

# MB 2025-11

Cartographie des carbonatites et des fénites au nord de Gatineau et leurs potentiels en éléments de terres rares (ÉTR), Province de Grenville

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.

Ressources naturelles  
et Forêts

Québec 



## **Cartographie des carbonatites et des fénites au nord de Gatineau et leurs potentiels en éléments de terres rares (ÉTR), Province de Grenville**

Ismail Ait Bouallal, Marc Legault et Hubert Mvondo

MB 2025-11



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.

**Livrable 5**  
**PU-2020-12-1355B**

# **Cartographie des carbonatites et des fénites au nord de Gatineau et leurs potentiels en éléments de terres rares (ÉTR), Province de Grenville**

**Pour :**

**Mme Andrea Amortegui**

**Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles**  
**Direction de l'acquisition des connaissances géoscientifiques**  
**5700, 4<sup>e</sup> Avenue Ouest, local D-307**  
**Québec (Québec) G1H 6R1**

**Par :**

**Ismail Ait Bouallal**

**Marc Legault**

**Hubert Mvondo**



**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**

**Février 2025**

## **Table des matières**

Résumé .....	1
1. Introduction.....	2
2. Contexte géologique.....	3
2.1 Géologie régionale .....	3
2.2 Géologie locale.....	5
2.3 Carbonatites et fénites de l’Outaouais .....	6
3. Problématique .....	7
4. Méthodologie .....	8
4.1 Compilation des données géoscientifiques .....	8
4.2 Travaux de cartographie et d’échantillonnage .....	9
4.3 Coloration des carbonates .....	9
4.4 Examen microscopique .....	10
4.4.1 Microscope optique .....	10
4.4.2 Microscope électronique à Balayage (MEB) .....	10
4.5 Analyses géochimiques (lithogéochimie).....	10
4.6 Mesures radiométriques.....	11
5. Résultats .....	12
5.1 Cartographie géologique.....	12
5.1.1 Carte géologique du nord de Gatineau.....	12
5.1.2 Description de l’ensemble métasédimentaire.....	15
5.1.3 Les roches intrusives felsiques.....	20
5.1.4 Dykes de carbonatite et fénites .....	21
5.2 Caractérisation pétro-géochimique des dykes de carbonatite.....	24
5.2.1 Minéralogie .....	24
5.2.2 Lithogéochimie.....	28
5.3 Caractérisation pétro-géochimique et radiométrique des fénites .....	30
5.3.1 Zonation minéralogique et chimique des fénites .....	30
5.3.2 Chronologie des événements de fénitisation .....	38
5.3.3 Apport de la radiométrie et de l’aéromagnétisme : .....	40
5.4 Minéralisations économiques.....	40
5.4.1 Minéralisations à ÉTR.....	40

5.4.2 Indices de Fe-Ti .....	42
6. Discussion .....	43
7. Conclusions .....	45
8. Recommandations .....	45
9. Références bibliographiques .....	47
Annexe 1 .....	52

## Liste des figures

Figure 1: Localisation du secteur d'étude dans la Province géologique du Grenville (A) et plus spécifiquement dans la Terrane du Mont Laurier (B). Tirée de Rivers et al. (2012) (A) et de Corriveau & Van Breemen (2000) (B); C : Échelle temporelle du Mésoprotérozoïque-Néoprotérozoïque, montrant les phases orogéniques grenvilliennes et anté-grenvilliennes (Rivers et al., 2012). .... 4

Figure 2 : Carte géologique régionale du nord de Gatineau montrant les indices à ÉTR dans le SIGÉOM et les zones cartographiées dans le secteur de l'Outaouais après 1970 (SIGÉOM, 2024). ..... 6

Figure 3 : Matériaux et équipements utilisés dans le cadre de cette étude. A : Matériaux de terrain : Boussole Brunton (a), GPS Garmin (b), Marteau (c); B : Microscope optique « Zeiss Axio Imager », équipé d'une caméra et d'un ordinateur à logiciel de calibration et de visualisation; C : MEB de table Hitachi TM4000 Plus de l'URSTM; D : Spectromètre portatif à rayons gamma RS-125 Super-SPEC. .... 12

Figure 4 : Carte géologique du nord de Gatineau à la suite des travaux de cartographie de l'été 2023. Modifiée de la carte préliminaire 1/10 000 de la partie ouest de Quinville (Hogarth, 1981) et des travaux de Hogarth et van Breemen (1996). Pour plus de détails, le lecteur est référé à la carte en annexe..... 14

Figure 5 : Roches métasédimentaires silicatées. A : Paragneiss à biotite. Géofiche 23-IA-4030; B : Paragneiss à grenat. Géofiche 23-IA-4029; C : Quartzite à feldspath potassique et biotite. Géofiche 23-IA-4161..... 16

Figure 6: Rosace directionnelle (A) et projection polaire (B) (méthode de concentration polaire de Kamb) des foliations mesurées sur les gneiss..... 17

Figure 7 : Photographies des marbres. A : Marbre folié avec des fragments de paragneiss (M4) et de granite pegmatitique (PG). Géofiche 23-IA-4043; B : Marbre serpentinisé. Géofiche 23-IA-4076; C : Marbre à dolomite. Géofiche 22-TG-3006; D : Veine de calcite orange recristallisée avec apatites vertes grossières. Géofiche 22-TG-3002; E : Marbre de la figure 7A montrant du graphite (GP) et de la pyrite (PY) observées microscopiquement en lumière réfléchie; F : Photomicrographie en LPA montrant la serpentinitisation (ST) de la diopside (PX) de l'échantillon de la figure 7B; G : Apatites (AP) globuleuse et pyrite (PY) dans une matrice de calcite (CC) en LPnA de l'échantillon de la figure 7D. . 18

Figure 8 : Photographies des roches calco-silicatées. A : Roche calco-silicatée non foliée à calcite orange, et sa structure de remplacement des ferromagnésiens calciques (PX) observée microscopiquement en LPA (B). Géofiche 23-IA-4042; C : Roche calco-silicatée foliée macroscopiquement et montrant microscopiquement une minéralogie à grenat (GR), pyroxène (PX) et quartz (QZ). LPnA (D) et LPA (E). Géofiche 23-IA-4029..... 19

Figure 9: Roches granitiques. A : Granite rouge hématisé. Géofiche 23-IA-4158; B : Granite grossier à quartz, biotite et feldspath potassique rose. Géofiche 23-IA-4162; C : Pegmatite à quartz gris (QZ) et cristaux décimétriques de feldspath potassique (FK). Géofiche 23-IA-4028; D : Contact entre faciès syénitique quartzifère rose fin (à gauche) et granite grossier. Géofiche 23-IA-3010..... 21

Figure 10 : A) Distribution des dykes de carbonatite et des zones de fénitisation d'échelle décamétrique à hectamétrique. B) Rosace directionnelle et projection polaire (méthode de concentration polaire de Kamb) des dykes de carbonatite mesurés dans le cadre de ce projet. .... 23

Figure 11 : Images photographiques de la carbonatite à spécularite (géofiche 23-IA-4069). A: Affleurement de la carbonatite d'épaisseur décimétrique à spécularite avec un contact fénitisé potassique avec l'encaissant. B : Section de la carbonatite à spécularite (HS); C : Observation de la matrice carbonatée à cristaux aciculaires de carbonates-ÉTR (parisite) en lumière transmise (LPA) et par cartographie des rayons X au MEB-EDS (E); D : Observation microscopique en lumière réfléchie de la spécularite (OF) associé à des oxydes de titane (rutile) (RL). Abréviations : BR=barytine, CB=carbonates, CC=calcite, HS= spécularite, OF= oxyde de fer, PR= parisite, QZ= quartz, RL= rutile. Voir figure 10 pour localisation..... 25

Figure 12 : Illustration d'une coupe schématique montrant un dyke de carbonatite et la fénitisation associée et un zoom sur l'aspect bréchiue de la carbonatite (photo à droite). Géofiche 23-IA-4137. Abréviations : AM =amphibole sodique, ML= microcline, PX= pyroxène sodique. Voir figure 10 pour localisation. .... 25

Figure 13: Enclaves gneissiques dans la carbonatite de Leclerc. A : Fragments fragiles centimétriques de paragneiss dans la carbonatite montrant de la calcite rose orangée recristallisée à l'écart de ceux-ci. Géofiche 22-TG-3031. B : Fragments sub-arrondis à anguleux montrant une grande variabilité de taille. Géofiche 22-TG-3032. .... 26

Figure 14 : Photomicrographies montrant des fragments fénitisés dans une carbonatite. A : Dyke de carbonatite avec fragments fénitisés recoupant un granite à grains moyens. B : Section sciée de la carbonatite où la couronne réactionnelle (noir) riche en phlogopite (PH) est observée autour des fragments. C : Examen microscopique montrant le contact entre les carbonates (CB) de la carbonatite et un fragment fénitisé à couronne réactionnelle riche en phlogopite (PH) et en apatite (AP). LPnA. D : Image de MEB-BSE montrant les grains de monazite (MZ) et d'apatite (AP) dans la couronne réactionnelle et la carbonatite riche en calcite (CC). Abréviations : AM =amphibole, ML= microcline, OF= oxydes de fer. Géofiche 23-IA-4137. Voir figure 10 pour localisation. .... 27

Figure 15 : Photomicrographies de carbonatites (I4Q) sous forme de fragments bréchiques (A et C) (géofiches 23-IA-4152 et 23-IA-4153 respectivement) et de bloc détaché (B) (géofiche 23-IA-4180). 28

Figure 16. A : Diagramme ternaire de classification des carbonatites en fonction des éléments majeurs CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3T</sub>, MnO (Woolley & Kempe, 1989). La contribution autre que des carbonates a été soustraite des concentrations des oxydes; B : Diagramme Ba+Sr vs ÉTR<sub>total</sub> + Y montrant l'enrichissement des carbonatites (I4Q : cercles orange) en ÉTR et Ba+Sr par rapport aux marbres (M13 : triangles bleus); C : Spectres de fractionnement des ÉTR dans les carbonatites et les marbres normalisés par rapport une chondrite C1; D : Diagramme ratio La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> versus somme ÉTR. Facteurs de normalisation de Palme et Jones (2004) pour figures 16C et 16D. .... 29

Figure 17 : A : Diagramme K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O décrivant les fénitisations potassique, sodique et sodique-potassique; B : Diagramme K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O montrant la fénitisation potassique (échantillon 23-IA-4006B (c) fénitisé en microcline (ML) et hématite (HM) versus échantillon 23-IA-4005A (a) de gneiss frais) et une fénitisation sodique (échantillon 23-IA-4007B (d) fénitisé en amphibole bleue (AM) et mineur en microcline (ML) et calcite (CC) versus échantillon 23-IA-4007A (b) de gneiss frais)..... 31

Figure 18 : Photomicrographies de roches de l’affleurement de la géofiche 23-IA-4152. A : Forte fénitisation potassique recoupée par une faille juxtaposant un gneiss peu altéré. B : Vue rapprochée de la zone fénitisée montrant un fragment de carbonatite (I4Q). C) Fénitisation sodique tardive en veinules d’amphibole bleue qui recoupent l’altération potassique à microcline rouge. D : Aspect brun-poussiéreux du microcline (ML) au microscope optique (LPnA) affectée par des veinules d’oxyde de fer (OF). On note également la présence de grains d’apatite (AP). Abréviations : AM =amphibole, CC=calcite. .... 33

Figure 19 : Brèche à feldspaths potassiques et veinules tardives de calcite (A); B : échantillon de brèche analysé; C : vue microscopique en LPnA de l’aspect poussiéreux du microcline hématisé avec des grains d’apatites subarrondis en inclusions (C). Abréviations : AP=apatite, OF=oxydes de fer, ML=microcline..... 34

Figure 20 : Photographies de fénites sodique et potassique. A : Vue microscopique (LPnA) d’une fénite sodique à amphibole bleue remplacée par du microcline. L’ensemble est remplacé par la phlogopite et les oxydes de fer (fénitisation potassique). Géofiche 23-IA-4137; B : Cristaux automorphes d’amphibole bleue sodique associés à la barytine et des veinules tardives de calcite (en LPA). Géofiche 23-IA-4023; C, D : Aegirinitisation des amphiboles sodiques (remplacées par l’aegirine et les oxydes de fer). Géofiche 23-IA-4136; E : Échantillon de quartzite affecté par une fénitisation sodique à amphibole bleue, cette dernière est recoupée par des veinules à ML, HM, PH; F : Vue microscopique (en LPnA) de cette relation d’amphibole bleue recoupée par ML, HM, PH. Géofiche 23-IA-4020. Abréviations : AE=aegirine, AM =amphibole-Na, BR=barytine, CC=calcite, HM= hématite, ML= microcline, PH= phlogopite..... 37

Figure 21 : Photographies des affleurements altérés. A : Fénitisation des granites par bréchification par des veinules de phlogopite. Géofiche 23-IA-4121; B : Veinule d'aegirine à cristaux fibreux radiés et dissémination de pyrite affectant des pegmatites. Géofiche 23-IA-4121. C : Altération des amphiboles sodiques en amiante bleu-grise (crocidolite). Géofiche 23-IA-4007. D : Veinules tardives à amphibole bleue et calcite recoupe les granites pegmatitiques à fénitisation potassique rouge. Géofiche 23-IA-4153. .... 38

Figure 22 : Superposition des anomalies radiométriques du potassium (K%), du champ magnétique total et des fénites/indices. A : Carte des valeurs de potassium mesurées au sol par spectromètre à rayons gamma montrant des anomalies coïncidant généralement avec les zones fénitisées. Certaines de ces anomalies sont associées à des granites non fénitisés; B : Carte des valeurs de potassium aéroportée montrant une anomalie potassique qui coïncide avec la fénitisation sodique-potassique et les indices de fer-titane du secteur. C : Carte aéromagnétique montrant des anomalies liées à des occurrences de Fe-Ti. D : Carte interprétative des zones potentielles à Fe-Ti-ÉTR délimitées par une combinaison de zones > 1,7% K et > 56 800 nT qui définissent des alignements NNE-SSW. Les indices de fer-titane proviennent de la compilation de Lapointe (1979), Hogarth (1981) et cette étude. .... 41

Figure 23 : Photographies par MEB-BSE de la minéralisation à ÉTR. A: Grains d'apatite non enrichis en ÉTR ainsi que de la barytine en inclusions dans un cristal de calcite. Géofiche 23-IA-4152; B: Carbonates-ÉTR dans des fénites. Géofiche 23-IA-4075; C : Grains de monazite dans une fénite. Géofiche 23-IA-4036; D: Dissémination de grains d'allanite (?) dans une brèche potassique. Géofiche 23-IA-4180. Abréviations : AE =aegirine, AP=apatite, BR=barytine, FP= feldspath, ML= microcline, QZ= quartz, SN= titanite. .... 43

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Corrélation des subdivisions lithologiques adoptée dans la cartographie du présent projet par rapport aux subdivisions de Hogarth (1981). ..... 15

Tableau 2: Description pétrographique des carbonatites du secteur d'étude. Abréviations : AM =amphibole, AP=apatite, BR=barytine, CB=carbonates, CC=calcite, CB-ÉTR= carbonates-ÉTR, DL= dolomite, FP= feldspath, HM=hématite, ML= microcline, Mx-ÉTR= minéraux des terres rares, MV= muscovite, MZ= monazite, PH= phlogopite, PX= pyroxène, QZ= quartz, RL= rutile. .... 24

Tableau 3: Séquence paragénétique des minéraux de fénitisation..... 39

## Abréviations

BSE	Backscattered Electrons (électrons rétrodiffusés)
EDS	Energy-dispersive X-ray spectroscopy (spectrométrie à dispersion de l'énergie des rayons X)
ÉTR	Éléments des terres rares
K	Potassium
LPA	Lumière polarisée analysée
LPnA	Lumière polarisée non-analysée
MEB	Microscope électronique à balayage
MRNF	Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
Na	Sodium
Ppm	Partie par million

## Résumé

La première observation de carbonatites et de fénites dans le secteur au nord d'Ottawa dans la Province de Grenville, a été rapportée par Hogarth (1966) dans le parc de la Gatineau. Des travaux de recherche subséquente ont démontré l'existence de plusieurs dykes de carbonatites et de fénites associés (0,9-1,1 Ga) à plusieurs autres endroits du parc de la Gatineau jusqu'à Buckingham avec les carbonatites au nord de Gatineau montrant le plus grand enrichissement en éléments des terres rares.

Les levés cartographiques dans le cadre de cette étude ont révélé la présence de dykes de carbonatite centimétriques à métriques, avec une texture massive à bréchique, orientés généralement NNE-SSW à NE-SW et subparallèles à la foliation régionale. Ils recourent l'ensemble rocheux, constitué de paragneiss, de quartzites, de marbres et de roches calco-silicatées, ainsi que des orthogneiss, des granites, des pegmatites et des dykes de syénites. La minéralogie des carbonatites est dominée par les carbonates (>50%) (calcite et dolomite) avec en plus faible proportion l'apatite, le quartz, les micas, la barytine et les oxydes de fer. Les brèches contiennent des fragments décimétriques de nature gneissique et/ou granitique, généralement fénitisés et couronnés par une zone réactionnelle riche en phlogopite et en apatite. Géochimiquement, les dykes ont des compositions de calciocarbonatites et de magnésiocarbonatites avec un enrichissement en Sr (< 0,5%) et Ba (< 11%), due à la présence des disséminations de célestine et de barytine respectivement. Ces carbonatites présentent également des teneurs élevées en ÉTR, dépassant souvent le seuil indiciel (>1700 ppm) jusqu'à 4 % ÉTR<sub>tot</sub>, qui sont associées aux phosphates d'ÉTR (monazite) et des carbonates d'ÉTR (surtout parisite).

Un métasomatisme de la roche encaissante (fénitisation) est spatialement associé aux dykes de carbonatite, aux intrusions alcalines et/ou possiblement à la présence de carbonatites non affleurantes. On distingue une fénitisation potassique proximale dominée par le microcline (hématisé) et la phlogopite ainsi qu'une fénitisation sodique distale à pyroxène (aégirine) et amphibole (richtérite et riébeckite). Ces fénites potassiques sont enrichies en fer et en ÉTR (jusqu'à 1% ÉTR<sub>tot</sub>) avec de la monazite et des carbonates d'ÉTR disséminés. L'association fénite-oxydes de fer a également déjà été évoquée pour le gisement de fer de Haycock situé dans le secteur à l'étude (Lapointe, 1979) ainsi qu'à l'indice de fer de Rainville Creek plus au nord (Erdmer, 1977). Nos observations suggèrent que le système minéralisé à ÉTR-Fe est lié génétiquement à un système métasomatique hydrothermal dynamisé par des dykes tardifs de carbonatites, conduit par un système de failles régionales (NE-SE, E-W à NW-SE).

## **1. Introduction**

L'approvisionnement en métaux stratégiques et critiques est essentiel pour soutenir le développement durable de chaque pays. Parmi ces métaux, les éléments de terres rares (ÉTR) ont été désignés par le gouvernement du Québec comme stratégiques (PQVMCS, 2020). Ces éléments, incluant les lanthanides, l'yttrium (Y) et le scandium (Sc), jouent un rôle clé dans de nombreux procédés industriels liés aux technologies de pointe et émergentes, comme les batteries, les écrans, les téléphones portables, les ampoules basse consommation, les véhicules hybrides, les rotors d'éoliennes, les missiles et l'imagerie médicale.

Les ÉTR se trouvent dans divers types de gisements. Les terres rares légères (LREE) sont principalement associées aux carbonatites et aux intrusions alcalines tandis que les terres rares lourdes (HREE) proviennent majoritairement des gisements d'argiles à adsorption ionique. Au Québec, les gisements les plus prometteurs sont liés aux carbonatites, aux intrusions alcalines et aux gîtes d'oxyde de fer-cuivre-or (IOCG) (Sappin et al., 2015).

