

MB 2023-01

Travaux de recherche sur les minéraux critiques et stratégiques réalisés par les stagiaires de l'École de terrain

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

Cette première page a été ajoutée au document et ne fait pas partie du rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 



Travaux de recherche sur les minéraux critiques et stratégiques réalisés par les stagiaires de l'École de terrain

Marc Legault

MB 2023-01

Ressources naturelles
et Forêts

Québec 

Avertissement

Ce document est une copie fidèle du manuscrit soumis par l'auteur, sauf pour une vérification sommaire destinée à assurer une qualité convenable de diffusion.

PU-2021-08-1384

**Travaux de recherche sur
les minéraux critiques et
stratégiques réalisés par les
stagiaires de l'École de terrain**

Pour :

M^{me} Andrea Amortegui
Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles
Direction de l'acquisition des connaissances géoscientifiques
5700, 4^e Avenue Ouest, local D-307
Québec (Québec) G1H 6R1

Par :

Marc Legault, Ph. D.

Avec la collaboration de :

Théo Gaxotte
Claire Dommésent



Unité de recherche et de service en technologie minérale

445, boul. de l'Université, Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E4
Téléphone : 819-762-0971, poste 2558 | Télécopieur : 819-797-4727

Novembre 2022

RÉSUMÉ

Ce rapport présente une synthèse des travaux pétrographiques et géochimiques des échantillons de 2021 et des travaux de terrain effectués lors de deux stages à l'UQAT au cours de l'été 2022. Ces stages portent sur :

- a) l'évaluation du potentiel du lithium-tantale dans le secteur du lac Simard au Témiscamingue;
- b) des éléments à terres rares (ÉTR) dans le secteur de l'Outaouais.

Dans le secteur au nord du lac Simard, plusieurs pegmatites montrent des minéralisations en minéraux critiques et stratégiques en association spatiale avec le Batholite du Réservoir Decelles (BRD). L'examen de lames minces et le traitement des analyses chimiques de 2021 ont permis de confirmer la nature peralumineuse du BRD et la présence de pegmatites LCT et NYF à moins de 2 km de sa bordure sud-est. Les travaux de terrain confirment également la présence d'autres dykes à spodumène dans le secteur du gisement Viau-Dallaire et la présence d'un nouvel indice de béryl.

En Outaouais, les caractérisations minéralogiques et chimiques des échantillons de l'été 2021 ont permis de confirmer le caractère tardif des dykes et leur potentiel en minéralisation en ÉTR. Des travaux au microscope au balayage électronique seront nécessaires pour déterminer si les ÉTR se retrouvent tous dans l'apatite ou si d'autres phases porteuses sont présentes. Les travaux de terrain ont également validé l'intense fénitisation potassique associée à l'anomalie de potassium du levé de spectrométrie aérien et a également permis de découvrir de nouveaux dykes de carbonatite ce qui indique un magmatisme de carbonatite discret, mais d'échelle régionale dans la région.

1q

Mots-clés : Pegmatite, lithium, Témiscamingue, carbonatite, éléments de terres rares, Outaouais

Table des matières

	Page
RÉSUMÉ	I
PRÉFACE	V
MÉTHODES DE TRAVAIL	V
LES MINÉRAUX CRITIQUES ET STRATÉGIQUES	VII
ÉVALUATION DU POTENTIEL EN LITHIUM-TANTALE DU SECTEUR DU LAC SIMARD, RÉGION DU TÉMISCAMINGUE (C. DOMMESENT)	1
INTRODUCTION	1
CONTEXTE GÉOLOGIQUE	1
PROBLÉMATIQUE.....	4
RÉSULTATS.....	7
<i>Examen pétrographique</i>	7
<i>Campagne de cartographie et d'échantillonnage</i>	16
CONCLUSION	19
RECOMMANDATIONS	19
ÉVALUATION DU POTENTIEL EN ÉLÉMENTS DE TERRES RARES ASSOCIÉS AUX DYKES DE CARBONATITES DU SECTEUR DE L'OUTAOUAIS (T. GAXOTTE)	20
INTRODUCTION	20
CONTEXTE GÉOLOGIQUE	20
PROBLÉMATIQUE.....	22
RÉSULTATS.....	23
<i>Examen pétrographique</i>	23
<i>Campagne de cartographie et d'échantillonnage</i>	27
Carbonatites	31
CONCLUSION	32
TRAVAUX FUTURS.....	32
BIBLIOGRAPHIE	33
ANNEXE A : PARAMÈTRES TECHNIQUES DES MESURES GÉOPHYSIQUES	

Liste des figures

Figure 1. Carte montrant les grands ensembles géologiques du Québec	vi
Figure 2. Carte géologique des suites magmatiques de l'Abitibi et du Pontiac	2
Figure 3. Géologie régionale du secteur nord du lac Simard sur fond d'image satellitaire	3
Figure 4. Schéma idéalisé d'un champ de pegmatites LCT	6
Figure 5. Photomicrographie du BRD et des pegmatites minéralisées	8
Figure 6. Analyses indiquant le caractère peralumineux du BRD et métalumineux du BLS	10
Figure 7. Distribution minéralogique (A) et des indices chimiques (B à D) à l'intérieur du BRD basés sur les analyses de l'été 2021.	11
Figure 8. Variation des compositions chimiques de Cs versus U pour les dykes de pegmatite (A)	13
Figure 9. Boîtes à moustache des différents ratios d'éléments incompatibles subdivisés par type de roches.....	13
Figure 10. Compilation des analyses effectuées sur des rainures	15
Figure 11. Localisation des affleurements visités à l'été 2022 avec le numéro de la géofiche 22- CD-XXXX.	17
Figure 12. Photo de terrain du BRD.....	18
Figure 13. Carte géologique du secteur au nord de la ville de Gatineau.....	21
Figure 14. Illustration montrant la répartition des ressources minérales	23
Figure 15. Photomicrographies de carbonatites et de fénites.....	24
Figure 16. Diagrammes chimiques des dykes de carbonatite	26
Figure 17. Localisation des affleurements visités à l'été 2022	28
Figure 18. Localisation des mesures de potassium par spectromètre portatif.....	29
Figure 19. Photos de fénite et de nouvelles occurrences de carbonatite	30

Liste des tableaux

Tableau 1. Liste des MCS du Québec	viii
Tableau 2. Valeurs limites des plutons sources (monzogranite) et des dykes de pegmatite pour des minéralisations LCT.....	7

PRÉFACE

Créée en 2008, l'École d'été en géologie de terrain, qui fut développée par l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT), l'Université de Lorraine (UL) et le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec (MERN), a permis d'accueillir à ce jour une centaine de jeunes diplômés d'ailleurs dans la Francophonie (France et Maroc). L'École vise à développer un savoir-faire très concret, au moyen d'exercices de terrain pratiques, encadrés par des professeurs de l'UQAT et de l'UL, et des géologues du MERN. Localisés au Québec, les stages de 4 mois, qui sont partie intégrante de l'expérience, permettent aux participants de répondre à la forte demande de main-d'œuvre tant par les organismes gouvernementaux que par l'industrie minière et ainsi, les former aux pratiques nord-américaines.

Afin de donner des expériences de stage appliqué dans le domaine de l'évaluation du potentiel pour les minéraux critiques et stratégiques (MCS), l'Unité de Recherche et de Service en Technologie Minérale (URSTM) de l'UQAT, le MERN et Éléments08, le centre d'excellence sur les métaux stratégiques, ont lancé un projet de deux stages sur les MCS par année pour une durée de 4 ans. Cette année, les stages se sont déroulés du 24 mai au 26 août 2022 et ont porté sur l'évaluation du potentiel du lithium-tantale dans le secteur du lac Simard au Témiscamingue (C. Dommesent) et des éléments à terres rares (ÉTR) dans le secteur de l'Outaouais (T. Gaxotte) (*figure 1*). Ce rapport présente une synthèse de leurs travaux.

Méthodes de travail

Les stages ont été divisés en une première partie d'examen pétrographique et de traitement géochimique sur les échantillons récoltés à l'été 2021 suivi d'une deuxième partie de terrain (9 au 13 juillet 2022 en Outaouais et 24 au 29 juillet 2022 au lac Simard) et de préparation des échantillons pour les analyses pétrographiques et chimiques.

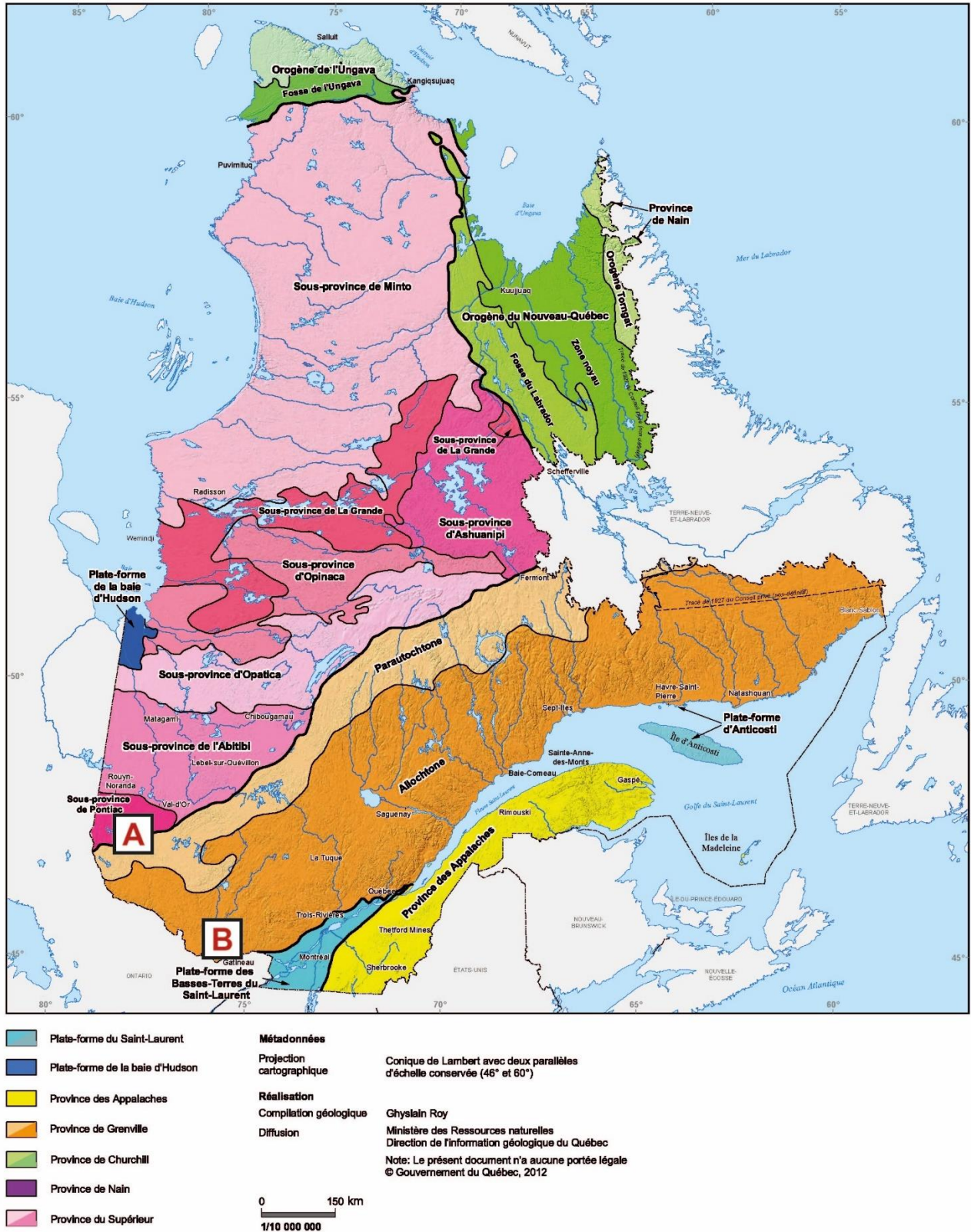


Figure 1. Carte montrant les grands ensembles géologiques du Québec avec la localisation des projets de stage.
 A – Lac Simard; B – Outaouais. Modifiée de MERN (2012).

Les données géochimiques présentées dans ce rapport sont une combinaison de la compilation des travaux antérieurs et des analyses sur des échantillons prélevés à l'été 2021. Toutes ces données sont maintenant accessibles sur le SIGEOM. Les travaux de terrain de l'été 2022 visaient à mieux évaluer certains secteurs précis des deux projets à l'étude dans la limite des conditions d'accès et de la présence d'affleurements. Durant cette campagne, la géologie du secteur fut décrite sur des géofiches. Les échantillons collectés subiront une étude complète (minéralogie et analyses chimiques) en partie lors de stages en 2023. De plus, la radioactivité de la roche a été mesurée directement sur les affleurements à l'aide d'un spectromètre à rayons gamma RS-125 de Radiation Solutions Inc. Toutes ces mesures seront incorporées aux géofiches. Les paramètres techniques des mesures spectrométriques sont indiqués à l'*annexe A*.

Les minéraux critiques et stratégiques

L'évolution actuelle des technologies entraîne une forte demande en ressources minérales. Certains de ces minéraux sont devenus indispensables et jouent un rôle essentiel dans notre vie quotidienne (nouvelles technologies, énergies vertes). Cependant, la production et la disponibilité de ces minéraux sont limitées. Dans ce contexte, le Québec, ainsi que plusieurs pays, ont défini une liste de MCS. Les minéraux critiques sont définis par le MERN comme des minéraux d'importance économique significative pour des secteurs clés de l'économie. Ces minéraux présentent un risque élevé sur le plan de l'approvisionnement et ne possèdent pas de substituts disponibles. Ces métaux critiques comprennent le cuivre, le zinc et le cadmium (MERN, 2020) (*tableau 1*). Les minéraux stratégiques, quant à eux, sont les minéraux nécessaires à la mise en œuvre des politiques économiques du Québec (Politique de mobilité durable, Plan pour une économie verte). Ces métaux stratégiques incluent notamment le lithium, le cobalt, les ÉTR et le graphite (MERN, 2020) (*tableau 1*).

Tableau 1. Liste des MCS du Québec. Tiré de MERN (2020)

Critiques	Stratégiques	Stratégiques
Nécessaires à l'approvisionnement d'usines québécoises de transformation	Liés aux politiques publiques et aux énergies renouvelables	Produits ou ayant un bon potentiel de mise en valeur au Québec
1. Antimoine ²	11. Cobalt ²	17. Magnésium ⁴
2. Bismuth ²	12. Éléments des terres rares (ETR)	18. Niobium ¹
3. Cadmium ²	13. Éléments du groupe du platine (EGP ²)	19. Scandium ⁴
4. Césium	14. Graphite (naturel)	20. Tantale
5. Cuivre ²	15. Lithium ³	21. Titane ¹
6. Étain ²	16. Nickel ¹	22. Vanadium ³
7. Gallium ²		
8. Indium		
9. Tellure ²		
10. Zinc ¹		

¹ : Produit transformé comme substance principale.

² : Produit comme substance secondaire, à partir de concentré ou comme sous-produit de fonderie.

³ : Projet de mise en valeur minière.

⁴ : Projet de transformation.

