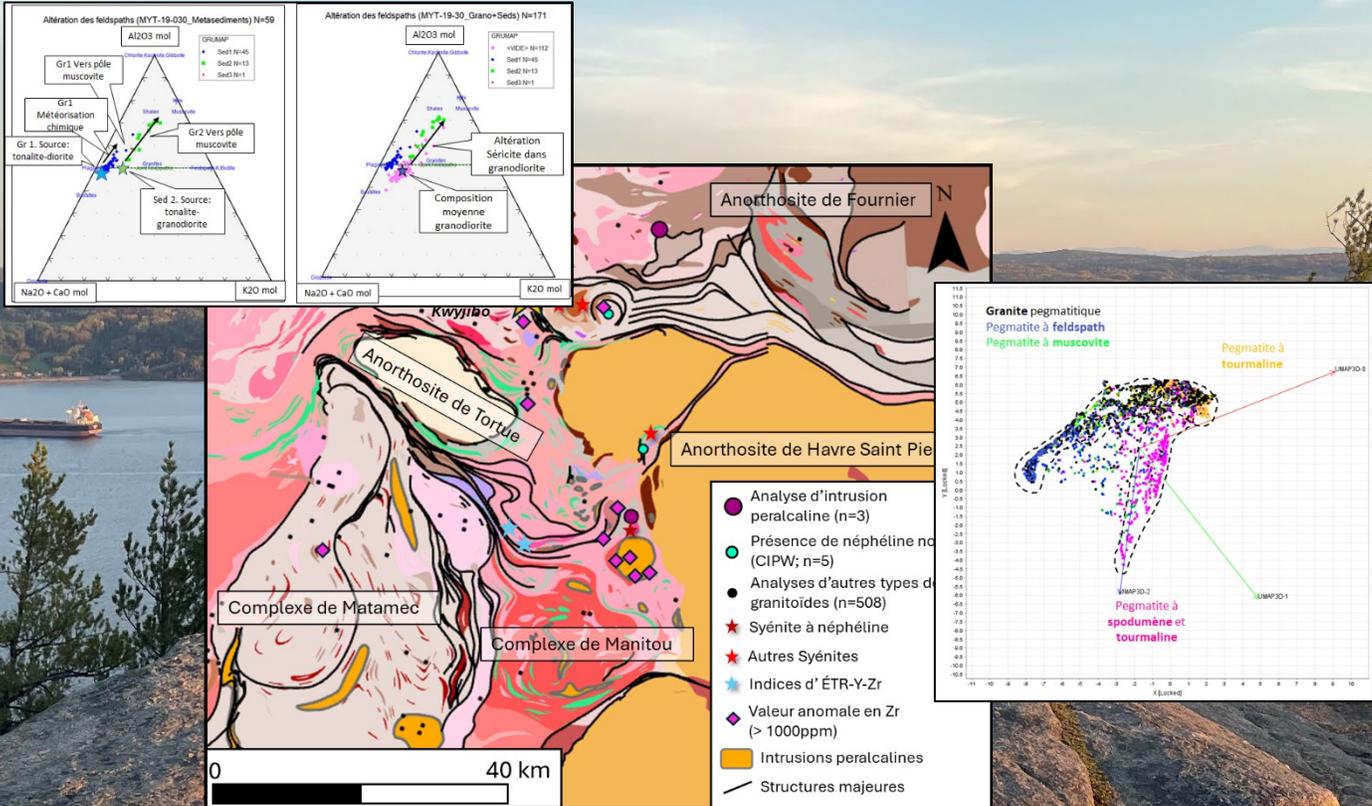


consorem

CONSORTIUM DE RECHERCHE EN EXPLORATION MINÉRALE



Résumés des projets 2023



GLENCORE



AGNICO EAGLE



ALAMOS GOLD INC.



OSISKO



RESSOURCES FALCO



MIDLAND EXPLORATION



PROBE GOLD



ABITIBI GÉOPHYSIQUE



eldorado gold Québec



HARFANG EXPLORATION INC.



QPM



LAURENTIA EXPLORATION



QC COPPER & GOLD



IMDEX



INNOVEXPLO



CANADIAN ROYALTIES INC.



Minière O3



WALLBRIDGE



BARRICK



BHP



Ressources naturelles et Forêts Québec



Développement économique Canada pour les régions du Québec

Canada Economic Development for Quebec Regions



Université du Québec à Montréal



UQAC Université du Québec à Chicoutimi



GERM CENTRE D'ÉTUDES SUR LES RESSOURCES MINÉRALES



UQAT Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue



URSTM Université de la Saguenay



SIDEX



misa



RESSOURCES & INDUSTRIE MINES



Société de développement de la Baie-James Québec



Projet 2023-01 - Caractérisation des suites intrusives pour le potentiel en MCS des portions centrales et est de la Province de Grenville

Rémi Naulot, chercheur associé
Stéphanie Lavaure

Avec le nouveau plan québécois de valorisation des minéraux critiques et stratégiques (MCS), de nouveaux contextes géologiques et de nouveaux types de gîtes sont devenus des secteurs d'intérêt pour l'exploration minière.

Dans la Province de Grenville, les secteurs de la Basse- et Moyenne-Côte-Nord présentent un potentiel pour l'exploration minière, mais peu de travaux de cartographie et d'exploration y ont été menés, notamment dû aux difficultés d'accès au territoire. Ce secteur est tout de même connu pour quelques minéralisations notables, comme la Mine du Lac Tio (Fe-Ti), le gîte du Lac Volant (Ni-Cu-Co) ou le gîte d'éléments des terres rares (ETR) Kwiyjibo. Également, d'anciens projets CONSOREM portant sur la Province de Grenville ont déjà mis en évidence un certain potentiel pour des minéralisations en Cu-Ni magmatiques (Projet 2012-03), en ETR de type *Iron oxide copper-gold* (IOCG; Projets 2009-05 et 2010-08) et en Li-Cs-Ta et ETR-Nb-Zr associées aux intrusions felsiques (Projet 2011-03). Ce projet s'inscrit donc dans la continuité des études antérieures et vise à caractériser et définir le potentiel métallogénique des suites intrusives des portions centrales et est de la Province de Grenville en réappliquant et

adaptant les méthodologies développées dans ces anciens projets.

La zone d'étude étant particulièrement vaste et isolée, la disponibilité des données est très hétérogène et dépend des derniers travaux de cartographie du ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec (MRNF). Une large compilation de données a ainsi été nécessaire afin de récolter le maximum d'information, même sur des secteurs peu connus. Une vingtaine de rapports géologiques ainsi que des synthèses régionales du MRNF, plusieurs mémoires et thèses universitaires, des articles scientifiques et des rapports de travaux d'exploration ont été compilés dans un tableau livré avec ce projet afin de documenter la majorité des suites intrusives du secteur. La grande hétérogénéité des informations disponibles sur le secteur a mené à utiliser systématiquement une approche descriptive, basée sur la pétrologie et la minéralogie. Celle-ci a été couplée avec une approche lithogéochimique, lorsque des données étaient disponibles. Cette combinaison d'approches est celle qui a été initialement développée pour le projet 2011-03, dans un contexte similaire, à l'ouest de la zone d'étude de ce projet. Dans le cadre de cette étude, 5 types d'intrusions avec des minéralisations en MCS ont été ciblées :

- Intrusions felsiques alcalines et hyperalcalines à ETR-Nb-Zr
- Intrusions hyperalumineuses à Li-Cs-Ta
- Intrusions mafiques à ultramafiques à Ni-Cu±éléments du groupe du platine (EGP)
- Intrusions alcalines contemporaines aux dépôts IOCG
- Suites anorthosite-mangérite-charnockite-granite (AMCG) à Ni-Cu±Co et/ou Fe-Ti±P-V

Plusieurs critères minéralogiques et lithogéochimiques ont été utilisés pour identifier chacun de ces types d'intrusions. Ceci a permis de mettre en évidence plusieurs secteurs d'intérêt pour chaque type de minéralisation ciblé. Par exemple, coupler des observations d'olivine et de sulfures dans



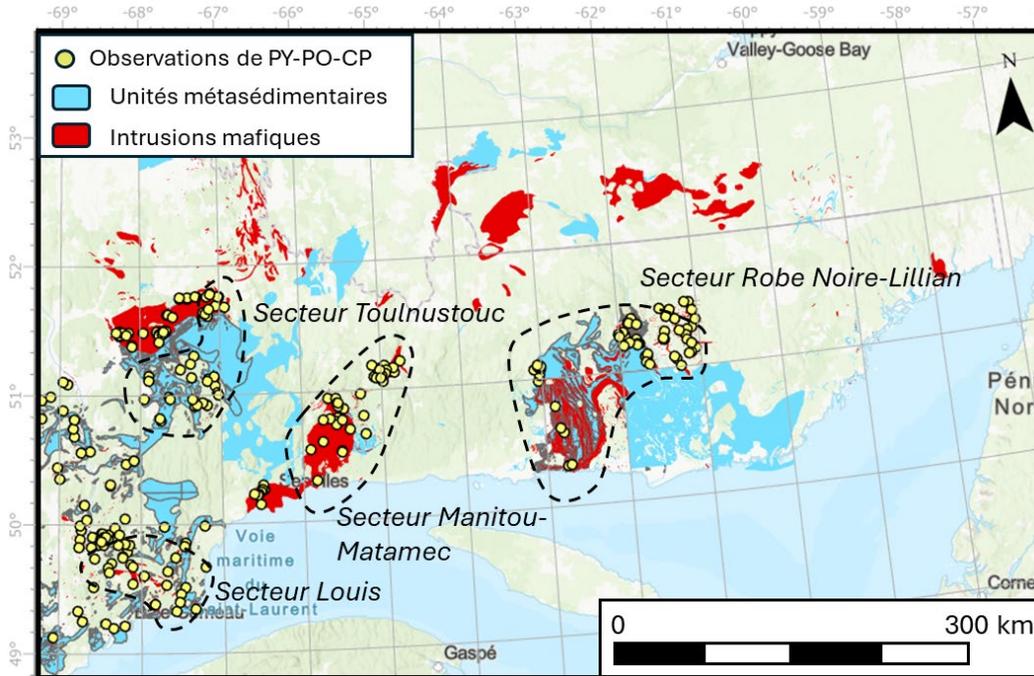


Figure 1. Localisation des secteurs d'intérêt pour les minéralisations de Ni-Cu magmatique. PY : pyrite; PO : pyrrhotite; CP : chalcoprite.

des unités mafiques (critère minéralogique) avec des critères géochimiques soulignant un magma primitif a fait ressortir plusieurs secteurs d'intérêt pour les minéralisations en Ni-Cu±EGP (Figure 1). Parmi ces secteurs, certains présentent des minéralisations

connues, comme le gîte du Lac Volant dans le secteur de Manitou-Matamec, mais d'autres n'ont que quelques indices non travaillés (secteur Robe Noire-Lillian) et pourraient présenter un potentiel intéressant pour l'exploration.

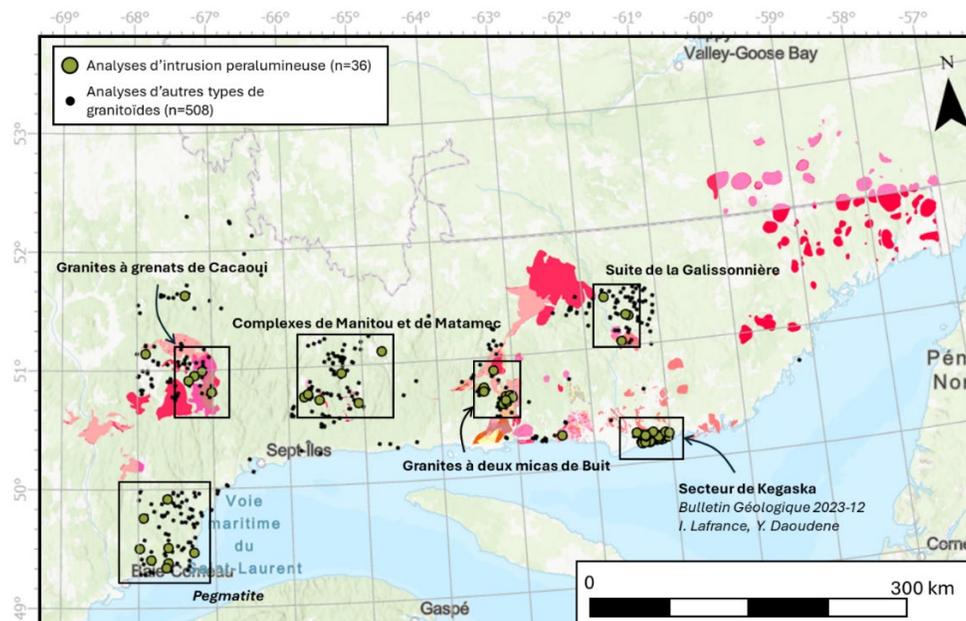


Figure 2. Localisation des secteurs d'intérêt pour les minéralisations à Li-Cs-Ta associées aux granitoïdes hyperalumineux.