La mise en place des carbonatites ou/et des complexes magmatiques alcalins, développe généralement un métasomatisme avec l'encaissant, matérialisé par un apport et départ des éléments (Si, Fe, Na, K), appelé la fénitisation. Celle-ci conduit à la formation de roches appelées fénites, qui sont principalement, composées de minéraux alcalins (feldspaths potassiques, micas, amphiboles et pyroxènes sodiques), en plus de contenir des minéraux secondaires comme les oxydes de fer et de titane et de l'apatite (Brögger, 1921 ; Bardina et Popov, 1994; Zharikov et al., 2007).

Dans le secteur de l'Outaouais, la première observation de carbonatites et de fénites a été rapportée par Hogarth (1966) dans le parc de la Gatineau. Des travaux de recherche subséquents (Lapointe, 1979; Hogarth, 1981; Hogarth et al., 1985; Charbonneau et Hogarth, 1988; Leclair, 1988; Dupuy, 1989; Hogarth et van Breemen, 1996; Hogarth, 1997; Hogarth, 2008; Sinaei-Esfahani, 2013; Hogarth, 2016) ont démontré l'existence de plusieurs dykes de carbonatite et des zones de fénitisation associées à plusieurs autres endroits du parc de la Gatineau jusqu'à Buckingham avec les carbonatites au nord de Gatineau montrant le plus grand enrichissement en ÉTR (Legault, 2023). Trois indices à ÉTR dans le secteur d'étude sont répertoriés dans la base de données de SIGÉOM (Quinnville, Templeton et Cantley) (SIGÉOM, 2024).

Ce projet vise à comprendre les phases d'intrusion de carbonatite et de fénitisation dans le but d'évaluer le potentiel en minéralisation d'ÉTR du secteur. Pour ce faire, une carte géologique de la zone d'étude fut produite en se basant sur la carte préliminaire au 1/10 000 de Hogarth (1981), des travaux de stagiaires (Legault et al., 2021, 2022) ainsi que nos travaux de terrain en 2023. Dans le but de mieux caractériser les unités et l'altération, l'examen microscopique et le traitement géochimique des échantillons de 2021 à 2023 combinés à la radiométrie aéroportée et au sol, ont permis de réaliser

des cartes de la répartition des dykes de carbonatites, des zones d'altération et des zones à haut potentiel en ÉTR.

## **2. Contexte géologique**

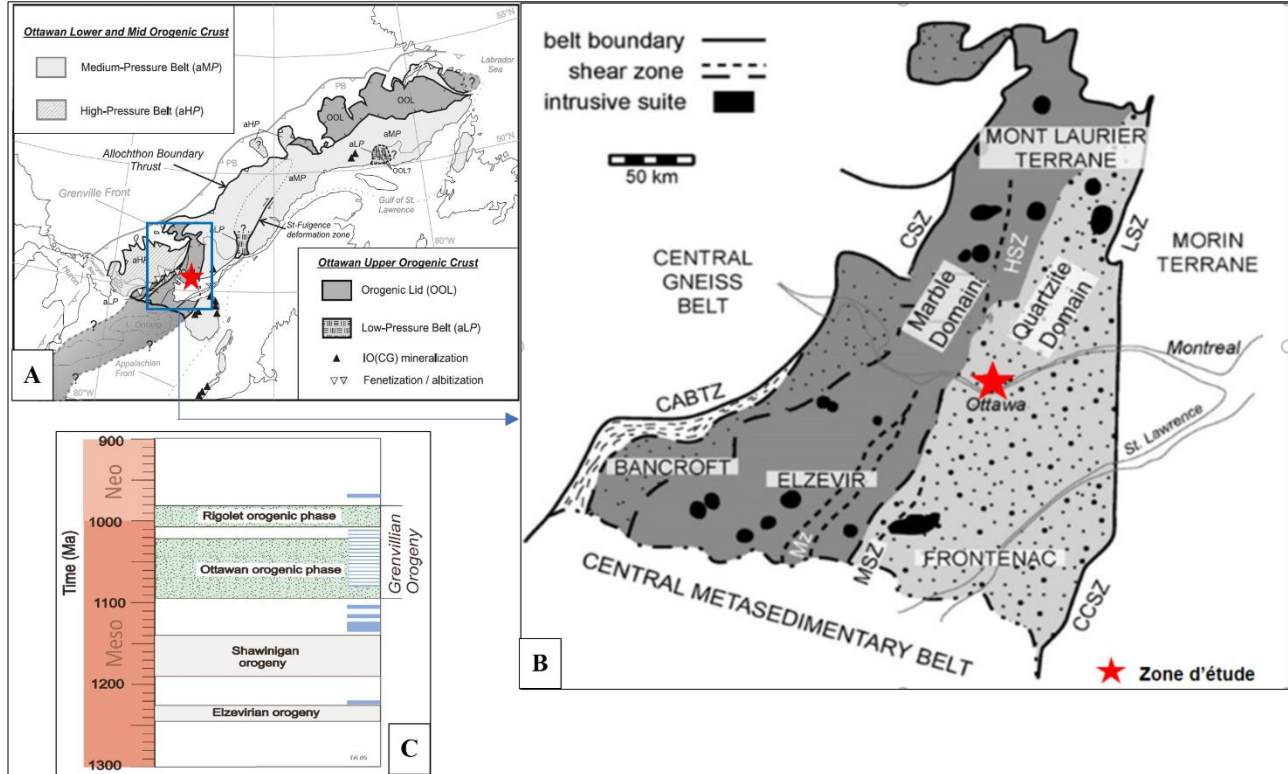
### **2.1 Géologie régionale**

La province de Grenville, est située au sud de la province de Québec et est allongée NE-SW sur une longueur de 2 000 km depuis la côte atlantique au sud du Labrador jusqu'au lac Huron avec une largeur de 300 à 600 km (*figure 1*). Elle enregistre les événements tectono-métamorphiques liés à l'orogénèse du Mésoprotérozoïque moyen et tardif, affectant le Bouclier canadien (Lucas et St-Onge, 1998).

La zone d'étude se situe au nord de Gatineau dans la partie de l'extrémité sud de la Terrane de Mont-Laurier (TML) de la Ceinture Métasédimentaire Centrale du Québec (Wynne-Edwards, 1972). Cette dernière appartient au domaine allochtone de la carapace orogénique de la Province de Grenville (Rivers et al., 1989) (*figure 1*).

La TML est composée de roches supracrustales essentiellement des quartzites, des marbres, des paragneiss, des roches calcosilicatées (skarns, pyroxénites) et des amphibolites, formées entre **1,48 et 1,14 Ga** (Friedman et al., 1995; Rivers et al., 2002; Schneider et al., 2013). Ces roches sont affectées par un métamorphisme régional pré-grenvillien qui a atteint le faciès de granulites et qui est associé à l'orogénèse d'accrétion de Shawinigan (**1,19–1,14 Ga**) (Rivers et al., 2002; Schneider et al., 2013), responsable d'un magmatisme mafique à intermédiaire d'âge **1,17-1,16 Ga** (Corriveau et van Breemen, 2000). Par la suite, un magmatisme alcalin syn- orogénique (phase ottawaienne de l'orogène grenvillien) **1.09-1.02 Ga** (Rivers et al., 2012; Corriveau et van Breemen, 2000; Kennedy et al., 2010) a eu lieu et est matérialisé par des syénites, monzonites et granites.

**Cartographie des carbonatites et des fénites au nord de Gatineau et leurs potentiels en éléments de terres rares (ÉTR), Province de Grenville**  
**PU-2020-12-1355B**



**Figure 1: Localisation du secteur d'étude dans la Province géologique du Grenville (A) et plus spécifiquement dans la Terrane du Mont Laurier (B). Tirée de Rivers et al. (2012) (A) et de Corriveau et van Breemen (2000) (B); C : Échelle temporelle du Mésoprotérozoïque-Néoprotérozoïque, montrant les phases orogéniques grenvilliennes et anté-grenvilliennes (Rivers et al., 2012).**

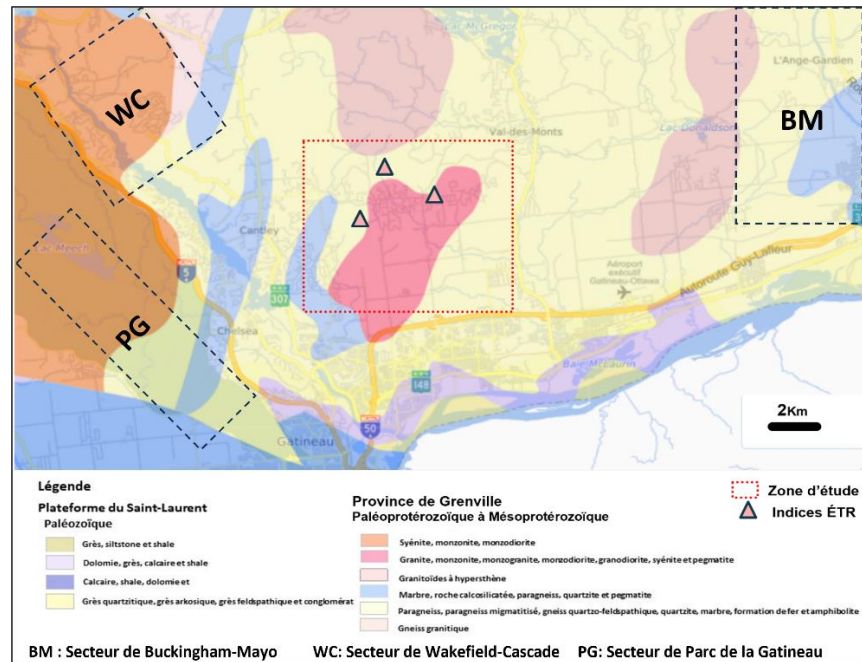
## **2.2 Géologie locale**

La cartographie régionale du secteur de l'Outaouais est déficiente comme indiqué par Legault et al. (2022). Divers travaux de cartographie géologique plus ciblés ont eu lieu depuis 1970 (feuillet SNRC 031G12 et 031G11). Les premiers travaux sont ceux de Hogarth (1970) qui a levé la carte géologique du Parc de la Gatineau (*figure 2*). Par la suite Hogarth a continué ses levés vers le nord-est et a réalisé la carte de la partie ouest de la région de Quinville (Hogarth, 1981). La couverture géologique a continué vers le nord-ouest par le levé de Dupuy (1989) dans la région de Wakefield-Cascade et vers l'est dans les régions de Buckingham-Mayo par le levé de Hogarth (2008). De plus, plusieurs travaux thématiques ont été abordés dans le secteur de l'Outaouais, notamment la caractérisation des carbonatites, des fénites et les différentes minéralisations associées (Erdmer, 1977; Lapointe, 1979; Hogarth et al., 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1996; Charbonneau et Hogarth, 1988; Leclair, 1988; Hogarth, 1997, 2008, 2016).

Dans le secteur d'étude, la géologie locale est constituée d'un ensemble métasédimentaire (*figure 2*), comprenant une séquence gneissique d'âge mésoprotérozoïque, subdivisée par Hogarth (1981) en différents niveaux de gneiss calco-magnésien, mélanocrate et alumineux distincts par leur assemblage minéralogique. Cette séquence gneissique contient des intercalations de quartzite et de marbre. Minéralogiquement, les marbres se caractérisent par la dominance de la calcite, la dolomite et la serpentine avec des minéraux traces tels que le quartz, feldspaths potassiques (microcline et orthose), spinelle, actinote, diopside, phlogopite et graphite (Hogarth, 1981). Enfin, la séquence est caractérisée par la présence des niveaux de roches calco-silicatées, identifiées comme des métapyroxénites (Wilson, 1920), des dissogénites (Lacroix, 1941) et des skarns (Shaw et al., 1963a,b; Hogarth, 1981, 1988). Sur le plan tectonique, cet ensemble métasédimentaire est affecté par une phase de plissement isoclinal à plans axiaux nord-est fortement inclinés vers le sud-est et subparallèle à la foliation NE-SW plissée (Hogarth, 1981; Hogarth et al., 1984). Par la suite, une deuxième phase de plissement moins intense est notée avec des plis ouverts ayant des plans axiaux est-ouest et un plongement vers l'ouest. Ainsi la foliation est de direction globale variant de NNE-SSW à NE-SW (Hogarth, 1981).

Les associations minéralogiques dans les différentes roches métamorphiques précambriennes (gneiss, marbre, quartzite, roches calco-silicatées) convergent vers un métamorphisme régional de type faciès amphibolite supérieur à granulite (Hogarth, 1981; Hogarth et al., 1984).

Cet ensemble est recoupé par un magmatisme felsique alcalin associé à des épisodes syn à post-grenvilliens. Il est manifesté par des orthogneiss (granite gneissique de Quinville), des roches granitiques de grains grossiers à pegmatitique ainsi que par un dyke syénitique (Hogarth, 1981). La datation par K/Ar sur biotite de cette dernière intrusion montre un âge tardi-grenvillien ( $886 \pm 25$  Ma ; Wanless et al., 1980).



**Figure 2 : Carte géologique régionale du nord de Gatineau montrant les indices à ÉTR dans le SIGÉOM et les zones cartographiées dans le secteur de l'Outaouais après 1970 (SIGÉOM, 2024). À noter que la zone cartographiée par Hogarth (1981) se retrouve à l'intérieur de notre zone d'étude.**

### 2.3 Carbonatites et fénites de l'Outaouais

Un magmatisme carbonaté associé à un métasomatisme alcalin est manifesté dans le secteur de l'Outaouais par des dykes de carbonatites métriques dans la région du lac Meech près du Parc de la Gatineau (Hogarth, 2016). Leur datation par Sm/Nd sur apatites révèle un âge de 1028 Ma (Marcantonio, 1986). Des fénites au lac à la Perdrix (partie nord du secteur d'étude) montrent un âge similaire (U/Pb sur monazite;  $1026 \pm 2$  Ma) (Hogarth et van Breemen, 1996) ce qui suggère une activité magmatique fin-ottawienne associée à la mise en place des occurrences carbonatite-fénite (Hogarth, 1997). Cependant, une datation de la carbonatite au SW du Lac à la Perdrix donne un âge anté-grenvillien, anorogénique, à  $1112 \pm 15$  Ma (U/Pb sur baddeleyite; Davis, 2023).

Les dykes de carbonatites au nord de Gatineau ont une épaisseur allant de quelques décimètres à plusieurs dizaines de mètres, et se distinguent par des couleurs variant du blanc-beige, rose-orange ou rouge brique (Hogarth, 1981). Ces dykes présentent un contact net ou irrégulier avec la roche encaissante et sont généralement orientés selon des directions NNE-SSW à NE-SW. Géochimiquement, ils sont classifiés comme des calciocarbonatites et des magnésocarbonatites avec des teneurs élevées en éléments traces,  $\text{ÉTR}_{\text{total}} (> 400 \text{ ppm})$ , Ba (83 à 84 000 ppm) et Sr (2105 à 11 500 ppm) (Legault, 2023).

La distribution spatiale des fénites est beaucoup plus étendue que les dykes des carbonatites dans le secteur d'étude. Les fénites présentent une morphologie lenticulaire ou en veines à grains fins à moyens. Elles sont composées de microclines hématisées et rougeâtres, de phlogopites brunes, de aegirines<sup>1</sup> vert-pistaches ainsi que des amphiboles sodiques bleues (arfvedsonite, richtérite ou riébeckite) accompagnées de calcite et du quartz (Hogarth, 1981; Leclair, 1988; Legault et al., 2022).

Les travaux de Lapointe (1979), ont établi une zonation minéralogique des fénites le long de l'encaissant fracturé et bréchifié de l'ancienne mine de fer Haycock. Du centre vers la périphérie, on distingue un faciès à hématite-magnétite-rutile, suivi d'un faciès intermédiaire composé d'aegirine, de magnésio-arfvedsonite, de barytine et de phlogopite, puis d'un faciès distal à aegirine et phlogopite. Cette zonation de fénitisation est semblable à celle observée dans le secteur de Rainville Creek qui montre des structures minéralisées fer-titane en lien avec une fénitisation sodique centrale à aegirine et de la riébeckite en périphérie (Erdmer, 1977).

Dans cette optique, la chronologie de cette zonation est résumée comme suit par Hogarth et van Breemen (1996) :

- Une oxydation de fer (magnétite, hématite) avec bréchification de la roche hôte;
- Remplacement vers l'extérieur des fractures des brèches et formation des amphiboles sodiques (généralement magnésio-arfvedsonite) et des pyroxènes sodiques (aegirine);
- Croissance de la microcline recristallisée, apparition de l'albite, introduction de la calcite;
- Continuité du remplacement et de la croissance des amphiboles et des pyroxènes sodiques jusqu'à la disparition de la foliation de l'encaissant.

En effet, à l'échelle régionale, de multiples phases de fénitisation (sodique et potassique) et d'injections de carbonatites, semblent affectées le nord de Gatineau (Legault, 2023).

### **3. Problématique**

Le choix du secteur d'étude a émané de plusieurs facteurs :

- la présence de carbonatites et de fénites connues depuis les années 1960;
- la cartographie géologique de ces unités en relation avec l'encaissant métasédimentaire n'est pas bien détaillée. Une seule carte préliminaire 1/10 :000 réalisée dans le secteur par Hogarth

---

<sup>1</sup> Dans les diverses publications du secteur, l'aegirine est identifiée comme acmite, un nom qui n'est plus utilisé dans la littérature.

- (1981) n'est pas publiée dans la plateforme interactive de Sigéom. De plus des travaux à plus petite échelle sur des exemples spécifiques de fénitisation sont également présents (Erdmer, 1977; Lapointe, 1979; Leclair, 1988) mais non intégrés dans le contexte régional;
- l'étendue de la fénitisation est décrite dans Hogarth et al. (1985) comme couvrant une superficie NE-SW de 22 km de long par 4 km de large, du nord de Gatineau jusqu'au lac McGregor (*Figure 2*). Cependant, l'étendue exacte n'a pas fait l'objet d'une cartographie systématique;
  - la relation entre les fénitisations potassique et sodique n'est pas claire, quoique chronologiquement la fénitisation potassique entrecoupe la fénitisation sodique (Legault, 2023);
  - les indices à ÉTR dans la région sont concentrés dans le secteur d'étude, notamment les indices associés aux carbonatites de Quinnville, Templeton et Cantley avec des teneurs atteignant 4% ÉTR<sub>tot</sub>.

Par conséquent ce projet vise à répondre aux problématiques suivantes :

- en profitant des nouveaux accès, quelle est l'étendue des dykes de carbonatite et est-ce qu'ils sont tous enrichis en ÉTR ?
- Est-ce que la fénitisation dépasse les limites définies par les travaux antérieurs et quelle est la relation avec la distribution des carbonatites et des corps magmatiques alcalins de la région ? Y a-t-il une zonation potassique/sodique bien distincte spatialement ?
- quelles sont les phases porteuses des ÉTR ? Quelles sont les zones à haut potentiel en ÉTR ? Quels sont les contrôles de la minéralisation (structurale, lithologique) ?

Ce projet de recherche sur les ÉTR au nord de Gatineau poursuit donc trois objectifs principaux :

- Cartographier les dykes de carbonatites et les fénites associées dans le secteur d'étude;
- Caractériser ces roches en termes de géochimie, minéralogie, géométrie et zonation à l'échelle régionale; et
- identifier des zones potentiellement minéralisées en ÉTR ainsi que des métalotectes pour guider l'exploration de ce type de gisements.