Évaluation du potentiel en lithium-tantale du secteur du lac Simard, région du Témiscamingue (C. Dommesent)

Introduction

Cette section du document présente un résumé des travaux effectués dans le cadre du stage Master's I sur l'évaluation du potentiel en lithium et tantale du secteur nord du lac Simard, dans la région du Témiscamingue. L'objectif est de faire le point sur les nouvelles acquisitions de données de l'échantillonnage de 2021 afin de planifier une campagne d'échantillonnage pour l'été 2022 et des travaux futurs.

Contexte géologique

Le secteur à l'étude se situe à 70 km au sud-sud-est de la ville de Rouyn-Noranda dans la province du Supérieur, plus précisément dans la sous-province du Pontiac (*Figure 2*). Cette sous-province est constituée principalement de roches métasédimentaires et de roches métavolcaniques du Groupe de Pontiac, et de granitoïdes (Hocq et Verpaelst, 1994). Elle a subi un métamorphisme au faciès des amphibolites moyen à supérieur et présente des structures globalement E-W. Les derniers levés géologiques régionaux du secteur datent de plus de 45 années (Chagnon, 1968; Rive, 1975).

Les plutons présents dans la région sont généralement de composition granodioritique, monzogranitique et tonalitique (Hocq et Verpaelst, 1994). Dans le secteur étudié, on trouve notamment le Batholite du lac Simard (BLS) et le Batholite du Réservoir Decelles (BRD) (SIGÉOM, 2021) (*figure 3*). Centré sur le lac Simard, on trouve le batholite du même nom, composé de monzonite, monzodiorite, diorite et syénite (Tarnocai, 1997). Il est de nature alcaline (Feng et Kerrich, 1992) et est daté à 2686 Ma (Machado et al., 1991). Au nord du lac, on trouve le BRD, composé essentiellement de granite et de granodiorite (Rive, 1994). Il est peralumineux et est daté entre 2651 et 2658 Ma (Feng et Kerrich, 1991). Sur la rive nord du lac Simard, près du contact entre les deux batholites, se trouve une pléthore de dykes de pegmatites de taille variable (entre 1 et 30 m d'épaisseur) associée à des indices de métaux rares, dont plusieurs MCS (Li, Ta, Nb, ÉTR) (Perron et Labranche, 2017).

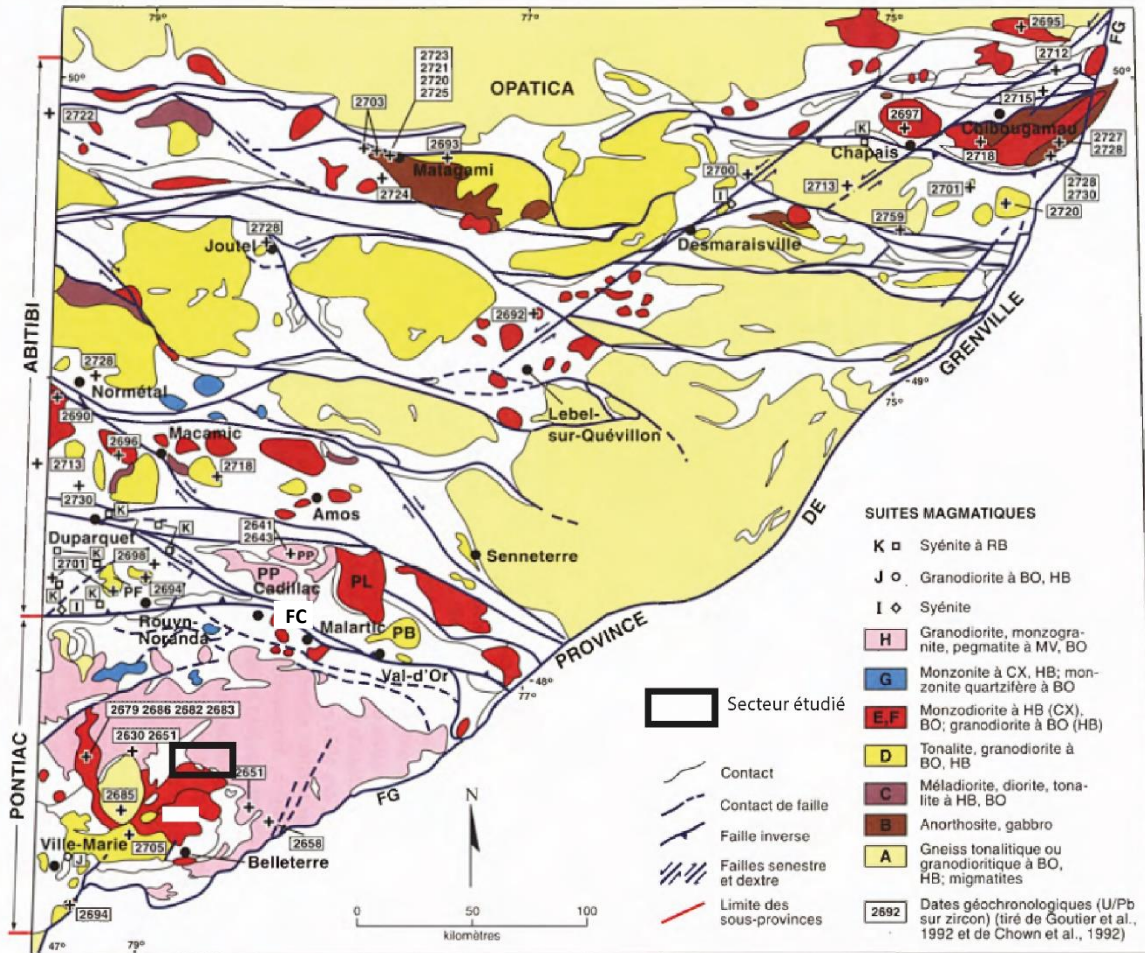


Figure 2. Carte géologique des suites magmatiques de l'Abitibi et du Pontiac de Hocq et Verpaelt (1994).
 Plutons : PF : pluton de Flavrian ; PB : pluton de Bourlamaque ; PL : pluton de Lacorne ; PP : pluton de Preissac.
 Abréviations : BO : biotite ; CX : clinopyroxène ; HB : hornblende ; MV : muscovite ; RB : riebeckite. FG : Front de Grenville ; FC : Faille de Cadillac.

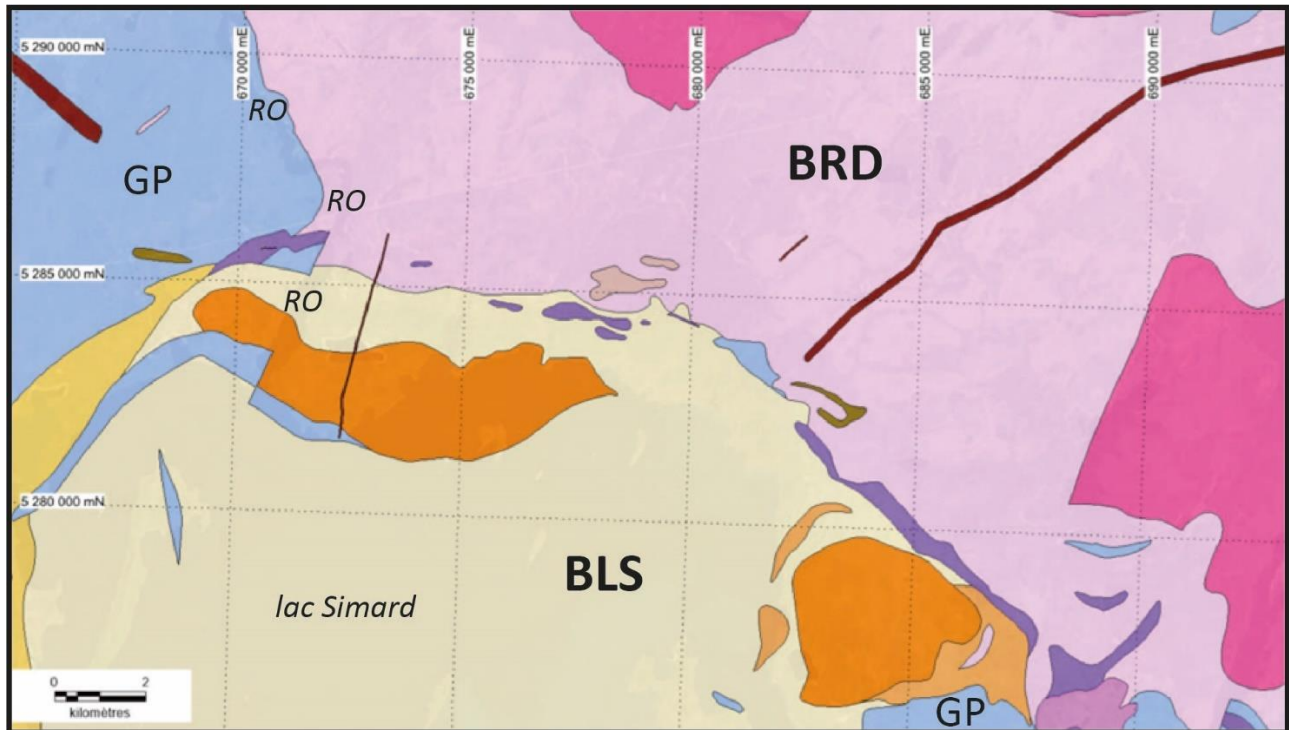


Figure 3. Géologie régionale du secteur nord du lac Simard sur fond d'image satellitaire. Tirée du SIGEOM (2021).
 BLS : Batholite du lac Simard ; BRD : Batholite du Réservoir Decelles ; GP : Groupe de Pontiac. RO : Rivière des Outaouais. UTM NAD 83 – zone 17.

Deux familles de pegmatites sont distinguées dans le secteur (Gobeil, 1982) :

- Les pegmatites simples, ou pegmatites à muscovite, qui présentent une orientation générale nord-sud et ne sont pas minéralisées;
- Les pegmatites complexes qui présentent une zonation du mur au cœur avec un assemblage microcline-quartz dans la zone externe, microcline-micas dans la zone intermédiaire, et une zone interne à quartz-albite \pm spodumène. Ces pegmatites d'orientation générale est-ouest sont minéralisées en spodumène (Li), colombo-tantalite (Nb-Ta) et parfois béryl (Be) et uranium-zirconium-éléments de terres rares (ÉTR).

Le secteur est exploré depuis les années 1950, date de la découverte des premiers indices de béryl et de spodumène dans le secteur de l'indice Claims Legault. Certains indices de lithium et de béryl ont également déjà été examinés par le MERN (Boily et al., 1989). L'ensemble des travaux d'exploration est compilé dans Richard (2021).

Problématique

L'objectif de ce stage porte sur les métaux stratégiques tels que le lithium (Li) et le tantale (Ta). La problématique a été présentée de façon plus exhaustive dans Legault et al. (2022) et seulement les caractéristiques importantes pour la compréhension des interprétations seront présentées ici.

Les pegmatites minéralisées au lac Simard montrent deux associations métallifères reconnues également ailleurs dans le monde (Černý et Ercit, 2005):

- a) Li-Cs-Ta (LCT);
- b) Nb-Y-F \pm ÉTR, U, Th, Zr, Ta, Pb (NYF).

Les pegmatites LCT sont surtout caractérisées au Québec par la présence de spodumène (pyroxène) et beaucoup moins de la lépidolite (mica) et de la pétalite (feldspath) (Boily et Gosselin, 2004). Ces pegmatites contiennent également des minéraux accessoires tels que la colombo-tantalite et le béryl. Les pegmatites NYF contiennent généralement des minéraux tels que le pyrochlore, l'allanite, la monazite, l'euxinite, la gadolinite, l'uraninite et la thorite (Ercit, 2005). Cependant, la distribution de ces minéraux est généralement très erratique à l'intérieur des dykes (également le cas dans le secteur du lac Simard) et ils ne forment que très rarement des gisements exploitables en MCS (Linnen et al., 2012).

Selon Černý et Ercit (2005), les pegmatites de type LCT se formeraient dans un contexte

compressif issues de plutons parents péralumineux. Le mode de formation des pegmatites est encore débattu à ce jour. Cependant, le modèle le plus communément accepté implique un liquide silicaté résiduel issu de la cristallisation fractionnée extrême d'un pluton granitique (London, 2018). Les liquides résiduels sont alors enrichis en volatiles et en éléments rares, ainsi qu'en éléments fluxant (e.g., Li, F, B). La présence de ces éléments fluxant permet de baisser la température de cristallisation et le taux de nucléation du magma, diminuant également la polymérisation et la viscosité tout en augmentant la diffusion. Ces paramètres permettent alors de créer la texture caractéristique des pegmatites (Simmons et Webber, 2008). Ce modèle de formation est appuyé par la zonation spatiale des pegmatites autour d'un pluton parent.

En effet, dans la plupart des cas, on observe une variation chimique des pegmatites de type LCT en fonction de l'éloignement au pluton parent, avec des pegmatites stériles au contact et à l'intérieur du pluton, et des pegmatites riches en Li, F, P et autres éléments rares à caractère incompatible dans les zones les plus distales (Černý, 1991; Breaks et al., 2005). Cette zonation chimique s'accompagne d'une zonation minéralogique, avec des pegmatites à deux micas proches du pluton, et des pegmatites à spodumène, lépidolite, béryl et colombo-tantalite pour les plus éloignées du pluton (Müller et al., 2017) (*Figure 4*). Les pegmatites de type NYF ne montrent généralement pas une telle zonation à l'échelle régionale (Černý, 1991).

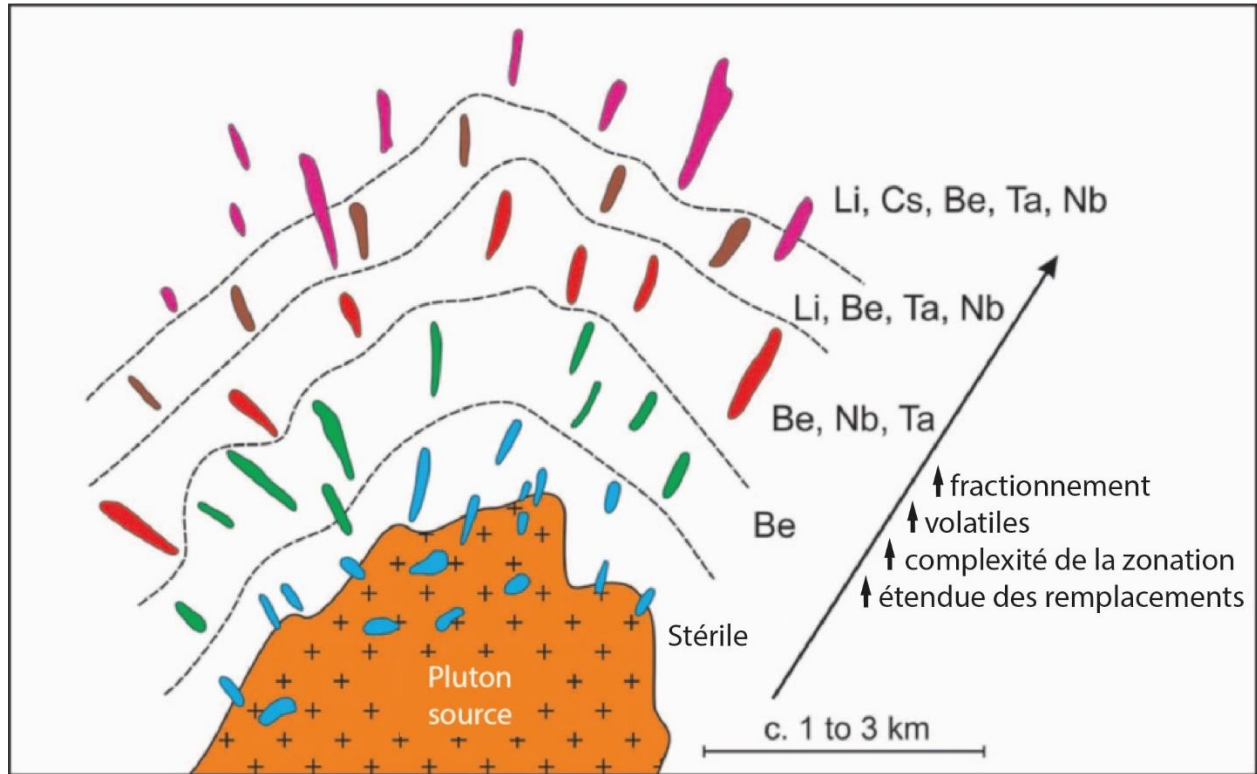


Figure 4. Schéma idéalisé d'un champ de pegmatites LCT illustrant la zonation autour du pluton parent. Les pegmatites stériles sont près ou à l'intérieur du pluton, tandis que les pegmatites enrichies en Li, Cs, Be, Ta, Nb sont plus éloignées. Modifiée de Müller et al. (2017).