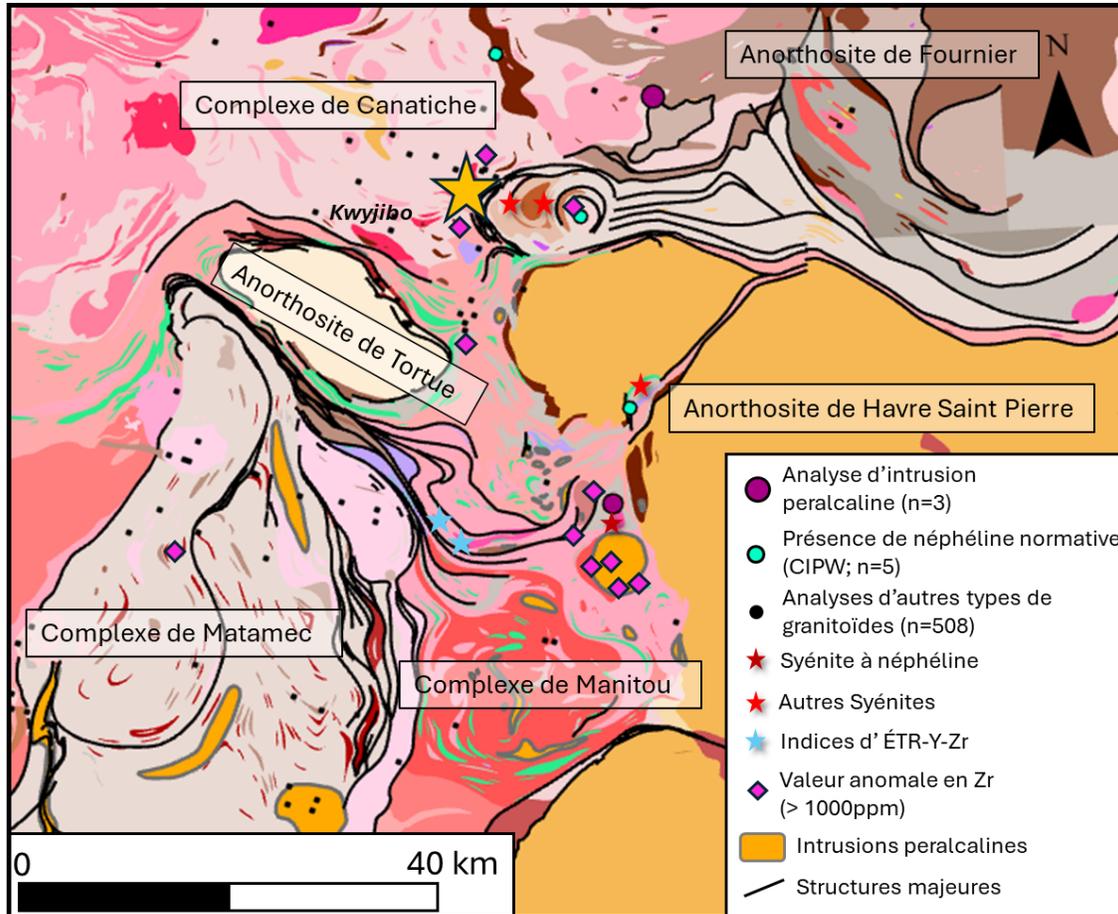


Figure 3. Secteur alcalin de Manitou-Canatiche montrant un potentiel pour des minéralisations en ETR-Nb-Ta. La géologie provient du Système d'information géomineière du Québec (SIGÉOM).

De même, en appliquant la méthodologie du projet 2011-03 sur la zone d'étude, plusieurs suites intrusives montrent un potentiel pour les minéralisations associées aux granitoïdes. D'une part, un potentiel pour des minéralisations en Li-Cs-Ta associées aux granites hyperalumineux (Figure 2) a été mis en évidence alors qu'aucun indice de Li n'a été décrit dans la région. D'autre part, les résultats suggèrent un potentiel pour des minéralisations alcalines en ETR-Nb-Zr étant donnée la grande quantité d'intrusions alcalines tardives associées à des valeurs anormales en ETR-Zr dans le secteur de Manitou-Canatiche (Figure 3). Ce projet a ainsi généré 10 nouveaux secteurs d'intérêt pour les MCS dans les portions centrales et orientales la Province de Grenville.

La compilation d'autres types de données, notamment géophysiques (anomalies magnétiques et radiométrie) et géochimiques (lithogéochimie et environnement secondaire), serait encore nécessaire afin d'affiner ces secteurs et de confirmer la présence de cibles d'exploration.

FICHE SOMMAIRE, PROJET 2023-01

Objectifs	<ul style="list-style-type: none">♦ Caractériser les suites intrusives par une approche minéralogique et lithogéochimique afin d'identifier les suites possédant un potentiel pour des minéralisations de type :<ul style="list-style-type: none">• ETR-Nb-Ta dans les suites alcalines et hyperalcalines• Li-Cs-Ta dans les intrusions hyperalumineuse• IOCG• Ni-Cu associé aux intrusions mafiques (p. ex. Voisey's Bay)• AMCG à Ni-Cu±EGP et/ou Fe-Ti±P, V♦ Réévaluer le potentiel métallogénique des portions centrale et nord-est de la Province de Grenville (Baie-Comeau à la Basse-Côte-Nord) et générer des cibles d'exploration
Résultats	<ul style="list-style-type: none">♦ Une approche combinant des observations pétrologiques/minéralogiques et lithogéochimiques est efficace pour identifier des secteurs d'intérêt pour l'exploration dans des contextes peu documentés♦ La majorité des suites intrusives du secteur ont été décrites à l'aide d'une large revue bibliographique et des données lithogéochimiques disponibles♦ Les portions centrales et est de la Province de Grenville présentent un potentiel pour une grande variété de MCS (Ni-Cu-Co, Li-Cs-Ta, ETR-Nb-Zr)
Produits livrés	<ul style="list-style-type: none">♦ Un rapport♦ Trois présentations PowerPoint♦ Un tableau de description et de classification des suites intrusives du secteur d'étude♦ Une base de données GIS pour chaque famille d'intrusion (peralcaline, peralumineuse, AMCG, mafique et ultramafique)♦ Une base de données bibliographique avec toutes les références utilisées dans le rapport ainsi que la compilation de tous les rapports de cartographie du MRNF et de la Commission géologique du Canada





Projet 2023-02 : Le lithium au Québec : potentiel minéral et outils d'exploration – phase 1

Morgane Gigoux
Silvain Rafini

Ce travail a combiné les approches géochronologiques, minéralogiques, lithologiques, géochimiques, statistiques et structurales. À l'échelle mondiale, les plus gros gisements de type LCT (Lithium-Césium-Tantale) sont associés aux cratons archéens (< 2640 Ma). Seulement 3 pegmatites lithinifères sont datées à ce jour au Québec (2632, 2628 et 2577 Ma), ce qui démontre des lacunes géochronologiques au regard des découvertes et du nombre de projets actifs sur le territoire. Il existe une relation spatiale entre la distribution des pegmatites, le métamorphisme, les encaissants de nature mafiques-ultramafiques et les contacts de sous-provinces et/ou les limites d'anciens cratons. En effet ces limites sont vraisemblablement caractérisées par la présence de failles transcrustales anciennes régulièrement réactivées au cours des grandes périodes métallogéniques (Lavoie et al., 2022).

Dans un premier temps, afin d'identifier les chimies favorables des magmas felsiques, l'utilisation des ratios d'éléments traces Nb/Ta < 5 et Zr/Hf < 18 (Ballouard et al., 2016) a été appliquée aux granites peralumineux à la Baie-James. Cette méthode de discrimination géochimique a permis de générer 15 cibles ponctuelles à l'échelle régionale. Dans un second temps, une approche minéralogique a consisté à

identifier les champs de muscovite et de tourmaline à partir des affleurements de roches felsiques provenant des géofiches sur le Système d'information géominière du Québec (SIGÉOM) afin de voir s'il se dégageait une distribution systématique à l'échelle régionale. Les résultats suggèrent une relation spatiale entre les limites de sous-provinces et les limites de cratons anciens avec la présence des champs de tourmaline superposés au faciès des amphibolites. La présence de tourmaline est un indicateur très encourageant pour vectoriser vers les contextes lithinifères, témoignant de la présence de bore dans le système magmatique, élément léger pouvant être associé au lithium dans ces fluides magmatiques de faible viscosité.

Une collaboration avec Patriot Battery Metals a été initiée au cours du projet afin de travailler à l'échelle locale d'un gîte. Ainsi, la base de données géochimiques confidentielle du gîte Corvette (n > 16 000) a été rendue disponible, ce qui a permis d'utiliser la méthode des statistiques multivariées. Les résultats UMAP (uniform manifold and projection) mettent en évidence un fort contrôle minéralogique sur la distribution géochimique (minéraux primaires et secondaires associés aux pegmatites LCT) qui retranscrit bien la complexité de ces systèmes magmatiques-hydrothermaux et les implications géométriques potentielles (Figure 1A et B). L'UMAP révèle aussi que le comportement du gallium (Ga) est similaire à celui du lithium (Figure 1C), ce qui permet de considérer cet élément comme un substitut à Li lorsque ce dernier n'est pas analysé dans une base de données. Il peut être combiné à Cs, Sn et As, à l'échelle régionale et locale, dans les encaissants favorables afin d'identifier l'empreinte hydrothermale potentielle des systèmes pegmatitiques lithinifères.

À l'échelle locale, les observations de forages montrent en effet la présence de halos dans les encaissants mafiques et ultramafiques à l'approche des pegmatites minéralisées.



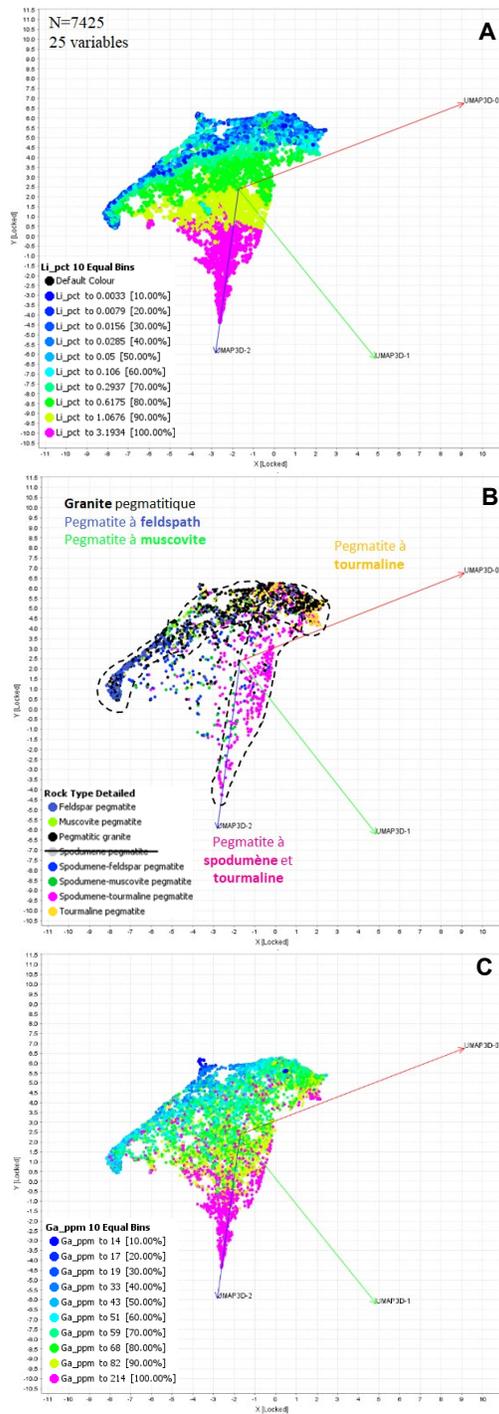


Figure 1. Résultats de l'analyse UMAP sur les pegmatites/granites de la banque de données de Corvette mettant en parallèle : A) la distribution des teneurs en lithium (%), B) la minéralogie des pegmatites observées en forages et C) la distribution des teneurs en gallium (ppm).