## **4. Méthodologie**

### **4.1 Compilation des données géoscientifiques**

Dans le cadre de ce projet, une compilation exhaustive des données géologiques, géochimiques et géophysiques existantes dans le secteur de l'Outaouais a été réalisée. Cette compilation a permis de rassembler et d'intégrer des données provenant des publications du MRNF et de la Commission Géologique du Canada (CGC) (seulement de rares travaux d'exploration ont été effectués), notamment

des cartes géologiques à différentes échelles qui touchent notre secteur d'étude ainsi que des articles scientifiques (travaux de Hogarth et de ses étudiants). De plus, les rapports géologiques des projets de stage (Legault et al., 2021, 2022) et les données qui s'y rattachent ainsi que les données géophysiques aéroportées de la CGC (radiométrie et magnétisme) ont été consultés et intégrés à cette étude (Natural Resources Canada, 2021).

Des images LIDAR, à relief ombré, ont été extraites du site de la Forêt Ouverte du gouvernement du Québec ([www.foretouverte.gouv.qc.ca](http://www.foretouverte.gouv.qc.ca)). Ces images ont été utilisées comme support cartographique pour dresser la continuité des structures géologiques cartographiées sur le terrain, dessiner les linéaments potentiels et localiser les affleurements.

#### **4.2 Travaux de cartographie et d'échantillonnage**

Les travaux de terrain ont été concrétisés durant l'été 2023 (juin et juillet). Ils ont débuté par la vérification des anciens affleurements qui ont été cartographiés par Hogarth (1981), dépendamment de l'accès, et plus spécifiquement les carbonatites et les fénites.

En se basant sur ces affleurements ainsi que les récentes géofiches (2021-LD et 2022-TG), la cartographie s'est poursuivie premièrement en extension des dykes de carbonatites et des roches fénitisées. Par la suite, la cartographie s'est concentrée dans les zones vierges du secteur d'étude.

Les géofiches (2023-IA) et les échantillons ont été enregistrés dans une tablette numérique. Les mesures structurales planaires (faille, foliation) et linéaires (linéament minéral, axe de pli) ont été prises avec une boussole Brunton (*figure 3A*), suivant la méthode de la main droite (azimut/pendage). Ces données ont ensuite été insérées directement avec les géofiches associées. Ensuite, l'échantillonnage (1-3 kg) s'est focalisé sur les roches carbonatées : carbonatites massives et bréchiques, veinules de calcite, marbres et roches calco-silicatées, ainsi que les fénites.

À chaque point d'observation, une mesure radiométrique au sol a été effectuée pour les éléments : K (%), eTh (ppm), eU (ppm), et ces données sont consignées dans la section « Propriétés physiques » de la géofiche associée.

#### **4.3 Coloration des carbonates**

Une coloration des carbonates (Hitzman, 1999) a été effectuée sur 40 échantillons. Des plaques de roches (carbonatite, marbre et roche calco-silicatée) de dimensions (5 à 10 cm x 4 à 7cm x 2 cm) ont été traitées avec un mélange de 250 ml d'acide chlorhydrique (HCl) à 2% avec environ 2 g d'alizarine rouge S et 2 g de ferricyanure de potassium. Chaque plaque a été immergée dans ce mélange pendant une durée de 30 secondes à 1 minute, puis rincée à l'eau distillée pour éliminer l'excès de réactif. Enfin, les plaques ont séché à l'air libre.

Ce test de coloration a permis de distinguer la calcite par la couleur rouge, rose ou rouge-brun. En revanche, la couleur de la dolomite et la sidérite demeure inchangée tandis que l'ankérite devient turquoise.

#### **4.4 Examen microscopique**

##### **4.4.1 Microscope optique**

Les observations microscopiques ont été effectuées sur 68 échantillons, comprenant 42 lames minces (régulières et polies) du présent projet (23-IA). Les autres lames minces des carbonatites et des fénites proviennent des travaux de stage (2021-LD et 2022-TG) (Legault et al., 2021; Legault, 2022).

Cet examen microscopique a été réalisé avec un microscope optique de marque « Zeiss Axio Imager », installé au laboratoire de l'URSTM (*figure 3B*). Il fonctionne avec deux modes : polarisant (lumière transmise) et métallographique (lumière réfléchie), couplé d'un ordinateur et d'une caméra pour la calibration automatique de la platine et des objectifs, la visualisation des lames et la prise de photos.

##### **4.4.2 Microscope électronique à Balayage (MEB)**

L'étude minéralogique fut augmentée par un microscope électronique à balayage (MEB) de table (Hitachi TM4000 plus) (*figure 3C*) muni d'un spectromètre à dispersion d'énergie (EDS) (Bruker Quantax 75). Ce MEB présent à l'URSTM permet l'observation de minéraux fins (~25 µm) avec une limite de détection de l'ordre de 0,1%. À l'aide du EDS et du logiciel «Oxford Instrumental», il fut possible de réaliser des analyses chimiques ponctuelles, des sections et une cartographie élémentaire du carbone jusqu'à l'uranium.

Après l'analyse au microscope optique, 10 lames minces polies ont été préparées, en encadrant sur la lame les zones d'intérêt à balayer sur le MEB. L'étude s'est focalisée principalement sur les échantillons à teneur en ÉTR<sub>total</sub> élevée (> 400 ppm) pour déterminer les phases porteuses des ÉTR.

#### **4.5 Analyses géochimiques (lithogéochimie)**

Un total de quatre-vingt-seize (96) échantillons ont été préparés au laboratoire de l'URSTM et expédiés vers le laboratoire d'analyse géochimique « Activation Laboratories Ltd. (ACTLAB) » en Ontario.

Ces échantillons ont été préalablement broyés, puis analysés pour leur composition en éléments majeurs, en éléments traces, ainsi qu'en certains éléments rares, en utilisant des techniques de spectrométrie d'émission atomique telles que l'ICP-MS et l'INAA.

Après le contrôle de qualité (QC) des résultats lithogéochimiques, conformément aux normes du MRNF, les données sont mises en ligne sur le site de SIGÉOM. Les analyses des travaux des stagiaires

(Legault et al., 2021, 2022) ont également été ajoutées à cette base de données (47). Le traitement de ces données géochimiques est réalisé à l'aide du logiciel « LithoModeleur Consorem 4.4.1 ».

#### **4.6 Mesures radiométriques**

Le spectromètre portatif à rayons gamma, le RS-125 Super-SPEC de Radiation Solution Inc. (*figure 3D*), est équipé d'un détecteur de 103 cm<sup>3</sup> fabriqué à partir d'iodure de sodium dopé au thallium (NaI(Tl)). Il permet de mesurer le rayonnement gamma généré par la désintégration naturelle dans un intervalle énergétique allant de 30 à 3000 keV. Le détecteur mesure le potassium (K en %), eTh (équivalent thorium en ppm), eU (équivalent uranium en ppm), le débit de dose (DR) nSv/h et le comptage total de chaque mesure (Radiation Solutions Inc., 2024).

Avant de procéder à une mesure avec le spectromètre sur le terrain, il est important de respecter les consignes suivantes :

- Avant de se rendre sur le terrain, le spectromètre doit être allumé et stabilisé sur une surface rocheuse plane. La concentration en K, eTh, et eU doit être notée à ce moment-là. Cette étape doit être répétée chaque matin sur la même surface afin d'évaluer la dérive des mesures.
- Le spectromètre doit rester allumé toute la journée de travail pour assurer une utilisation optimale.
- Les mesures doivent être effectuées sur une surface plane pendant une durée de 60 à 120 secondes. Le rayon d'analyse est estimé à environ 50 cm.

Les concentrations en K, eTh, et eU sont ensuite enregistrées dans la géofiche numérique.



Figure 3 : Matériaux et équipements utilisés dans le cadre de cette étude. A : Matériaux de terrain : Boussole Brunton (a), GPS Garmin (b), Marteau (c); B : Microscope optique « Zeiss Axio Imager », équipé d'une caméra et d'un ordinateur à logiciel de calibration et de visualisation; C : MEB de table Hitachi TM4000 Plus de l'URSTM; D : Spectromètre portatif à rayons gamma RS-125 Super-SPEC.

## 5. Résultats

### 5.1 Cartographie géologique

#### 5.1.1 Carte géologique du nord de Gatineau

La cartographie géologique réalisée dans le cadre de ce projet est basée sur les travaux de cartographie de l'été 2023 (182 géofiches) à partir de la carte préliminaire de Hogarth (1981) et des travaux de

Hogarth et van Breemen (1996) (*figure 4 et annexe<sup>2</sup>*). Elle vise une corrélation et simplification des formations géologiques métasédimentaires et granitiques présentées par Hogarth (1981) pour mettre en lumière les continuités lithologiques, et les carbonatites et les fénites moins puissantes et moins abondantes (*Tableau 1*).

L'ensemble métasédimentaire comprend quatre grandes formations, des paragneiss à grenat et à biotite, des quartzites, des marbres et des roches calco-silicatées. Nos observations macroscopiques et microscopiques ainsi que les objectifs de la présente étude ne permettent pas de détailler et d'extrapoler nos levés des gneiss avec les unités décrites par Hogarth (1981) (*Tableau 1*).

Ces roches métamorphiques sont recoupées par des intrusions elliptiques hectométriques et des dykes métriques de composition felsique, notamment des granites localement pegmatitique et des syénites.

Cet ensemble magmato-métamorphique est recoupé par des dykes de carbonatite centimétriques à métriques, associés par endroits à un métasomatisme alcalin et ferreux (fénites).

---

<sup>2</sup> La carte en annexe présente un plus grand détail de l'extrapolation des unités.

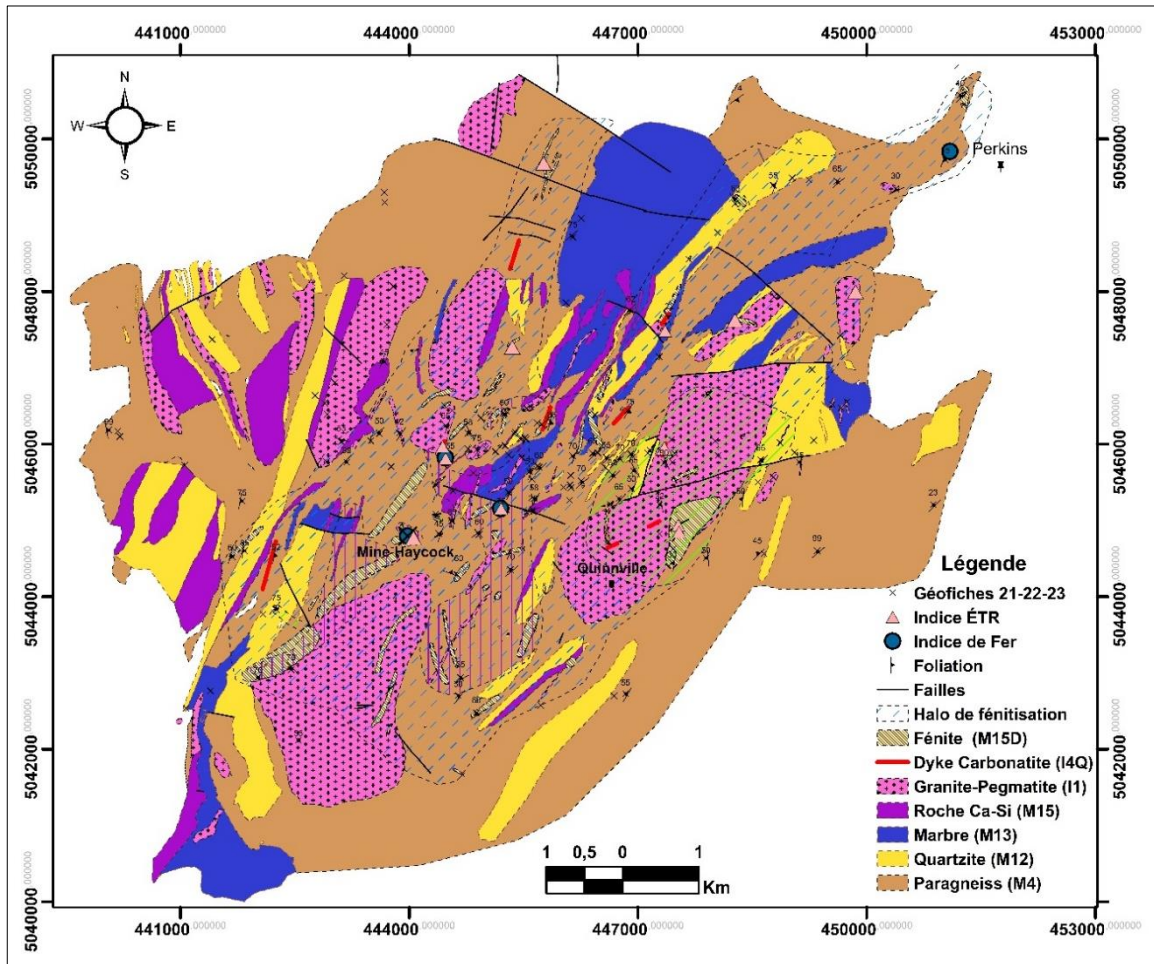


Figure 4 : Carte géologique du nord de Gatineau à la suite des travaux de cartographie de l'été 2023. Modifiée de la carte préliminaire 1/10 000 de la partie ouest de Quinville (Hogarth, 1981) et des travaux de Hogarth et van Breemen (1996). Pour plus de détails, le lecteur est référé à la carte en annexe.

**Tableau 1 : Corrélation des subdivisions lithologiques adoptée dans la cartographie du présent projet par rapport aux subdivisions de Hogarth (1981).**

<b>Subdivisions de Hogarth (1981)</b>	<b>Subdivisions (cette étude)</b>
Dykes de syénite (10a)	Dykes de Syénite (H)
Carbonatites (9k)	Carbonatites (G)
Roches métasomatiques alcalines à : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Albite-Hématite (9a)</li> <li>- Amphibole-Na (9b)</li> <li>- Phlogopite (9c)</li> <li>- Aegirine (9d)</li> </ul>	Fénites (F) : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potassique (Microcline-Hématite, Phlogopite)</li> <li>- Sodique (Amphibole-Na, aegirine)</li> <li>- Potassique-sodique</li> </ul>
Roches granitiques (8)	Granite-pegmatite (E)
Roches calco-silicatées à scapolite, actinote, phlogopite, diopside, graphite (6)	Roches calco-silicatées (D)
Marbre à feldspath, actinote, biotite, diopside, graphite, serpentine (5)	Marbre (C): <ul style="list-style-type: none"> <li>- à calcite et silicates</li> <li>- à serpentine;</li> <li>- à dolomite;</li> <li>- à graphite</li> </ul>
Quartzite à feldspath, biotite, hornblende, augite (4)	Quartzite (B)
Gneiss alumineux à biotite, muscovite, hornblende, augite, sulfures, grenat, sillimanite, cordiérite (3)	Paragneiss : <ul style="list-style-type: none"> <li>- à biotite (A1)</li> <li>- à grenat (A2)</li> </ul>
Gneiss mélanocrate à biotite, hornblende, augite, hypersthène (2)	
Gneiss calco-magnésien à hornblende, scapolite, biotite, augite-diopside, hypersthène, pyrite (1)	

### 5.1.2 Description de l'ensemble métasédimentaire

#### - **A1) Paragneiss à biotite**

Cette unité est présente sur l'ensemble de la zone d'étude (*figure 4* et *annexe*). Sur le terrain, elle a une étendue hectométrique à kilométrique, elle est généralement couverte d'une patine grise rouillée, très marquée au centre de la région d'étude et la partie ouest de la région, due à la présence des oxydes de fer (hématite) et des sulfures (pyrite). Elle a une texture foliée (gneissosité) avec alternance de niveaux sombres et de niveaux clairs. Microscopiquement, les niveaux sombres sont constitués surtout de biotite (> 35 %) à granulométrie variable (0,2 - 0,4 mm), tandis que les niveaux clairs sont à environ 30 % quartz xénomorphe (0,1- 0,2 mm), 25 % plagioclase séricitisé (0,4 mm) et 10% microcline (0,2 mm) (*figure 5A*). Cette unité correspond aux gneiss calco-magnésiens (1), gneiss mélanocrates (2) et gneiss alumineux à biotite (3) de Hogarth (1981).

#### - **A2) Paragneiss à grenat**

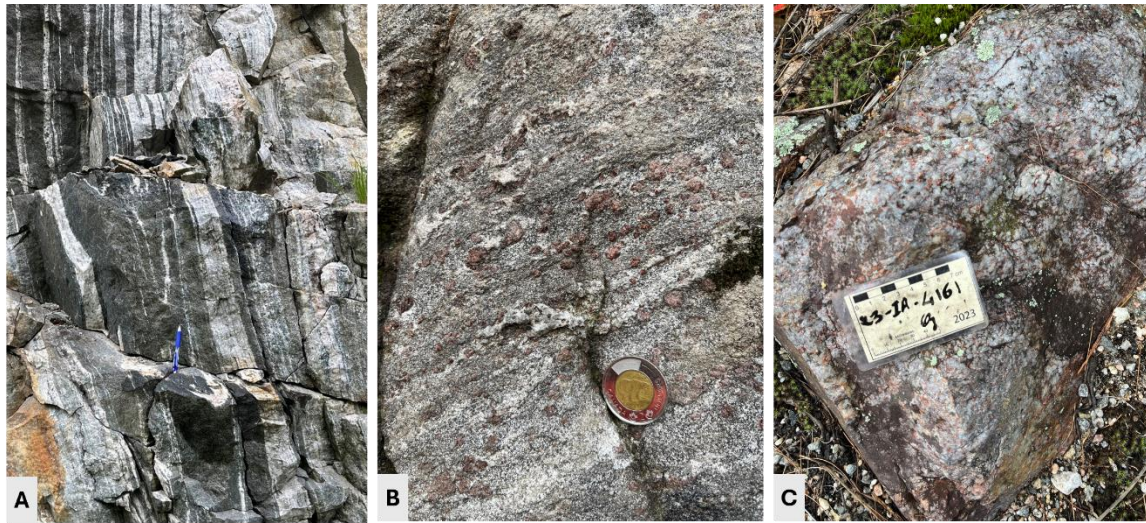
Cette unité affleure au cœur des paragneiss à biotite sous forme de lentilles décamétriques à kilométriques suivant la foliation régionale. Elle apparaît dans la partie SW du secteur d'étude et au nord de la ville de Quinnville (*figure 4*). Minéralogiquement, ce faciès est caractérisé par la présence de 10-25 % de grenat rouge-brun, globuleux, de type almandin, à granulométrie variable 2-10 mm

éparpillés sur des niveaux sombres foliés riches en biotite (*figure 5B*) alternant avec des niveaux clairs à quartz et feldspaths. Cette unité correspond au gneiss alumineux à grenat (3) de Hogarth (1981) quoique la sillimanite et la cordiérite n'ont pas été observées sur les affleurements levés ou en lames minces.

Sur le plan structural, les paragneiss à biotite et à grenat montrent une foliation (gneissosité) orientée NE-SW avec un pendage dominant vers le NW (*figures 4 et 6; annexe*).

- **B) Quartzite**

Les quartzites affleurent en bandes à direction générale NE-SW d'épaisseur métrique à décamétrique, partout dans la zone d'étude (*figure 4 et annexe*). Elles montrent généralement une patine blanche à grisâtre due à la présence du quartz (90%), une granulométrie grossière variant de 0,5 à 1 cm et une texture massive. Elles comprennent aussi des grains de biotite ou de phlogopite et des feldspaths potassiques roses à rouge de taille similaire au quartz (*figure 5C*). Ce faciès correspond à l'unité de quartzite (4) de Hogarth (1981).