Des rapports tels que K/Rb, K/Cs, Nb/Ta, Mg/Li et Zr/Hf sont les plus efficaces pour refléter le degré de fractionnement de la pegmatite (Breaks et al., 2005; Selway et al., 2005; Ballouard et al., 2016; Steiner, 2019). Des valeurs limites de ces ratios sont présentées au *tableau 2* pour distinguer les plutons parents fertiles et les dykes de pegmatite fertile pour les minéralisations en lithium.

Tableau 2. Valeurs limites des plutons sources (monzogranite) et des dykes de pegmatite pour des minéralisations LCT. Tiré de la compilation de Cerny (1991), Breaks et al. (2005), Selway et al. (2005), Ballouard et al. (2016) et Legault (2022).

Ratio	Monzogranite fertile	Dyke de pegmatite fertile
K/Rb	< 240	< 20
K/Cs	< 5 000	< 400
Mg/Li	< 50	< 1,0
Nb/Ta	< 5	< 1,65
Zr/Hf	< 25	< 8

Résultats

Examen pétrographique

L'observation des différentes lames minces du BRD montre une composition granitique avec des proportions similaires de quartz, feldspath potassique (microcline et orthose) et plagioclase (albite-oligoclase) avec généralement moins de 15% biotite+muscovite+grenat. Le degré d'altération est généralement assez élevé dans les plagioclases et les biotites. Ces dernières montrent généralement une forte chloritisation, tandis que les plagioclases montrent une séricitisation variable (*figure 5*). La microcline et la muscovite primaire sont généralement peu altérées.

Les dykes de pegmatite montrent une minéralogie similaire au BRD avec localement des enrichissements en béryl, spodumène, pyrochlore¹ et uraninite¹. Les pegmatites LCT et NYF montrent plus de plagioclases que de feldspath potassique, tandis que les pegmatites à l'intérieur du BRD le feldspath potassique est généralement plus commun. Les feldspaths sont généralement très altérés. En lames minces le spodumène montre peu d'inclusions, tandis que le pyrochlore remplace l'ilménite dans les pegmatites NYF (*figure 5*). La minéralogie plus complexe des pegmatites NYF doit être précisée par MEB dans la prochaine année.

¹ Ces minéraux ont été identifiés au MEB par Fleury et Leclerc (2008).

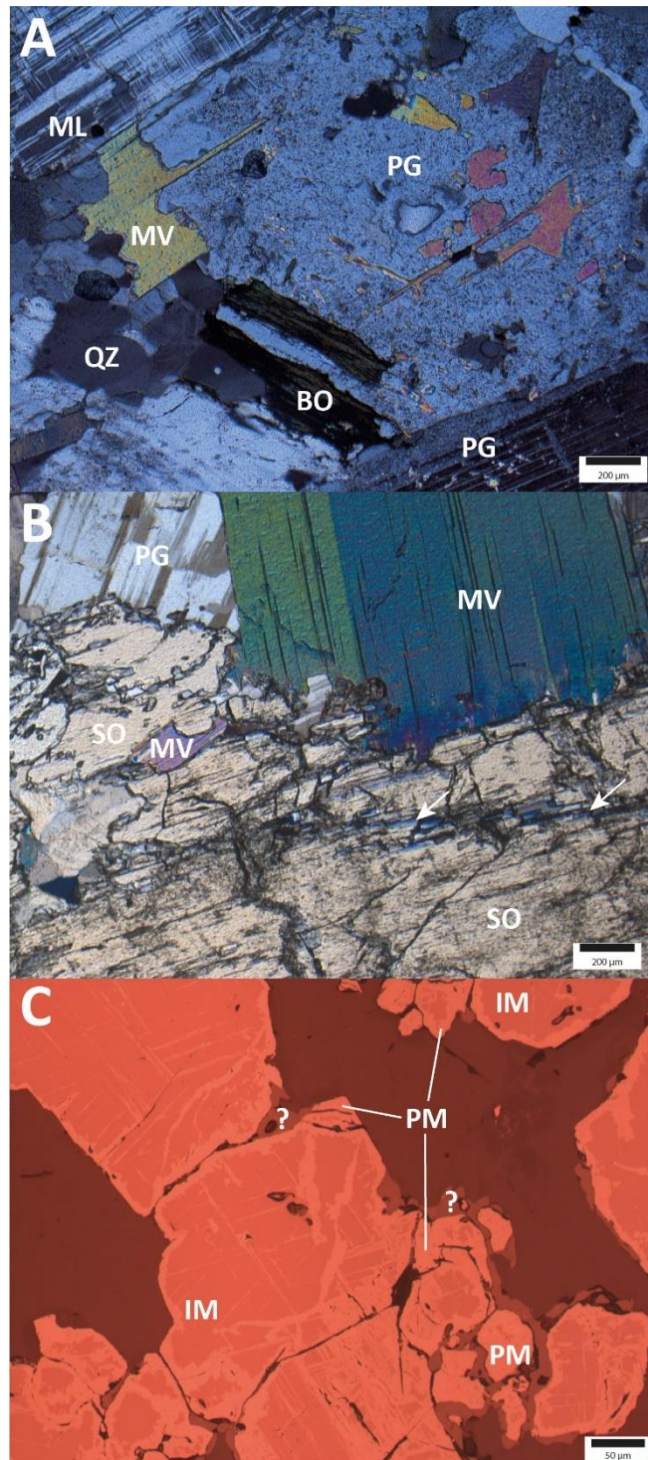


Figure 5. Photomicrographie du BRD et des pegmatites minéralisées. A) Monzogranite du BRD montrant une forte altération de la biotite (BO) et du plagioclase (PG) tandis que la muscovite (MV) et la microcline (ML) sont plutôt fraîche. QZ – Quartz. Lumière transmise polarisée. 21-FP-2029A. B) Spodumène (SO) montrant un début d'altération en muscovite le long d'une fracture (flèches). MV – Muscovite. Gisement Viau-Dallaire. 21-FP-2002A1. C) Minéralisation de l'indice Tanco montrant de l'ilménite (IM) remplacée par du pyrochlore (PM). Autres minéraux gris pâle (?) devront être identifiés au MEB. 21-FP-2006A.

Géochimie

Les analyses des échantillons de l'été 2021 des faciès fins à grossiers du BLS et du BRD montrent des compositions chimiques très distinctes. Les échantillons du BLS ont une chimie similaire à celle de Tarnocai (1997) et montrent une tendance alcaline similaire aux autres intrusions alcalines des sous-provinces de l'Abitibi et du Pontiac (Feng et Kerrich, 1992) (*figure 6*). Quant à lui, le BRD est peralumineux et est très similaire aux granites à deux micas du complexe Preissac-La Motte-La Corne (CPMC) (Boily, 1993; Mulja, 1995) et d'ailleurs au monde (Laurent et al., 2014) (*figure 6A et 6C*). Cependant le BRD montre de très faibles concentrations en Cs < 7ppm, Nb < 30 ppm et Ta < 16 ppm en comparaison au CPMC et d'autres granites à deux micas spatialement associés à des minéralisations en lithium (Černý, 1991; Breaks et al., 2005). La distribution des éléments chimiques et de leurs ratios ne montre pas une zonation claire dans le pluton à l'échelle du secteur à l'étude, ce qui est en accord avec la variation minéralogique (*figure 7*).

Plusieurs dykes de pegmatite minéralisés du secteur (LCT et NYF) ont été échantillonnés à l'été 2021. Bien que les concentrations de nos échantillons ne soient pas toutes nécessairement indiciaires, les travaux de compilation nous indiquent qu'ils proviennent de dykes minéralisés. Sans grande surprise les pegmatites sont toutes peralumineuses avec les pegmatites riches en spodumène (> 25% SO) ayant des indices de saturation en aluminium de plus de 2 (*figure 6B*). De plus étant donné que les pegmatites ont généralement très peu de MgO, Fe₂O_{3tot}, Ba et Sr, les pegmatites se retrouvent sur ou très près de l'axe NaK-2ACNK sur le diagramme de Laurent et al. (2014) (*figure 6D*). Les pegmatites LCT sont généralement caractérisées par des teneurs plus élevées en Li, Be, Cs, Rb et plus faibles en Ba, Sr et ÉTR (*figure 8*). Quant à eux, les pegmatites NYF sont enrichies en Nb, Hf, Pb, Sc, U, Th, Y, Zr et ÉTR (surtout ÉTR lourds) (*figure 8*). La composition chimique des pegmatites NYF suggère qu'elles font partie du sous-groupe à euxinite de Ercit (2005). Ces variabilités de concentration font que les pegmatites LCT montrent des ratios K/Rb, K/Cs, Mg/Li, Nb/Ta et Zr/Hf plus faibles en général que les autres dykes de pegmatite (*figure 9*) et représentent donc les magmas felsiques les plus fractionnés du secteur. Autre fait particulier du secteur est l'absence de minéralisation en molybdénite, ce qui le distingue également du secteur du CPMC (Boily, 1993; Mulja, 1995).

Lors de la compilation de 2021 (Legault et al., 2022) il fut remarqué que des rainures avec analyses chimiques complètes avaient été effectuées sur les gisements de Viau et Viau-Dallaire

#

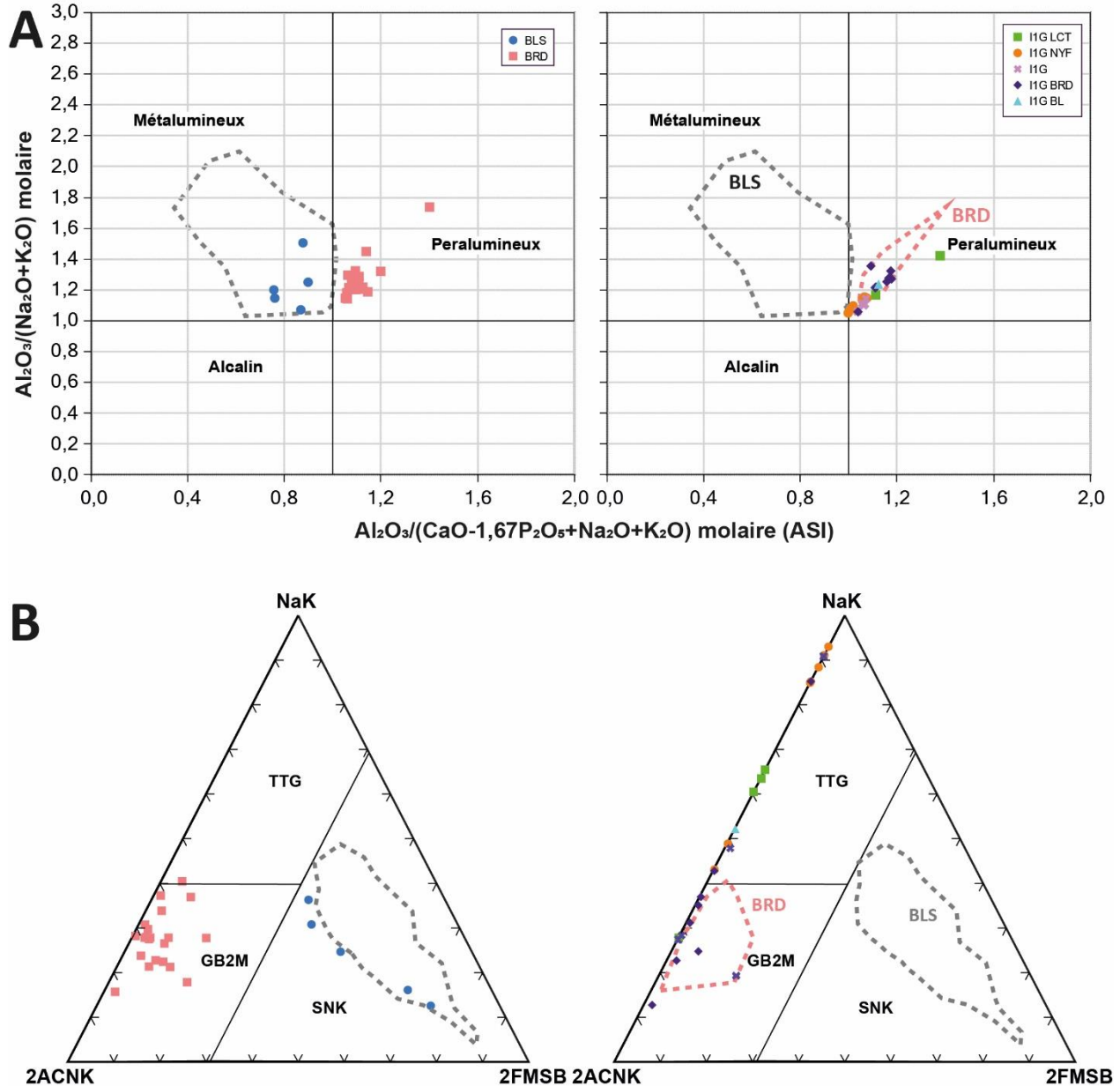


Figure 6. Analyses indiquant le caractère peralumineux du BRD et métalumineux du BLS (A). Deux échantillons des pegmatites à spodumène présentent des valeurs d'indice de saturation en aluminium (ASI) supérieures à 2 et ne sont donc pas sur la figure. Champs de Frost et al. (2001). Lignes pointillées grises indiquent la distribution générale des analyses du BLS de Tarnocai (1997). B) Diagramme de Laurent et al. (2014) indiquant que les échantillons du BLS tombent dans le champ des sanukitoïdes (SNK), tandis que ceux du BRD sont majoritairement dans le champ des granites à biotite et à biotite-muscovite (GB2M). Les différentes familles de pegmatite montrent surtout des affinités avec le BRD. TTG = Tonalite-Trondhjemite-Granodiorite. I1G BRD – pegmatite à l'intérieur du BRD; I1G BL – pegmatite à béryl; I1G – autre pegmatite au sud du contact du BRD.

