour la métallogénie et l'exploration
6 conférences / **70** participants sur place

Forum CONSOREM-UQAM—14 février 2023

Les pegmatites : pétrogenèse et métallogénie
6 conférences / **250** participants en ligne, **50** sur place

PDAC—5 au 8 mars 2023

Espace CONSOREM au sein du kiosque du MRNF et activités de réseautage
23 819 visiteurs sur place PDAC

Forum minier régional 02 (TRCM) —5 avril 2022

Conférence de Stéphanie Lavaure CONSOREM) - La géométallurgie dès l'exploration préliminaire des indices de minéraux critiques et stratégiques
1 conférence / **200** participants en ligne, **84** sur place

Le 20e Forum technologique CONSOREM s'est tenu à l'Hôtel le Forestel à Val-d'Or le 1er juin 2022 dans le cadre d'Explo Abitibi coorganisé avec l'Association de l'exploration minière du Québec (AEMQ) (voir programme ci-contre). Cet événement incontournable du CONSOREM en était à sa 20e édition, ce qui a été souligné en introduction. Onze conférences ont été présentées sous la thématique des minéraux critiques et stratégiques en avant-midi et des projets et outils aurifères en après-midi (figure 4). La webdiffusion de l'événement est disponible dans la bibliothèque virtuelle du CONSOREM.

Le CONSOREM participe chaque année, au congrès Xplor organisé par l'AEMQ pour y présenter ses activités et faire du réseautage. Cette année, pour l'édition du 3 au 6 octobre 2022, Stéphanie Lavaure y a présenté une conférence « La géométallurgie dès l'exploration préliminaire des indices de minéraux critiques et stratégiques » dans le cadre de la session de conférences : « Géométallurgie : élément clé d'un projet minier réussi », présidé par COREM. Le CONSOREM a aussi tenu un kiosque promotionnel de ses activités sous la même enceinte que les partenaires, SOQUEM, COREM, Société du Plan Nord et le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelle et des Forêts.

Équipe au kiosque du CONSOREM, Xplor 2022.

20e Forum Technologique CONSOREM

AM : MINÉRAUX CRITIQUES ET STRATÉGIQUES

9h00 Mot de bienvenue
Benoit Lafrance, directeur / CONSOREM-UQAC

9h10 L'exploration des pegmatites lithinifères : aller au-delà de la prospection

Marc Legault, professeur / IRME-UQAT

9h35 The CV5 Pegmatite and the Corvette Lithium District lithium - A Grassroots Lithium Discovery
Darren L. Smith, vice président exploration / Patriot Battery Metals

10h00 Les défis des gisements de graphite au Québec : Solutions géométallurgiques et géoenvironnementales
Denys Vermette, chargé de projet environnement minier, métallogénie / IOS Services Géoscientifiques

10h45 Le projet de fosse à ciel ouvert Opémiska de Qc Copper&Gold : le renouveau du camp de Chapais
Charles Beaudry, vice-président exploration / Qc Copper&Gold

11h10 Où sera le prochain Voisey's Bay dans le sud-est de la Province de Churchill?
Jérôme Lavoie, chercheur / CONSOREM-UQAC

11h35 Couplage de la géochimie des tills et des sédiments de fond de lac pour l'exploration de l'environnement secondaire
Morgane Gigoux, professeure-chercheuse sous octroi / CONSOREM-UQAC

PM : PROJETS ET OUTILS D'EXPLORATION AURIFÈRES

13h30 Distribution granulométrique des grains d'or, analyses et probabilités : Un nouveau regard sur l'effet pépite
Réjean Girard, président-directeur général - expert-conseil / IOS Services géoscientifiques

13h55 Géologie des indices aurifères des projets Kan (Minière O3) et Willbob (Midland Exploration), secteur Caniapiscau-Koksoak, Fosse du Labrador, Québec
Simon T.Hébert, étudiant à la maitrise / INRS-ÉTÉ

14h20 Géochimie et minéralogie des gisements magmatiques hydrothermaux alcalins néoarchéens de l'Abitibi, Québec
Christophe Azevedo, doctorant / Géotop-UQAM