**Figure 5 : Roches métasédimentaires silicatées. A : Paragneiss à biotite. Géofiche 23-IA-4030; B : Paragneiss à grenat. Géofiche 23-IA-4029; C : Quartzite à feldspath potassique et biotite. Géofiche 23-IA-4161.**

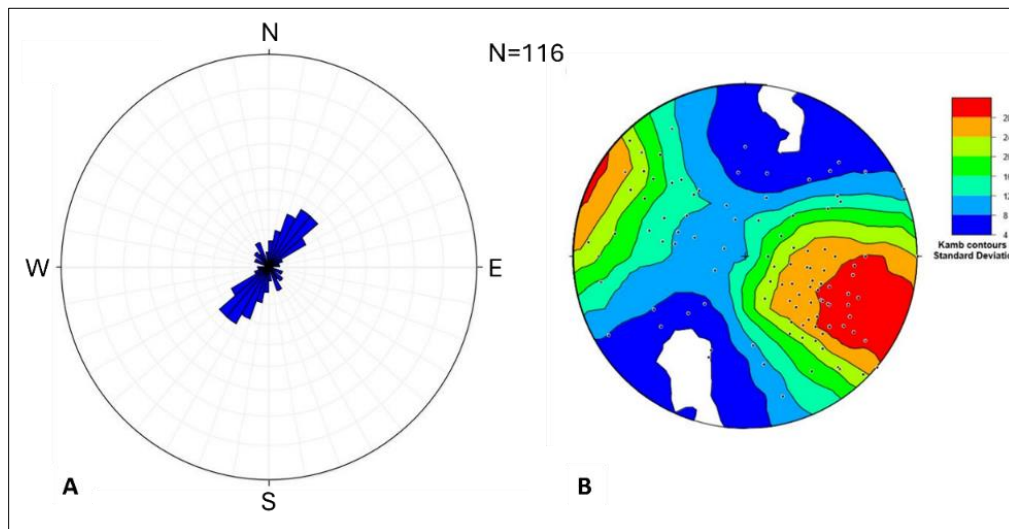


Figure 6: Rosace directionnelle (A) et projection polaire (B) (méthode de concentration polaire de Kamb) des foliations mesurées sur les gneiss.

#### - C) Marbre

Spatialement, l'unité de marbre d'apparence très variable se trouve sous forme de lentilles NE-SW, d'épaisseur métrique à décamétrique, en contact avec des paragneiss, des quartzites et des roches calco-silicatées (*figure 4* et *annexe*). Le marbre dans le secteur du lac Charbonneau - lac à la Perdrix (au nord central de la carte) est divisé en deux types de roches :

- Un faciès avec une texture granoblastique à foliée (*figure 7A*), composé de 50 à 70 % de cristaux de calcite blanche à rose (2 à 5 mm). De plus, les silicates représentent 10 à 30% avec des micas noirs (phlogopite) de 1 - 2 mm, de la clinopyroxène (diopside), de l'olivine et de l'amphibole. L'apatite (moins de 3 %) est présente dans la matrice carbonatée sous forme allongée d'environ 0,6 mm.
- Le second type se distingue par la serpentinitisation (*figures 7B, 7F*) des minéraux riches en fer et en magnésium (diopside ou olivine), représentant 30 à 50 % de la composition de la roche, accompagnée de grains de calcite à aspect poussiéreux (< 50 %).

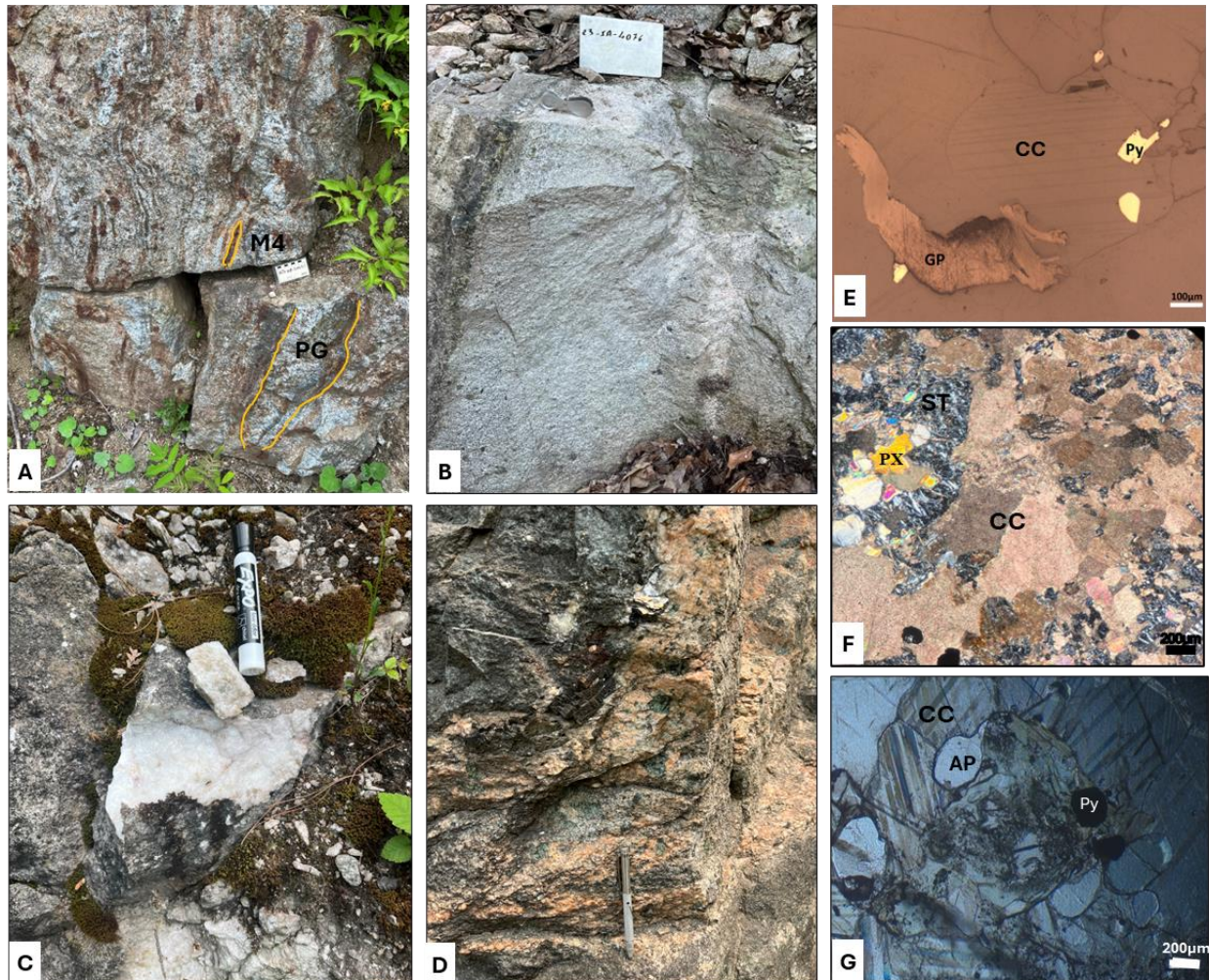
À l'est de la région étudiée (*figure 4* et *annexe*), en affleurement restreint, se trouve un marbre à dolomite (*figure 7C*) qui se distingue par sa surface gris foncé sur le terrain ainsi que par sa couleur blanche laiteuse cristalline en cassure fraîche. Ce marbre est principalement composé de plus de 90 % de dolomite (2 à 5 mm).

Au centre de la zone d'étude, notamment, affleurent des marbres à graphite (*figure 7E*). Ces marbres contiennent des fragments centimétriques à métriques de pegmatites enrichies en sulfures et en graphite, ainsi que des fragments de gneiss graphiteux rouillés, parfois plissés. Cette roche est foliée

et les bordures des fragments ne sont pas fénitisées, et donc elle est interprétée comme un marbre. À l'échelle microscopique, ces roches sont principalement constituées de calcite avec des disséminations de pyrite et de graphite sous forme de paillettes.

Au nord de la ville de Perkins près du Lac de McGregor (*figure 4 et annexe*), affleurent des marbres à veines de calcite orange millimétrique à centimétrique recristallisé avec des cristaux décimétriques d'apatite verte (*figures 7D, 7G*).

Ce faciès correspond à l'unité de marbre (5) de Hogarth (1981).



**Figure 7 : Photographies des marbres. A : Marbre folié avec des fragments de paragneiss (M4) et de granite pegmatitique (PG). Géofiche 23-IA-4043; B : Marbre serpentinisé. Géofiche 23-IA-4076; C : Marbre à dolomite. Géofiche 22-TG-3006; D : Veine de calcite orange recristallisée avec apatites vertes grossières. Géofiche 22-TG-3002; E : Marbre de la figure 7A montrant du graphite (GP) et de la pyrite (PY) observées microscopiquement en lumière réfléchie; F : Photomicrographie en LPA montrant la serpentinitisation (ST) de la diopside (PX) de l'échantillon de la figure 7B; G : Apatites (AP) globuleuse et pyrite (PY) dans une matrice de calcite (CC) en LPnA de l'échantillon de la figure 7D.**

- **D) Roches calco-silicatées**

Les roches calco-silicatées apparaissent en lentilles d'épaisseur métrique à décamétrique, suivant la même direction que les autres unités lithologiques et la foliation régionale. Elles se retrouvent surtout dans les parties ouest et centrale du secteur d'étude et sont en contact avec des paragneiss, des quartzites et des marbres (*figure 4 et annexe*). Ces roches se distinguent des autres roches carbonatées de la région (marbre, carbonatite) par leur texture équi-granulaire à porphyrique, (*figures 8A, 7B*), foliée par endroits, à minéraux jointifs et par la proportion des carbonates et des silicates. Dans ce sens, à l'échelle microscopique, leur minéralogie est définie par 15 à 25 % de grains de diopsides, prismatiques, globuleux et craquelés (0,2 - 1mm), des cristaux d'hornblende xénomorphes (< 10 %) (> 0,8 mm), 15 à 20 % de feldspath potassique (microcline) (0,2 – 2 mm) et du quartz (10 à 15 %) xénomorphe (< 15 mm). Le carbonate dominant est la calcite (0,2 – 1 mm) à proportion modale (15-25 %). Il forme des grains jointifs avec les silicates et des veinules tardives. Des minéraux accessoires sont observés, notamment de la titanite globuleuse (~ 0,1 mm), de la pyrite sub-automorphe à cubique (0,05 - 0,2 mm) et du grenat (*figures 8C, 8D, 8E*). Ce faciès correspond à l'unité de roches calco-silicatées (6) de Hogarth (1981).

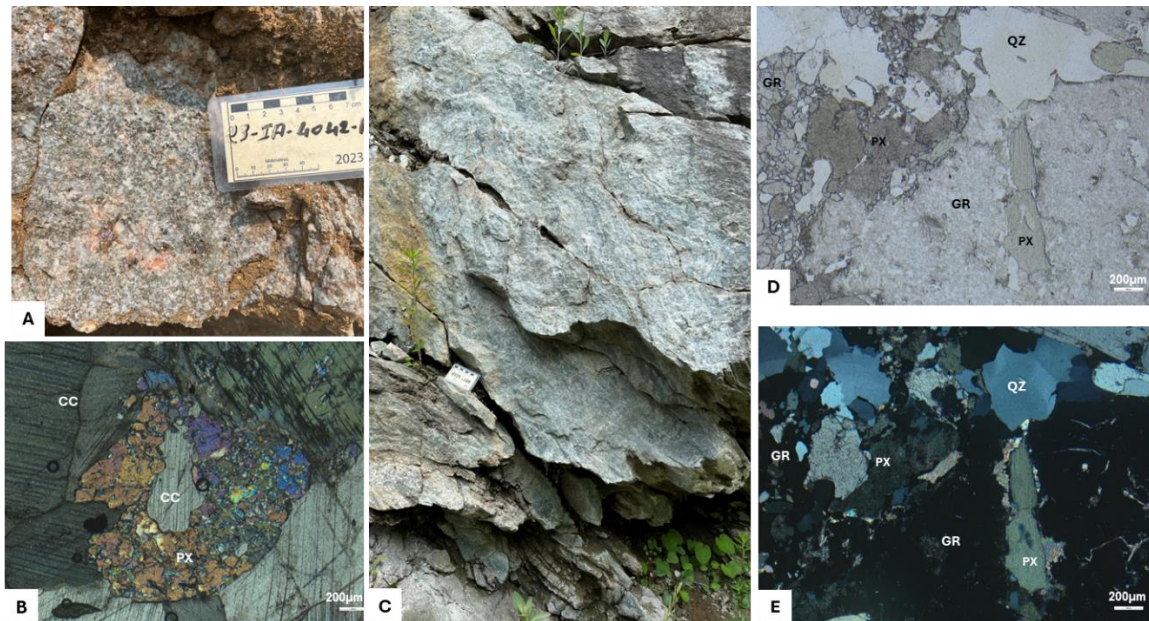


Figure 8 : Photographies des roches calco-silicatées. A : Roche calco-silicatée non foliée à calcite orange, et sa structure de remplacement des ferromagnésiens calciques (PX) observée microscopiquement en LPA (B). Géofiche 23-IA-4042; C : Roche calco-silicatée foliée macroscopiquement et montrant microscopiquement une minéralogie à grenat (GR), pyroxène (PX) et quartz (QZ). LPnA (D) et LPA (E). Géofiche 23-IA-4029.

### **5.1.3 Les roches intrusives felsiques**

#### **- Granite localement pegmatitique (E)**

Le magmatisme granitique se manifeste à travers le secteur d'étude sous forme d'intrusions elliptiques à grand axe orienté NNE-SSW et dykes métriques à décamétriques suivant une direction plus ou moins N-S (*figure 4* et *annexe*). Ces granites sont caractérisés par une granulométrie fine (0,2 à 1,2 mm) à pegmatitique (> 1 cm) équigranulaire et composés essentiellement de quartz (20 à 30%) et de feldspaths potassiques à couleur rose à rouge (microcline perthitique hématisé) (30 à 50%) (*figures 9A, 9B, 9C*), caractérisé par une macle quadrillée « *tartan twinning* » (combinaison des macles polysynthétiques de l'albite et du péricline). L'observation microscopique a également montré la présence de plagioclases (5 à 10 %) altérés en séricite. Des micas noirs (5 à 10 %) sont aussi observés dans ces roches. Dans le secteur de Quinnville, une orientation discrète de la biotite a permis de qualifier ces roches comme étant des orthogneiss ou des granites gneissiques par Hogarth (1981). Ce faciès correspond à l'unité de roches granitiques (8) de Hogarth (1981).

#### **- Dykes de syénite (H)**

La zone d'étude possède des occurrences restreintes de syénite qui affleurent de façon irrégulière (*annexe*). Parmi ces syénites, le plus grand dyke orienté N-S et de 10 à 25 m d'épaisseur, fut levé par Hogarth (1981) dans la partie centrale de la région. D'autres affleurements montrent quelques dykes moins puissants (< 10 m), recoupant l'ensemble gneissique et les granites (*figure 9D*). Ce faciès difficile à identifier se caractérise par une abondance en quartz (< 20 %), sa granulométrie fine et son intrusion dans des granites.

Minéralogiquement, la syénite quartzifère est constituée de 20 à 40 % de feldspath potassique (microcline et perthite de 0,4 à 1,5 mm de taille), 15-25 % de plagioclase séricitisé (~ 1 mm), <20% de quartz (0,5 - 1,5 mm), 5 à 10 % de biotite (0,2 - 0,8 mm) peu chloritisée, < 5% magnétite et < 5% pyroxène. Ce faciès est également caractérisé par la présence locale de plage de grenat. Il correspond à l'unité de dykes post-tectoniques (10a) de Hogarth (1981).

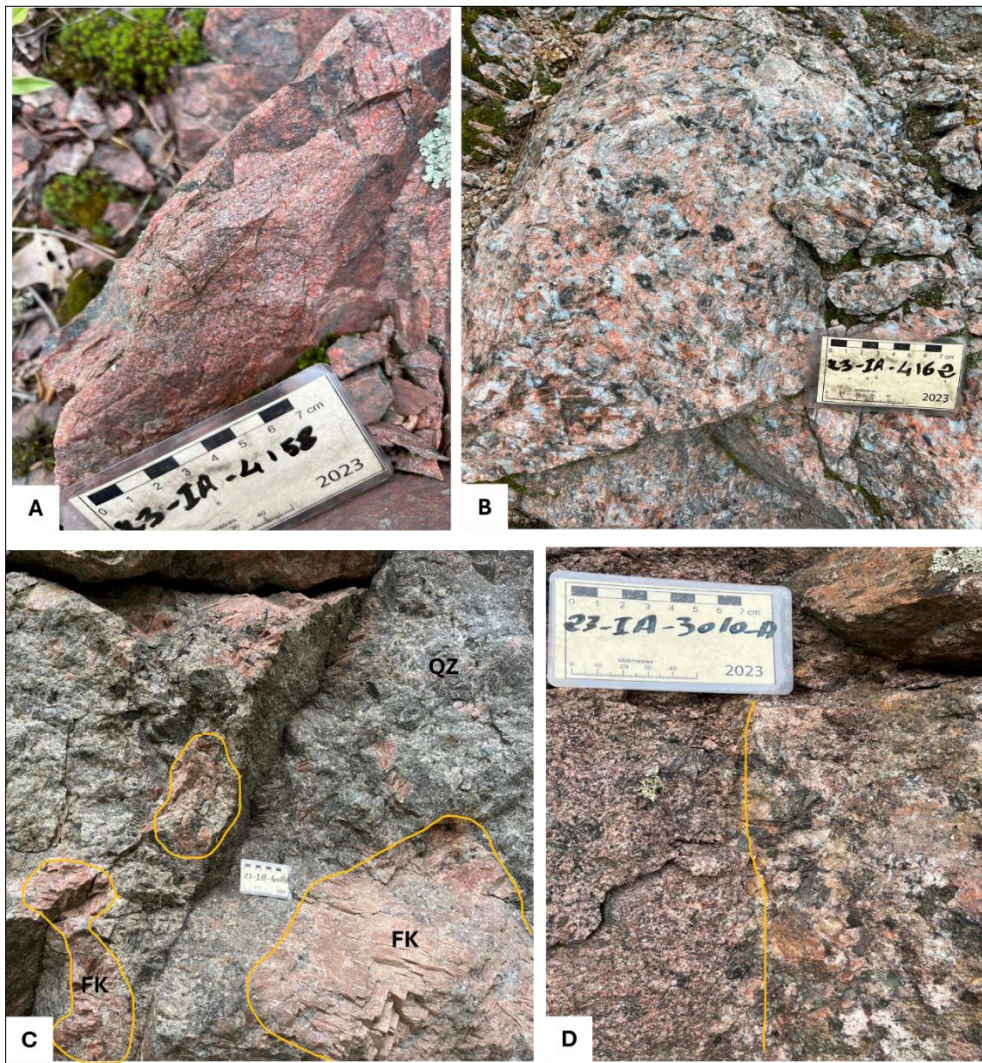


Figure 9: Roches granitiques. A : Granite rouge hématisé. Géofiche 23-IA-4158; B : Granite grossier à quartz, biotite et feldspath potassique rose. Géofiche 23-IA-4162; C : Pegmatite à quartz gris (QZ) et cristaux décimétriques de feldspath potassique (FK). Géofiche 23-IA-4028; D : Contact entre faciès syénitique quartzifère rose fin (à gauche) et granite grossier. Géofiche 23-IA-3010.

#### 5.1.4 Dykes de carbonatite et fénites

##### - Fénites (F) et carbonatites (G)

Les levés cartographiques de Legault et al. (2021, 2022) ainsi que dans cette étude ont révélé des affleurements de carbonatites non répertoriés par Hogarth (1981). Ils se présentent sous forme de dykes d'épaisseur centimétrique à métrique avec une texture massive à bréchique. Ils sont orientés généralement NNE-SSW à NE-SW (figure 10). Ces dykes sont encaissés dans des paragneiss, des quartzites et des granites. L'extension des dykes est décamétrique, voire kilométrique. Cependant, le

manque d’affleurements et la faible épaisseur de ces dykes ne permettent pas une extrapolation évidente de ces dykes. De plus, le contact intrusif avec l’encaissant n’est pas toujours visible et mesurable. Sur le terrain, ces dykes ont une patine blanc-grisâtre à rougeâtre (*Tableau 2*). Ils se distinguent par une granulométrie fine à moyenne (< 2 mm), une texture massive à bréchique (fragments centimétriques) et non foliée (*figures 11 à 14*).