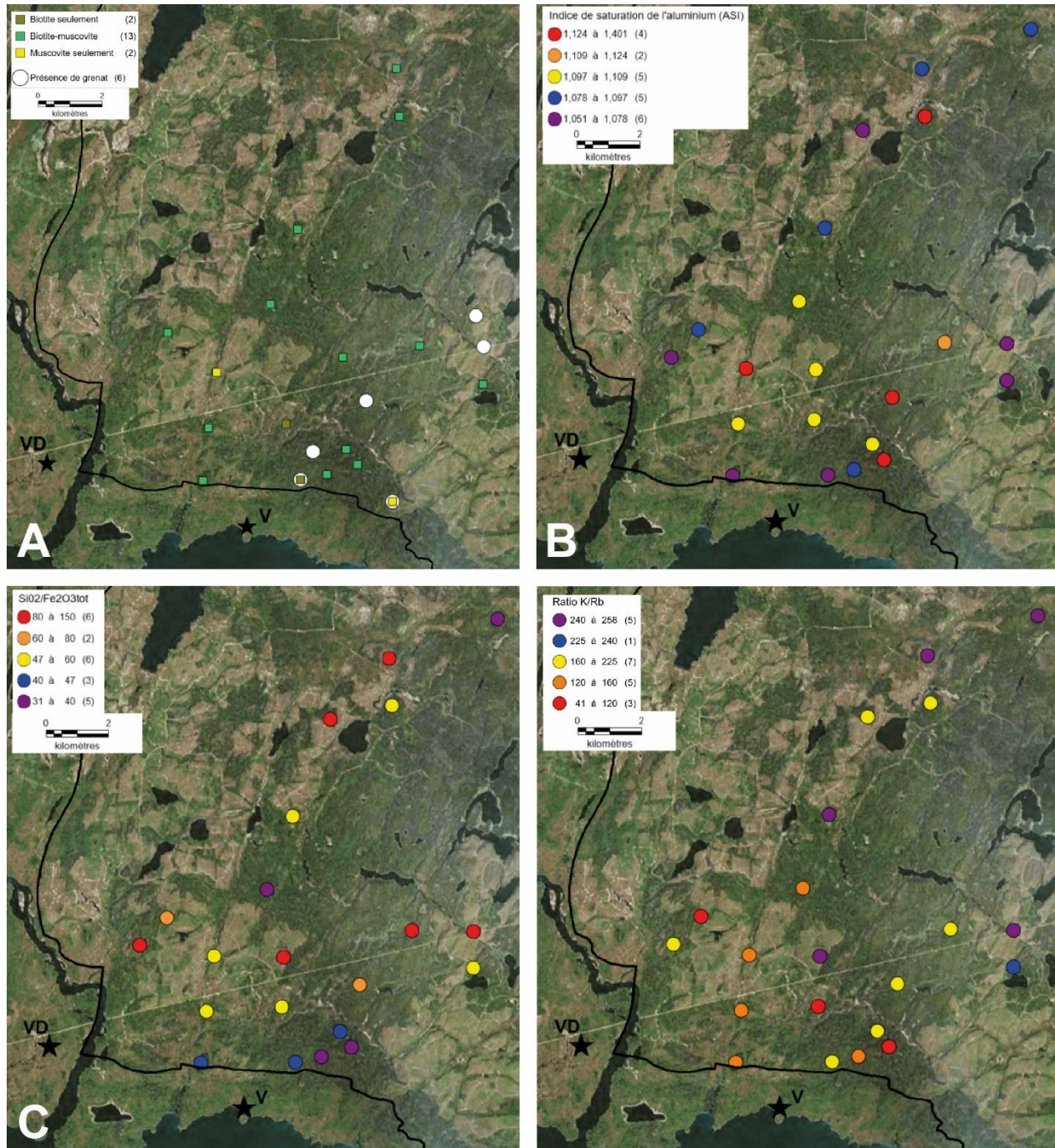


Figure 7. Distribution minéralogique (A) et des indices chimiques (B à D) à l'intérieur du BRD basés sur les analyses de l'été 2021. Distribution des micas est tel qu'observée en lames minces tandis que celle du grenat est tel qu'observée sur les affleurements. VD – gisement de Viau-Dallaire; V – gîte de Viau.

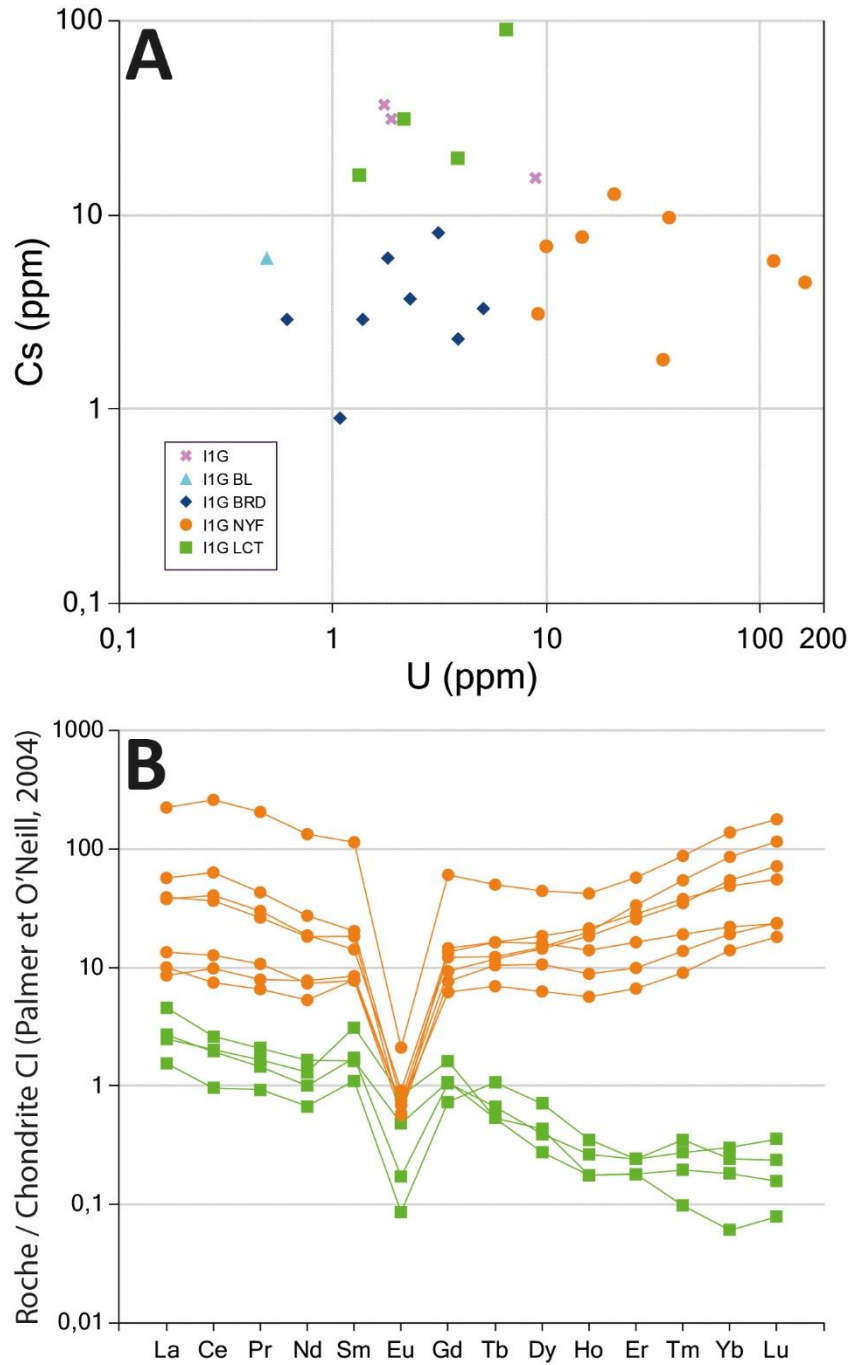


Figure 8. Variation des compositions chimiques de Cs versus U pour les dykes de pegmatite (A). Les pegmatites LCT, les pegmatites NYF et les pegmatites à l'intérieur du BRD forment des champs distincts sur ce graphique. B) Spectres des ÉTR montrant la distinction entre les pegmatites LCT avec des concentrations faibles en ÉTR mais fractionnés négativement et les pegmatites NYF enrichies en ÉTR qui montrent un fractionnement nul à positif. Abréviations comme à la figure 6.

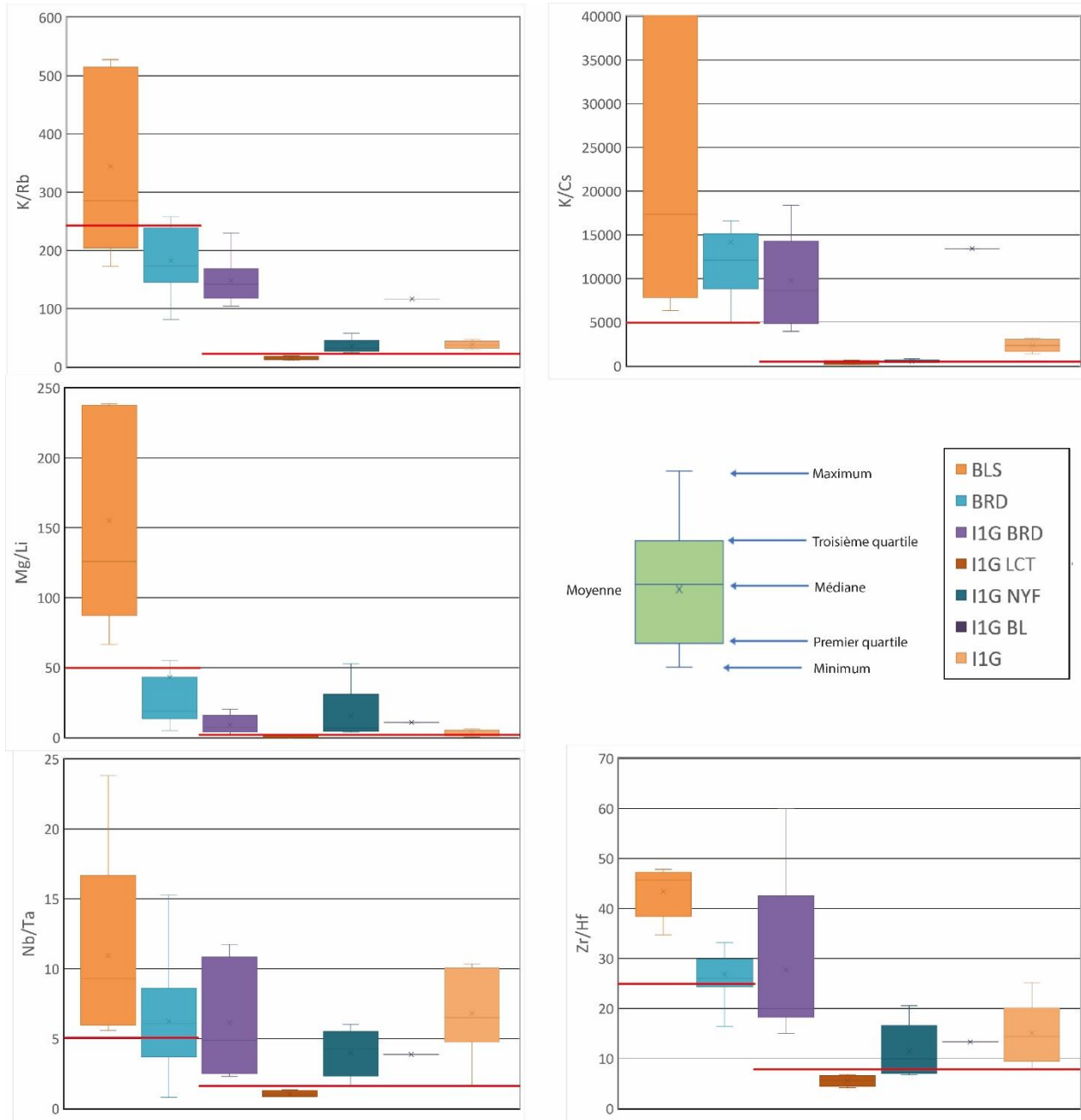


Figure 9. Boîtes à moustache des différents ratios d'éléments incompatibles subdivisés par type de roches. Voir figure 6 pour signification des abréviations. La boîte et la moustache supérieures du ratio K/Cs du BLS ont été tronquées afin d'illustrer l'écart entre les autres sous-types. La ligne rouge indique les limites de fertilité du tableau 2.

(Fleury, 2013). L'échantillonnage de 2021 a permis de confirmer les valeurs obtenues dans ce rapport et la description de la pegmatite à Viau-Dallaire a permis de tirer des conclusions. Les valeurs des ratios mentionnés plus haut varient très peu d'un endroit à un autre le long du dyke, surtout les ratios K/Rb, Mg/Li et Zr/Hf (*figure 10*). Cette homogénéité des ratios est remarquable compte tenu de la variabilité du contenu en lithium (0,032 à 0,96 % Li). La variabilité de la granulométrie ne semble également pas avoir d'impact sur les ratios (sauf K/Cs) qui passe graduellement dans la partie nord des rainures de < 1cm (sauf pour le spodumène qui est plus grossier 1-3 cm) à 2-3 cm dans la rainure la plus au sud qui comporte également du quartz massif sur 25 cm. Cette homogénéité indique que la localisation de l'échantillonnage importe peu pour le caractériser. Elle n'a pas pu être vérifiée dans les forages, car certains éléments n'ont pas été analysés. Vu les très faibles valeurs (près de la limite de détection) de la plupart des éléments utilisés dans ces ratios dans plusieurs des dykes analysés et l'homogénéité des valeurs obtenues, il est suggéré d'utiliser le ratio K/Rb pour évaluer le potentiel en minéralisation lithinifère des dykes de pegmatite.