15h05 Géologie du gîte Gladiator - exemple d'une contribution magmatique dans la formation d'un gîte d'or orogénique
Gauthier d'Harlingue, étudiant à la maitrise / UQAC

15h30 La géochimie des eaux souterraines profondes appliquée à l'exploration minérale : de la découverte à la livraison d'un nouvel outil
Silvain Rafini, professeur-chercheur sous octroi / CONSOREM-UQAC

15h55 Mot de la fin
Silvain Rafini, professeur-chercheur sous octroi / CONSOREM-UQAC

Comme à chaque année, le CONSOREM participe comme partenaire au congrès Québec Mines + Énergie, organisé par le ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec (MRNF). Il y participe notamment par la tenu d'un atelier de formation, d'une session de conférence, la tenue d'un kiosque et des activités de réseautage comme le diner officiel de la ministre du MRNF et la soirée réseautage d'investissement Québec auxquels le directeur a pris part cette année.

L' Atelier savoirs et méthodes en exploration minérale au Québec : nouveaux résultats des recherches du CONSOREM, présentait en primeur les résultats des projets de recherche réalisés en 2021 par les chercheurs du CONSOREM (programme dans l'encadré ci-dessous).

Horaire de la session du 21 novembre 2022 « Atelier savoirs et méthodes en exploration minérale au Québec : nouveaux résultats des recherches du CONSOREM ».

9h00: Introduction : Le CONSOREM—Benoit Lafrance

9h10: 2021-01 : Intégration/synthèse des outils pour le traitement de l'environnement secondaires—Silvain Rafini

9h50: 2021-02 : Valorisation des données de susceptibilité magnétique en exploration minérale—Morgane Gigoux

10h50: 2021-03 : Synthèse métallogénique, métamorphique, géochronologique et structurale d'Eeyou Istchee Baie-James – Phase II—Jérôme Lavoie

11h30: 2021-04 : Acquisition et valorisation des données géométallurgiques à un stade précoce d'exploration— Stéphanie Lavaure

13h30: 2021-05 : Minéralisation de type skarn à Cu-Au en contexte volcanique archéen—Morgane Gigoux

14h10: 2021-06 : Utilisation de la chimie des pyrites en contexte d'exploration aurifère : Optimisation du protocole analytique et applications - MISA—Dominique Genna

15h10 : 2021-07 : Traitement automatique des levés magnétométriques : Le logiciel prototypage CONSOREM "MagnetoModeleur"– phase V - MISA—Jérôme Lavoie

La session de conférences : La géochimie dans tous ses états! Nouveautés et perspectives pour la métallogénie et l'exploration, organisée et animée par Silvain Rafini et Dominique Genna (CONSOREM-UQAC), proposait un tour d'horizon des contributions récentes et marquantes sur l'apport de la géochimie à la métallogénie et aux outils d'exploration d'aujourd'hui et de demain (programme dans l'encadré ci-dessous).

Horaire de la session du 24 novembre 2022 : « La géochimie dans tous ses états! Nouveautés et perspectives pour la métallogénie et l'exploration »

9h00: Ouverture de la séance — Silvain Rafini et Dominique Genna, CONSOREM-UQAC

9h05: Une typologie chimique des granitoïdes (Archéens et autres): comment, pourquoi ?— Jean-François Moyen, Professeur, Université Jean Monnet St-Étienne

9h35: Analyse des inclusions fluides par spectrométrie de masses à sonde-solide : contributions à la métallogénie et l'exploration minérale, et développements futurs— Damien Gaboury, Professeur, UQAC

10h20: Sources et transport des métaux dans les systèmes magmatiques-hydrothermaux actifs : perspectives soulevées par l'analyse des fluides profonds — Marion Saby, Candidate au doctorat, UQAM

10h40: Application de la multi-isotopie du soufre au traçage des gisements de VMS Archéens— Guillaume Barré, Postdoctorant, Université Laval

11h00: Composition en éléments traces de la chalcopyrite: variation et implications pour l'exploration minérale — Enzo Caraballo, Candidat au doctorat, Université Laval

11h20: Empreinte des gîtes métallifères dans l'eau souterraine du Bouclier canadien : études de cas et perspectives pour l'exploration— Silvain Rafini, Chercheur au CONSOREM et Professeur chercheur sous Octroi – UQAC

Le CONSOREM a également participé comme exposant les 22, 23 et 24 novembre 2022, pour faire la promotion et répondre aux questions de toute personne intéressée à en savoir davantage sur les activités du CONSOREM. Cela a également permis de connaître de nouveaux intervenants qui pourraient éventuellement être impliqués comme collaborateurs ou partenaires pour le CONSOREM.