À l'échelle régionale, les médianes de Cs, Ga et As ont été utilisées par lithologie favorable d'encaissants (basaltes, gabbros, roches ultramafiques, roches felsiques peralumineuses) afin de calculer des ratios de chaque échantillon lithologique sur les médianes de chaque lithologie. Une classification en centile de ces ratios a été calculée afin de faire ressortir les zones favorables pour la prospection du lithium, superposées aux champs de tourmaline déterminés précédemment, et aux limites de sous-provinces (Figure 2).

En parallèle, les observations structurales préliminaires soulignent l'importance des contrôles structuraux à toutes les échelles sur la mise en place des gîtes de lithium, avec de grandes similitudes avec les gîtes d'or orogéniques. C'est l'une des raisons pour lesquelles la méthode de modélisation des paléopressions a été testée dans ce contexte métallogénique, avec un premier test de simulation géomécanique réalisé sur le gîte James Bay Lithium. Les résultats montrent la localisation de zones de dépressurisation concordantes à la position des indices SIGÉOM et du gîte lui-même (Figure 3). Ces zones sont favorables pour la mise en place des pegmatites lithinifères.

L'ensemble de ces approches ont permis de faire ressortir plusieurs secteurs à l'échelle régionale à la Baie-James, mettant en lumière certains secteurs aurifères connus ayant un potentiel lithinifère.

Références

Lavoie et al., 2022 Lavoie, J., Trépanier, S., Goutier, J., Lambert, M. (2022). Synthèse métallogénique, métamorphique, géochronologique et structurale D'Eeyou Istchee Baie-James – phases I et II. Projet CONSOREM 2020-03 et 2021-03, Rapport, p51.

Ballouard, C., Poujol, M., Boulvais, P., Branquet, Y., Tartèse, R., Vignerresse, J-L. (2016). Nb-Ta fractionation in peraluminous granites: a market of the magmatic-hydrothermal transition. *Geology*, 44, 231-234.



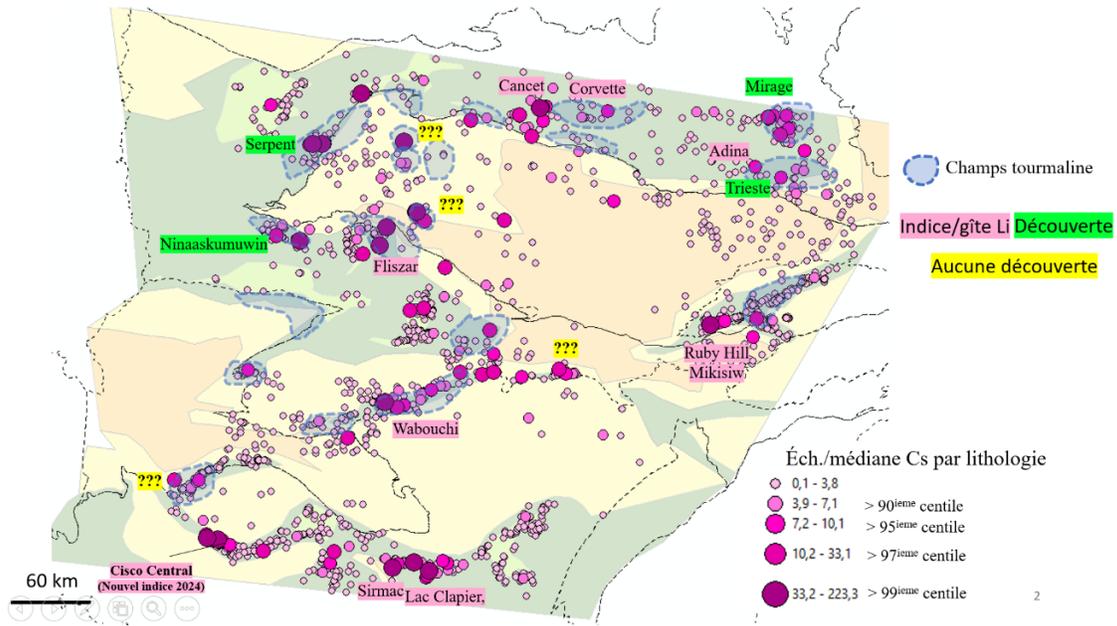


Figure 2. Distribution des ratios en Cs à l'échelle régionale. Le ratio représente le rapport entre la valeur de l'échantillon en Cs et la médiane en Cs de sa lithologie (basée sur les échantillons du SIGÉOM, de la banque de données GeoRoc et des valeurs crustales de United States Geological Survey). Quatre lithologies favorables ont été sélectionnées : les granites peralumineux, les basaltes, les roches ultramafiques et les gabbros.

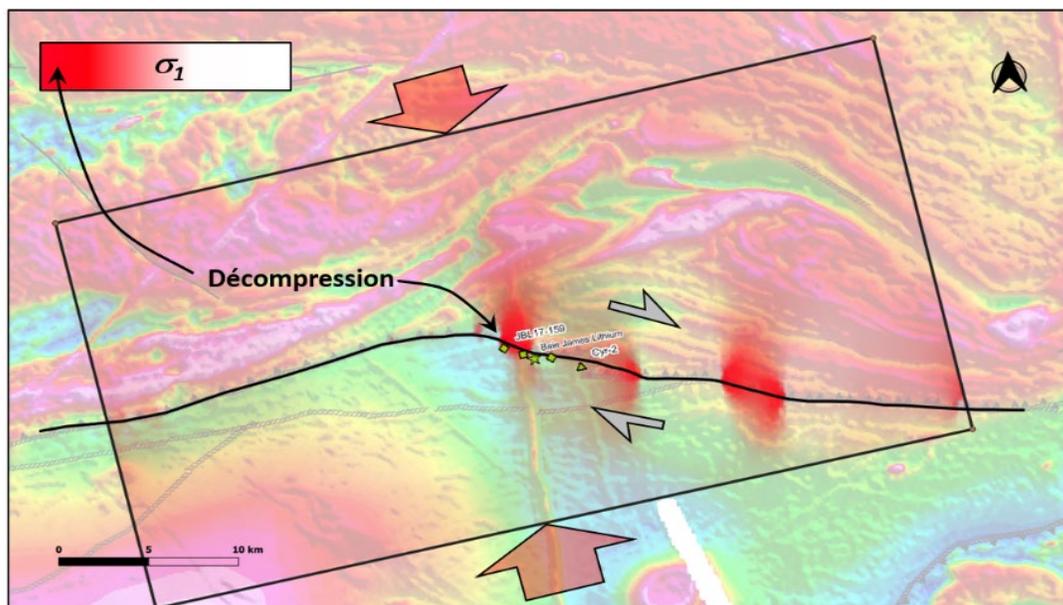


Figure 3. Résultat de la modélisation par paléocontrainte avec le logiciel UDEC dans le secteur de James Bay Lithium. Les zones en rouge correspondent aux secteurs de plus faibles pressions identifiées comme des pièges structuraux potentiels pour la mise en place des pegmatites à spodumène.

FICHE SOMMAIRE, PROJET 2023-02

Objectifs	<ul style="list-style-type: none">◆ Documenter les différents critères favorables pour la vectorisation des pegmatites de type LCT à partir des gisements mondiaux◆ Compiler et comparer avec les données au Québec◆ Identifier les zones favorables au Québec
Résultats	<ul style="list-style-type: none">◆ Relation spatiale entre les sutures de cratons, les limites de sous-provinces, les champs de tourmaline et les pegmatites fertiles à la Baie-James◆ Importance des contrôles structuraux à toutes les échelles sur la mise en place des gîtes de lithium et de grandes similitudes avec les gîtes d'or orogéniques◆ Contrôle minéralogique important sur la distribution géochimique des pegmatites à l'échelle du gîte, d'après les statistiques multivariées (UMAP).◆ Ga peut être utilisé comme substitut de Li puisqu'il adopte le même comportement en contexte minéralisé (résultats UMAP)◆ Existence de halos en Cs, Rb, Sn, Li, As (relativement restreints à l'approche des pegmatites) dans les roches encaissantes mafiques et ultramafiques à l'échelle régionale et locale◆ Plusieurs zones favorables pour le lithium connues pour l'or ressortent clairement à la Baie-James
Innovations	<ul style="list-style-type: none">◆ Application de la méthode UMAP à la compréhension de la distribution géochimique dans les pegmatites stériles et fertiles à l'échelle d'un gîte lithinifère◆ Utilisation de As et Ga pour la vectorisation du lithium à l'échelle régionale (Baie-James)◆ Premiers tests de la méthode de modélisation des paléopressions et simulation géomécanique sur un gîte lithinifère (James Bay Lithium)
Produits livrés	<ul style="list-style-type: none">◆ Un rapport◆ Trois présentations PowerPoint◆ Fichiers Excel de 15 cibles géochimiques ponctuelles◆ Une base de données bibliographiques





Projet 2023-03 - Biogéochimie et exploration minérale en contexte boréal – phase 2

Morgane Gigoux

Joëlle Marion¹

Silvain Rafini

Sylvain Trépanier, chercheur associé

1-Commission Géologique du Canada

Les résultats de la phase 1 de ce projet sur la biogéochimie ont démontré que 60 % du signal géochimique des écorces d'épinettes noires est contrôlé par les paramètres environnementaux (tourbière et pH) et métaboliques (croissance et diamètre; voir fiche synthétique A.1.4 dans Rafini et Trépanier, 2023). Cette phase 1 a été limitée aux écorces dans des contextes d'exploration loin des minéralisations connues (niveau de base), et qui n'ont pas été réduites en cendre avant l'analyse. L'ensemble de ces choix ont des implications sur les résultats et les taux de succès/échecs de la méthode. Par ailleurs, les aiguilles et les tiges de l'épinette noire sont également potentiellement des tissus pertinents pour l'exploration. Chacun de ces tissus présente des forces et des faiblesses qu'il est important de qualifier et de quantifier. De plus, la réduction en cendre permet notamment d'augmenter de quelques ordres de grandeur les concentrations de certains éléments comme l'or par exemple, au détriment de certains volatils qui seront perdus. De premières recommandations stratégiques adressées au praticien, depuis la planification du levé jusqu'à l'étape d'interprétation des données, ont été

suggérées à l'issue de la phase 1, afin d'optimiser le succès d'un levé biogéochimique. Néanmoins, cette première phase n'a pas permis de collecter des données sur des zones minéralisées connues (gîte ou gisement) identifiées dans le Système d'information géominière du Québec (SIGÉOM).

La phase 2 du projet a permis de travailler sur plusieurs levés en contexte minéralisé afin d'évaluer l'efficacité de la méthodologie pour l'exploration. Au total, huit levés d'épinettes noires en contexte minéralisé ont été travaillés : trois levés en contexte lithinifère issus de la littérature au Manitoba et en Abitibi (Twin Lakes, Tanco et Tansim) et cinq levés en contexte aurifère localisés en Abitibi (Figure 1) qui ont été réalisés par des membres du CONSOREM (Probe Gold, Exploration Midland, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, O3 Mining et Wallbridge Mining Company Ltd.).