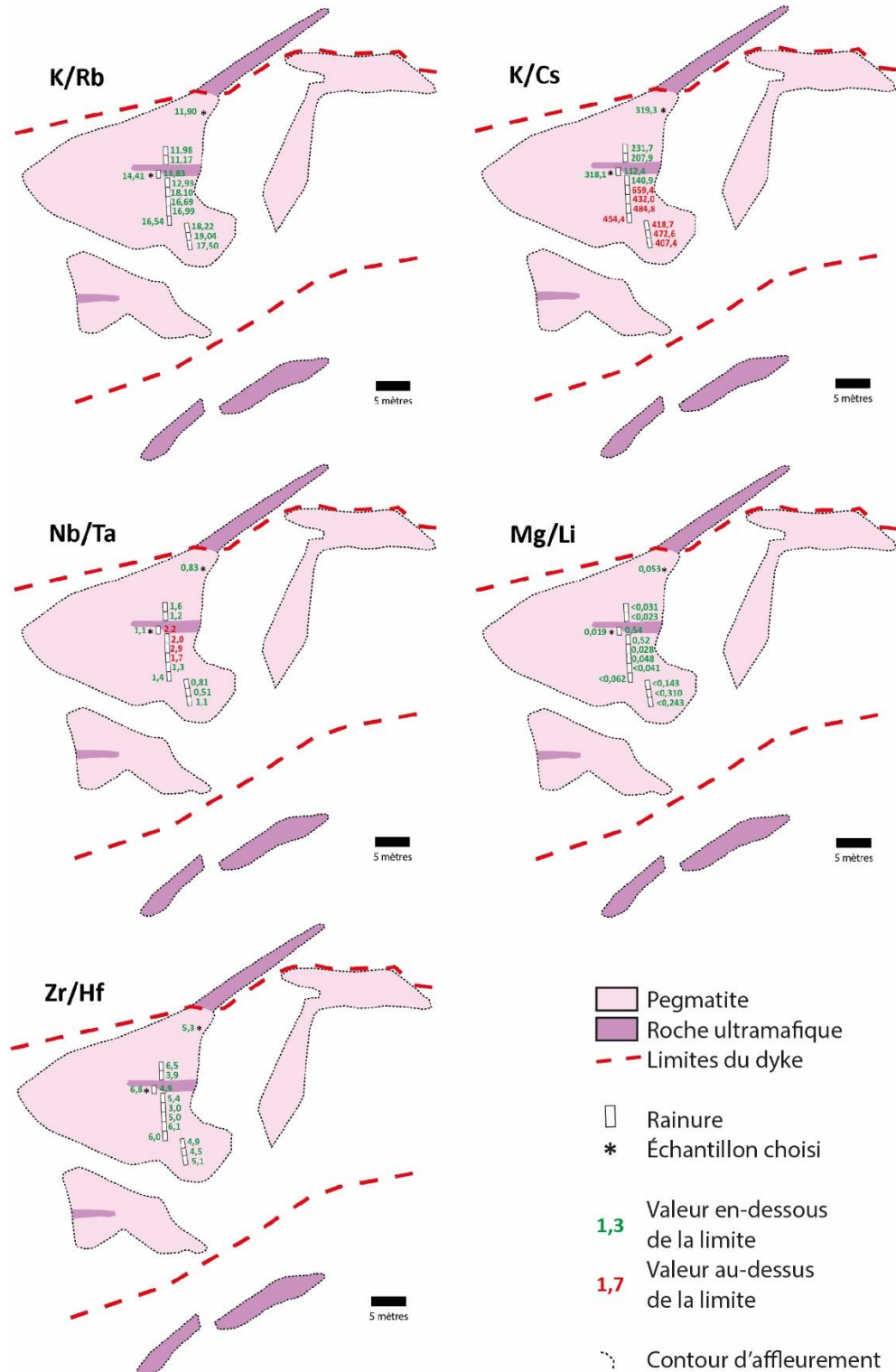


Figure 10. Compilation des analyses effectuées sur des rainures par Fleury (2013) et échantillons choisis de l'été 2021. On note ainsi que les ratios K/Rb, Mg/Li et Zr/Hf sont les plus fiables pour indiquer le caractère évolué des pegmatites indépendamment de la localisation de l'échantillon. Limites telles que dans le tableau 2. Gisement Viau-Dallaire. Affleurement 21-FP-2002.

Campagne de cartographie et d'échantillonnage

Durant la campagne d'échantillonnage de cet été, vingt-neuf (29) géofiches ont été complétées dont la plupart à l'intérieur du BRD (*figure 11*). Les conditions climatiques et la difficulté d'accès n'ont pas permis d'échantillonner certains indices qui n'avaient pas été visités l'été dernier.

Dans la partie nord, les roches rencontrées dans le BRD correspondent essentiellement à des granites blanc rosé à biotite-muscovite, et parfois à grenat et à magnétite, ayant un grain fin à moyen, évoluant vers des faciès pegmatitiques de composition minéralogique similaire. Ces faciès pegmatitiques ne contiennent pas de minéraux d'intérêt sauf pour l'affleurement 22-CD-2020 où une nouvelle occurrence de béryl a été documentée (*figure 12A*). Quelques dykes présentent par contre des amas fibro-radiés de quartz-phlogopite de granulométrie grossière (*figure 12B*). Un faciès porphyrique à feldspath (40% PG; < 2 cm) a été observé dans le secteur central sud du BRD. Ce faciès est localement sous forme d'enclave métrique à décamétrique dans le BRD et est recoupé par des dykes granitiques (*figure 12C*). De nombreuses enclaves de paragneiss sont également présentes.

Près de la rivière des Outaouais, nous avons essayé d'échantillonner d'autres dykes de pegmatite (dont certains à spodumène) qui avaient été relevés lors de campagnes de terrain antérieures. La plupart de ces cartographies ont eu lieu au début des années 1980 et donc certains n'ont pu être localisés. La bordure sud-ouest du BRD a également été échantillonnée afin de caractériser cette partie de l'intrusion qui se retrouve près du secteur riche en pegmatites LCT.

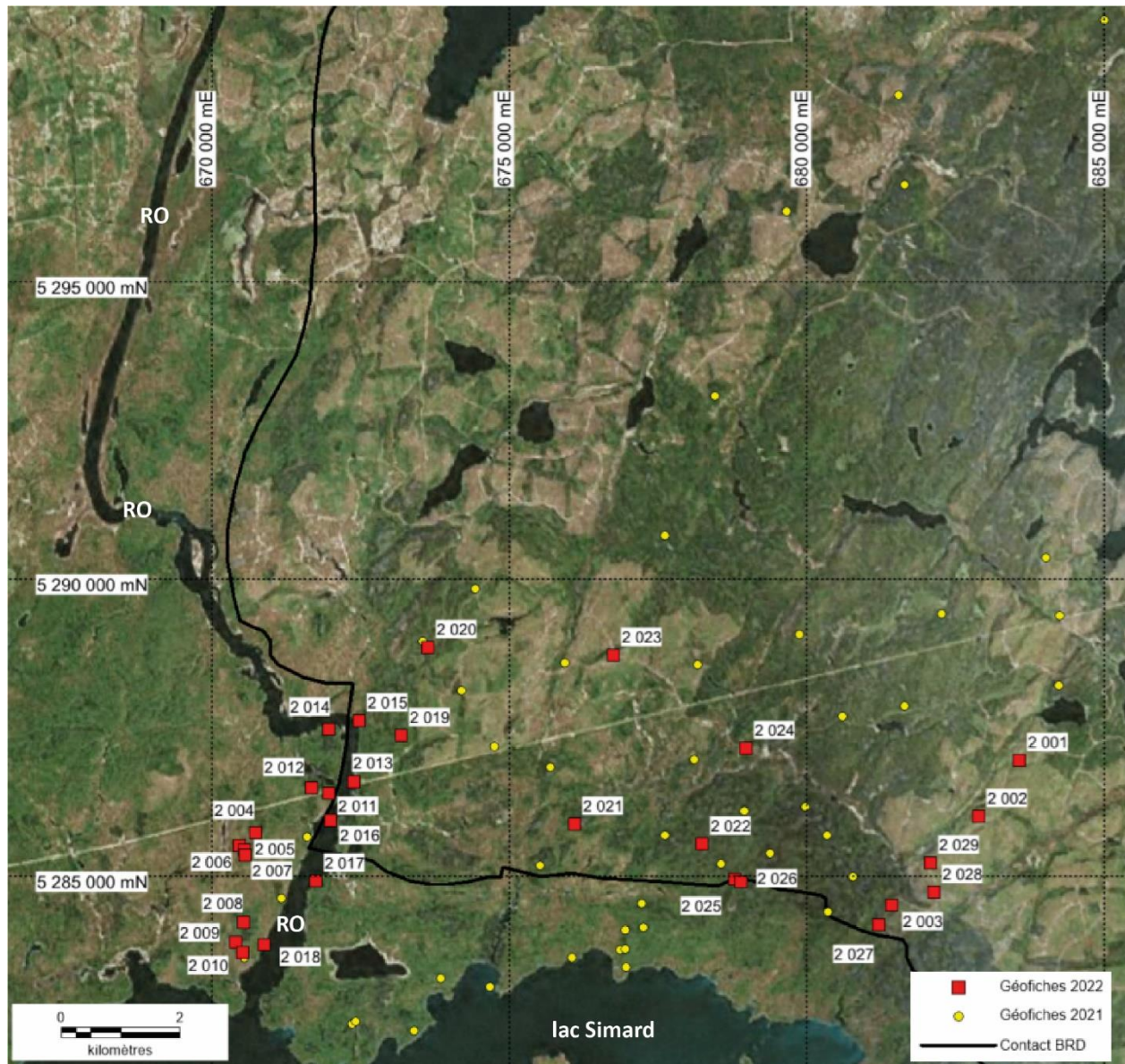


Figure 11. Localisation des affleurements visités à l'été 2022 avec le numéro de la géofiche 22-CD-XXXX. La localisation des affleurements visités en 2021 est également présentée. RO – rivière des Outaouais.



Figure 12. Photo de terrain du BRD. A) Découverte d'un nouvel indice de béryl (BL) à l'intérieur d'un dyke de pegmatite. FP – feldspath; PH – phlogopite; QZ – quartz. Affleurement 22-CD-2020. B) Arrangement de quartz (QZ)-phlogopite (PH) fibro-radiés à l'intérieur d'un dyke de pegmatite. Affleurement 22-CD-2021. C) Enclave décamétrique de roche intermédiaire porphyrique à plagioclase à l'intérieur du BRD. Flèche indique le crayon-aimant. Affleurement 2022-CD-2022. Voir *figure 11* pour la localisation des affleurements.

Conclusion

L'objectif de ce projet de fin d'études était d'examiner les lames minces et les analyses chimiques de l'échantillonnage de l'été 2021 ainsi que de continuer l'échantillonnage sur le terrain du secteur au nord du lac Simard, situé dans la région du Témiscamingue. Les travaux de laboratoire ont permis de confirmer la nature peralumineuse du BRD et la présence de pegmatites LCT et NYF à moins de 2 km de sa bordure sud-est. Les travaux de terrain confirment également la présence d'autres dykes à spodumène dans le secteur du gisement Viau-Dallaire et la présence d'un nouvel indice de béryl.

Recommandations

Les recommandations pour la suite du projet sont les suivantes :

- Effectuer une caractérisation minéralogique approfondie (MEB) sur les lames minces des pegmatites LCT et NYF ;
- Évaluer le potentiel des dykes de pegmatite échantillonnés à l'été 2022 à l'aide de lames minces et d'analyses chimiques.

Évaluation du potentiel en éléments de terres rares associés aux dykes de carbonatites du secteur de l'Outaouais (T. Gaxotte)

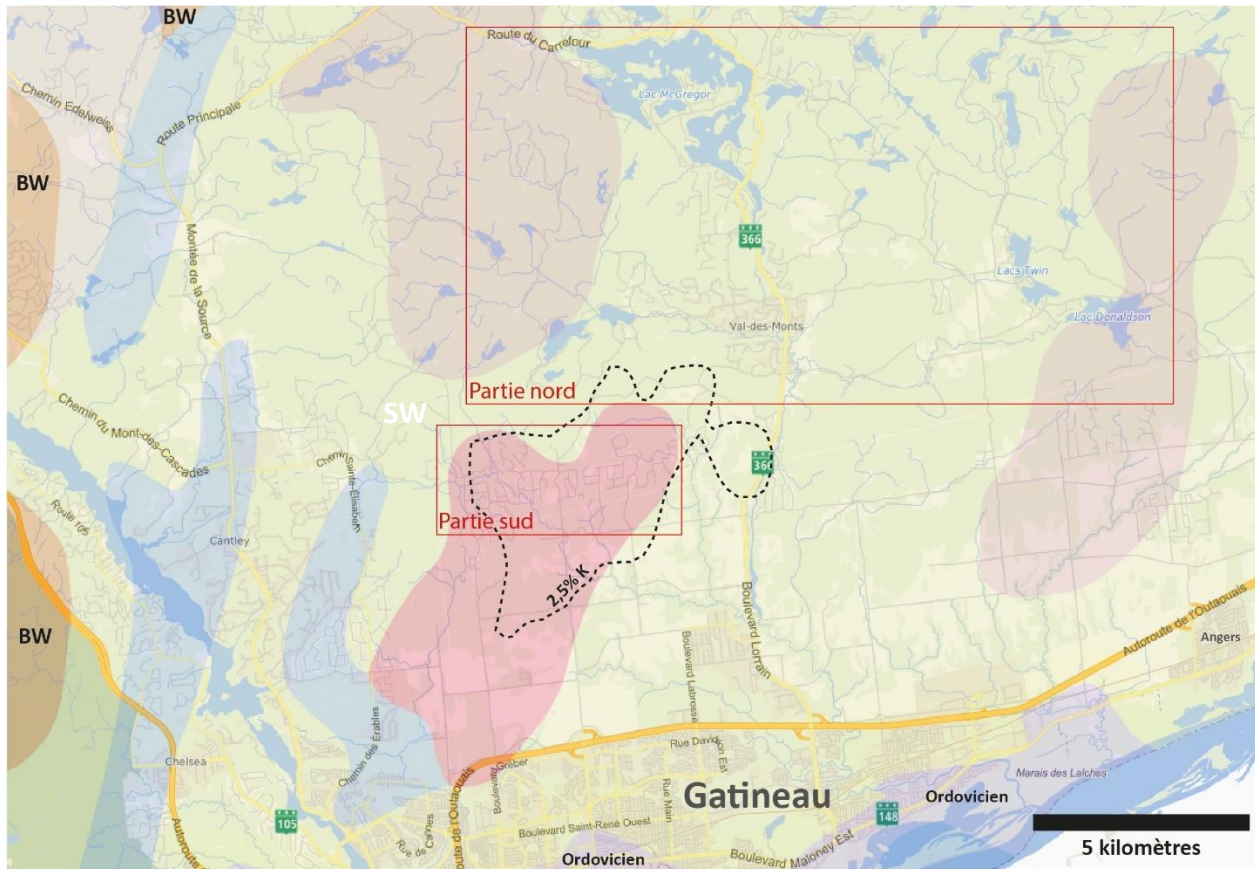
Introduction

Ce rapport présente un résumé des travaux effectués dans le cadre d'un projet de fin d'études de Master's 2 portant sur l'évaluation du potentiel en éléments de terres rares (ÉTR) dans la région de l'Outaouais. L'objectif du projet est de faire le point sur les connaissances existantes sur le secteur et de les compiler afin de planifier une campagne d'échantillonnage et des travaux futurs.

Contexte géologique

La région de l'Outaouais se situe au contact entre la Province de Grenville et la Plate-forme du Saint-Laurent (*figures 1 et 13*). Cette dernière est restreinte à la bordure de la rivière des Outaouais où on retrouve des roches sédimentaires d'âge cambrien à ordovicien non métamorphisées. La province de Grenville est la plus récente province précambrienne, d'âge protérozoïque supérieur, formant le Bouclier canadien (Hocq, 1994). Elle s'étend sur 2000 km de long et 300 à 600 km de large. Elle est marquée par un degré élevé de métamorphisme régional et par la présence de roches intrusives de haute température. La Province de Grenville est principalement composée d'orthoigneiss, de paragneiss, d'amphibolites et d'intrusions felsiques à ultramafiques.