La fénitisation dans le secteur à l’étude se définit par un remplacement des minéraux métamorphiques par des minéraux riches en potassium (microcline, phlogopite/biotite) et/ou sodium (clinopyroxène et amphibole sodique). Parfois, on observe une association spatiale entre une carbonatite et une fénitisation, dans d’autres cas la carbonatite n’est pas présente au centre de la fénite. La fénitisation est observée dans des quartzites, des paragneiss et dans des granites.

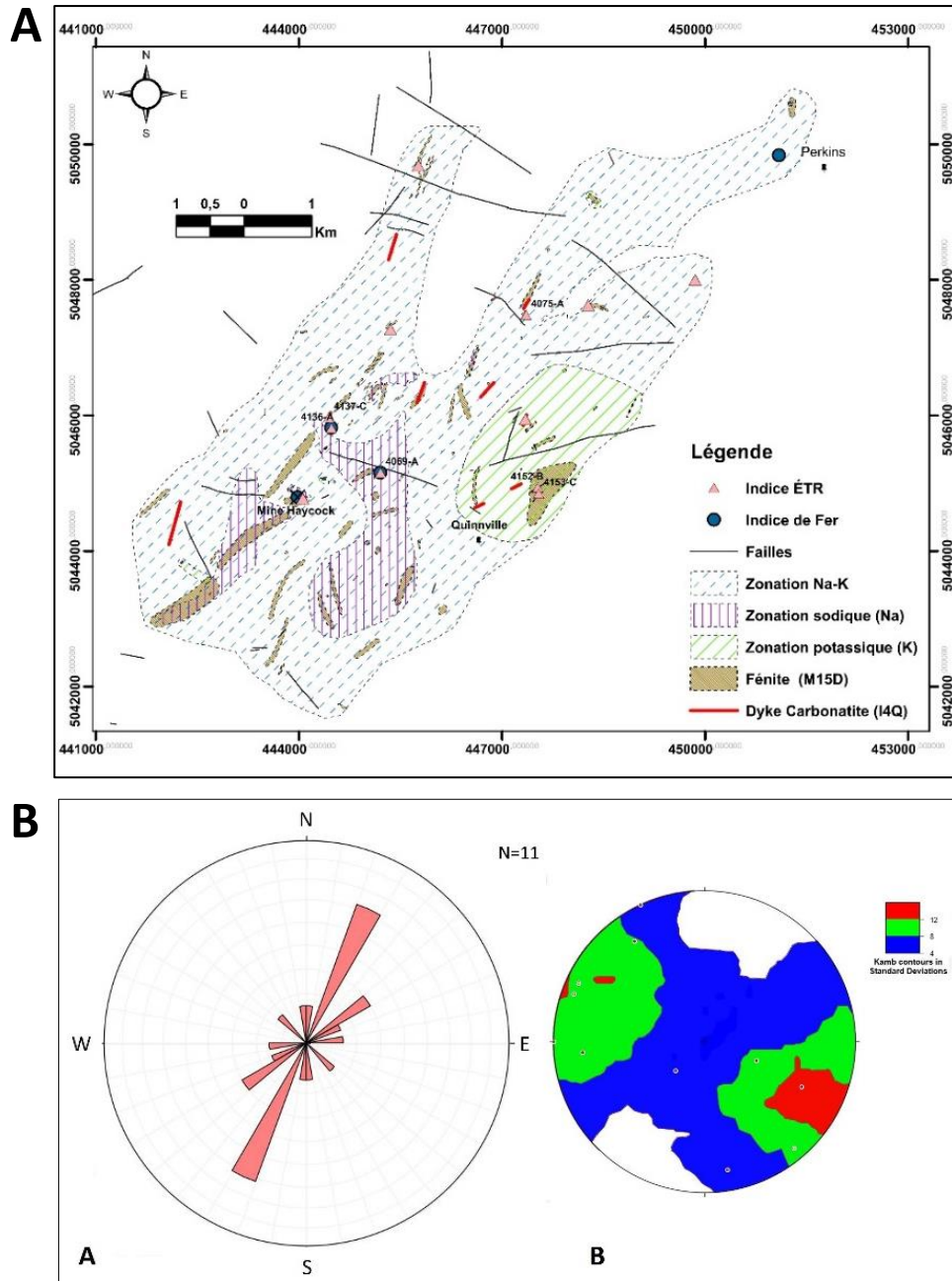


Figure 10 : A) Distribution des dykes de carbonatite et des zones de fénitisation d'échelle décimétrique à hectométrique. B) Rosace directionnelle et projection polaire (méthode de concentration polaire de Kamb) des dykes de carbonatite mesurés dans le cadre de ce projet.

## 5.2 Caractérisation pétro-géochimique des dykes de carbonatite

### 5.2.1 Minéralogie

- Les dykes de carbonatite

Minéralogiquement, les carbonatites sont principalement faites de 50-80 % de carbonates, dominés par la calcite et peu de dolomite. Microscopiquement, ils présentent des cristaux de carbonates xénomorphes (0,1 à 1 mm), jointifs, à aspect poussiéreux ou trouble, dus à l'altération par des oxydes de fer (*figures 11 et 14*). Des apatites (0,1 à 0,2 mm) sont également fréquentes (5 - 10%) ainsi que de la barytine (5 - 10%) associée essentiellement aux oxydes de fer. De plus, on observe des silicates tels que la phlogopite/biotite (5 - 10 %) ainsi que la présence de microcline et du quartz en faible proportion (< 5%). De plus, les minéraux de terres rares (<1%) sont généralement des carbonates d'ÉTR et des monazites. Les carbonatites encaissées dans des granites sont plus minéralisées en ÉTR par rapport à l'encaissant paragneissique (*Tableau 2*). La même observation peut être faite pour la carbonatite à encaissant fénitisé versus un encaissant non-fénitisé (*Tableau 2*).

**Tableau 2: Description pétrographique des carbonatites du secteur d'étude. Abréviations :**  
 AM =amphibole, AP=apatite, BR=barytine, CB=carbonates, CC=calcite, CB-ÉTR= carbonates d'ÉTR, DL= dolomite, FP= feldspath, HM=hématite, ML= microcline, Mx-ÉTR= minéraux des terres rares, MV= muscovite, MZ= monazite, PH= phlogopite, PX= pyroxène, QZ= quartz, RL= rutile.

Géofiche	Texture	Minéralogie	Épaisseur des dykes	Encaissant	ÉTR <sub>total</sub> (ppm)	Bordure
21-LD-1004	Massive	CC, AP, BR, HM, Mx-ÉTR	10-20 m	Granite gneissique	11 435	Non observable
21-LD-1006	Bréchique	CB, AP, AM, PX, MV, HM	2-5 m	Paragneiss	924	Non observable
22-TG-3031	Bréchique	CC, PX	2-10 m	Paragneiss	437	Non-fénitisée
22-TG-3039	Massive à Bréchique	CC, HM	2-10 m	Paragneiss	59	Non-fénitisée
23-IA-4069	Massive	CC, AP, BR, PH, HM, RL, CB-ÉTR, MZ	20 cm	Paragneiss	7 162	Fénitisée
23-IA-4074	Massive	CC, PH, AM, PX	5 m	Marbre/Quartzite	1 063	Fénitisée
23-IA-4137	Bréchique	CC, DL, AP, BR, PH, MZ, CB-ÉTR	50-70 cm	Granite-pegmatite	5 073	Fénitisée
23-IA-4152	Bréchique	CB, AP, ML, BR, HM, Mx-ÉTR	Bloc centimétrique	Granite gneissique	2 153	Fénitisée
23-IA-4153	Bréchique	CC, AP, ML, PH, HM	Bloc centimétrique	Granite gneissique	1 840	Fénitisée
23-IA-4155	Massive	CC, QZ, AP, FP	Bloc centimétrique	Granite gneissique	85	Non-fénitisée
23-IA-4180	Massive	CC, AP, HM	Bloc centimétrique	Brèche fénitisée	768	Fénitisée

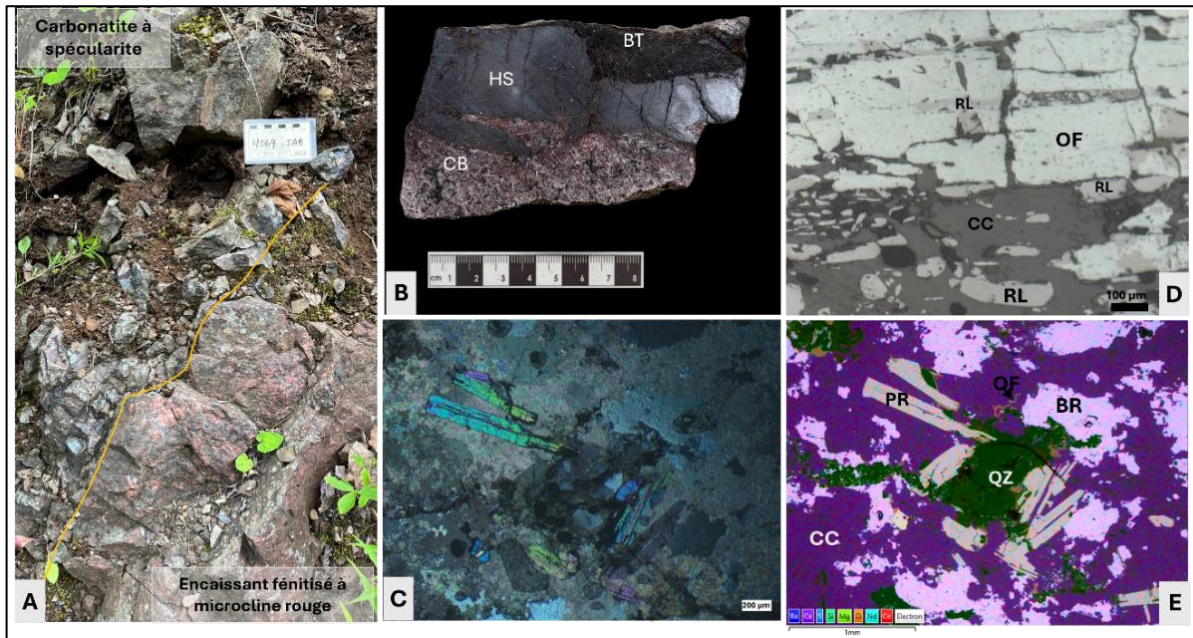


Figure 11 : Images photographiques de la carbonatite à spécularite (géofiche 23-IA-4069). A : Affleurement de la carbonatite d'épaisseur décimétrique à spécularite avec un contact fénitisé potassique avec l'encaissant. B : Section de la carbonatite à spécularite (HS); C : Observation de la matrice carbonatée à cristaux aciculaires de carbonates d'ÉTR (parisite) en lumière transmise (LPA) et par cartographie des rayons X au MEB-EDS (E); D : Observation microscopique en lumière réfléchie de la spécularite (OF) associé à des oxydes de titane (rutile) (RL). Abréviations : BR=barytine, CB=carbonates, CC=calcite, HS= spécularite, OF= oxyde de fer, PR= parisite, QZ= quartz, RL= rutile. Voir figure 10 pour localisation.



Figure 12 : Illustration d'une coupe schématique montrant un dyke de carbonatite et la fénitisation associée et un zoom sur l'aspect bréchiqque de la carbonatite (photo à droite). Géofiche 23-IA-4137. Abréviations : AM =amphibole sodique, ML= microcline, PX= pyroxène sodique. Voir figure 10 pour localisation.

- **Les enclaves**
  - **Enclaves de gneiss**

Les enclaves dans certaines carbonatites sont par endroits des paragneiss mélanocrates (riche en biotite) foliées et mesurant entre 2 cm à 1 m. Ces enclaves sont fortement anguleuses suggérant une bréchification lors de la mise en place du liquide carbonaté (*figure 13*).



**Figure 13: Enclaves gneissiques dans la carbonatite de Leclerc. A : Fragments fragiles centimétriques de paragneiss dans la carbonatite montrant de la calcite rose orangée recristallisée à l'écart de ceux-ci. Géofiche 22-TG-3031. B : Fragments sub-arrondis à anguleux montrant une grande variabilité de taille. Géofiche 22-TG-3032.**

- **Enclaves de granite fénitisé**

Dans d'autres cas, le contact entre les enclaves et la matrice carbonatée se distingue par une couronne mélanocrate suggérant une réaction entre les 2 types de roches. Cette couronne noire est généralement faite de phlogopite (0,1 - 0,4 mm) et accessoirement d'apatite avec une frange riche en apatite et en monazite (0,05 - 0,2 mm) séparant la carbonatite des fragments fénitisés (*figure 14*).

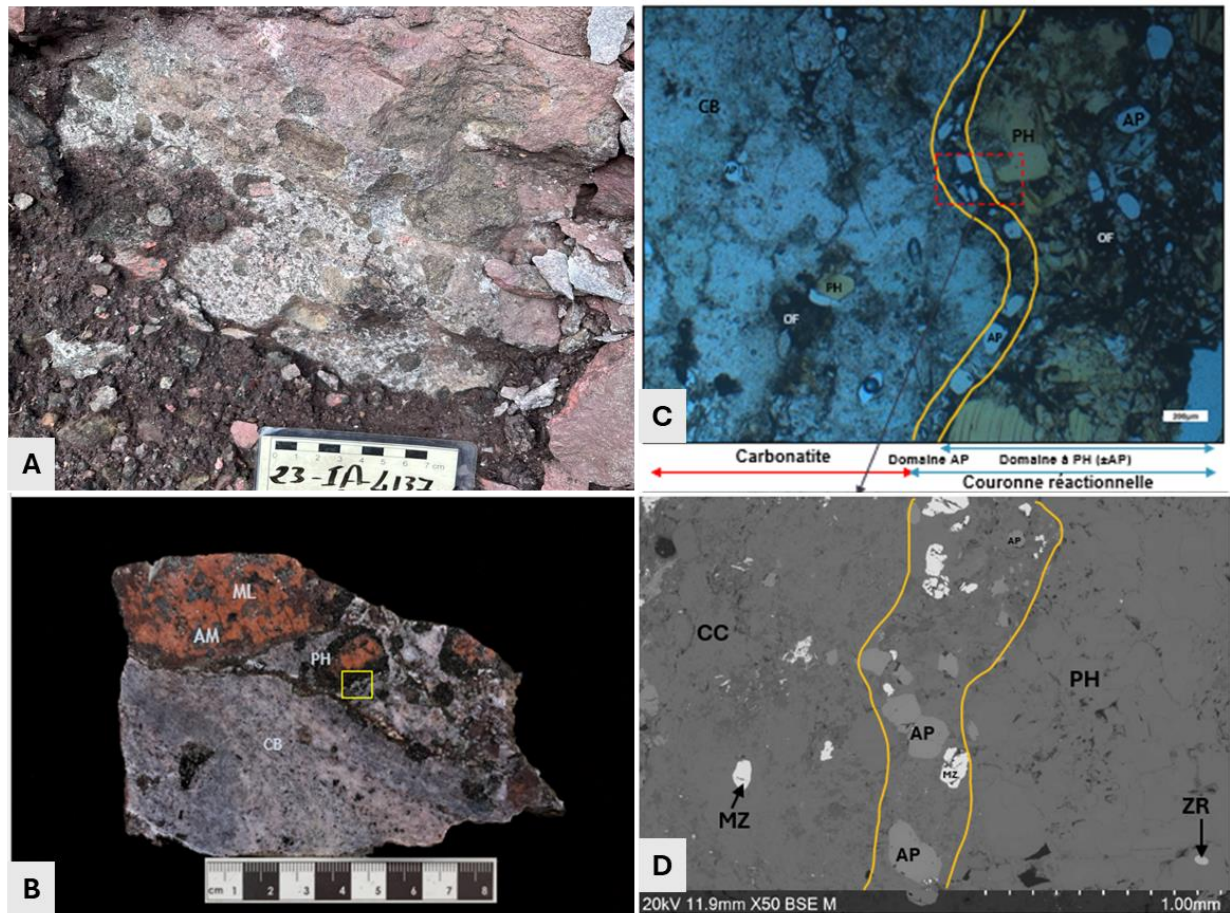


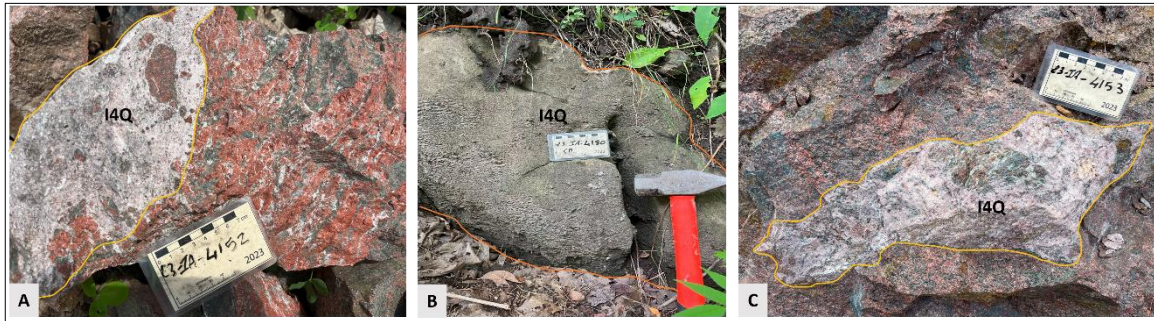
Figure 14 : Photomicrographies montrant des fragments fénitisés dans une carbonatite. A : Dyke de carbonatite avec fragments fénitisés recoupant un granite à grains moyens. B : Section sciée de la carbonatite où la couronne réactionnelle (noir) riche en phlogopite (PH) est observée autour des fragments. C : Examen microscopique montrant le contact entre les carbonates (CB) de la carbonatite et un fragment fénitisé à couronne réactionnelle riche en phlogopite (PH) et en apatite (AP). LPnA. D : Image de MEB-BSE montrant les grains de monazite (MZ) et d'apatite (AP) dans la couronne réactionnelle et la carbonatite riche en calcite (CC). Abréviations : AM =amphibole, ML= microcline, OF= oxydes de fer. Géofiche 23-IA-4137. Voir figure 10 pour localisation.

- **Lentilles bréchiques et blocs de carbonatites**

À l'est de Quinnville (géofiches 23-IA-4152 et 4153) (figure 10), on trouve des fragments de carbonatites de taille centimétrique qui sont contenus dans une matrice de granite pegmatitique montrant une forte fénitisation potassique rougeâtre caractérisée par une abondance de microcline et d'hématite (figures 15A, 15C).

Dans la partie SE du secteur d'étude, au centre de Quinnville (géofiche 23-IA-4180) (figure 10), des blocs détachés de carbonatites présentant un encroustement grisâtre dans des sédiments meubles (figure 15B) ont une dimension variant de (L = 20 cm x l = 10 cm) à (L = 0,5 m x l = 0,3 m). Au niveau

microscopique, la calcite prédomine (> 75 %), avec une granulométrie entre 0,1 à 1 mm. Elle présente un aspect poussiéreux et trouble, principalement dû à l'altération par les oxydes de fer en dissémination (10 µm à 50 µm) ou en veinules. En outre, les apatites, représentant entre 10 à 15 %, ont une taille prédominante comprise entre 50 et 100 µm avec quelques grains prismatiques isolés atteignant 0,5 mm. Les apatites sont intergranulaires ou incluses dans les cristaux de carbonates.