L'étude comparative des levés sur le gîte d'or de Twin Lakes (Ghorbani et al., 2022) et sur le gîte de type lithium-césium-tantale (LCT) de Tanco, (Fedikow et al., 1990-1992) au Manitoba, a permis de mettre en évidence que les facteurs d'enrichissement en biogéochimie, entre le niveau de base et l'empreinte, sont nettement supérieurs à ceux des méthodes conventionnelles utilisées dans l'environnement secondaire (till, sols, sédiments de fond de lacs). La médiane en lithium des écorces réduites en cendre est d'environ 1,1 ppm à Twin Lakes, ce qui peut être considéré comme le niveau de base puisqu'il s'agit d'un gisement aurifère non minéralisé en lithium. En revanche, Tanco montre une médiane de 83 ppm dans les écorces réduites en cendre et de 199 ppm dans les aiguilles réduites en cendres. L'enrichissement de l'empreinte minéralisée en lithium est donc d'environ 75 fois le niveau de base. En contexte LCT, le tantale est un élément très délicat à analyser, même dans les écorces réduites en cendre. L'étude de Tanco montre que la réduction en cendre des tiges pour la détection de Ta, combinée aux



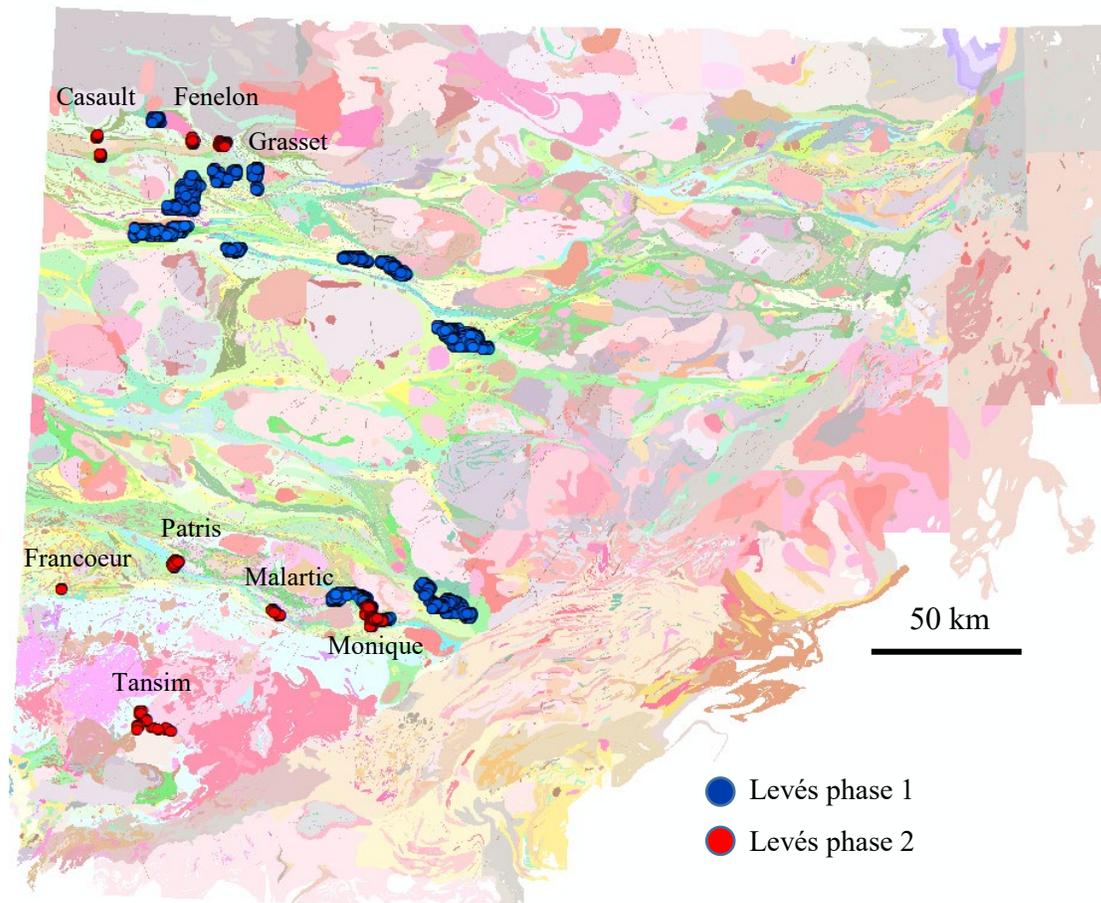


Figure 1. Distribution des levés d'épinettes noires travaillés au cours des phases 1 et 2 du projet en Abitibi. La carte géologique provient du SIGÉOM, 2024.

écorces, semble bénéfique pour l'exploration des minéraux critiques et stratégiques (MCS). Le tantale est très mal détecté dans les écorces en dehors des contextes minéralisés, résultant en un niveau de base très bas. C'est ce qui explique un facteur d'enrichissement très élevé, jusqu'à 100 000 fois.

L'ensemble des levés travaillés en contexte aurifère (indices et/ou mines) en Abitibi démontrent un succès pour la détection de l'or dans les écorces non réduites en cendre, avec plus de 50% des échantillons anomaux et 100% des échantillons supérieurs à la limite de détection.

Un autre aspect de la phase 2 du projet a été l'étude d'impact de la contamination anthropique en contexte d'exploration minérale. Le nombre d'anomalies résiduelles en Cu, As et

Pb sur le levé de la propriété Patris, localisé à 30 km à l'est de la fonderie Horne (Rouyn-Noranda), est clairement interprété comme étant directement relié aux rejets de la fonderie (Figures 2 et 3). Rien ne justifie autant d'anomalies en Cu à la propriété Patris. Les valeurs brutes de Cu dans les écorces sont 100% supérieures à la médiane (cf. phase 1 du projet). Les contextes minéralisés impliquent inévitablement des contextes contaminés par les activités de forages, de déboisements, de revégétalisation, d'extraction, de circulations d'engins, etc. Les autres levés montrent systématiquement des contaminations en Pb et Bi dans les écorces réparties de façon homogène à l'échelle du levé. L'écorce a la capacité d'hyperaccumuler les éléments toxiques tels que le plomb, le mercure, ou encore le cadmium, qui sont rejetés par les

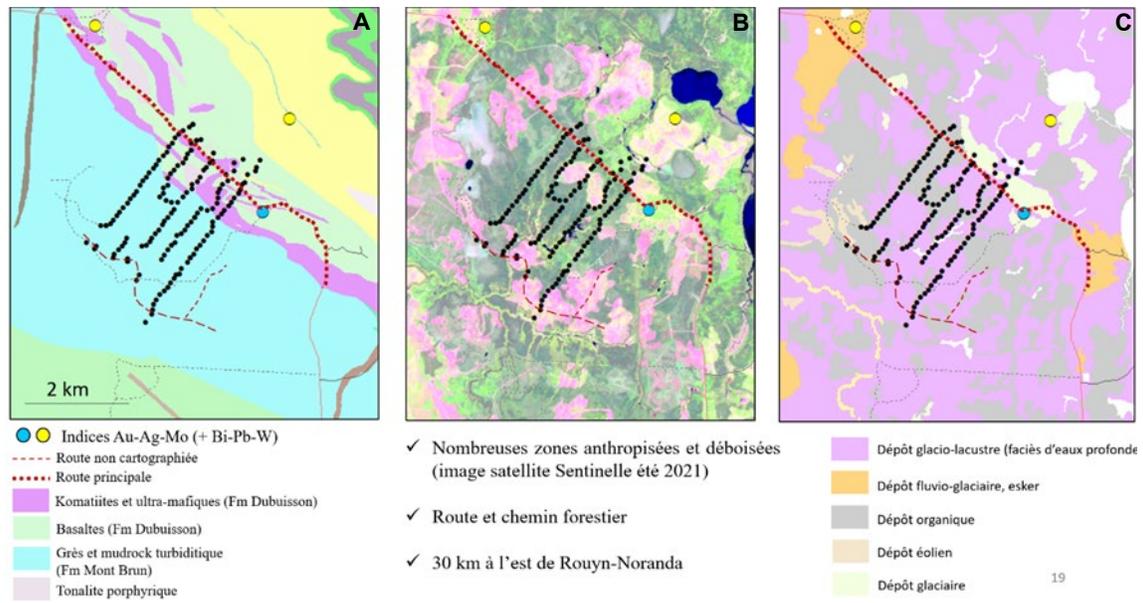


Figure 2. Contexte géologique : A) géologie du socle et B) dépôt de surface du secteur du levé sur la propriété Patris; et C) imagerie satellite Sentinelle (été 2021) montrant les zones perturbées par l'homme (rosées) et les zones déboisées visibles par la présence d'une route principale et d'un chemin forestier (pointillé rouge).

parties vivantes de l'arbre. De ce fait, elle est extrêmement sensible à la contamination anthropique, notamment aux catalyseurs de voiture, l'une des causes principales des teneurs élevées en lanthanides, bismuth, plomb, tungstène, titane, etc. à proximité des routes et des chemins forestiers.

En parallèle, une phase expérimentale a également été développée en collaboration avec la Commission géologique du Canada (CGC), afin de pallier l'opacité des laboratoires commerciaux sur les détails du processus de réduction en cendre des écorces d'épinettes. Les différents tests réalisés ont démontré qu'il est nécessaire de chauffer les échantillons par paliers de 50 °C entre 250 °C et 350 °C avec une pause de 10 minutes entre chaque palier, afin d'éviter les phénomènes de combustion. La température finale est de 475 °C, tel que décrit dans les protocoles de laboratoire et selon les conseils de Dunn (2007). La réduction en cendre réduit d'environ 30 à 35 fois le poids initial du matériel non réduit en cendre.

Deux sites ont été testés : Ménarik (Baie-James) et à proximité de la fonderie Horne de Rouyn-Noranda (Abitibi). Les analyses des

cernes de croissance des épinettes ont été comparées aux teneurs analysées dans les écorces en cendre et non en cendre. Dans le premier cas, les teneurs en Cr, As et Ni sont très bien détectées sur le site d'échantillonnage Ménarik 3, en cohérence avec les indices minéralisés connus à proximité. Des teneurs en lithium sont également détectées, soulevant la question d'un potentiel lithinifère dans le secteur. Il faut noter que le lithium n'est pas détecté dans les cernes de croissance de l'épinette et très faiblement dans les écorces non en cendre (très proche de la limite de détection). Là encore, le protocole démontre l'intérêt de la réduction en cendre pour la détection du lithium. En contexte contaminé dans un rayon de moins de 10 km de la fonderie, les teneurs des écorces (non réduites en cendre) en As, Cr, Pb sont 36 à 49 fois supérieures à la médiane des écorces en Abitibi. Ces résultats démontrent l'ampleur de la contamination anthropique sur les écorces des épinettes noires dans la région de Rouyn-Noranda. Les concentrations des métaux dans les écorces sont nettement supérieures à celles enregistrées par les cernes de croissance des arbres.

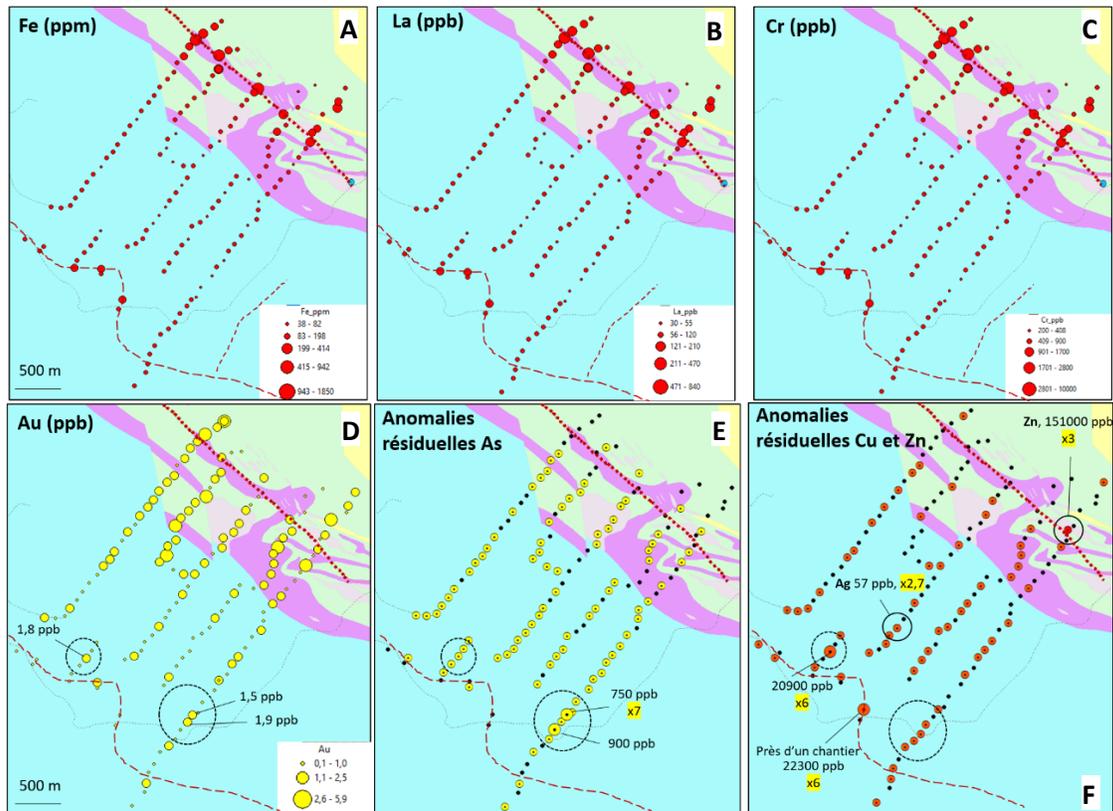


Figure 3. Distribution des teneurs en Fe (A), La (B) et Cr (C), des anomalies en or (D), et des anomalies résiduelles calculées en arsenic (E) et en cuivre (F) dans les écorces d'épinettes noires non en cendre.