Dans le secteur à l'étude, on retrouve principalement des roches métasédimentaires déposées entre 1,48 et 1,23 Ga formant le Terrain de Mont-Laurier (Allochtone monocyclique) (Rivers et al., 2002). Ce sont des marbres calcitiques et dolomitiques, des gneiss, des amphibolites et des quartzites ainsi qu'un ensemble de roches calco-silicatées, comme des pyroxénites (*figure 13*) renfermant pour certaines des gisements d'apatite et de micas (Spence, 1920). Ces roches supracrustales ont ensuite été affectées par l'orogénèse de Shawinigan où le métamorphisme régional a atteint le faciès des granulites à 1140-1190 Ma (Rivers et al., 2002). Par la suite le Terrain de Mont-Laurier fut recoupé par un ensemble magmatique de syénite-monzonite dont celle du secteur de Gracefield et de Mont-Laurier qui ont été datées entre 1076 et 1089 Ma (Corriveau et Gorton, 1987). Le batholite de Wakefield ferait probablement partie de cet ensemble (Béland, 1977; Madore et al., 1994) (*figure 13*) et sa mise en place a donné lieu à un



Ordovicien

Dolomie, grès, calcaire et shale

Paléoprotérozoïque

Granite, monzodiorite quartzifère, syénite quartzifère et pegmatite

Syénite, monzonite et monzodiorite

Charnockite, mangérite, jotunite et syénite à hypersthène

Marbre, roches calco-silicatées, schiste et quartzite

Paragneiss, gneiss quartzo-feldspathique, marbre, quartzite et formation de fer

Figure 13. Carte géologique du secteur au nord de la ville de Gatineau. Ligne pointillée est l'isovaleur de 2,5% K du levé aérien de spectrométrie spatialement associée aux fénites potassiques du secteur. Les rectangles représentent les parties présentées à la figure 17. BW = Batholite de Wakefield. Tirée du SIGEOM (2021).

métamorphisme de contact étendu formant des gisements de brucite (Hogarth, 1970). Ces intrusions se seraient donc mises en place lors du début de l'orogène Grenvillien (épisode d'Ottawa – 1020-1090 Ma; Rivers et al., 2012) qui n'aurait pas affecté le secteur à l'étude. Le magmatisme mineur associé à la mise en place des dykes de carbonatites et aux fénites associées est fixé à 1026-1028 Ma et semble marquer la fin de cet épisode (Hogarth et van Breemen, 1996). Cet âge est similaire à celle de la carbonatite de Sullivan Island, à 80 km au NW de la région, datée à 1050 Ma

(Lumbers, 1982).

Des dykes de carbonatites ont également été répertoriés à l'est d'Ottawa (au sud immédiat du secteur à l'étude) et ont donné des âges d'environ 110 Ma (Hogarth et al., 1988). Ils pourraient donc représenter un événement tardif du magmatisme alcalin relié aux Collines montérégiennes (Brisebois et Brun, 1994).

Problématique

Ce stage sur les minéraux critiques et stratégiques (MCS) porte principalement sur les gîtes d'ÉTR. La problématique a été présentée de façon plus exhaustive dans Legault et al. (2022) et seulement les caractéristiques importantes pour la compréhension des interprétations seront présentées ici.

Pour les carbonatites les ÉTR (surtout légers) se trouvent généralement dans les zones bréchiques, les dykes radiaux et les « cones sheets » (*figure 14*) (Richardson et Birkett, 1996). Les zones enrichies en ÉTR peuvent être distales aux intrusions. Les minéraux habituellement porteurs d'ÉTR sont la monazite, la bastnaésite et la parisite (Simandl et Paradis, 2018). Les pyrochlores peuvent aussi incorporer une large gamme d'ÉTR (Atencio et al., 2010). Les fénites associées aux carbonatites sont généralement anormales en ÉTR mais aucune mine d'ÉTR n'exploite des fénites à ce jour (Elliott et al., 2018). Ces fénites sont les roches encaissantes immédiates des intrusions. Elles sont métasomatisées et enrichies en éléments alcalins. Généralement, elles sont d'étendues plus grandes que les carbonatites associées et elles sont caractérisées par la présence de feldspath alcalin, de phlogopite, d'amphibole et de pyroxène sodique et de calcite ainsi que de nombreux minéraux accessoires comme l'hématite, l'apatite, la titanite et d'autres minéraux incorporant du Nb et des ÉTR (monazite, bastnaésite, pyrochlore, ...) (Zharikov et al., 2007; Elliott et al., 2018). Les fénites sont formées par l'échange d'éléments chimiques entre les roches encaissantes et les fluides magmatiques hydrothermaux dérivés des intrusions de magmas carbonatés. On observe toutefois généralement une zonation avec une fénitisation sodique distale précoce et une fénitisation potassique proximale tardive par rapport à l'intrusion de carbonatite (Elliott et al., 2018).

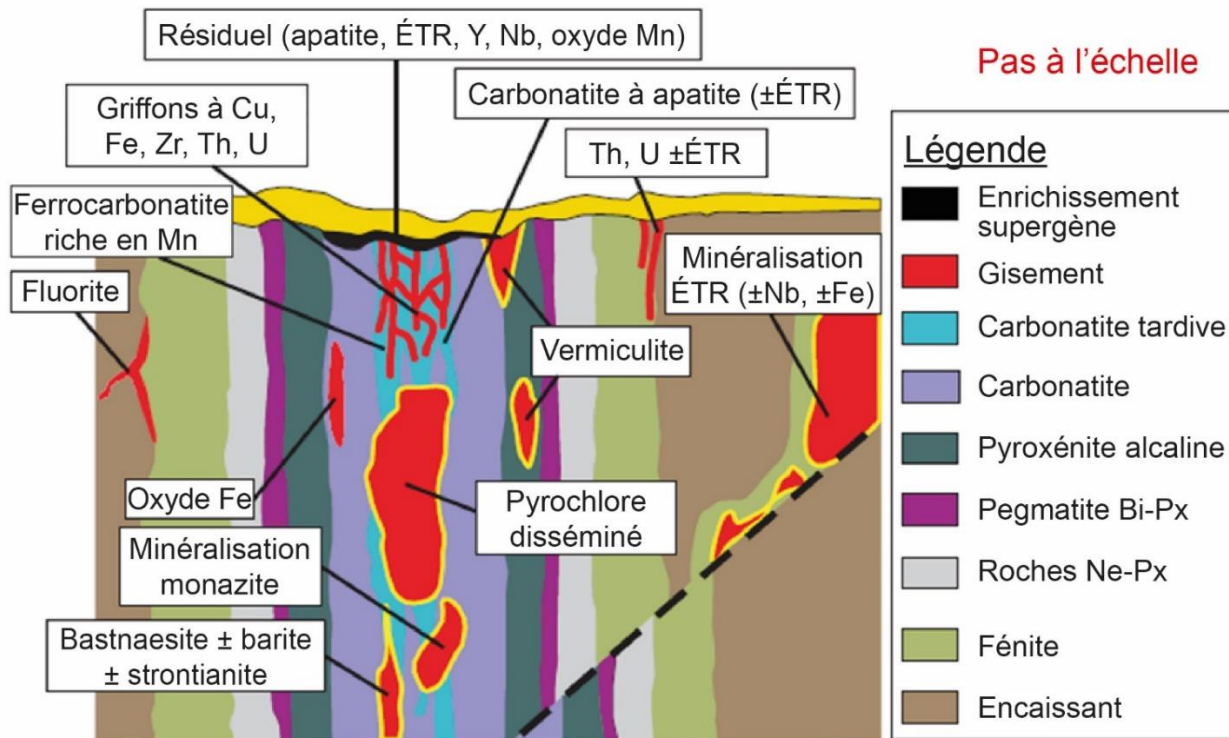


Figure 14. Illustration montrant la répartition des ressources minérales selon les lithologies et les contacts géologiques des complexes alcalins à carbonatites. Modifiée de Simandl et Paradis (2018).

Résultats

Examen pétrographique

Le microscope optique a été utilisé pour déterminer la composition minéralogique des échantillons de 2021. Il est à noter que plusieurs des fénites et quelques carbonatites sont hématisés et donc une fine couche d'oxyde de fer est présente sur les minéraux ce qui complique la description minéralogique.

Pour les lames de carbonatites, les carbonates constituent le minéral principal. Ceux-ci sont généralement translucides sauf lorsqu'ils sont saupoudrés d'oxydes de fer (*figure 15A*). En général les carbonatites sont constituées de 60-70% carbonates, 10-15% quartz et autres minéraux accessoires tels que l'apatite (< 10%) (*figure 15B*), muscovite/biotite (< 10%), microcline (< 10%), barite, hématite et clinopyroxène. Aucun minéral d'ÉTR n'a été observé dans les lames minces. Ceci est sûrement dû au fait que les teneurs en ÉTR sont généralement faibles (< 1600 ppm ÉTR) et que le seul échantillon avec des valeurs appréciables (21-LD-1005A; 11436 ppm ÉTR) est parsemé d'oxydes de fer qui permet difficilement la distinction minéralogique. De plus

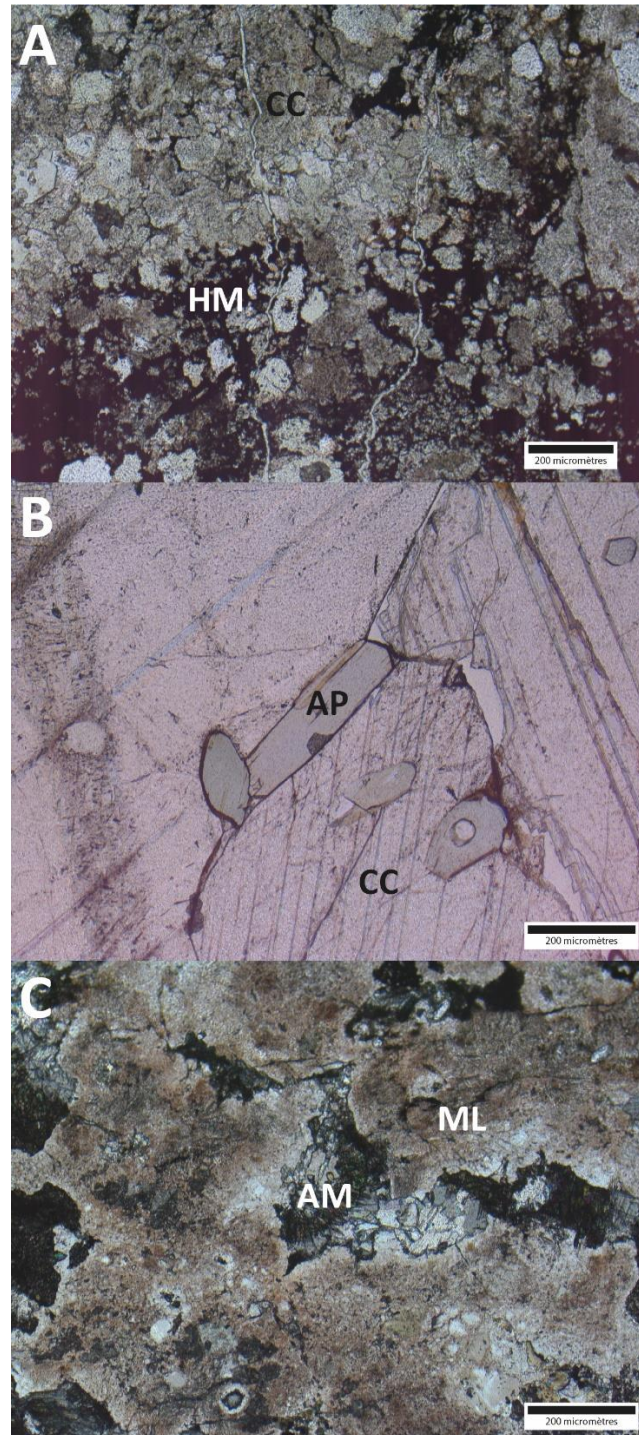


Figure 15. Photomicrographies de carbonatites et de fénites. A) Carbonatite constituée surtout de calcite (CC) saupoudrée d'hématite (HM) formant localement des amas. Lumière transmise naturelle. Échantillon 21-LD-1004A. B) Carbonatite riche en calcite (CC) et en apatite (AP). Lumière transmise naturelle. Échantillon 21-LD-1007A. C) Fénite riche en microcline (ML) saupoudrée d'hématite et remplaçant des amphiboles (AM). Lumière transmise polarisée. Échantillon 21-LD-1018A.

Hogarth et al. (1985) avait démontré que les apatites associées aux carbonatites peuvent contenir jusqu'à 1,72 Ce₂O₃ et 1,01 Nd₂O₃ et donc celles-ci pourraient être l'hôte des ÉTR. Les carbonatites sont non déformées et donc n'ont pas subi la déformation de l'orogène de Shawinigan.

Pour les lames des fénites, la minéralogie variera selon le type d'altération (potassique versus sodique) et le protolithe. Les échantillons de l'été 2021 montrent pour la plupart de l'altération potassique. Dans ces échantillons le microcline est omniprésent, formant jusqu'à 70% de la lame mince et est toujours fortement saupoudré d'hématite. Généralement, la biotite est également présente. Par endroits, des amphiboles peuvent être observées dans ces échantillons, mais elles sont fortement remplacées par le microcline suggérant que l'altération potassique est postérieure à l'altération sodique (*figure 15C*). On observe également comme minéraux accessoires le quartz, les carbonates et la barite.

Géochimie

Les carbonatites échantillonnées en 2021 montrent des valeurs de SiO₂ < 11 % poids et donc peuvent être classifiées comme telles selon la classification chimique de l'International Union of Geological Sciences (IUGS) (Le Maitre, 2002). La matrice des deux dykes bréchiques ont donné des teneurs en SiO₂ > 20 % poids et donc sont des silicocarbonatites. Les carbonatites et les silicocarbonatites ont généralement des teneurs en ÉTR_{total} variable de 404 à 1 502 ppm avec seulement un échantillon ayant une teneur supérieure au seuil prescrit par le MERN (2021) (1 700 ppm) pour un indice d'ÉTR (carbonatite de Quinnville – géofiche 21-LD-1004A; 1,14% ÉTR_{total}). Les carbonatites tombent dans les champs de calciocarbonatite et magnesiocarbonatite (*figure 16A*). Celles-ci montrent des compositions typiques des carbonatites, soit des teneurs élevées en ÉTR_{total}, Ba (83 à 84 000 ppm) et Sr (2 105 à 11 500 ppm), et un profil fractionné des ÉTR (La_N/Yb_N = 4,6 – 54,2) ce qui permet de facilement les différencier des marbres (*figures 16B et C*). Il est à noter dans ces diagrammes que l'échantillon le plus enrichi en ÉTR (22-LD-1004A) représente celui qui est le plus près des pôles MgO et (Fe₂O_{3tot}+MnO), montre le profil le plus fractionné (La_N/Yb_N = 476,4) et présente également les teneurs les plus élevées en Ba (84 100 ppm) (*figure 16*). Cet échantillon montre également une forte hématitisation ce qui lui confère une couleur terreuse. Une grande partie du fer est donc associé aux oxydes ce qui indique que l'échantillon 1004A sur la *figure 16A* devrait être plus près de l'axe CaO-MgO vu que le fer