Kiosque du CONSOREM, Québec Mines+Énergie, 2022

Le Forum CONSOREM-UQAM a eu lieu le 14 février 2023 à l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Un total de **250** participants ont pris part à l'événement, dont **50** sur place, représentant un total de **93** organisations, dont **41** entreprises d'exploration, **19** entreprises de services, **17** universités (dont 10 à l'extérieur du Canada), **8** gouvernemental ou société d'État, 3 organismes de concertation dans le domaine de l'exploration minérale et **5** autres. La figure suivante présente le programme de la session de conférences sous le thème : « Les pegmatites : pétrogénèse et métallogénie » (voir programme ci-contre). La webdiffusion de l'événement est disponible dans la bibliothèque virtuelle du CONSOREM, dans la section événements et congrès.

Programme du Forum CONSOREM/UQAM

LES PEGMATITES : PÉTROGENÈSE ET MÉTALLOGÉNIE

Programme AM

10h00 : Benoit Lafrance, géo., Ph.D., directeur / CONSOREM
Mot de bienvenue et introduction

10h10: Marieke Van Lichtervelde, chercheure IRD / Lab. Géosciences Environnement Toulouse
Pegmatites à lithium-césium-tantale : processus internes de formation

11h15: François Turlin, chercheur posdotoral / Département des SCT, Université de Genève
Pegmatites peralumineuses à terres rares de la Province de Grenville central et de leur contexte de formation

Programme PM

13h30 Benoit Lafrance, géo., Ph.D., directeur / CONSOREM
Mot de bienvenue

13h35 Félix Gervais, géo., Ph.D., professeur agrégé, CGM / Polytechnique de Montréal
État (limité!) des connaissances sur les pegmatites orogéniques

14h20 Stéphane de Souza, géo. Ph.D., professeur / UQAM
Nouvelles données sur le projet Cheecho et ses pegmatites aurifères

15h10 Jérôme Lavoie, ing., M.Sc.A, chef ingénieur en géologie / Harfang Exploration
Traitement statistique par régression spatiale des sédiments de fond de lac, Eeyouistchee Baie- James - Exploration des minéralisations en lithium et autres métaux rares (Be-Cs-Ta) associés au plutonisme peralumineux

15h40 Serge Perreault, geo.
Bĕrullos, topázion & thuramali : le potentiel en pierres précieuses, semi-précieuses et ornementales associées aux pegmatites du Québec.

16h10 Silvain Rafini, géo. Ph.D., professeur-chercheur sous octroi / UQAC
Mot de la fin

PDAC 2023

Comme chaque année, le CONSOREM est invité comme partenaire par le ministère de l'Énergie, des Ressources naturelles et des Forêts du Québec (MRNF) à participer au congrès de l'Association canadienne des prospecteurs et développeurs (PDAC) afin d'y présenter ses réalisations. Cette année, le PDAC a eu lieu en présence du 5 au 8 mars 2023. Benoit Lafrance et Brigitte Poirier étaient présents dans l'espace CONSOREM situé au sein du kiosque du MRNF. Cela a permis de discuter avec d'éventuels candidats comme chercheur au CONSOREM et aussi d'envisager des partenariats possibles ou encore d'amorcer des discussions pour recruter de futurs membres CONSOREM.

Les membres de l'équipe du CONSOREM présents ont également eu l'opportunité de participer à une activité de réseautage avec les membres de l'équipe du MRNF et de connaître quelques intervenants d'Investissement Québec à l'international ainsi que des membres du Ministère des Relations internationales de la Francophonie. L'effervescence des relations entre le Gouvernement du Québec et plusieurs intervenants internationaux du secteur minier (Inde, États-Unis, Chine, Japon et Europe) était palpable lors du congrès.