Références

Dunn, C.-D. (2007). Biogéochimie in mineral exploration, Vol. 9 (ed. Hale, M.), 1-450 (Elsevier, 2007).

Fedikow, M.-A.-F., Dunn, C.-E., Martins, T., Lee, S.-K.-Y. (1990-1992). Biogéochimie data from a vegetation orientation in the area of the Tanco pegmatite², Bernik Lake, southeastern Manitoba (NTS 52L6). Data Repository Item DRI2017001, Manitoba Geological Survey. Aucun rapport.

Ghorbani, Z., Gholizadeh, F., Casali, J., Hao., C., Cavallin., H.-E., Van Loon., L.-L., Banerjee, N.-R. (2022). Application of multivariate data analysis to biogéochimie exploration at the Twin Lakes Deposit, Monument Bay Gold project, Manitoba, Canada. Chemical Geology, 593, 120739.

Rafini, S., Trépanier, S. (2023). Guide d'utilisation de l'environnement secondaire pour l'exploration minérale. MB 2023-16, p188.

FICHE SOMMAIRE, PROJET 2023-03

Objectifs	<ul style="list-style-type: none">◆ Évaluer la biogéochimie en contexte minéralisé (Au et Li)◆ Développer des protocoles expérimentaux pour améliorer l'assurance du contrôle et de la qualité
Résultats	<ul style="list-style-type: none">◆ L'or est détecté sur tous les levés travaillés en contexte minéralisé aurifère dans les écorces non réduites en cendre◆ La réduction en cendre des tiges, combinée à celle des écorces, semble être une bonne stratégie d'exploration pour vectoriser les minéralisations de type LCT◆ Le lithium n'est pas détecté dans les cernes de croissance et très proche de la limite de détection dans les écorces non en cendre, jusqu'à 45 ppm à Ménarik après réduction en cendre◆ La contamination anthropique le long des bords de routes et des chemins forestiers est mise en évidence par Fe-Cr-Ti-La-W-Ga◆ La contamination de la fonderie en contexte d'exploration (dans un rayon de moins de 50 km) génère des anomalies résiduelles significatives en cuivre et en arsenic (jusqu'à 36 fois la médiane en arsenic dans les écorces non réduites en cendre à 8,5 km au NE de la fonderie), ce qui est problématique pour l'exploration des métaux de base
Innovation	<ul style="list-style-type: none">◆ Tests de protocole de réduction en cendre contrôlés en laboratoire à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS)◆ Comparaison des teneurs dans les cernes de croissance, les écorces non en cendre et les écorces en cendre en contexte contaminé, en collaboration avec la CGC et l'INRS
Produits livrés	<ul style="list-style-type: none">◆ Un rapport◆ Trois présentations PowerPoint◆ Une base de données bibliographiques◆ Outils LithoModeleur sous la forme de calcul d'indices pour les écorces non réduites en cendre (ajout de 3 nouveaux indices en 2024 : Li, Mo et Hg)





Projet 2023-04 - Association faille, bassin sédimentaire orogénique et intrusions pour l'exploration aurifère dans d'autres contextes que le sud de l'Abitibi

Lucille Daver

La ceinture de roches vertes néoarchéennes polydéformées de l'Abitibi représente l'une des provinces de métaux précieux et de bases les plus prolifiques au monde. Elle s'étend sur 800 km d'est en ouest, de l'Ontario au Québec, et sur une distance de 300 km du nord au sud, le long de la marge méridionale de la Province du Supérieur du Bouclier canadien. Elle consiste en une succession de strates volcaniques orientées vers l'est et formées entre 2795 à 2630 Ma.

Dans la partie méridionale de la ceinture, un changement est enregistré par le dépôt subaquatique de roches clastiques à grain fin

datant de < 2690-2685 Ma et provenant d'un arrière-pays en érosion. Ces dépôts sont séparés par une discordance angulaire des roches sédimentaires, et volcaniques plus jeunes de l'assemblage du Timiskaming datant de < 2679-2669 Ma. La formation des dépôts est à dominante subaérienne et s'est produite à la suite d'une période d'érosion en fin d'orogénèse après une période d'épaississement de la croûte et d'édification de montagnes. Le Timiskaming marque l'une des premières apparitions de conditions d'érosion et de dépôt subaériennes généralisées dans la ceinture. Les bassins Timiskaming sont exposés principalement le long des failles crustales Porcupine-Destor et contient la majorité des onces d'or orogénique connues de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi. L'Assemblage sédimentaire du groupe Timiskaming est constitué de conglomérats polygéniques déformés, de grès alluviaux et fluviaux, de possibles niveaux de turbidites marines, le tout intercalé d'unités volcaniques et volcanoclastiques alcalines et d'intrusions. Les bassins peuvent atteindre des profondeurs kilométriques. Ces unités se sont en grande partie déposées dans un environnement subaérien, alluvionnaire et subaquatique, avec une phase mineure lacustre ou marine peu profonde, dans un bassin contrôlé par des failles majeures.

Le Timiskaming a longtemps été réduit à un simple bassin sédimentaire clastique avec



Figure 1. Carte géologique de l'Abitibi avec les bassins du groupe de Timiskaming superposés. Les failles majeures sont en rouge. FCLL : faille Cadillac-Larder Lake; FDP : Faille Destor-Porcupine; FP : Faille Parfouru; Fpa : Faille de la Pause.



une abondance de conglomérats polygéniques, de grès et de mudstone. L'objectif de ce projet est de proposer une nouvelle définition du type plus précise dans le but de favoriser la découverte de nouveaux gisements similaires à ceux associés au Timiskaming. Les informations récoltées lors de la phase I de ce projet sur la définition du type Timiskaming se divisent en trois catégories : tectonique, lithologique et chronologique.

Sur le plan tectonique

1. L'assemblage se forme dans un contexte de raccourcissement, pouvant être suivi par un décrochement
2. La faille au contact est de source profonde/mantellique servant de conduits canalisant les fluides minéralisateurs
3. La construction des bassins est asymétrique avec des panneaux contre l'un des murs de la faille
4. Les bassins sont en discordance angulaire sur des roches métavolcaniques et métaplutoniques plus anciennes et déformées
5. Les roches intrusives syntectoniques servent de conduit pour les fluides profonds et les roches intrusives pré-tectoniques de pièges structuraux pour la minéralisation

Sur le plan lithologique

6. Les bassins se composent principalement de roches sédimentaires clastiques, y compris des conglomérats polygéniques (clastes de diamètre de 5 à 25 cm en moyenne, jusqu'à 1 m localement) et des grès, mis en place dans un environnement dominant fluvial/alluvial.
7. Il n'y a pas de graphite dans les bassins.
8. Les roches volcaniques et plutoniques coexistantes sont issues, en partie, du manteau lithosphérique.

Sur le plan chronologique

9. Les bassins se mettent en place en fin d'orogénèse avec le début d'émersion du craton et la décompression de la croûte
10. À l'échelle d'un bassin, le temps de formation est très court, soit 10-15 Ma.

Ce projet de synthèse se déroule en deux phases annuelles. La première phase (projet 2023-04) a permis de mettre au point la liste de 10 critères d'identification du Timiskaming et la clé d'identification. La deuxième phase incorporera une comparaison avec des sites mondiaux pour confirmer les critères d'identification sélectionnés, et la mise en application des critères sur d'autres bassins en Abitibi

FICHE SOMMAIRE, PROJET 2023-04

Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Déterminer si les bassins sédimentaires clastiques semblables au Timiskaming sur le plan géologique sont équivalents à l'assemblage sur le plan de la teneur en or ◆ Sélection de nouveaux critères diagnostiques pour redéfinir plus précisément le type Timiskaming
Résultats	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Démonstration que les bassins sédimentaires clastiques semblables au Timiskaming sur le plan géologique ne sont pas nécessairement équivalents sur le plan de la teneur en or ◆ Synthèse des travaux sur les bassins du groupe Timiskaming au Québec et en Ontario
Innovation	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Une liste de 10 critères a été proposée dans la redéfinition des critères pour définir les bassins du groupe Timiskaming
Produits livrés	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Clé d'identification des bassins de type Timiskaming ◆ Deux présentations PowerPoint ◆ Base de données bibliographique





Projet 2023-05 - Utilisation des méthodes statistiques multivariées en géochimie de l'exploration - Revue des méthodes et applications pratiques – phase 2

Sylvain Rafini

Sylvain Trépanier, chercheur associé

L'approche traditionnelle d'interprétation des données géochimiques est basée sur la connaissance (*knowledge-driven*). Elle consiste à visualiser les données dans des diagrammes bidimensionnels d'éléments connus comme marqueurs des différents processus pétrogénétiques.

Cette approche présente deux limitations majeures : 1- elle est lacunaire sur les sujets pour lesquels la connaissance est limitée, 2- elle est bivariée, c'est-à-dire qu'elle n'investigue que les relations deux à deux entre éléments ou indices, ignorant les interactions plus complexes impliquant plus de deux degrés de liberté – typiquement, l'effet confondant d'un élément sur la relation entre deux autres éléments.

Afin de valoriser l'ensemble des données disponibles, un autre type d'approche, de nature empirique, basée non pas sur la connaissance mais sur les relations statistiques entre les variables (*data-driven*), s'est considérablement développée au cours des deux dernières décennies. Cette approche se situe en amont de la connaissance. Elle est multivariée en ce qu'elle explore simultanément les relations entre un grand nombre d'éléments géochimiques, offrant ainsi des perspectives

beaucoup plus profondes et précises que l'approche bivariée pour le décryptage des structures corrélatives entre les variables.

Ce projet de recherches avait pour mandat de préciser le potentiel et les modalités d'utilisation des statistiques multivariées pour le traitement des larges bases de données de lithogéochimie utilisées en exploration minière, c'est-à-dire pour les applications suivantes : classification lithologique, classification métasomatique, vectorisation prospective. Il s'est déroulé en deux phases : 2022-2023 et 2023-2024.

Les algorithmes employés, c'est-à-dire des opérations mathématiques, présentent une certaine variété, des plus classiques et relativement anciens, aux plus novateurs à expérimentaux. Leurs fondements et leur niveau de complexité mathématique sont très variables, ainsi que leurs postulats quant aux propriétés statistiques du jeu de données traité. Il en résulte que certaines méthodes sont plus appropriées que d'autres pour le traitement des données de nature géochimique. En effet, les données géochimiques ont des caractéristiques spécifiques qui les distinguent de données issues d'autres champs d'application communs de l'analyse statistique multivariée tels que la finance, la biologie, la géographie, les sciences sociales, etc. Elles ont une forte dimensionnalité (typiquement > 50 variables), une très faible qualité (communément, $> 50\%$ des échantillons sont sous la limite de détection pour la majorité des analytes), elles présentent des structures de corrélations imbriquées complexes, à forte redondance, et, de manière plus importante, montrent une forte non-linéarité et des effets confondants très marqués.

Le premier volet de ce projet de recherche a donc consisté en une revue des méthodes statistiques multivariées, et en leur classification basée sur leurs fonctionnalités. Les méthodes dites descriptives (*Exploration Data Analysis*) ont un potentiel particulièrement intéressant en exploration minière. Dans la famille descriptive, les méthodes de



réduction de dimension et les méthodes de regroupement (*clustering*) se distinguent.

La réduction de dimension consiste à réduire un problème de forte dimensionnalité, p. ex. contenant > 50 variables géochimiques, en un problème de faible dimensionnalité en supprimant la redondance entre les variables. Deux méthodes de réduction de dimension sont investiguées en profondeur dans ce projet : l'analyse en composantes principales (ACP) et l'*Uniform Manifold Approximation and Projection* (UMAP). La première est linéaire, très classique et mathématiquement relativement triviale, la deuxième est non linéaire, récente et novatrice et mathématiquement complexe (McInnes et al., 2018).

Les méthodes de *clustering* sont utilisées pour regrouper les échantillons d'après leur ressemblance, c'est-à-dire leur proximité géométrique dans l'espace multidimensionnel (nD) ou dans l'espace des dimensions réduites issues d'ACP ou d'UMAP. Deux méthodes de *clustering* ont retenu notre attention : KMEANS (k-moyennes) et DBSCAN (*Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise*). L'algorithmie de ces méthodes, mathématiquement triviale, consiste à mesurer les distances euclidiennes entre échantillons, puis former des groupes soit en résolvant le minimum des distances aux barycentres des groupes (KMEANS), soit en définissant un seuil de densité critique distinguant le groupe (signal) du non-groupe (bruit; DBSCAN).