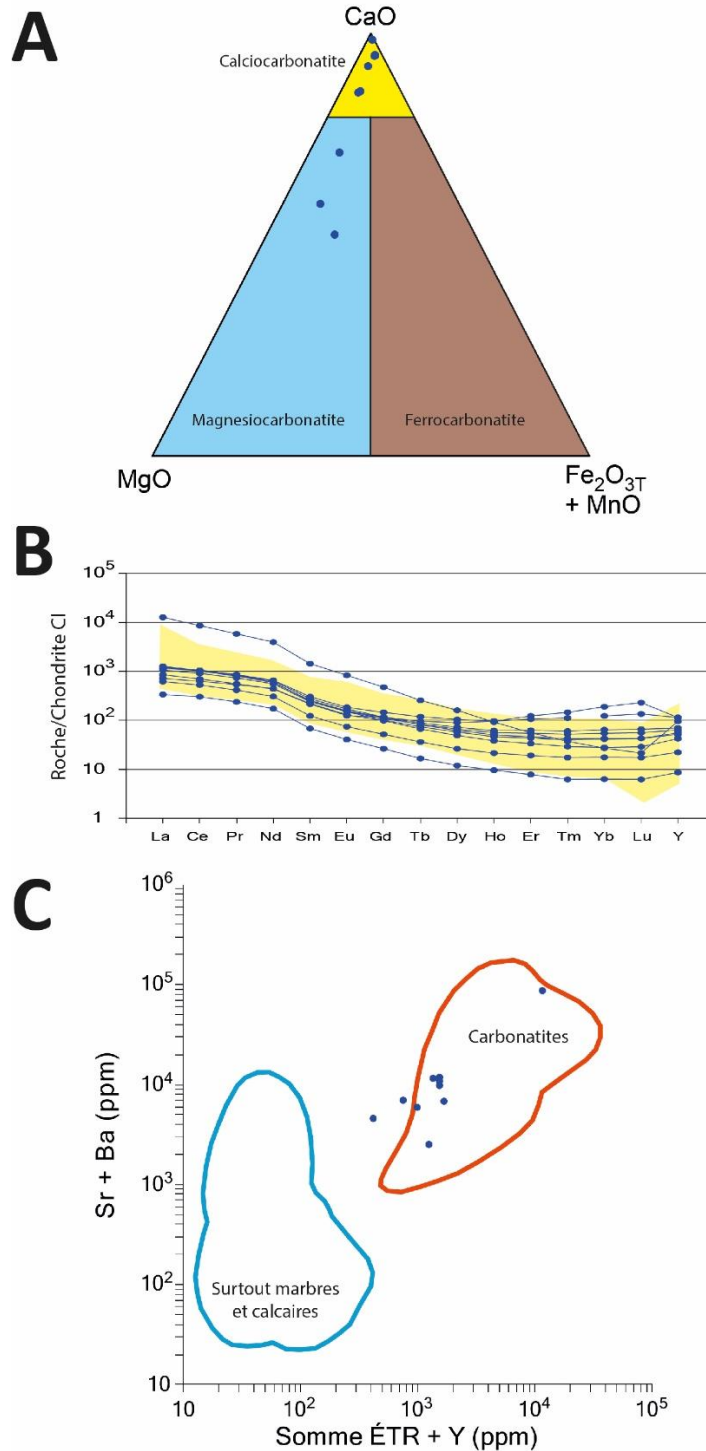


Figure 16. Diagrammes chimiques des dykes de carbonatite (excluant les dykes bréchiqes). A) Nomenclature de l'IUGS basée sur le % poids de Le Maitre (2002) indiquant que les carbonatites varient de calciocarbonatite à magnesiocarbonatite. B) Diagramme d'ÉTR+Y montrant le profil fractionné des carbonatites. Champ en jaune provient de carbonatites non minéralisées de Homig-Kjarsgaard (1998). C) Graphique (Sr+Ba) versus (ÉTR+Y) discriminant les carbonatites des marbres et des calcaires. Champs de Samoilov (1991).

associé aux oxydes et aux sulfures ($S < 0,32$ % poids) doit être exclus du calcul. Les carbonatites montrent également des teneurs généralement élevées en P_2O_5 (jusqu'à 3,11 % poids ou environ 7% équivalent apatite) et en Y (< 178 ppm), et de très faibles concentrations en Na_2O ($< 0,11$ % poids), K_2O ($< 0,14$ % poids), Rb (< 6 ppm) et Nb ($< 12,2$ ppm).

Campagne de cartographie et d'échantillonnage

Un total de cinquante-et-un (51) affleurements ont été cartographiés et échantillonnés durant la campagne de terrain (*figure 17*). La campagne visait à caractériser et à confirmer les observations de Charbonneau et Hogarth (1988) et Leclerc (1988) sur les fénites associées à l'anomalie de potassium du levé de spectrométrie aérien de la Commission Géologique du Canada (NRCan, 2021), à confirmer la présence de certains dykes de carbonatites (Dupuy, 1989) et à répertorier de nouvelles occurrences de carbonatites. Les nouveaux développements résidentiels au nord de Gatineau permettent un accès beaucoup plus facile et présentent de nouveaux affleurements par rapport à ce qui était disponible lors des travaux antérieurs.

Anomalie de potassium

Une vaste anomalie d'environ 20 km² de potassium est présente sur le levé régional aérien de spectrométrie à rayons gamma (Charbonneau et Hogarth, 1988) (*figures 13 et 17*). Les mesures de spectrométrie à rayons gamma révèlent des valeurs atteignant plus de 10% K à certains endroits à l'intérieur de l'anomalie (*figure 18*). Leclair (1988) avait également obtenu des valeurs supérieures à 10% K avec le spectromètre et des analyses chimiques jusqu'à 13% K_2O dans le secteur des géofiches 3005-3007-3008, immédiatement à l'est de la carbonatite de Quinnville. Nos mesures montrent des valeurs similaires et indiquent clairement la nature hétérogène de l'altération (*figure 18*). Ce secteur montre également une anomalie marquée en thorium sur le levé aérien, ce qui est corroboré par nos mesures au sol (< 33 ppm eTh) et ceux de Leclair (1988).

Les roches à l'intérieur de l'anomalie de potassium montrent habituellement des altérations modérées à fortes en hématite, feldspath potassique et phlogopite ce qui confère une couleur rouge diagnostique à la roche (*figure 19A*). Localement cette altération recoupe une altération précoce riche en amphibole bleutée qui serait reliée à l'altération sodique identifiée dans la région (Hogarth, 1996). Le lien entre l'altération potassique et les dykes de carbonatite est variable. De

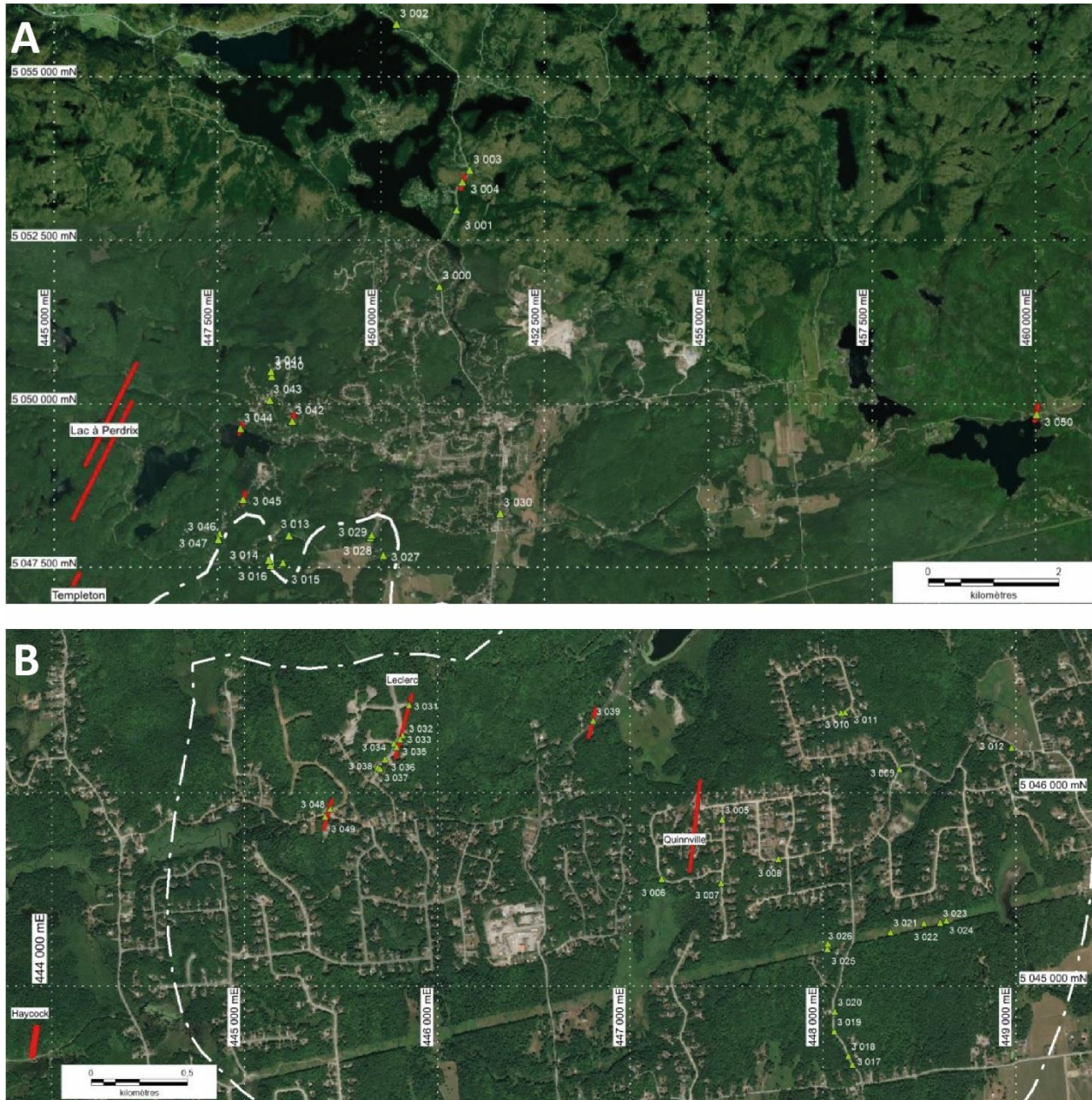


Figure 17. Localisation des affleurements visités à l'été 2022 pour la partie nord (A) et la partie sud (B). La ligne tiretée blanche définit l'anomalie de potassium (2,5% K) du levé aérien de spectrométrie, tandis que les lignes rouges définissent l'orientation et l'étendue approximatives des dykes de carbonatite (avec leur nom) identifiés par les travaux antérieurs et ceux de cet été.

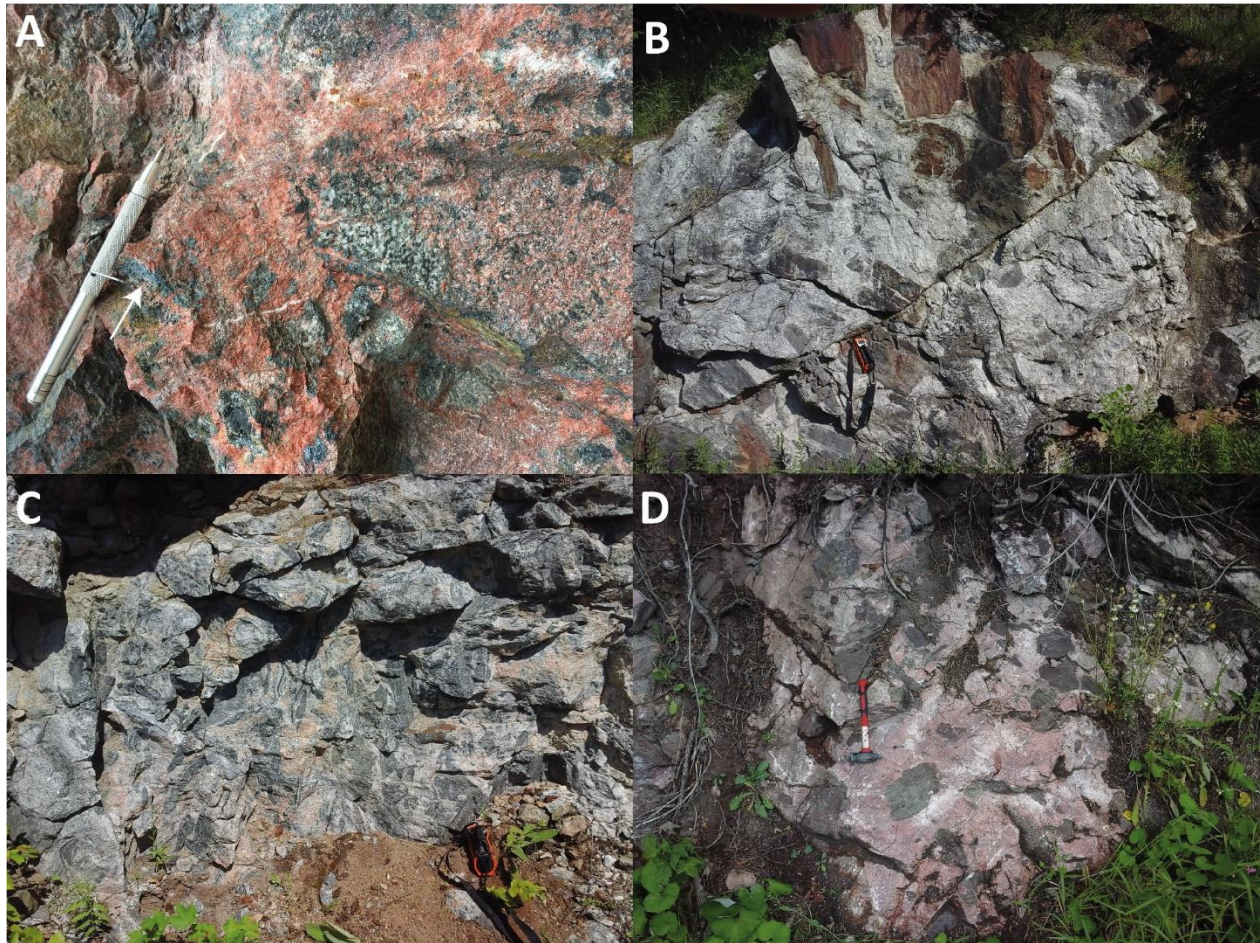


Figure 19. Photos de fénite et de nouvelles occurrences de carbonatite identifiées à l'été 2022. A) Fénitisation potassique hétérogène marquée par l'altération en feldspath potassique hématisée. Des relicts d'amphiboles alcalines bleutées sont présents (flèches). Affleurement 22-TG-3016. Les nouvelles carbonatites sont majoritairement bréchiques et sont composées presque exclusivement de calcite comme carbonate variant de blanc (B; 22-TG-3004), blanc et orange (C; 22-TG-3031) à rougeâtre (D; 22-TG-3039); cette dernière étant similaire à celle de 22-LD-1004A. En (A) et (D) on remarque également de fines veinules de calcite blanche. Voir la *figure 17* pour la localisation.

petites veinules de calcite avec une altération en feldspath potassique symétrique sont parfois observées, tandis qu'ailleurs on note aucune relation spatiale entre les plus gros dykes et l'altération potassique. De plus, les fragments à l'intérieur des dykes de carbonatite ne sont que très rarement hématisés. Ces observations semblent indiquées plusieurs événements d'altération et d'injections de carbonates.

Carbonatites

Un autre objectif des travaux de terrain était de confirmer la présence de dykes de carbonatite observés par Dupuy (1989) à environ 9 km à l'ouest des dykes du lac à Perdrix de Hogarth et van Breeman (1996). Malheureusement, ces dykes n'ont pas été retrouvés. La dense forêt avec peu de points de repère dans le secteur et la cartographie avant la venue des GPS explique probablement pourquoi les affleurements de carbonatite n'ont pu être localisés.

De la prospection pour de nouveaux dykes de carbonatite a été faite à l'intérieur de l'anomalie de potassium et au nord-ouest de celle-ci où Hogarth (1997) avait mentionné la présence de fénites le long de la route 366 sans plus de précisions. Les nouveaux accès dans ces secteurs nous ont donc permis de découvrir d'autres dykes de carbonatite (*figures 17 et 19B à D*) en plus de constater la présence à l'échelle régionale, quoique moins spectaculaire que dans l'anomalie de potassium, de la fénitisation potassique et sodique. La plupart de ces dykes de carbonatite sont d'échelle métrique et montrent des orientations similaires aux dykes déjà connus, soit NNE-SSW avec un pendage subvertical.