**Figure 15 : Photomicrographies de carbonatites (I4Q) sous forme de fragments bréchiques (A et C) (géofiches 23-IA-4152 et 23-IA-4153 respectivement) et de bloc détaché (B) (géofiche 23-IA-4180).**

### 5.2.2 Lithogéochimie

- **Éléments majeurs**

La projection des éléments majeurs (CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO) des carbonatites dans le diagramme ternaire de Woolley & Kempe (1989) permet de classer les carbonatites du nord de Gatineau comme des calciocarbonatites, sauf un échantillon qui appartient au champ des magnésiocarbonatites (*figure 16A*). Les concentrations ont été corrigées afin de soustraire la contribution des autres minéraux (c. à d. autres que les carbonates) à cette classification.

Les carbonatites analysées montrent les caractéristiques suivantes :

- Une teneur en SiO<sub>2</sub> inférieure à 20 % en poids (ceux à texture bréchique peuvent être supérieures à 20 %);
- Une concentration en CaO variant entre 35 % et 55 % en poids à l'exception de la carbonatite de Quinville (échantillon LD-1004A) qui affiche 22 % de CaO et 13 % de MgO indiquant la présence de dolomite;
- Une teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> comprise entre 1 % et 2,6 % en poids et liée surtout à la présence d'apatite.

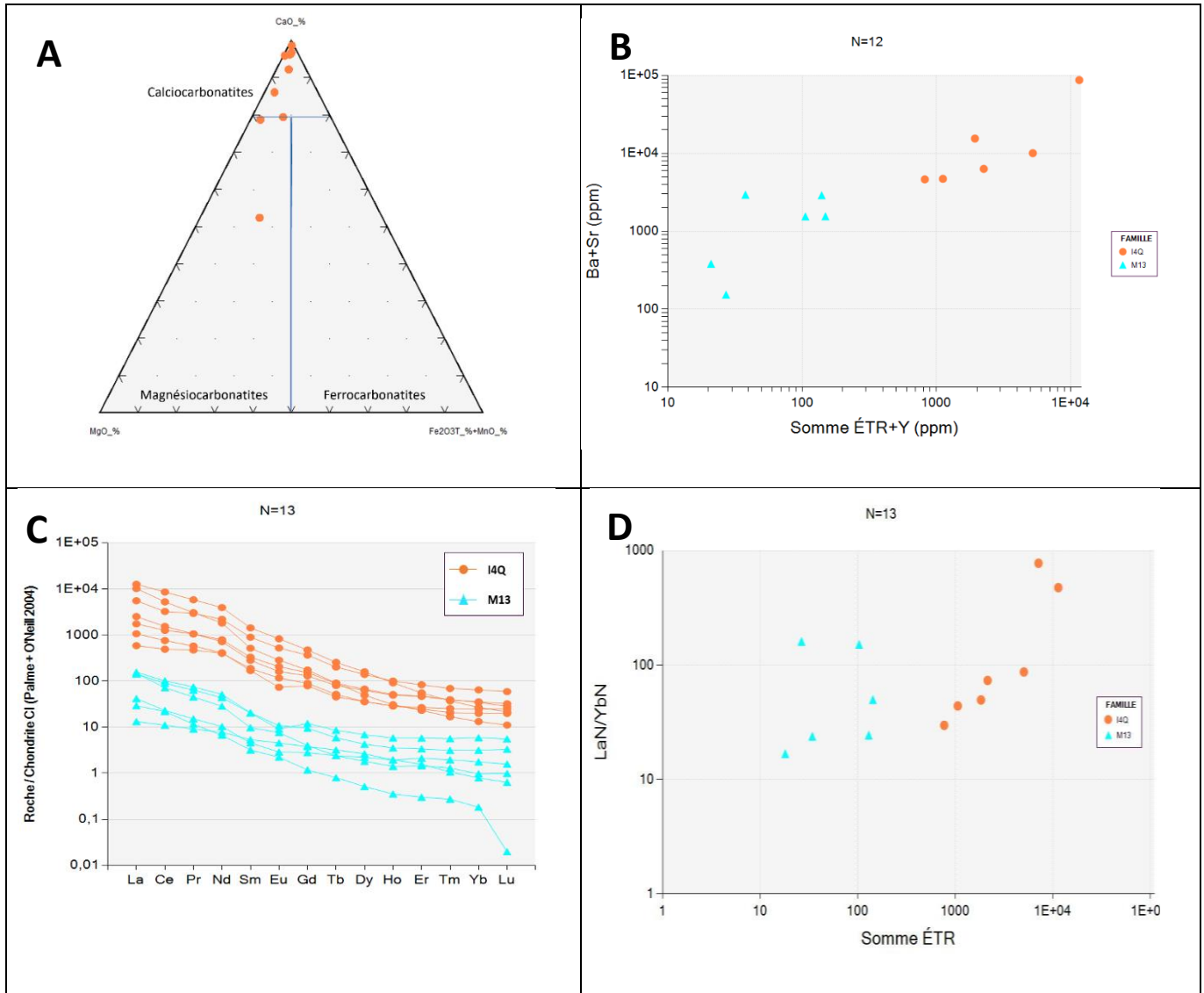
- **Éléments traces**

Les carbonatites sont généralement enrichies en ÉTR<sub>total</sub> (> 400 ppm), Sr (< 0,52 %), Ba (< 11%) (*figure 16B*). Le profil des spectres des ÉTR et le diagramme (La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>) versus ÉTR<sub>total</sub> (*figures 16C, 16D*) montrent des variations importantes indiquant un fractionnement des terres rares légères (LREE) par

**Cartographie des carbonatites et des fénites au nord de Gatineau et leurs potentiels en éléments de terres rares (ÉTR), Province de Grenville  
PU-2020-12-1355B**

rapport aux terres rares lourdes (HREE) pour les carbonatites. Ces trois diagrammes montrent que les marbres sont moins riches en ÉTR que les carbonatites, mais les 2 types de roches se caractérisent par un enrichissement en ÉTR légères et un appauvrissement en ÉTR lourdes (*figures 16C, 16D*).

Les carbonatites du nord de Gatineau montrent un appauvrissement notable en d'autres éléments généralement associés avec les carbonatites, soit le niobium (< 12,1 ppm), le tantale (< 1 ppm), le thorium (< 46 ppm) et l'yttrium (< 150 ppm).



**Figure 16. A : Diagramme ternaire de classification des carbonatites en fonction des éléments majeurs CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO (Woolley & Kempe, 1989). La contribution autre que des carbonates a été soustraite des concentrations des oxydes; B : Diagramme Ba+Sr vs ÉTR<sub>total</sub> + Y montrant l'enrichissement des carbonatites (I4Q : cercles orange) en ÉTR et Ba+Sr par rapport aux marbres (M13 : triangles bleus); C : Spectres de fractionnement des ÉTR dans les carbonatites et les marbres normalisés par rapport une chondrite C1; D : Diagramme ratio La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> versus somme ÉTR. Facteurs de normalisation de Palme et Jones (2004) pour figures 16C et 16D.**

### **5.3 Caractérisation pétro-géochimique et radiométrique des fénites**

#### **5.3.1 Zonation minéralogique et chimique des fénites**

La fénitisation est observée dans des quartzites, des paragneiss et des granites. Les fénites sont sous forme lenticulaire ou de veines à grains fins (< 0,4 mm).

On distingue 3 faciès de fénitisation, chimiquement et minéralogiquement distincts, et d'intensité variable, selon l'enrichissement en alcalins et par l'abondance des minéraux (potassiques ou sodiques) (*figure 17*). On note ainsi :

- Une fénitisation potassique (K) (> 8 % K<sub>2</sub>O);
- Une fénitisation sodique (Na) (> 4 % Na<sub>2</sub>O);
- Une fénitisation K-Na (5 < K<sub>2</sub>O % < 8 et 1 < Na<sub>2</sub>O % < 4).

La fénitisation est dominée par des microclines hématisés et rougeâtres, des phlogopites brunâtres, des aegirines vert pistache ainsi des amphiboles magnésio-sodiques bleues avec plus rarement de la calcite, barytine, apatite et des minéraux d'éléments de terres rares.

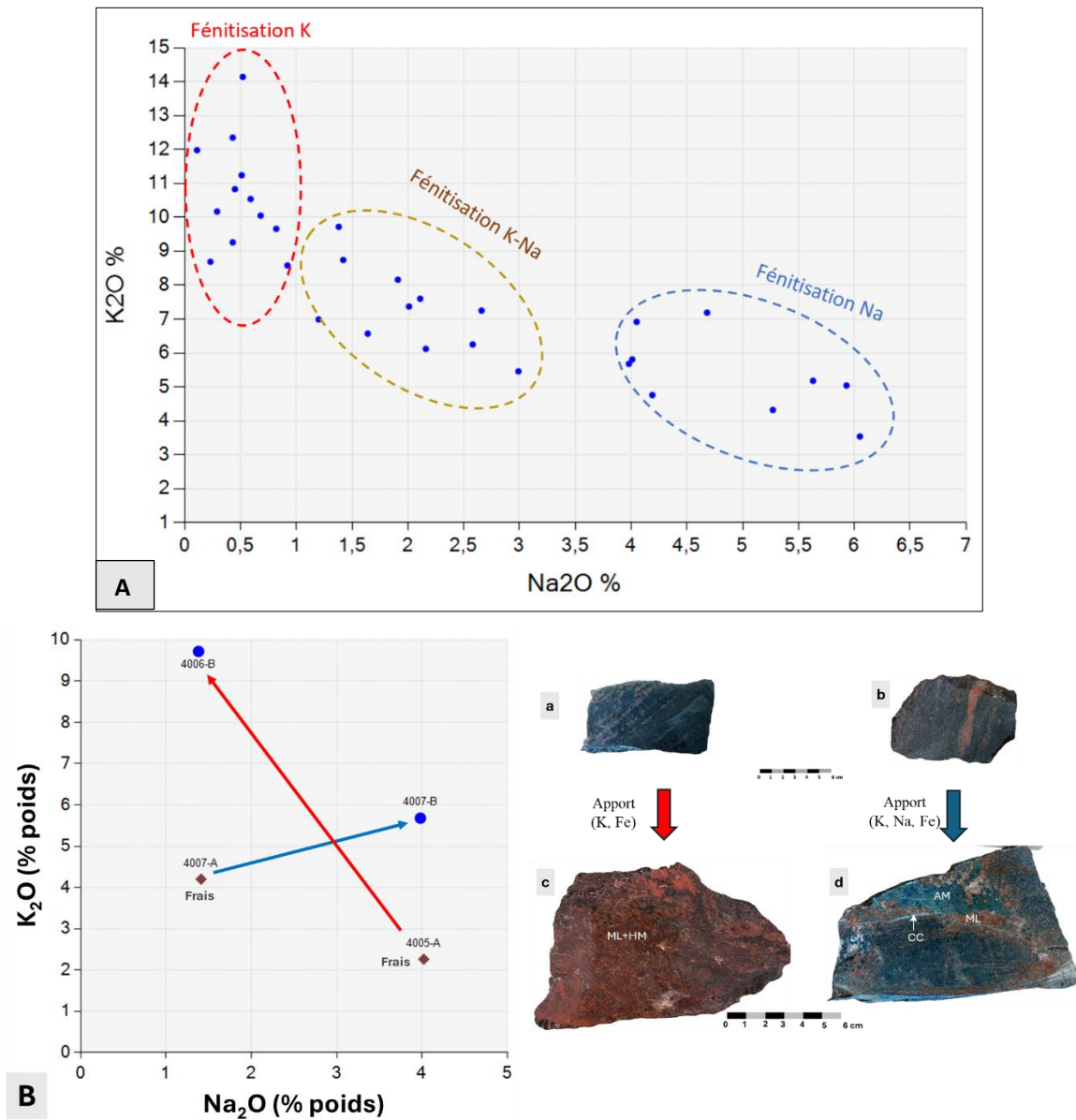


Figure 17 : A : Diagramme  $K_2O-Na_2O$  divisant les fénitisations potassique, sodique et sodique-potassique; B : Diagramme  $K_2O-Na_2O$  montrant une fénitisation potassique (échantillon 23-IA-4006B (c) fénitisé en microcline (ML) et hématite (HM) versus échantillon 23-IA-4005A (a) de gneiss frais) et une fénitisation sodique (échantillon 23-IA-4007B (d) fénitisé en amphibole bleue (AM) et mineur en microcline (ML) et calcite (CC) versus échantillon 23-IA-4007A (b) de gneiss frais).

**a. Fénitisation potassique pervasive**

- À microcline-oxydes de fer (K, Fe)

Sur le terrain, le microcline est bien visible dans les différentes roches de l'encaissant par sa couleur rouge (figures 18A, 18B, 18C). Une distinction visuelle entre microclines primaires et secondaires est peu évidente, notamment dans les granites peu déformés.

Dans les quartzites, la fénitisation apparaît comme un encroutement rougeâtre dans une matrice siliceuse (altération pervasive) ou comme des veinules millimétriques tardives (*figure 6C*).

Microscopiquement, le microcline se distingue par des plages à aspect poussiéreux brun-noir en lumière polarisée non analysée (LPnA) et par l'absence ou la difficulté à discerner les macles quadrillées, typiques de ce minéral en LPA (*figure 18D*). Ce critère optique distinctif fut démontré dans les secteurs de Rainville Creek (Erdmer, 1977) et Quinnville (Leclair, 1988) par des analyses de cathodoluminescence permettant de discriminer un microcline primaire à macle quadrillée bien visible et un microcline de métasomatisme non maclé. Par conséquent, le microcline de fénite serait bien distingué du microcline primaire des granites. De plus, les oxydes de fer sont disséminés ou forment de veinules le long des plans de clivage et des fissures du microcline de fénite.

La fénitisation intense à microcline est marquée par une précipitation de la spécularite associée à des oxydes de titane (rutile) (*Figures 11A, 11B, 11D*).

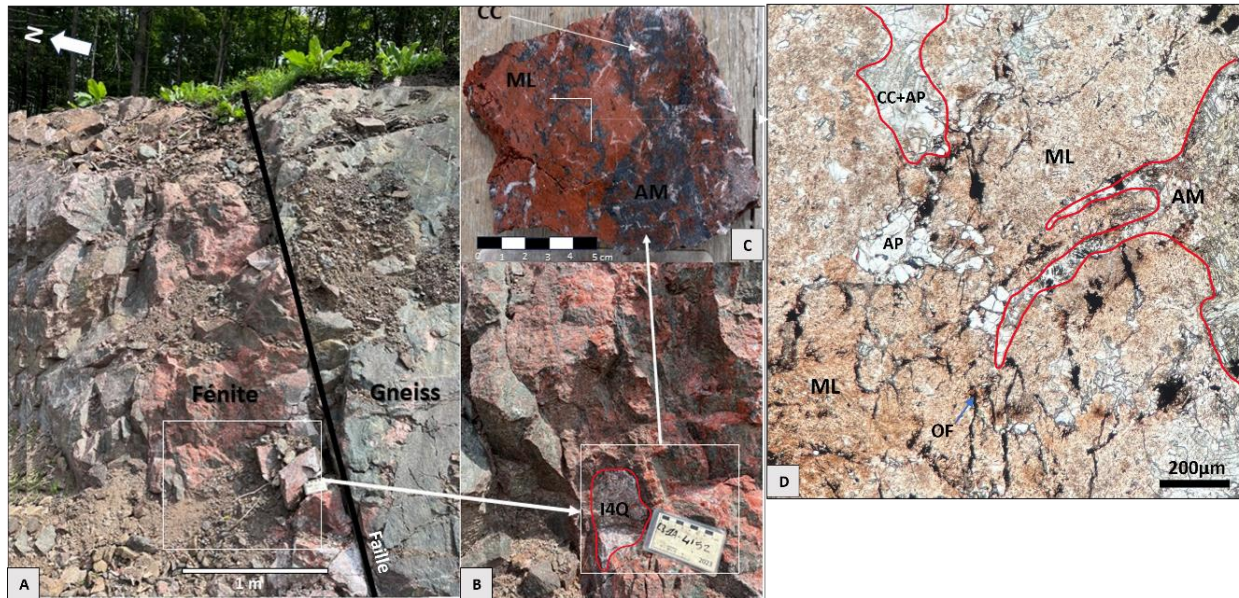
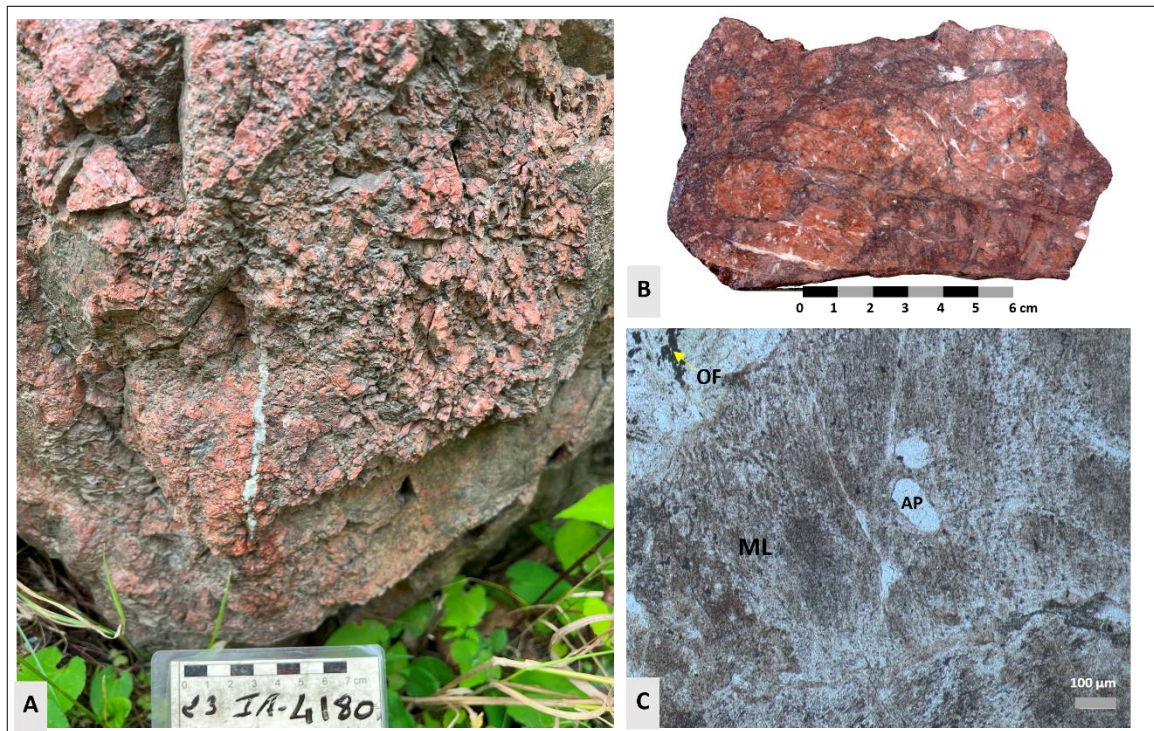


Figure 18 : Photomicrographies de roches de l’affleurement de la géofiche 23-IA-4152. A : Forte fénitisation potassique recoupée par une faille juxtaposant un gneiss peu altéré. B : Vue rapprochée de la zone fénitisée montrant un fragment de carbonatite (I4Q). C) Fénitisation sodique tardive en veinules d’amphibole bleue qui recoupe l’altération potassique à microcline rouge. D : Aspect brun-poussièreux du microcline (ML) au microscope optique (LPnA) affectée par des veinules d’oxyde de fer (OF). On note également la présence de grains d’apatite (AP). Abréviations : AM =amphibole, CC=calcite.

- Brèche riche en feldspaths potassiques

Une brèche potassique affleure dans la ville de Quinville (géofiche 23-IA-4180) (figure 19). Elle mesure 5 à 10 m de largeur et elle se caractérise par une texture bréchique composée de fragments centimétriques (2 mm à 7 cm) anguleux monolithiques (granite) fénitisés avec un ciment à microcline, oxydes de fer et d’apatite (10 - 20 μm). En outre de la calcite tardive forme de veinules qui recoupe l’ensemble.