L'exploration des données implique la combinaison des méthodes de réduction de dimension et de clustering au sein de séquences de traitement (*workflow*).

La première phase de ce projet de recherche, réalisée en 2022-2023, a démontré le potentiel des workflows linéaires ACP-KMEANS pour la classification lithologique et métasomatique en contexte d'exploration de sulfures massifs volcanogènes (camp de Selbaie, Abitibi). Les données utilisées étaient la large banque de données de lithogéochimie de Selbaie (SOQUEM), dans

des séries volcaniques bimodales d'affinité tholéiitique à calco-alcaline et sans roches sédimentaires. Il s'agit donc d'un contexte de connaissance élevé, c'est-à-dire où les processus sont bien compris, si bien que plusieurs diagrammes géochimiques étaient disponibles pour le retour de connaissance à l'étape de la validation et de l'interprétation des traitements.

Dans cette deuxième phase, 2023-2024, nous avons exploré la méthode non-linéaire UMAP et son association facultative avec KMEANS ou DBSCAN, pour le traitement des banques de données de géochimie en contextes plus complexes et plus lacunaires sur le plan de la connaissance : intrusions mantelliques tardives (séries « atypiques ») et roches sédimentaires, donc des contextes d'exploration davantage aurifère. Par ailleurs, cette phase de l'étude s'est attardée à comprendre les fondements de la méthode UMAP, et à la tester sur des jeux de données de natures variées : banques de données de biogéochimie, de sédiments, banque de données mondiale de granitoïdes archéens, régionale du camp de Selbaie, régionale du camp de Kirkland Lake (Figure 1).

La méthode UMAP offre un décryptage des corrélations non-linéaires et structurellement complexes du jeu de données, par une approche multivariée sensu stricto, c'est-à-dire non pas 2 à 2 mais intégrant les effets confondants impliquant plus de deux variables. Le principe fondamental consiste à appliquer des déformations continues (*manifold*) au référentiel à haute dimensionnalité (nD), c'est-à-dire non-réduit, dans lequel sont mesurées les distances euclidiennes multidimensionnelles entre les échantillons. Puisque les relations géométriques sont modélisées dans un espace déformé dit riemannien, non euclidien, elles sont de nature non-linéaire dans l'espace cartésien. En sortie du traitement, les échantillons sont projetés dans l'espace UMAP à dimensionnalité réduite (2 ou 3 dimensions généralement), où leurs scores sont des paramètres de la modélisation. C'est donc un espace non-géochimique, si bien que le retour de connaissance est moins évident que dans



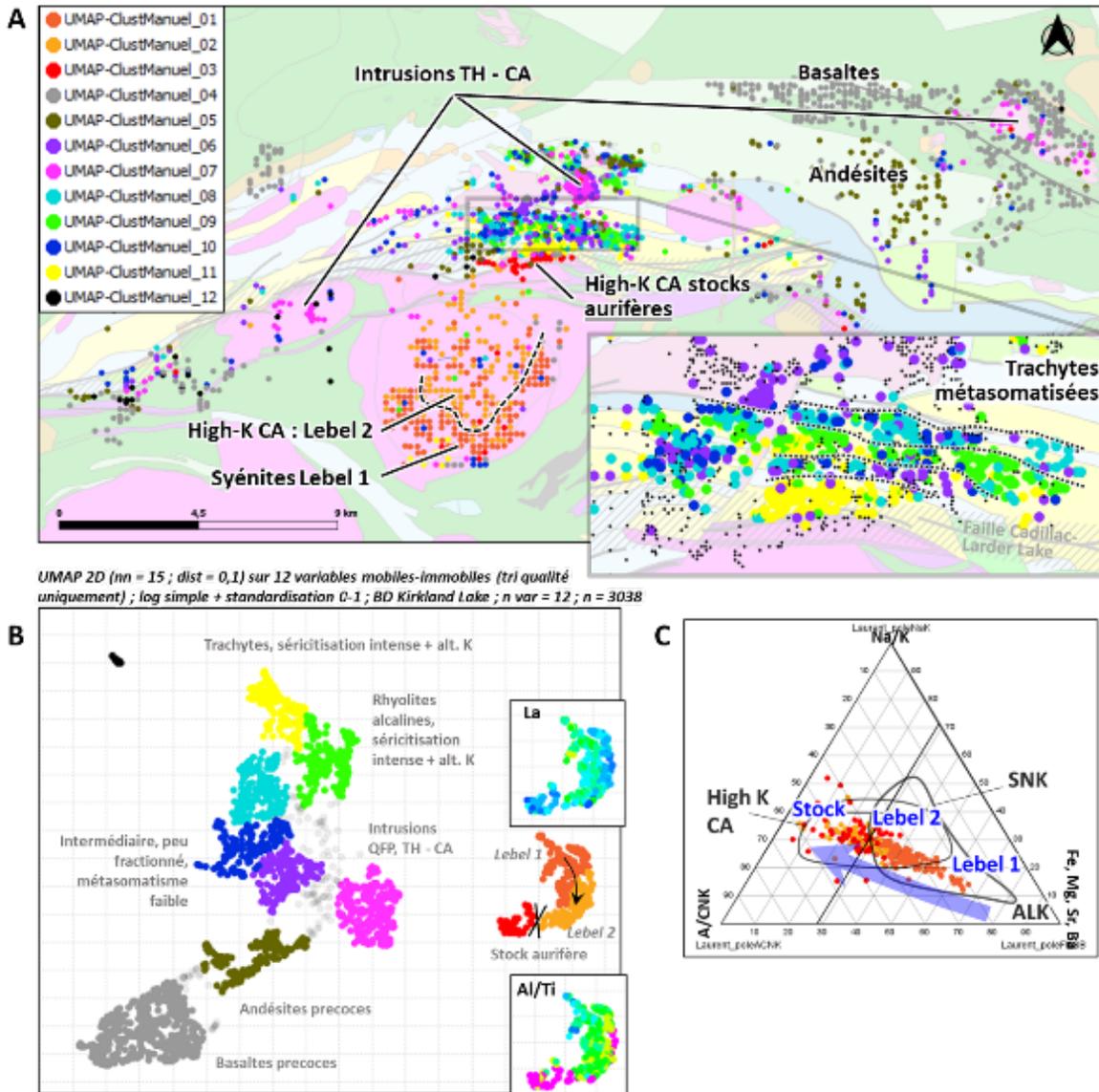


Figure 1. Traitement UMAP de la banque de données de Kirkland Lake et interprétation. SNK : sanukitoïdes; CA : calco-alcalin; TH : tholéitique; QFP : Quartz Feldspar Porphyry. A) mise en carte, B) diagramme UMAP, C) diagramme de Laurent et al. (2014).

une ACP. L'utilisateur doit donc analyser la distribution des marqueurs pétrogénétiques dans l'espace UMAP et faire usage de *clustering* manuel ou automatisé (KMEANS, DBSCAN) pour reprojeter dans des diagrammes géochimiques les groupes dessinés par l'UMAP afin d'interpréter leur sens et leurs relations.

Tous les tests réalisés avec l'UMAP révèlent l'apport extraordinaire de cette méthode pour l'analyse multivariée des données de

géochimie. Les structures locales et globales des jeux de données visibles dans l'espace UMAP sont systématiquement remarquablement validées par le retour de connaissance, et leur interprétation est toujours très informative sur les différents plans d'analyse : identification des groupes lithologiques ou stratigraphiques en présence et de leurs relations pétrogénétiques, métasomatisme. En comparaison, il apparaît clairement que l'ACP est imprécise et limitée dans ses fondements mêmes par le



fait qu'elle applique un modèle linéaire moyen sur les relations entre éléments 2 à 2, modèle très approximatif dans la plupart des cas, ce qui engendre d'importantes pertes d'information. Le gain en classification lithologique offert par l'UMAP est illustré sur la Figure 2. On y observe que les groupes pétrogénétiques sont suffisamment discriminés dans l'espace UMAP pour permettre une classification, ce qui n'est pas le cas dans l'espace des corrélations linéaires (ACP). De plus, le positionnement des groupes et sous-groupes dans l'espace UMAP est informatif quant à leurs relations pétrogénétiques.

Références

Laurent, O., Martin, H., Moyen, J.-F. & Doucelance, R., 2014. The diversity and evolution of late-Archean granitoids: Evidence for the onset of "modern-style" plate tectonics between 3.0 and 2.5 Ga. *Lithos* 205, p208-235.

McInnes, L., Healy, J., Saul, N. & Groberger, L., 2018. UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection. *Journal of Open Source Software*, 3(29), 861, <https://doi.org/10.21105/joss.00861>.

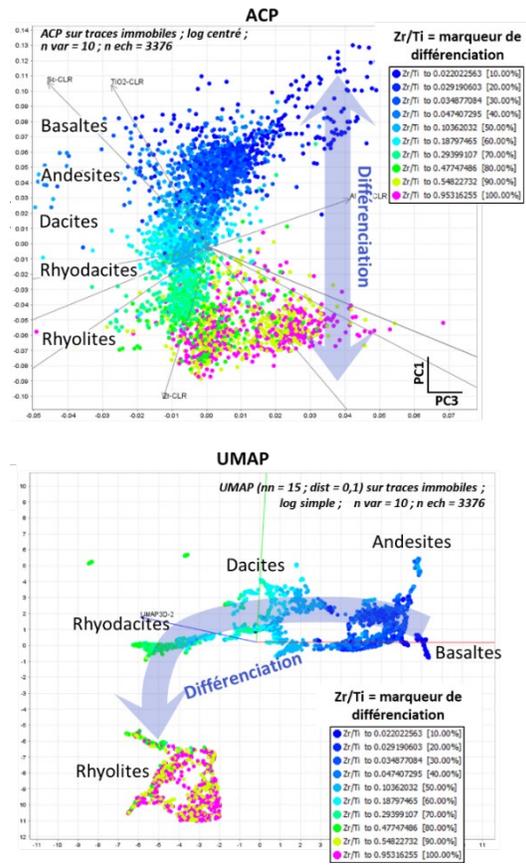


Figure 2. Comparaison ACP et UMAP sur la banque de données de Selbaie.

FICHE SOMMAIRE, PROJET 2023-05

Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Évaluer l'utilisation des méthodes statistiques multivariées non-linéaires pour résoudre les problèmes de géochimie en exploration minière
Résultats	<ul style="list-style-type: none"> Démonstration que l'UMAP est une méthode extrêmement performante pour le traitement des banques de données d'exploration et nettement supérieure à l'ACP. Implémentation dans LithoModeleur des outils UMAP et DBSCAN.
Innovation	<ul style="list-style-type: none"> Démonstration des performances de l'UMAP pour la classification lithologique, la classification métasomatique et la vectorisation de l'exploration.
Produits livrés	<ul style="list-style-type: none"> Plusieurs nouvelles fonctionnalités dans LithoModeleur Trois présentations PowerPoint





Projet 2023-06 - Optimisation de l'utilisation du pXRF pour la lithogéochimie

Stéphanie Lavaure

L'analyseur portatif par spectrométrie de fluorescence X (pXRF), développé au milieu des années 60 et commercialisé à la fin des années 70, permet d'analyser la composition d'un échantillon à partir de la méthode par fluorescence X. Depuis la dernière décennie, son utilisation s'est accrue en exploration, entre autres en lithogéochimie, afin de différencier, par exemple, des familles de dykes ou de veines minéralisées, d'identifier les chenaux de laves komatiitiques fertiles pour les dépôts de Ni-Cu ou de caractériser l'altération dans divers contextes. Cependant, la méthode étant encore récente, de nombreuses questions se posent sur les meilleures pratiques à mettre en place pour obtenir des données de bonne qualité ainsi que les protocoles de gestion des données générées.

Pour ce projet, une revue de littérature a été réalisée et une base de données acquise au cours d'un projet CONSOREM précédent (2017-03) a été utilisée afin 1) de quantifier la variabilité de la qualité des données en fonction de la composition chimique, de la granulométrie et du nombre de points d'analyse et, 2) d'établir une méthode afin d'évaluer la calibration de l'appareil et corriger les données avec le logiciel LithoModeleur et 3) recommander un protocole d'acquisition et de traitement des données pXRF pour la lithogéochimie.