Kiosque du Gouvernement du Québec au PDAC 2023

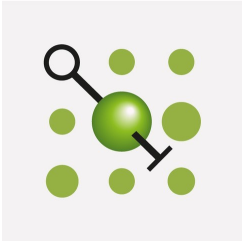
Kiosque CONSOREM PDAC 2023

Contribution à d'autres activités de recherche, d'enseignement et de diffusion

L'équipe du CONSOREM contribue également à d'autres activités en dehors de la programmation régulière du CONSOREM, soulignant l'importance et le support du consortium pour la réalisation de certaines activités d'enseignement et de recherche universitaire ou d'autres collaborations qui contribuent au rayonnement du CONSOREM au Québec.

Contribution en enseignement

Les contributions incluent l'enseignement, l'encadrement d'étudiants de 2e et 3e cycles ainsi que l'évaluation de mémoires et de thèses à l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) et à l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Ceci permet aux étudiants de bénéficier de l'accès aux données de l'industrie et de contacts auprès des membres de l'industrie par l'entremise des chercheurs du CONSOREM (encadré ci-contre pour les cours octroyés par les chercheurs.cheuses).



Activités d'enseignement

Cours session été 2022

Stages en exploration minérale (6SCT880), 2e cycle UQAC (3 crédits) - par Dominique Genna

Cours session Automne 2022

Financement de l'exploration minérale (6SCT840), 2e cycle UQAC (1 crédit), par Stéphanie Lavaure

Terrains précambriens (6SCT857), 2e cycle UQAC (1 crédit), par Dominique Genna

Volcanologie Physique (6SCT854), 2e cycle UQAC (3 crédits), par Dominique Genna

Métallogénie (6SCT841), 2e cycle UQAC (3 crédits), par Dominique Genna (tâche partagée avec D. Gaboury, S. Dare et R.L. Simard)

Pétrologie Ignée (6GLS306), 1er cycle (UQAC), 2 cours. Volcanisme et textures, par Dominique Genna

Géomorphologie et géologie appliquée (6GLG206), 1er cycle UQAC, 1 cours. Introduction à la volcanologie physique, par Dominique Genna

Cours d'hydrothermalisme (SCT8300), 2e cycle UQAM (3 crédits), par Silvain Rafini et Morgane Gigoux

Géochimie d'exploration en milieu secondaire (6SCT838), 2e cycle UQAC (1 crédit), par Silvain Rafini

Gestion de l'exploration minérale : une approche intégrée (6SCT837), 2e cycle UQAC (1 crédit), par Benoit Lafrance

Cours session Hiver 2023

Géométallurgie (6SCT839), 2e cycle UQAC (1 crédit), par Stéphanie Lavaure

Géométallurgie (6SCT839), 2e cycle UQAC, 1 cours. Géométallurgie appliquée à l'exploration du graphite, par Benoit Lafrance

Travaux de terrain encadré (6SCT853), 2e cycle UQAC (3 crédits), par Dominique Genna

De plus, l'enseignement et l'encadrement contribuent à assurer le transfert des compétences aux étudiants dans le domaine de l'exploration minérale et à maintenir le lien essentiel entre les membres industriels, l'enseignement et la recherche (encadré ci-contre pour les encadrements d'étudiants).

EXCURSIONS

L'encadrement d'étudiants.es peut impliquer des excursions géologiques planifiées par les chercheurs.cheuses du CONSOREM, parfois même en compagnie d'une entreprise d'exploration minière. Cela contribue à créer des liens directs entre les étudiants et l'industrie.

Encadrement d'étudiants.es

Encadrement d'étudiant maîtrise

Taylor Wasuita—Encadré par Dominique Genna (Depuis 2022, en remplacement de L. Mathieu) / Projet : Geology of the western part of the Porphyry Zone, Douay gold deposit: genesis of an Archean syenite associated' mineralization in the Northern Abitibi Greenstone Belt »

Foulques Guillet de Chatellus— Encadré par Dominique Genna (Depuis 2022) Co-supervision avec R-L. Simard (UQAC) / Projet : Caractérisation métallogénique de la minéralisation Au-Mo du gîte Falcon, Caopatina, district de Chapais-Chibougamau.