**Figure 19 : Brèche à feldspaths potassiques et veinules tardives de calcite (A); B : échantillon de brèche analysé; C : vue microscopique en LPnA de l'aspect poussiéreux du microcline hématisé avec des grains d'apatite subarrondis en inclusions (C). Abréviations : AP=apatite, OF=oxydes de fer, ML=microcline.**

- À phlogopite

La fénite potassique à phlogopite est bien distinguée dans la zone d'étude, mais sa relation avec le faciès à microcline n'est observée que par endroits. Elle apparaît tardivement et remplace le feldspath potassique (figures 20A, 20E, 20F).

La phlogopite est un mica brun-noir potassique riche en Mg par rapport à la biotite. Dans le secteur d'étude, elle se concentre sous forme d'agrégats millimétriques à centimétriques, essentiellement au contact des dykes de carbonatite (figures 12 et 14) et des paragneiss friables. Elle apparaît subautomorphe, non foliée et est localement associée à une hématisation.

La phlogopite se trouve aussi en faibles proportions (< 5 %) dans la matrice à calcite des carbonatites. Par endroits, dans les zones de fénitisation, de fortes concentrations de phlogopite (> 90%) donnent naissance à la glimmérite (Elliott et al., 2018), observée au nord de Perkins (géofiche 23-IA-4000) et dans la partie nord-ouest de la région (géofiche 23-IA-4121) (figure 21A). Microscopiquement, la phlogopite montre un faible pléochroïsme (jaune-brun pâle) par rapport à la biotite très pléochroïque dans le brun. L'analyse chimique ponctuelle par MEB-EDS indique des ratios  $Fe/(Fe+Mg) < 0,33$  pour les phlogopites; et des ratios  $> 0,33$  pour les biotites (Deer et al., 1992).

**b. Fénitisation sodique**

- À aegirine

La fénite à aegirine est bien visible dans la région d'étude, en particulier dans la partie occidentale (région de Cantley). En revanche, l'altération en aegirine est moins présente dans la zone orientale. Les observations de terrain et au microscope suggèrent que l'aegirine remplace les amphiboles bleues (aegirinisaiton des amphiboles) (*figures 20C, 20D*).

À l'échelle de l'affleurement, l'aegirine se distingue par sa teinte vert pistache. Elle apparaît sous forme de cristaux millimétriques à centimétriques, formant des agrégats fibreux ou fibreux radiés (*figure 21B*), souvent plaqués sur les surfaces et plans de clivage des feldspaths des granites, ou encore sous forme de veinules verdâtres.

Microscopiquement, l'aegirine est sous forme de prismes pléochroïques dans le vert avec une couleur d'interférence variant du deuxième au troisième ordre (allant du vert au rose-crème). Toutefois, elle se présente également sous forme de matrice non cristallisée, sombrement jaunâtre, associée à des oxydes de fer et bordant des amphiboles bleues enchevêtrées par endroits.

- À amphibole sodique bleue

La fénitisation à amphibole sodique est largement observée dans le secteur d'étude. Sur le terrain, l'amphibole sodique se présente sous forme d'agrégats cristallins, affichant des teintes allant du bleu clair au bleu sombre (*figures 18B, 20C, 20E*). Ces cristaux forment de veines millimétriques à centimétriques (< 15 cm) sans orientation préférentielle notable.

Les observations au microscope révèlent des cristaux subautomorphes de taille variable (0,1 – 2 mm). Localement des échantillons montrent une amphibole à forme fibreuse en rosettes (*figure 20F*). Les cristaux sont pléochroïques du jaune pâle au bleu avec des couleurs d'interférence dans les teintes jaune-brun et bleu.

La caractérisation chimique et minéralogique, des amphiboles sodiques au nord de Gatineau, a été déjà décrite par Hogarth (1987) et Hogarth et al. (1984). Ces études ont permis d'identifier trois phases d'amphiboles sodiques. La magnésio-arfvedsonite, la magnésio-riébeckite et la richtérite contiennent des proportions de sodium similaires ( $5,88 < \text{Na}_2\text{O} \% < 7,60$ ) tandis qu'une variation relative en potassium (K), fluor (F), magnésium (Mg) et en fer (Fe), est documentée. Notamment, la magnésio-arfvedsonite est plus potassique à 4,27 % en poids  $\text{K}_2\text{O}$  versus 2,84 % en poids pour la richtérite.

Localement, une altération météoritique de ces amphiboles en amiante gris-bleu a été clairement observée et cet amiante est interprété comme de la crocidolite (*figure 21C*).

**c. Féritisation Na-K**

Spatialement, la féritisation Na-K est très étendue (*figure 10*). Elle englobe la présence des fénites à minéraux sodique et potassique sur le même affleurement (aegirine-phlogopite ou microcline-amphibole sodique) (*figures 14, 18, 20 et 21D*). L'intérêt d'étudier ces roches Na-K vise à identifier la chronologie des phases d'altération.

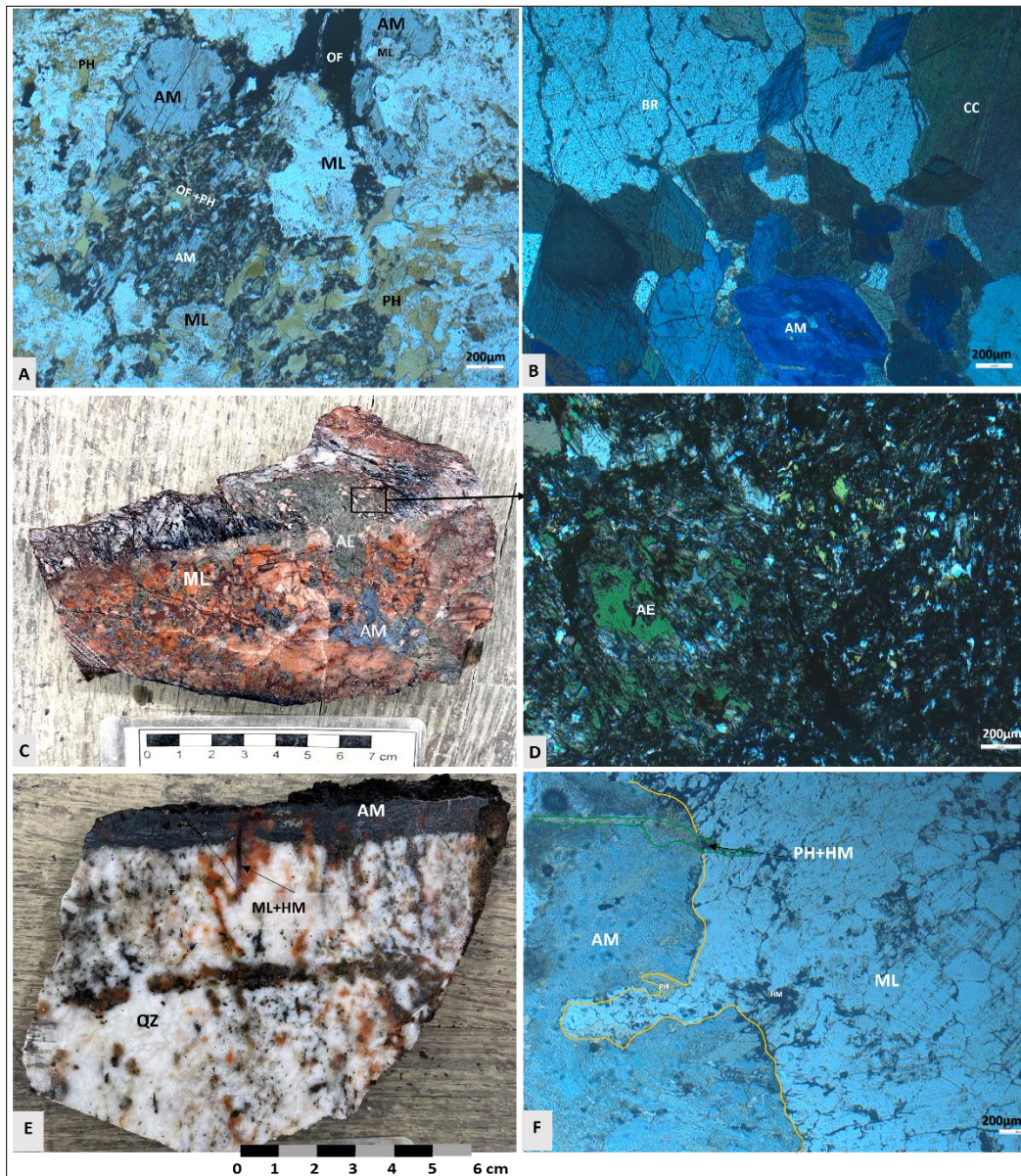


Figure 20 : Photographies de fénites sodique et potassique. A : Vue microscopique (LPnA) d'une fénite sodique à amphibole bleue remplacée par du microcline. L'ensemble est remplacé par la phlogopite et les oxydes de fer (fénitisation potassique). Géofiche 23-IA-4137; B : Cristaux automorphes d'amphibole bleue sodique associés à la barytine et des veinules tardives de calcite (en LPA). Géofiche 23-IA-4023; C, D : Aegirisation des amphiboles sodiques (remplacées par l'aegirine et les oxydes de fer). Géofiche 23-IA-4136; E : Échantillon de quartzite affecté par une fénitisation sodique à amphibole bleue, cette dernière est recoupée par des veinules à ML, HM, PH; F : Vue microscopique (en LPnA) de cette relation d'amphibole bleue recoupée par ML, HM, PH. Géofiche 23-IA-4020. Abréviations : AE=aegirine, AM=amphibole-Na, BR=barytine, CC=calcite, HM= hématite, ML= microcline, PH= phlogopite.



Figure 21 : Photographies des affleurements altérés. A : Fénitisation des granites par bréchification par des veinules de phlogopite. Géofiche 23-IA-4121; B : Veinule d'aegirine à cristaux fibreux radiés et dissémination de pyrite affectant des pegmatites. Géofiche 23-IA-4121. C : Altération des amphiboles sodiques en amiante bleu-grise (crocidolite). Géofiche 23-IA-4007. D : Veinules tardives à amphibole bleue et calcite recoupe les granites pegmatitiques à fénitisation potassique rouge. Géofiche 23-IA-4153.

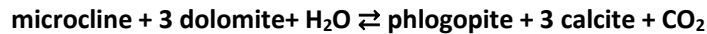
### 5.3.2 Chronologie des événements de fénitisation

Nos observations indiquent une fénitisation potassique proximale tardive associée à certaines carbonatites (à l'est de Quinville) (*figures 11 et 15A, 15C*), bien que d'autres carbonatites ne développent pas une zonation potassique distincte (par exemple géofiches 23-IA-4137 et 22-TG-3031). Cette fénitisation potassique entrecoupe deux épisodes de fénitisation sodique dont la dernière qui semble associée à la minéralisation en ÉTR. Chronologiquement (*Tableau 3*), on distingue :

- Une phase précoce de fénitisation à amphibole bleue sodique (*figures 20A, 20E, 20F*) issue de l'apport d'un fluide hydrothermal riche en Na et dépourvue en minéralisation en ÉTR;

**Cartographie des carbonatites et des fénites au nord de Gatineau et leurs potentiels en éléments de terres rares (ÉTR), Province de Grenville**  
**PU-2020-12-1355B**

- Ensuite, une altération potassique généralement pervasive, avec un apport de K et de Fe, donnant naissance à des microclines hématisés tardifs aux amphiboles sodiques (*figures 20A, 20E, 20F*). La présence de fragments de fénite potassique dans les carbonatites à ÉTR (*figure 14*) et de fragments de carbonatites dans des fénites potassiques (*figure 15*) suggère que ces deux événements sont contemporains;
- Par la suite on note la formation de la phlogopite en remplacement du microcline. Cette relation pourrait être expliquée par une réaction d'hydratation du microcline en présence des carbonates (Bailey, 1966) :



- On note également l'aéirine qui remplace des microclines et des amphiboles sodiques. L'aéirinisation des amphiboles est marquée à plusieurs endroits et pourrait être attribuée à une phase tardive de fénitisation sodique (*figures 20A, 20C, 20D*).
- Un dernier pulse de l'hydrothermalisme à Na, Ca, Fe, Ba et ÉTR donne naissance à des amphiboles sodiques tardives sous forme de veinules, recoupant le microcline proximal (*figure 21D*) et associé à la calcite, barytine (*figure 20B*) et oxyde de fer. Cet événement pourrait être associé à la précipitation des minéraux de terres rares, disséminés dans les fénites.

**Tableau 3: Séquence paragénétique des minéraux de fénitisation.**

Minéralogie des fénites	Stade magmatique (granite et syénite)	Métasomatisme/Hydrothermalisme		
		Phase précoce	Phase intermédiaire	Phase tardive
Microcline	Microcline I		Microcline II	
Phlogopite				
Amphibole-Na				
Aéirine				
Apatite				
Barytine				
Calcite				
Oxydes de fer	Magnétite			Hématite
Rutile				
Silicate-ÉTR (Allanite)				
Monazite				
Carbonate-ÉTR				

### **5.3.3 Apport de la radiométrie et de l'aéromagnétisme :**

Le secteur d'étude a été comparé aux données radiométriques et magnétiques compilées. Une carte a été produite avec les données de spectromètre portatif à rayons gamma (données des géofiches de 2021 à 2023) en appliquant des interpolations avec Oasis Montaj. Cette carte de données radiométriques de sol délimite bien l'anomalie potassique aéroportée de Quinnville en plus de circonscrire des anomalies potassiques associées à des indices de fer avec des contours d'isovaleur dépassant 8% K (*figure 22A*).

Les levés radiométriques et magnétiques aéroportés ont été effectués par la CGC au nord de Gatineau avec des espacements de vol de 5 km. Le levé radiométrique montre une anomalie régionale en potassium qui couvre en partie notre secteur d'étude avec des contours d'isovaleurs de plus de 2 % K qui coïncident avec les affleurements à fénitisation potassique et des occurrences de fer-titane (*figure 22B*). Également, le levé aéromagnétique (champ magnétique total) du secteur d'étude présente des anomalies coïncidant avec les indices de fer-titane répertoriés par Lapointe (1979), Hogarth (1981) et cette étude.

En combinant des isocontours > 1,7 % K et > 56 800nT nous obtenons des zones formant des alignements NNE-SSW qui contiennent des indices de Fe-Ti-ÉTR ainsi que de fortes fénitisations. Ces zones permettent également de cibler des zones à haut potentiel en Fe-Ti-ÉTR ailleurs que dans le secteur d'étude (*figure 22D*). Un tel alignement coïncide également avec des fénitisations dans le secteur de Buckingham (non montré).

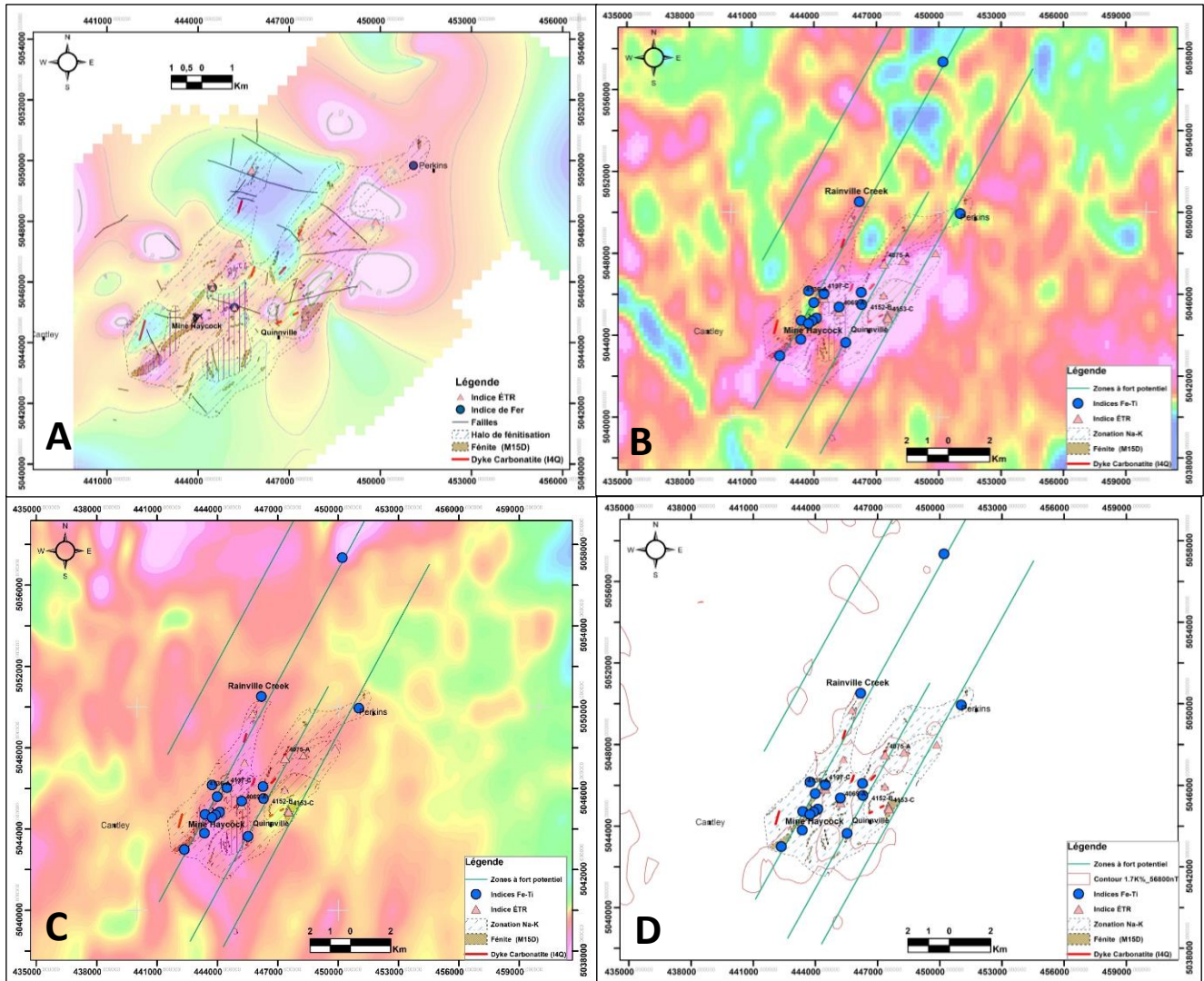
## **5.4 Minéralisations économiques**

### **5.4.1 Minéralisations à ÉTR**

Six (6) nouveaux indices à ÉTR ( $\text{ÉTR}_{\text{total}} > 1\,700\text{ppm}$ ) ont été inventoriés dans le cadre du présent projet. Ceux-ci sont associés à des carbonatites ou à des fénites ayant des teneurs en  $\text{ÉTR}_{\text{total}}$  variant de 1 840 ppm à 7 162 ppm.

L'analyse minéralogique par le MEB-EDS a permis d'identifier les phases hôtes des ÉTR. On dénombre des carbonates d'ÉTR, des phosphates d'ÉTR et des silicates d'ÉTR. Les apatites observées ne présentent aucun enrichissement en ÉTR (*figure 23A*) ce qui converge avec les observations de Hogarth et al. (1985) qui attribuent ces fluoroapatites des carbonatites et des fénites à la génération tardive appauvrie en ÉTR. Cependant, une première génération d'apatite riche en ÉTR avait été identifiée par Hogarth et al. (1985) et Hogarth et van Breeman (1996). Ceux-ci n'ont pas été identifiés dans nos travaux.