La revue de littérature a permis de déterminer le fonctionnement et les limites du pXRF. Par la suite, l'analyse de la banque de données acquises durant le projet CONSOREM 2017-03 a permis d'établir une méthode pour évaluer la qualité des données. Le module *Analyser le sous-ensemble de données* de LithoModeleur, développé au cours du projet 2022-08, a été utilisé pour identifier de manière rapide les éléments problématiques au sein de la banque de données. Ensuite, l'erreur relative liée à la précision analytique et à la variabilité minéralogique a été quantifiée. Les quantifications de la précision analytique en fonction de la teneur de chaque élément ont montré que la précision analytique est variable en fonction de la maficité de l'échantillon (Figure 1). Ceci est dû au fait que la précision analytique est dépendante de la limite de détection. La quantification de la variabilité de la précision

	Felsique	Mafique	Ultra-mafique
MgO	Moyenne	Bonne	Bonne
Al ₂ O ₃	Bonne	Bonne	Bonne
SiO ₂	Bonne	Bonne	Bonne
P ₂ O ₅	Bonne	Bonne	-
K ₂ O	Bonne	Bonne	Bonne
CaO	Bonne	Bonne	Bonne
TiO ₂	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise
Cr ₂ O ₃	-	Mauvaise	Mauvaise
MnO	Moyenne	Moyenne	Bonne
Fe ₂ O ₃	Bonne	Bonne	Bonne
BaO	Moyenne	Bonne	Moyenne
As	Bonne	Bonne	Bonne
Nb	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise
Ni	-	Moyenne	Moyenne
Pb	Moyenne	-	-
Rb	Bonne	Bonne	Moyenne
Sb	-	Moyenne	Moyenne
Sn	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise
Sr	Moyenne	Bonne	Bonne
Y	Bonne	Moyenne	Mauvaise
Zn	Moyenne	Moyenne	Mauvaise
Zr	Bonne	Moyenne	Mauvaise

Figure 1. Précision analytique en fonction de l'élément et de la composition chimique des roches volcaniques. Vert : médiane RSD < 5 %; orange : médiane RSD = 5 à 10 %; rouge : médiane RSD > 10 %.



minéralogique en fonction de la granulométrie et de l'homogénéité des échantillons a montré que pour la majorité des échantillons, 5 points d'analyse pXRF dispersés dans l'échantillon étaient suffisants pour avoir une bonne représentativité. Dans le cas des granulométries les plus fines et des échantillons les plus homogènes, 3 points sont suffisants.

Par la suite, une méthode de calibration des données par régression linéaire avec le logiciel LithoModeleur a été présentée. Cette méthode nécessite l'analyse de duplicata de laboratoire afin de comparer les données de pXRF avec les données laboratoires.

Étant donné que la précision, les limites de détection et la dérive de l'appareil évoluent

lors de la mise à jour de l'algorithme et du vieillissement de l'appareil, l'évaluation de la précision analytique ainsi que le calcul des facteurs de corrections devraient être refaits annuellement et après chaque retour du pXRF au fournisseur.

Enfin, il est fortement déconseillé de rentrer les facteurs de correction directement dans le pXRF afin de limiter le risque de mélanger des données brutes et des données corrigées avec différents degrés de précision ou facteur de corrections.

Le protocole d'acquisition et de traitement des données pXRF pour la lithogéochimie est présenté à la Figure 2.

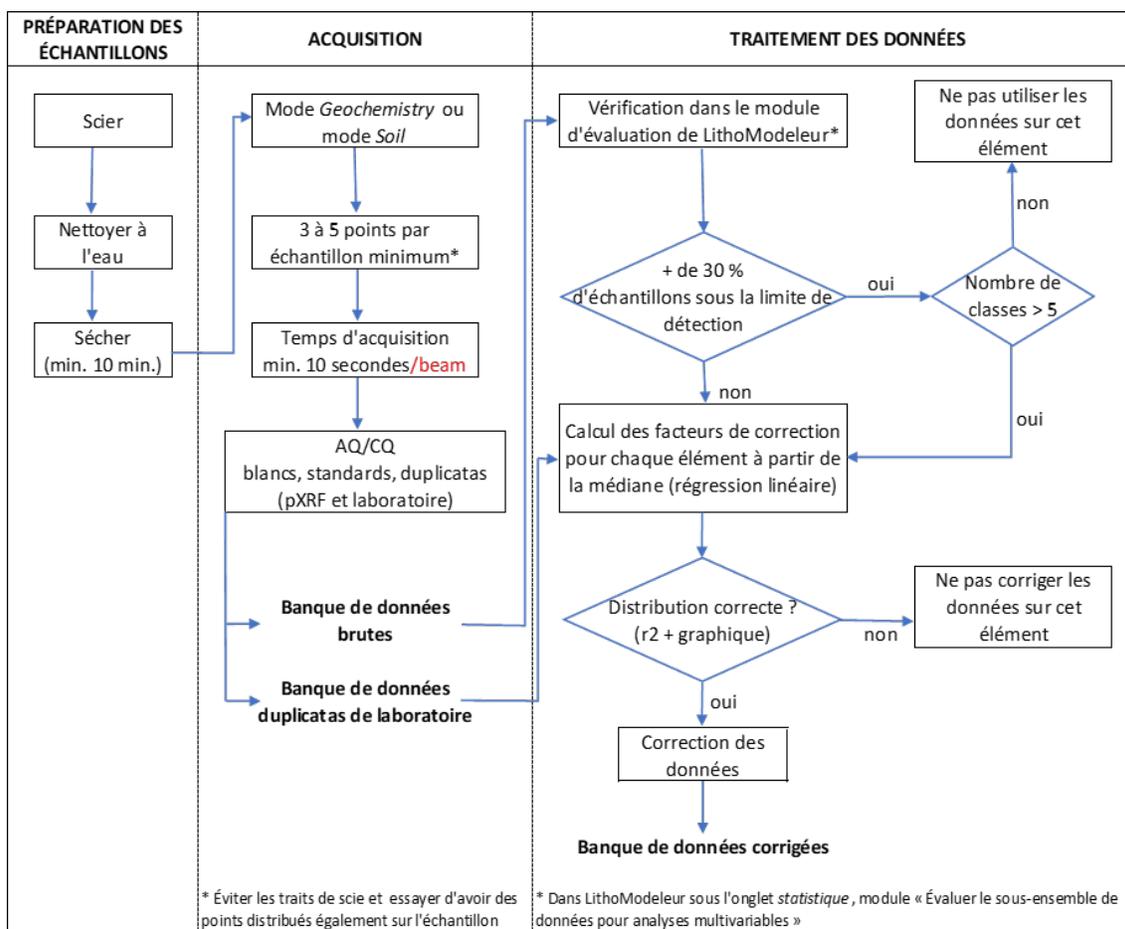


Figure 2. Protocole d'acquisition et de traitement des données pour la lithogéochimie

FICHE SOMMAIRE, PROJET 2023-06

Objectifs	<ul style="list-style-type: none">◆ Quantifier la variabilité de la qualité des données en fonction de : a) la granulométrie et du nombre de points d'analyse; b) la composition chimique; et c) l'usure de l'appareil◆ Recommander un protocole d'acquisition pXRF pour la lithogéochimie◆ Définir et appliquer les facteurs de corrections post-analytiques à l'aide du logiciel LithoModeleur
Résultats	<ul style="list-style-type: none">◆ Détermination du fonctionnement et des limites du pXRF◆ Le protocole d'acquisition de données doit être adapté au besoin de précision pour le projet◆ 5 points semblent être suffisants pour classer la majorité des échantillons◆ L'évaluation de la précision analytique ainsi que le calcul des facteurs de corrections doivent être refaits régulièrement.
Innovation	<ul style="list-style-type: none">◆ Réalisation d'un protocole d'acquisition et de traitement des données pour utilisation dans les diagrammes de classification géochimique. Le protocole inclus :<ul style="list-style-type: none">◆ La préparation de l'échantillon◆ L'acquisition des données◆ Le traitement des données
Produits livrés	<ul style="list-style-type: none">◆ Protocole d'échantillonnage visant l'optimisation du pXRF pour la lithogéochimie◆ Rapport◆ Trois présentations PowerPoint◆ Base de données bibliographique





Projet 2023-07 - Traitement de la géochimie des altérations des roches sédimentaires

Sylvain Trépanier, chercheur associé

Les roches sédimentaires ont des compositions beaucoup plus variables que les roches ignées, et beaucoup de processus influencent leurs compositions chimique et minéralogique (Figure 1). La complexité et l'hétérogénéité des roches sédimentaires font en sorte qu'il existe beaucoup plus d'outils géochimiques pour identifier la nature et les processus menant à la formation des roches ignées que pour les roches sédimentaires. Ce projet vise à revoir la géochimie des roches sédimentaires et de proposer de nouvelles approches pour le traitement de la géochimie de ces roches, en particulier pour caractériser leurs altérations hydrothermales.

La première partie du rapport fait une revue de la littérature sur les différents processus influençant la géochimie des roches sédimentaires. Les différents processus sont illustrés grâce à différentes bases de données de roches sédimentaires qui proviennent de différentes sources et qui permettent d'établir différents aspects de la géochimie de ces roches. Trois principaux diagrammes sont retenus pour caractériser la géochimie des éléments majeurs dans les roches sédimentaires : le diagramme A-CN-K molaire (diagramme des feldspaths); le diagramme A-CNK-FM molaire (diagramme des feldspaths-mafiques); le diagramme A-CNK-SI (nouveau diagramme; diagramme des feldspaths-quartz). Ces diagrammes ont l'avantage d'être simples, de représenter la majorité des minéraux présents dans les roches sédimentaires et aussi d'avoir été étudiés en détail dans différentes études antérieures sur les roches sédimentaires (Figure 2 et 3). Le présent rapport ajoute également à ces caractérisations. Les outils existants pour caractériser la carbonatation des roches sont également utiles, mais avec plusieurs mises en garde selon le contexte géologique et les caractéristiques des analyses chimiques disponibles.

Pour traiter la géochimie des roches sédimentaires en exploration minérale, une approche en deux étapes est proposée. La première étape est de classer empiriquement

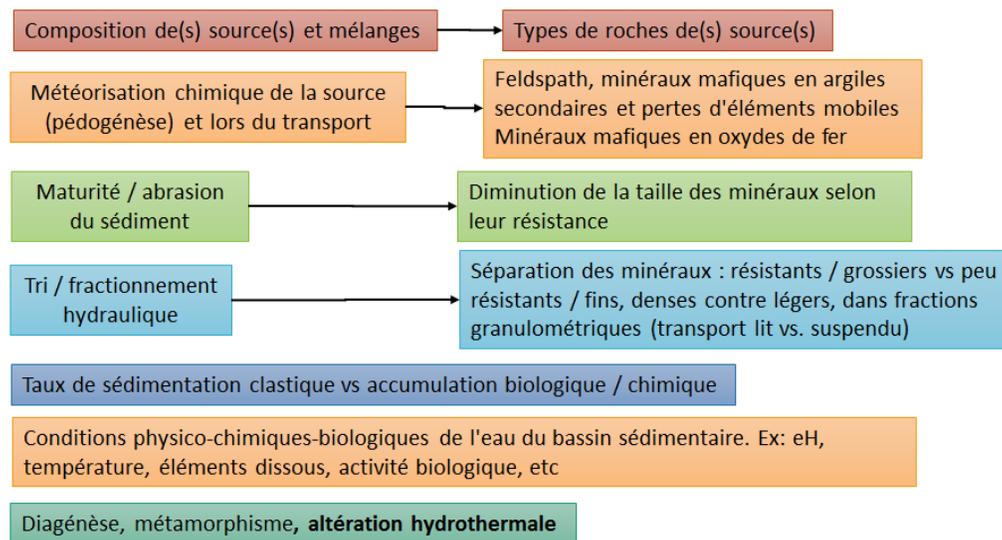


Figure 1. Processus à l'origine des roches sédimentaires



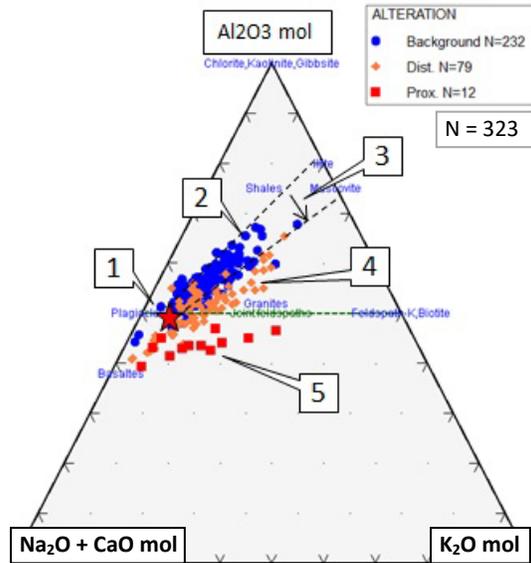


Figure 2. Diagramme des feldspaths sans le CO₂ analysé, groupe 1B, échantillons de Canadian Marlatic. 1 : composition de la source; 2 : météorisation chimique + fractionnement hydraulique; 3 : diagenèse K; 4 : altération distale; 5 : altération proximale.

les différents groupes de roches sédimentaires d'une base de données en utilisant des éléments immobiles au cours des altérations hydrothermales. L'approche privilégiée dans ce projet est l'emploi de la méthode de réduction de variables UMAP suivi d'une

classification manuelle ou d'une classification HDBSCAN réalisée sur les 3 dimensions d'UMAP. Une autre approche possible est de réaliser manuellement des classes sur des diagrammes ternaires d'éléments immobiles. L'étape suivante est d'utiliser les différentes classes de roches sédimentaires sur différents diagrammes d'éléments mobiles (diagramme des feldspaths, diagrammes de carbonatation, etc.) pour identifier les principaux processus à l'origine des roches sédimentaires et les altérations hydrothermales potentielles.