Un dernier secteur a également été investigué pour la présence de carbonatites, soit le secteur du lac Donaldson (*figure 17*). Les travaux de Hogarth (2008) démontrent bien que des carbonatites et des fénites associées sont également présentes plus à l'est dans le secteur de Buckingham. Il fut donc jugé probable que des dykes de carbonatite soient présents entre ces deux secteurs. Une courte prospection a ainsi permis d'identifier la présence d'un dyke de carbonatite sur la rive nord-est du lac Donaldson.

Conclusion

L'objectif de ce projet de fin d'études était d'étudier le potentiel en ÉTR des dykes de carbonatite de la région de l'Outaouais. Les caractérisations minéralogiques et chimiques des échantillons de l'été 2021 ont permis de confirmer le caractère tardif des dykes et leur potentiel en minéralisation en ÉTR. Des travaux au microscope au balayage électronique seront nécessaires pour déterminer si les ÉTR se retrouvent tous dans l'apatite ou si d'autres phases porteuses sont présentes. Les travaux de terrain ont également validé l'intense fénitisation potassique associée à l'anomalie de potassium du levé de spectrométrie aérien et a également permis de découvrir de nouveaux dykes de carbonatite ce qui indique un magmatisme carbonaté discret, mais d'échelle régionale dans la région.

Travaux futurs

Les différentes observations de dykes de carbonatite et de fénitisation dans le secteur au nord de Gatineau indiquent clairement que la compréhension de l'activité carbonatique et hydrothermale est déficiente. Pour combler cette lacune, un projet de cartographie de ce secteur aura lieu à l'été 2023 dans le cadre d'un projet de maîtrise à l'UQAT financé par le MERN et par Éléments08.

Bibliographie

- Atencio, D., Andrade, M.B., Christy, A.G., Giere, R. et Kartashov, P.M., 2010. The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature. *The Canadian Mineralogist* 48 (3) : 673–698.
- Ballouard, C., Poujol, M. Boulvais, P., Branquet, Y., Tartèse, R. et Vignerresse, J.-L., 2016. Nb-Ta fractionation in peraluminous granites: A marker of the magmatic-hydrothermal transition. *Geology*, 44 (3) : 231-234.
- Béland, R., 1977. Région de Wakefield. Ministère des Richesses naturelles du Québec. DP-461. 94 pages.
- Boily, M., Pilote, P. et Raillon, H., 1989. La métallogénie des métaux de haute technologie en Abitibi-Témiscamingue. Ministère des Ressources naturelles du Québec. MB 89-29. 118 pages et 1 plan.
- Breaks, F.W., Selway, J.B. et Tindle, A.G., 2005. Fertile peraluminous granites and related rare-element pegmatites, Superior Province of Ontario. *Dans*: Linnen, R.L. and Samson, I.M., eds., *Rare-Element Geochemistry and Mineral Deposits*. Geological Association of Canada, GAC Short Course Notes 17: 87-125.
- Brisebois, D. et Brun, J., 1994. La plate-forme du Saint-Laurent et les Appalaches. *Dans* : *Géologie du Québec*. Les Publications du Québec. MM 94-01 : 95-120.
- Černý, P., 1991. Rare-element granitic pegmatites. Part II : Regional to global environments and petrogenesis. *Geoscience Canada*, 18 (2) : 68-81.
- Černý, P. et Ercit, T.S., 2005. The classification of granitic pegmatites revisited. *The Canadian Mineralogist*, 43 (6) : 2005-2026.
- Chagnon, J.Y., 1968. Régions des lacs des Quinze et barrière, comté de Témiscamingue. Ministère des Richesses naturelles du Québec. RG 134. 120 pages et 1 plan.
- Charbonneau, B.W. et Hogarth, D.D., 1988. Geophysical expression of the carbonatites and fenites east of Cantley, Quebec. *Dans* : *Current Research, Part C*. Geological Survey of Canada, Paper 88-1C : 259-269.
- Commission canadienne de sûreté nucléaire, 2021. <http://nuclearsafety.gc.ca/fra/resources/radiation/introduction-to-radiation/radiation-doses.cfm>. Consulté le 19 octobre 2021.

- Corriveau, L. et Gorton, M., 1987. Potential economic significance of Precambrian potassic plutons in the Central Metasedimentary Belt, Grenville Province of western Quebec. Dans : Current Research, Part A. Geological Survey of Canada, Paper 87-1A : 897-899.
- Dupuy, H., 1989. Géologie de la région de Wakefield-Cascades. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec. MB 89-19. 14 pages et 1 plan.
- Elliott, H.A.L., Wall, F., Chakhmouradian, A.R., Siegfried, P.R., Dahlgren, S., Weatherley, S., Finch, A.A., Marks, M.A.W., Dowman, E. et Deady, E., 2018. Fenites associated with carbonatite complexes : a review. *Ore Geology Reviews*, 93 : 38-59.
- Ercit, T.S., 2005. REE-enriched granitic pegmatites. Dans : Linnen, R.L. et Samson, I.M., édés., Rare-Element Geochemistry and Mineral Deposits. Geological Association of Canada, GAC Short Course Notes 17 : 175-199.
- Feng, R. et Kerrich, R., 1991. Single zircon age constraints on the tectonic juxtaposition of the Archean Abitibi greenstone belt and Pontiac Subprovince, Quebec, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55 (11) : 3437-3441.
- Feng, R. et Kerrich, R., 1992. Geochemical evolution of granitoids from the Archean Abitibi Southern Volcanic Zone and the Pontiac Subprovince, Superior Province, Canada: Implications for tectonic history and source regions. *Chemical Geology*, 98 (1-2) : 23-70.
- Fleury, F., 2013. Prospection et rainurage, propriété Tansim. Matamec Exploration Inc. Rapport statutaire soumis au Gouvernement du Québec. GM 67780. 87 pages.
- Fleury, F. et Leclerc, A., 2008. Travaux de prospection phase II, propriété Tansim. Matamec Exploration Inc. Rapport statutaire soumis au Gouvernement du Québec. GM 63756. 61 pages.
- Gobeil, C., 1982. Campagne de prospection géologique et géochimique, Projet Delbreuil, SOQUEM. Rapport statutaire soumis au Gouvernement du Québec. GM 38848. 55 pages et 4 plans.
- Hocq, M. et Verpaelst, P., 1994. Les sous-provinces de l'Abitibi et du Pontiac. Dans : Géologie du Québec. Les Publications du Québec. MM 94-01 : 21-38.
- Hocq, M., 1994. La Province de Grenville. Dans : Géologie du Québec. Les Publications du Québec. MM 94-01 : 75-94.
- Hogarth, D.D., 1970. Geology of the southern part of Gatineau Park, National Capital Region. Geological Survey of Canada. Paper 70-20. 25 pages et 1 plan.

- Hogarth, D.D., 1997. Carbonatites, fenites and associated phenomena near Ottawa. Geological Association of Canada – Mineralogical Association of Canada, Joint Annual Meeting, Ottawa'97, Field Trip A4, Guidebook, 21 pages.
- Hogarth, D.D., 2008. Rocks of the Masson - Buckingham - Mayo area, with emphasis on Mesoproterozoic igneous types. Rapport statutaire déposé au Gouvernement du Québec. GM 63238. 27 pages et 1 plan.
- Hogarth, D.D., Hartree, R., Loop, J. et Solberg, T., 1985. Rare-earth element minerals in four carbonatites near Gatineau, Quebec. *American Mineralogist*, 70 : 1135-1142.
- Hogarth, D.D., Rushforth, P. et McCorkell, R.H., 1988. The Blackburn carbonatites, near Ottawa, Ontario : dykes with fluidized emplacement. *Canadian Mineralogist*, 26 : 377-390.
- Hogarth, D.D. et van Breemen, O., 1996. Geology and age of the Lac à la Perdrix fenite, southern Gatineau district, Quebec. Dans : Radiogenic age and isotopic studies, report 9. Geological Survey of Canada. Paper 1995-F : 33-41.
- Linnen, R.L., Van Lichtenvelde, M. et Černý, P., 2012. Granitic pegmatites as sources of strategic metals. *Elements*, 8 : 275-280.
- Lumbers, S.B., 1982. Summary of Metallogeny, Renfrew County Area; Ontario Geological Survey. Report 212. 58 pages et 4 plans.
- Machado, N., Gariépy, C., Philippe, S. et David, J., 1991. Géochronologie U-Pb du territoire québécois : Fosses du Labrador et de l'Ungava et Sous-province de Pontiac. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec. MB 91-07. 50 pages.
- Madore, L., Globensky, Y., Kamal, N.M.S. et Giguère, E., 1994. Synthèse géologique de la région de Fort-Coulonge, SNRC 31F. ministère des Ressources naturelles du Québec. MB 94-39. 27 pages et 1 plan.
- MERN, 2012. Provinces géologiques du Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec. <https://mern.gouv.qc.ca/publications/mines/provinces-geologiques-8x11.pdf>
- MERN, 2020. Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques 2020-2025. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/energie-ressources-naturelles/publications-adm/plan-strategique/PL_valorisation_mineraux_critiques_strategiques.pdf?1618857094
- MERN, 2021. Tableau des seuils anomaliques. Consulté le 2 novembre 2021.

https://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/html/I3202_seuil.htm

- NRCan, 2021. Wakefield (Rad-Mag-EM, 1994, 1000m) et Cantley carbonatite (Rad-Mag-EM, 1983, 400m). Entrepôt de données géoscientifiques pour les données géophysiques. Consulté le 4 novembre 2021. <http://gdr.agg.nrcan.gc.ca>.
- Müller, A., Romer, R. L. et Pedersen, R. B., 2017. The Sveconorwegian Pegmatite Province – Thousands of Pegmatites Without Parental Granites. *Canadian Mineralogist*, 55 : 283-315.
- Perron, T. et Labranche, S., 2017. Indices Viau-Dallaire (Li-Ta) Lac Simard, Témiscamingue. Travail statutaire déposé au Gouvernement du Québec. GM69874. 10 pages et 1 plan.
- Richard, P.-L., 2021. NI 43-101 Technical Report, Tansim Property. Sayona Quebec. 124 pages. <https://www.sayonaquebec.com/wp-content/uploads/2021/03/6015026-000000-40-ERA-0001-R00.pdf>
- Richardson, D.G. et Birkett, T.C., 1996. Gîtes associés à des carbonatites. Dans : Géologie des types de gîtes minéraux du Canada, O.R. Eckstrand, W.D. Sinclair et R.I. Thorpe, édés. Commission géologique du Canada, Géologie du Canada, n° 8 : 601-619.
- Rive, M., 1975. Géologie des lacs Simard, Winawiash et Decelles (Comtés de Témiscamingue et Pontiac). Ministère des Richesses naturelles du Québec. DP-338. 15 pages et 4 plans.
- Rive, M., 1994. Inventaire des roches granitoides des sous-provinces de l'Abitibi et du Pontiac. Ministère des Ressources naturelles du Québec. MB 92-14. 185 pages.
- Rivers, T., Ketchum, J., Indares, A. et Hynes, A., 2002. The High Pressure belt in the Grenville Province: architecture, timing, and exhumation. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 39: 867-893.
- Rivers, T., Culshaw, N., Hynes, A., Indares, A., Jamieson, R. et Martignole, J., 2012, The Grenville Orogen – A postLITHOPROBE perspective, Chapter 3. Dans : Percival, J.A., Cook, F.A. et Clowes, R.M., édés., *Tectonic Styles in Canada: the LITHOPROBE Perspective*. Geological Association of Canada, Special Paper 49 : 97–236.
- Samoilov, V.S. et Smirnova, E.A., 1980. Behavior of rare earth elements in carbonatite formation and some genetic aspects of carbonatites. *Geochemistry*, 18 : 1844–1858.
- Sappin, A.-A. et Beaudoin, G., 2015. Classification des principaux indices en éléments de terres rares au Québec (Canada) : contexte géologique et évaluation de leur intérêt économique. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. MB 2015-10. 76 pages.

- Selway, J.B., Breaks, F.W. et Tindle, A.G., 2005. A review of rare-element (Li-Cs-Ta) pegmatite exploration techniques for the Superior Province, Canada, and large worldwide tantalum deposits. *Exploration and Mining Geology*, 14 (1-4) : 1-30.
- SIGÉOM, 2021. Carte interactive. Consulté le 26 octobre 2021.
https://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1108_afchCarteIntr.
- Simandl, G.J. et Paradis, S., 2018. Carbonatites : related ore deposits, resources, footprint, and exploration methods. *Applied Earth Science*, 127 (4) : 123-152.
- Simmons, W. B. S. et Webber, K. L., 2008. Pegmatite genesis : state of the art. *European Journal of Mineralogy*, 20 (4) : 421-438.
- Spence, H.S., 1920. Phosphate in Canada. Government of Canada. Department of Mines, Mines Branch Publication 396. 182 pages et 13 plans.
- Steiner, B., 2019. Tools and workflows for grassroots Li-Cs-Ta (LCT) pegmatite exploration. *Minerals*, 9 (8). <https://www.mdpi.com/2075-163X/9/8/499/htm>
- Tarnocai, D. M., 1997. Petrogenesis of the Late Archean Lac Simard Intrusive Complex, Pontiac Subprovince, Quebec. Mémoire de maîtrise, Université d'Ottawa (Canada). 324 pages.
- Zharikov, V A, Pertsev, N, Rusinov, V L, Callegari, E, et Fettes, D J., 2007. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 9. Metasomatic rocks. Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks. 17 pages.



Marc Legault, géo., Ph. D.

OGQ n° 00756

Annexe A
Paramètres techniques des mesures
géophysiques

Le spectromètre à rayons gamma RS-125 mesure la radioactivité dans une sphère d'environ 50 cm de rayon autour du capteur. Il est donc nécessaire d'effectuer les mesures sur une surface plane suffisamment grande, l'angle de la surface importe peu. L'appareil mesure le débit de dose (« dose rate ») en nSv/h², ainsi que la teneur en K (en %) et en eU et eTh (en ppm)³. Les corrections et un étalonnage interne se font automatiquement à chaque mesure. Afin de s'assurer que les mesures de l'appareil ne dérivent pas dans le temps, une mesure est effectuée chaque matin au même endroit. L'appareil dispose d'un mode d'acquisition de mesure qui permet de compter la radioactivité pendant une période variable⁴ sur une zone fixe, mais également d'un mode « prospection » qui mesure la radioactivité instantanée, permettant de repérer facilement les zones les plus radioactives.

² Le sievert (Sv) est l'unité utilisée pour donner une évaluation de l'impact des rayonnements sur l'homme. La dose efficace moyenne de rayonnement naturel au Québec est d'environ 180 nSv/h (Commission canadienne de sûreté nucléaire, 2021).

³ Les mesures pour l'uranium et le thorium sont faites respectivement sur le bismuth 214 et thallium 208 qui sont des produits filles et donc les teneurs qui sont exprimées en équivalent uranium (eU) et thorium (eTh) présument un équilibre dans la chaîne de désintégration.

⁴ Nous avons utilisé un temps d'acquisition de 120 secondes qui est un compromis entre temps d'acquisition et représentativité statistique de la mesure.