Rémi Naulot—Encadré par Dominique Genna (Depuis 2022) Co-supervision avec S. Dare (UQAC) **/** Projet : Vectoriser vers les SMV du camp de Selbaie, Abitibi, avec les horizons carbonatés

Maxime Dour — Encadré par Dominique Genna en Co-supervision avec R-L. Simard (UQAC) et P. Bedeaux (Barrick) / Titre du mémoire: Géologie et caractérisation pétrographique et géochimique des minéralisations Cu-Au-Mo « type Opémiska » de Chapais (Qc, Canada).

Gauthier D'Harlingue (Abandon)**—** Encadré par Dominique Genna en Co-supervision avec D. Gaboury (UQAC) / Projet : Caractérisation métallogénique de la minéralisation aurifère du gisement Gladiator, Ceinture d'Urban-Barry, Abitibi.

Alexandre Leclerc—Encadré par Stéphanie Lavaure (depuis janvier 2023) en Co-direction de Maîtrise avec Sarah Dare / Projet : Variabilité e la minéralogie et de la teneur en chlore des apatites du gisement du Lac-à-Paul.

Encadrement d'étudiant au doctorat

Esther Bou—Encadrement par Dominique Genna (Depuis 2022, en remplacement de L. Mathieu) en Co-supervision M. Jébrak (UQAM / Projet: Magmatisme de type sanukitoïde : petrogenèse et lien avec les minéralisations.

Daouda Meite—Encadré par Silvain Rafini en Co-supervision Prof. Romain Chesnaux, et Anouck Ferroud. / Projet Caractérisation de l'hétérogénéité d'un aquifère par l'analyse hydrodynamique spatio-temporelle d'un essai de pompage (complété en février 2023).

Évaluation d'un devis doctoral

Arnaud Back– Évaluation par Stéphanie Lavaure

Contribution à d'autres activités de recherche, d'enseignement et de diffusion

Bourses et stages

Le CONSOREM attribue chaque année à l'octroi de bourses et des commandites pour encourager la formation et la relève dans le domaine de la géologie.

En 2022, le CONSOREM a accordé une bourse CONSOREM-Mitacs post-doctorat de 15 000 $ à Dominique Richard pour son projet : Étude du développement et de la propagation dans les eaux souterraines des anomalies hydrogéochimiques des gîtes métallifères du Bouclier canadien profond; facteurs d'influence et paramètres de contrôle du continuum eau de recharge / saumures profondes.

Également, il a accordé une bourse CONSOREM de 2e cycle de 5 000 $ à Gil Pedro Valente Cavalcanti de Albuquerque pour son projet : « Géologie structurale, hydrothermalisme et minéralisation aurifère dans la région d'Eeyou-Istchee Baie-James – le cas du secteur du lac Menarik » en collaboration un de ses membres industriels, Harfang Exploration.

Il a également offert deux commandites pour des activités académiques, soit :

Une commandite de 500 $ pour l'Expo-sciences Hydro-Québec 2023 ;

Une commandite de 1 000 $ au Chapitre étudiant SEG-UQAC pour son excursion géologique et métallogénique au Chili en mai 2023.

Étudiants du Chapitre étudiant SEG-UQAC en visite à la mine Minera San Pedro au Chili.

Rayonnement au Québec et hors Québec

L'équipe du CONSOREM participe également à plusieurs autres activités de recherche et de diffusion auprès de la communauté géoscientifique ou du public en général au Québec (encadré ci-dessous) et hors Québec

Ces activités augmentent le rayonnement du CONSOREM et permettent de développer des partenariats aussi bien dans la province qu'à l'international.

Plusieurs membres de l'équipe du CONSOREM contribuent notamment de façon significative aux activités de la Table régionale de concertation minière du Saguenay – Lac-Saint-Jean (TRCM-SLSJ).