La deuxième partie du rapport étudie différents cas de géochimie de roches sédimentaires en exploration minière, en utilisant l'approche proposée. Cinq cas différents dans différentes provinces géologiques sont abordés : trois cas dans le sud de l'Abitibi, un cas dans le secteur de la Baie-James et un dernier cas dans la Fosse du Labrador. Les quatre premiers cas sont des roches sédimentaires archéennes clastiques, alors que le dernier est constitué de roches sédimentaires clastiques, biogéniques et exhalatives du Paléoproterozoïque. Les différents cas permettent d'illustrer les possibilités et défis liés au traitement de la géochimie des roches sédimentaires en exploration minière.

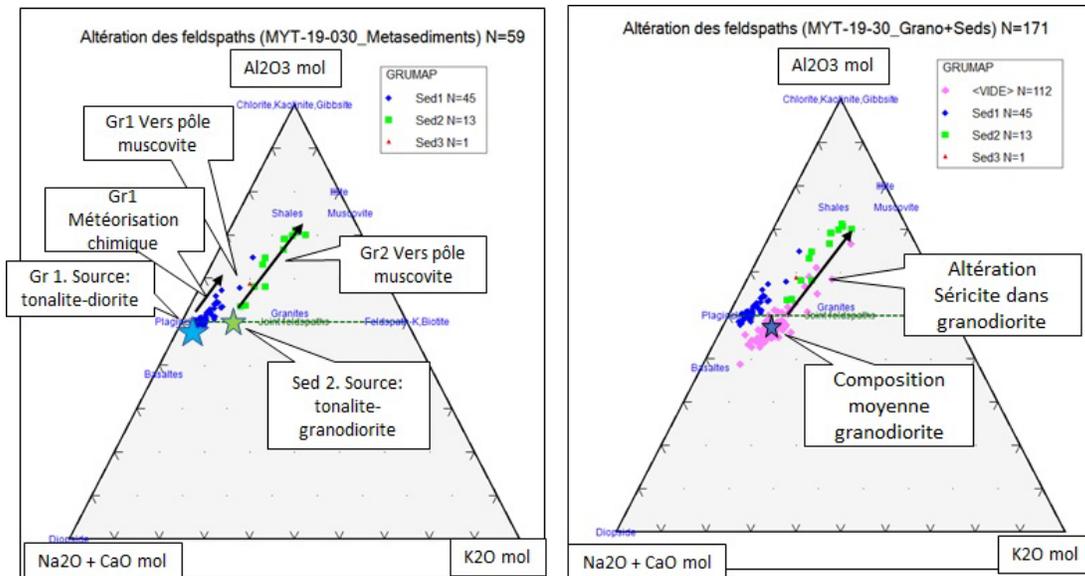


Figure 3. Diagramme des feldspaths pour le forage MYT-19-030 du projet Mythril (Baie-James), avec les roches métasédimentaires seulement (gauche), et la granodiorite également (droite).

FICHE SOMMAIRE, PROJET 2023-07

Objectifs	<ul style="list-style-type: none">◆ Développer une méthodologie pour le traitement efficace de l'altération dans les roches sédimentaires à partir de différents outils géochimiques
Résultats	<ul style="list-style-type: none">◆ Revue exhaustive des différents processus sédimentaires qui déterminent la composition chimique des roches sédimentaires◆ Étant donné les différents processus, développement d'une approche en 2 étapes pour le traitement de la géochimie des roches sédimentaires : 1) classification des roches par éléments immobiles par statistiques ou diagrammes ternaires d'éléments immobiles; 2) diagrammes d'éléments mobiles en tenant compte des classes et des processus sédimentaires « normaux » pour identifier les altérations hydrothermales
Innovation	<ul style="list-style-type: none">◆ Efficacité démontrée de la méthode de traitement de la géochimie des roches sédimentaires dans plusieurs cas d'études pour identifier les classes de roches sédimentaires, les processus sédimentaires « normaux » et les altérations hydrothermales
Produits livrés	<ul style="list-style-type: none">◆ Plusieurs nouveaux diagrammes d'interprétation des roches sédimentaires dans LithoModeleur◆ Un rapport◆ Trois présentations PowerPoint◆ Base de données bibliographique





Projet 2023-08 - Potentiel des levés LIDAR pour l'exploration minérale

Jérôme Lavoie, chercheur associé
Youssef Toubri

Les levés LIDAR et les dérivés de ces levés sont fréquemment utilisés en exploration minérale (topographie, géomorphologie, dépôt quaternaire, étude structurale, etc.). Le mandat de cette petite étude était de vérifier si le logiciel CONSOREM MagnetoModeleur permet de traiter ce type de levé, d'extraire des données pertinentes, ainsi que d'en dégager des interprétations cohérentes et utiles pour l'exploration minérale. Le logiciel MagnetoModeleur est un logiciel interactif et automatique utilisé pour l'interprétation de levés magnétométriques par des techniques

de segmentation d'images sur des cellules chevauchantes (ou fixes) par : (i) le calcul de 11 paramètres fréquentiels spatiaux et 91 paramètres statistiques texturaux ; (ii) l'analyse statistique de réduction de variable (ACP) ; (iii) la classification par 3 algorithmes différents.

La méthodologie, simple, a été d'effectuer un test de faisabilité sur un levé LIDAR dans le secteur des propriétés Serpent (Harfang Exploration) et La Pointe (Corporation Métaux Précieux du Québec), localisé dans la Sous-province de La Grande (domaine lithotectonique de La Grande Rivière) et à environ 80 km au sud-est de la municipalité de Radisson (SNRC 33F02 et 33F03). Le levé combiné des deux propriétés a une résolution de 5 mètres.

Les résultats préliminaires montrent que certains paramètres spectraux et texturaux calculés par le logiciel MagnetoModeleur permettent de reconnaître et d'interpréter certains phénomènes géologiques (linéaments ou autres zones structurales à partir des paramètres spectraux directionnels), des phénomènes géomorphologiques et de géologie du quaternaire (p. ex. la reconnaissance des moraines de De Geer (Figure 1), d'eskers et même la limite de la moraine de Sakami, à partir de certains paramètres

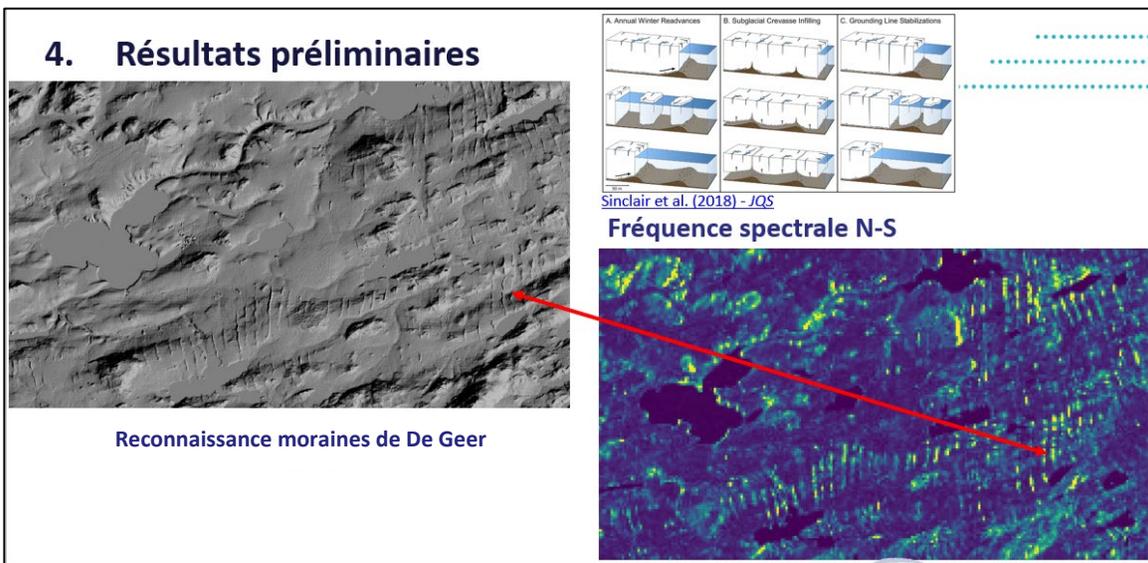


Figure 1. Exemple de la reconnaissance et l'interprétation de moraines de De Geer à partir du calcul des fréquences spectrales de direction N-S par le logiciel CONSOREM MagnetoModeleur.

spectraux directionnels) et des phénomènes entropiques (p. ex. les routes et les lignes à haute tension, avec des paramètres spectraux directionnels). Quelques paramètres texturaux ainsi que les cartes d'analyses en composantes principales (ACP) donnent également quelques résultats intéressants, en formant des domaines précis, mais de nature inconnue (n'ayant pas investi assez de temps pour la compréhension et l'interprétation de ces résultats).

En seulement quelques jours d'essai (4 jours), il a été démontré que certains paramètres calculés par le logiciel MagnetoModeleur semblent fournir de l'information géologique pertinente pour l'interprétation des levés LIDAR (paramètres spectraux directionnels, certains paramètres texturaux, les cartes d'ACP) pour l'interprétation de la géologie du quaternaire, de la géologie structurale, des phénomènes entropiques, etc. Cependant, des 102 paramètres calculés par le logiciel MagnetoModeleur, beaucoup ne semblent donner aucune correspondance. Plus de temps serait nécessaire pour une analyse complète des résultats calculés de ces

paramètres par le logiciel. Les calculs ont été effectués avec des fenêtres fixes (paramètre 10x10 du logiciel pour un total de 592 800 fenêtres analysées), à une plus basse résolution (cellule de 50 m), donc des cellules plus grandes que la résolution initiale du levé (5 m). Avec des fenêtres mobiles, la résolution étant trop grande (HD), le temps de calcul était beaucoup trop long pour le temps alloué.

En conclusion, ces résultats préliminaires permettent d'affirmer hors de tout doute que le potentiel de traitement des levés LIDAR avec le logiciel MagnetoModeleur semble éminent. L'auteur recommande fortement la poursuite des recherches. Cependant, pour un résultat optimal, il est recommandé de tester le traitement de ce type de levé au moyen de fenêtres chevauchantes. De plus, il a été impossible d'exporter les résultats des 102 paramètres dans un système d'information géographique (GIS) pour permettre une pleine utilisation des résultats. Malgré ces deux points, le traitement des levés LIDAR par de nouvelles méthodes, par exemple avec des paramètres fréquentiels spectraux, des paramètres texturaux et des paramètres statistiques, s'avère prometteur.

FICHE SOMMAIRE, PROJET 2023-08

Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Valorisation des levés LIDAR pour l'exploration minérale ◆ Développement d'une méthodologie pour la détection automatique 1) des affleurements; 2) des linéaments; 3) supporter la planification de levés dans l'environnement quaternaire.
Résultats	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Certains paramètres spectraux et texturaux calculés par MagnetoModeleur permettent de reconnaître et d'interpréter certains phénomènes géologiques, des phénomènes géomorphologiques et de géologie du quaternaire, d'eskers et de limite de moraine et des phénomènes entropiques. ◆ Beaucoup de paramètres ne donnent aucune correspondance.
Innovation	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Traitement des données LIDAR avec un logiciel interactif et automatique conçu pour l'interprétation de levés magnétométriques (MagnetoModeleur).
Produits livrés	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Deux présentations PowerPoint