Rayonnement au Québec

Table régionale de concertation minière du Saguenay – Lac-Saint-Jean (TRCM-SLSJ)
Direction et activités de recherche: Benoit Lafrance, Brigitte Poirier et Stéphanie Lavaure

Réunion de l'Association des prospecteurs du Saguenay Lac-Saint-Jean, 1er Décembre 2022 à l'UQAC
Conférence de la TRCM-SLSJ : Valorisation géométallurgique des indices de minéraux critiques et stratégiques du Saguenay Lac-Saint-Jean, par Stéphanie Lavaure

Forum Minier Régional 02, 5 avril 2023, à l'UQAC
Conférence de la TRCM-SLSJ : Valorisation géométallurgique des indices de minéraux critiques et stratégiques, par Stéphanie Lavaure

Conférence de la TRCM-SLSJ : Le mandat de la TRCM, par Brigitte Poirier

Pour ce qui est des activités hors Québec du CONSOREM, des conférences ont été données dans le cadre du congrès du GAC -MAC-SAG à Sudbury en Ontario ainsi qu'en visioconférence à Orléans en France (encadré ci-dessous). Cette dernière conférence a permis de faire connaître le fonctionnement et les réalisations du CONSOREM à la communauté géoscientifique française et de lancer la collaboration avec le Bureau de Recherches Géologiques et Minières de France (BRGM).

Rayonnement hors Québec

Congrès du GAC-MAC-SGA, 24 au 29 mai 2023, Sudbury, Canada

Conférenec de Naulot, R., Genna, D., Dare, S., Fortin-Rhéaume, J.D. : Vecoring towards VMS-type mineralization in the Selbaie mining camp (Abitibi, Québec) using pyrite chemistry from semi-concordant Mattabi-type carbonate alteration.

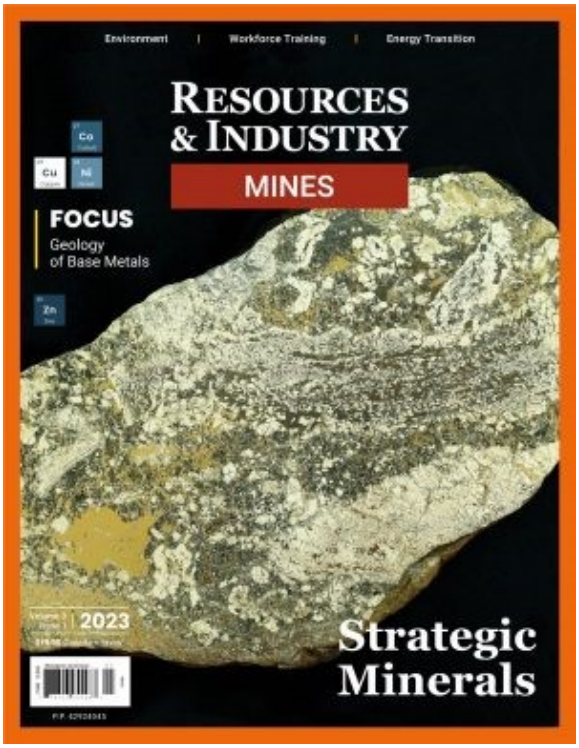
Congrès du GAC-MAC-SGA, 24 au 29 mai 2023, Sudbury, Canada

Conférence de Bou, E., Genna, D., Jébrak, M., Moyen, J.F., Mathieu, L. : Petrogenesis of the Neoarchean Barlow pluton (Superior Province, Canada): an intrusion between two subprovinces.

École thématique Ressources Minérales, 14 novembre 2022, Orléans, France

Visioconférence : La contribution en développement de connaissances et en transfert du Consortium de recherche en exploration minérale (CONSOREM) au Québec, par Benoit Lafrance

RESSOURCES & INDUSTRIE MINES

Le CONSOREM contribue depuis plusieurs années au contenu du magazine Ressources Mines et Industries, qui est un des membres associés du CONSOREM. On retrouve dans ce magazine d'information spécialisée, qui est distribué au Québec et ailleurs au Canada, des articles touchant aux différents enjeux associés au développement des ressources minérales au Québec.

En 2022, l'article « Définition, géométrie et paramétrage des enveloppes d'altération au pourtour des gîtes de SMV du camp de Matagami » du chercheur Dominique Genna a été publié dans le numéro 4 du volume 7 du magazine.