**Cartographie des carbonatites et des fénites au nord de Gatineau et leurs potentiels en éléments de terres rares (ÉTR), Province de Grenville**  
**PU-2020-12-1355B**



**Figure 22 : Superposition des anomalies radiométriques du potassium (K%), du champ magnétique total et des fénites/indices. A : Carte des valeurs de potassium mesurées au sol par spectromètre à rayons gamma montrant des anomalies coïncidant généralement avec les zones fénitisées. Certaines de ces anomalies sont associées à des granites non fénitisés; B : Carte des valeurs de potassium aéroportée montrant une anomalie potassique qui coïncide avec la fénitisation sodique-potassique et les indices de fer-titane du secteur. C : Carte aéromagnétique montrant des anomalies liées à des occurrences de Fe-Ti. D : Carte interprétative des zones potentielles à Fe-Ti-ÉTR délimitées par une combinaison de zones > 1,7% K et > 56 800 nT qui définissent des alignements NNE-SSW. Les indices de fer-titane proviennent de la compilation de Lapointe (1979), Hogarth (1981) et cette étude.**

- **Carbonates d'ÉTR**

Dans les carbonatites (*figures 11C, 11E*), on observe des carbonates d'ÉTR, généralement disséminés, mais parfois présents sous forme de cristaux aciculaires mesurant entre 200 et 800 µm de longueur. Ces cristaux sont encaissés dans une matrice composée de calcite, de barytine et d'oxydes de fer. Les grains présentent une teneur en calcium (7 à 8 %), ce qui les rapproche des caractéristiques des parsites.

Dans les fénites, on observe des grains de carbonates d'ÉTR mesurant 25 à 100 µm et à bordure fibreuse, en inclusions dans le microcline (*figure 23B*). Parfois, ils sont associés à des oxydes de fer d'aspect fibreux.

- **Phosphates d'ÉTR**

Les phosphates des ÉTR (monazite) sont présents dans les carbonatites bréchiées (*figure 14C*) où ils forment des disséminations à granulométrie inférieure à 0,1 mm. On les retrouve le long des couronnes mélanocrates (fragments fénitisés) à apatite et phlogopite et dans la calcite des carbonatites. Les échantillons de fénite comprennent aussi des grains (< 50 µm) de monazite globuleux (*figure 23C*).

- **Silicates d'ÉTR**

Les silicates d'ÉTR (allanite?) apparaissent très rarement dans les échantillons analysés. Un grain isolé a été repéré dans la brèche à feldspath potassique (23-IA-4180) (*figure 23D*).

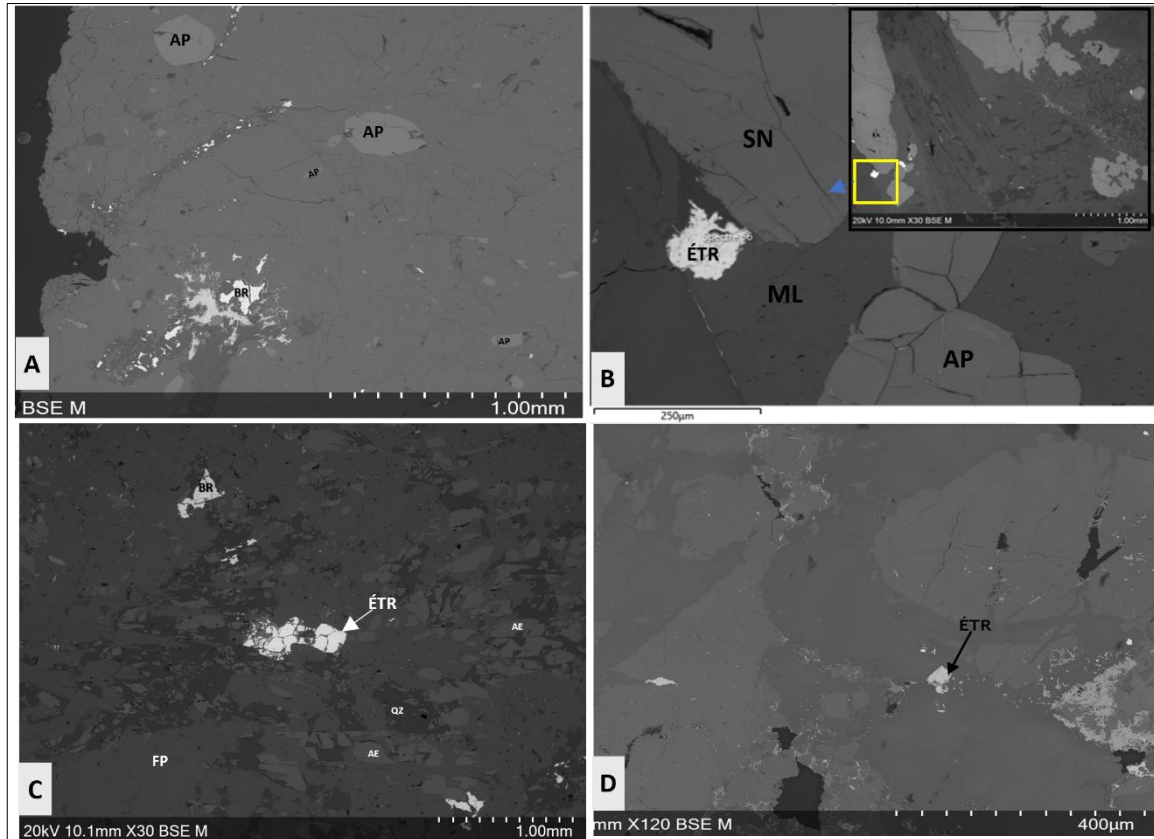
#### **5.4.2 Indices de Fe-Ti**

Trois indices de fer-titane, dont deux (23-IA-4069 et 23-IA-4136) qui pourraient représenter la continuité des structures minéralisées Fe-Ti orientées NNE-SSW de la mine abandonnée de Haycock (Lapointe, 1979) jusqu'à l'indice de Fe-Ti de Rainville Creek (Erdmer, 1977) (*figure 23B, 23C, 23D*), ont été répertoriés dans le secteur d'étude lors de nos travaux (*figure 22A*). Spatialement ces deux indices près de l'ancienne mine Haycock coïncident avec des indices à ÉTR associés à des carbonates d'ÉTR.

Les échantillons de roches récoltés dans le cadre de la présente étude montrent des teneurs en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dépassant 40 % en poids et atteignent 4,7% en poids de TiO<sub>2</sub>. Il s'agit d'échantillons de veinules et veines d'hématite spéculaire de couleur grise associées à la fénitisation potassique et à la mise en place des carbonatites. Microscopiquement, les oxydes de fer sont en intercroissance avec des plages d'oxyde de titane (rutile) (*figure 11A, 11B, 11D*).

Plusieurs autres indices Fe-Ti tirés de la compilation de Lapointe (1979) et Hogarth (1981) sont présents dans le secteur d'étude et les régions adjacentes, et semblent être associés à des alignements NNE-SSW (*figure 22*). Selon la compilation de Cirkle (1908), les indices de fer du secteur d'étude sont

particuliers par rapport aux autres indices de fer de la région. Ils sont surtout associés à l'hématite spéculaire et sont riches en titane (rutile) avec localement de la barytine et de la calcite tandis que les autres minéralisations en fer sont associées à la magnétite sans enrichissement en titane.



**Figure 23 : Photographies par MEB-BSE de la minéralisation à ÉTR. A: Grains d'apatite non enrichis en ÉTR ainsi que de la barytine en inclusions dans un cristal de calcite. Géofiche 23-IA-4152; B: Carbonates d'ÉTR dans des fénites. Géofiche 23-IA-4075; C : Grains de monazite dans une fénite. Géofiche 23-IA-4036; D: Dissémination de grains d'allanite dans une brèche potassique. Géofiche 23-IA-4180. Abréviations : AE =aegirine, AP=apatite, BR=barytine, FP= feldspath, ML= microcline, QZ= quartz, SN= titanite.**

## 6. Discussion

La cartographie des carbonatites et des fénites au nord de Gatineau a permis d'augmenter l'étendue des roches déjà connues en plus d'identifier d'autres occurrences. Les dykes de carbonatites ont des puissances variant de quelques centimètres à plusieurs mètres et leurs contacts sont souvent fénitisés. Mais tous les dykes de carbonatites ne sont pas fénitisés et il existe des fénites isolées des dykes de carbonatites. Les dykes sont généralement parallèles à la foliation générale et aux contacts stratigraphiques, mais ils, ainsi que la fénitisation, postdatent les minéraux métamorphiques et leur alignement. Ceci suggère que le magma carbonatique a utilisé les plans de faiblesse que constituent

la foliation et les contacts pour se mettre en place. Les dykes de carbonatites non-enrichis en ÉTR pourraient représenter l'injection de marbres fusionnés lors du pic métamorphique ce qui expliquerait l'absence de fénitisation associée et leur faible contenu en ÉTR. De tels dykes ont été répertoriés dans la Province du Grenville (Schumann et al., 2019) ainsi qu'ailleurs dans des assemblages sédimentaires hautement métamorphisés (voir exemples dans Wickramasinghe et al. (2024)).

Cette étude a permis de caractériser la composition minéralogique et chimique des carbonatites qui sont des roches riches en calcite (calcio-carbonatites) et localement en barytine et en apatite. Par ailleurs, les analyses révèlent un enrichissement notable en éléments de terres rares (ÉTR > 400 ppm) en plus du strontium (> 0,5 %) et surtout du baryum (> 11 %) comme le sont la plupart des carbonatites (Simandl et Paradis, 2018). Les zones de fénitisation potassique (microcline, phlogopite) montrent généralement des dykes de carbonatite en leur centre ou des veinules/veines enrichies en hématite-rutile-calcite-barytine. Cette altération est proximale par rapport à une fénitisation sodique (aegirine, amphiboles sodiques) plus distale qu'elle remplace (*figure 21*). Cette zonation chimique et minéralogique des fénites correspond généralement au modèle classique associé aux carbonatites décrites par Elliott et al. (2018) qui proposent une phase potassique proximale tardive et une phase sodique distale précoce. Cependant, nos observations montrent également un deuxième événement de fénitisation sodique tardive sous forme de veinules d'amphibole sodique recoupant par endroits la fénitisation potassique proximale. Cette fénitisation tardive est responsable des fénites potassiques sodiques.

Les affleurements à spécularite associés à des indices en ÉTR (affleurements 23-IA-4069 et 23-IA-4136; *figure 10*) suggèrent un stade avancé de métasomatisme (ÉTR-Fe). Lapointe (1979) a observé une zonation minéralogique des fénites dans ses travaux sur la mine de fer de Haycock. Il a qualifié cette zone à spécularite - ilménite (minerai Fe-Ti) comme une zone centrale de fénitisation. Par la suite, Hogarth et al. (1985) y ont découvert la présence de dykes de carbonatite associés à une minéralisation en ÉTR (indice Cantley; SIGÉOM, 2024). Cette minéralisation en fer est entourée d'un halo de fénitisation dominé par l'aegirine, la phlogopite et des amphiboles sodiques conformément aux observations de Erdmer (1977) qui a décrit des veines à Fe-Ti associées à une fénite à aegirine et riébeckite. Bien que nos observations convergent partiellement dans ce sens (par exemple l'affleurement 23-IA-4136), d'autres affleurements (par exemple 23-IA-4069) montre une veine centimétrique de spécularite-rutile associée à une fénitisation potassique proximale à une carbonatite enrichie en ÉTR.

Les carbonatites décrites dans le secteur d'étude, combinées aux occurrences cartographiées dans les zones voisines, notamment celles du lac Meech dans le Parc de la Gatineau (Hogarth, 2016) (environ 10 km à l'ouest de notre secteur d'étude) témoignent d'un événement magmatique carbonatique régional pré- à syn-orogène grenvillien. Ce magmatisme pourrait être associé au Batholite syénitique de Wakefield à seulement 4 km à l'ouest du secteur d'étude (*figure 2*) qui constitue une manifestation notable du magmatisme alcalin. Cependant, malgré sa proximité et l'accès facile, ce batholite n'a

jamais fait l'objet d'une étude pétrologique. La fénitisation d'échelle kilométrique associée aux dykes métriques de carbonatite suggère un magma carbonaté beaucoup plus intense que ce qui est observé en surface jusqu'à présent.

Le secteur à l'étude ainsi que la région avoisinante montrent un potentiel pour les minéralisations à ÉTR qui sont caractérisées par :

- La présence ou non de dykes de calcio-carbonatite d'orientation NNE-SSW;
- Une fénitisation potassique intense associée à une zone centrale de Fe-Ti-ÉTR;
- Une combinaison d'anomalie positive de potassium et de champ magnétique total sur les levés aéroportés.

Ainsi pour l'exploration des minéralisations en ÉTR il est proposé de cibler ces alignements NNE-SSW d'anomalies potassique et magnétométrique associées à des indices de Fe-Ti. De tels alignements ont été définis en dehors du secteur d'étude où il existe très peu d'informations géologiques.

## **7. Conclusions**

Les résultats des levés cartographiques sur les carbonatites et les fénites au nord de Gatineau mettent en évidence un potentiel encourageant en éléments de terres rares (ÉTR), particulièrement dans des contextes géologiques spécifiques. Tout d'abord, les carbonatites encaissées dans des granites montrent une minéralisation plus importante en ÉTR comparativement à celles associées aux paragneiss. Les carbonatites bréchiques, notamment celles à brèches fénitisées, se distinguent par un enrichissement marqué en ÉTR ce qui en fait des cibles prioritaires pour l'exploration.

La zone à fénitisation potassique intense observable à l'échelle régionale constitue un indicateur clé de la présence de carbonatites minéralisées. Les fénites minéralisées sont souvent associées à une forte oxydation de fer, notamment sous forme de spécularite.

L'association entre la fénitisation Na-K- oxydes de fer, et l'enrichissement en ÉTR suggère que le potentiel minier en ÉTR-Fe est étroitement lié à un système métasomatique hydrothermal. Ce système est manifesté par des dykes tardifs de carbonatite, et contrôlé par des failles régionales NNE-SSW qui ont joué un rôle crucial dans la circulation des fluides et la concentration des minéraux.

## **8. Recommandations**

Cette étude a atteint des résultats pertinents en termes de délimitation et de levés des nouvelles occurrences de fénites et de carbonatites enrichis en ÉTR. De plus, nous avons ciblé des zones à haut

potentiel en ÉTR associées à la fénite potassique et à la présence de la spécularite. Dans ce sens, il est recommandé de :

- Pousser l'exploration sur les indices à ÉTR-Fe, précisément le transect NNE-SSW, qui englobe la mine de fer Haycock et l'indice de fer de Rainville Creek;
- Examiner de plus près les gisements de fer présents dans la région ainsi que les alignements NNE-SSW identifiés dans ce rapport, et évaluer leur potentiel pour les minéralisations en ÉTR;
- Entreprendre une étude isotopique afin de déterminer l'origine des carbonatites associées à des minéralisations en ÉTR et celles qui ne le sont pas.

## **9. Références bibliographiques**

- Bailey, D.K., 1966. Potash feldspar and phlogopite indices of temperature and partial pressure of CO<sub>2</sub>. Mineralogical Society of India (IMA Volume), 5–8.
- Bardina N.Yu. et Popov V.S., 1994. Fenites: systematics, conditions of formation and significance for crustal magmatism. Zapiski Vseross. Mineral. Obshch., 123, No. 6, 1-19.
- Brögger, W.G., 1921. Die eruptivegestein des kristianiagebietes, IV. Das fengebiet in telemark. Norwegen. Naturv. Klasse 9, 150–167.
- 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.
- Circle, F., 1908. Report on the iron ore deposits along the Ottawa (Quebec side) and Gatineau Rivers. Canada Mines Branch. Publication 23. 60 pages.
- Corriveau, L., et van Breemen, O., 2000. Docking of the Central Metasedimentary Belt to Laurentia in geon 12: evidence from the 1.17–1.16 Ga Chevreuil intrusive suite and host gneisses, Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences, 37, 253-269.
- Davis, D.W., 2023. Rapport sur les datations U-Pb de roches du Québec 2021-2022. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec. MB 2023-02.
- 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., F. Wall, A.R. Chakhmouradian, P.R. Siegfried, S. Dahlgren, S. Weatherley, A.A. Finch, M.A.W. Marks, E. Dowman, et E. Deady., 2018. Fenites Associated with Carbonatite Complexes: A Review. Ore Geology Reviews 93 : 38-59.
- Erdmer, P., 1977. Geology of the Rainville Creek Iron Deposit. Université d'Ottawa. Projet de fin d'études.
- Friedman, R. et Martignole, J., 1995. Mesoproterozoic sedimentation, magmatism and metamorphism in the southern part of the Grenville Province (Western Quebec): U-Pb geochronological constraints. Canadian Journal of Earth Sciences, 32: 2103-2114.
- Hogarth, D.D., 1966. Intrusive carbonate rock near Ottawa, Canada: Mineralogical Society of India, IMA volume, p. 45-53.
- 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., 1981. Partie ouest de la région de Quinville, ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec. DPV-816. 28 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.

**Cartographie des carbonatites et des fénites au nord de Gatineau et leurs potentiels en éléments de terres rares (ÉTR), Province de Grenville  
PU-2020-12-1355B**

---

- Hogarth, D.D., 2016. Chemical trends in the Meech Lake, Québec, carbonatites and fenites. *Canadian Mineralogist*, 54: 1105-1128.
- Hogarth, D. D., et Moore, J. M., 1972. Contribution on the Precambrian. In D. M. Baird (Ed.), *Geology of the National Capital Area* (Excursions B23 to B27, Guidebook). XXIV International Geological Congress.
- Hogarth, D.D., et Lapointe, P., 1984. Amphibole and pyroxene development in fenite from the Gatineau area, Quebec. *The Canadian Mineralogist*, 22. 281-295.
- 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. et Rushforth, P., 1986. Carbonatites and fenites near Ottawa, Ontario and Gatineau, Québec. Geological Association of Canada – Mineralogical Association of Canada – Canadian Geophysical Union Joint Annual Meeting, Ottawa'86, Field Trip 9B, Guidebook, 22 pages.
- Hogarth, D.D., Chao, G. et Townsend, M.G., 1987. Potassium- and fluorine-rich amphiboles from the Gatineau area, Quebec. *Canadian Mineralogist*, 25: 739-753.
- 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.
- Hitzman, M. W. 1999. Routine Staining of Drill Core to Determine Carbonate Mineralogy and Distinguish Carbonate Alteration Textures. *Mineralium Deposita* 34, n° 8. 794-98.
- Jones, A.P., Wall, F. et Williams, C.T., 1996. Rare Earth Minerals Chemistry, Origin and Ore Deposits. Series: The Mineralogical Society Series, Vol. 7, Springer Publisher, Berlin.
- Kennedy, A., Kamo, S., Nasdala, L., Timms, N., 2010. Grenville skarn titanite: Potential reference material for SIMS U-Th-Pb analysis. *The Canadian Mineralogist* 48, 1423–1443.
- Lacroix, A., 1941. Les gisements de phlogopite de Madagascar et les pyroxénites qui les renferment. *Annales géologiques du Service des mines, Madagascar; fascicule 11.*
- Lapointe, P., 1979. Fenitization around hematite deposits at the Haycock Mine, Hull and Templeton Townships, Quebec. Département de géologie, Université d'Ottawa; thèse de maîtrise.
- Leclair, S., 1988. Study of the Potassium Anomaly in the Fenite of the Quinville carbonatite. Université d'Ottawa. Projet de fin d'études.
- Legault, M., Da Rosa, L., Parisot, F., et Potvin, R., 2022. « Travaux de recherche sur les minéraux critiques et stratégiques réalisés par les stagiaires de l'École de terrain ». Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. MB 2022-01.
- Legault, M., 2023. « Travaux de recherche sur les minéraux critiques et stratégiques réalisés par les stagiaires de l'École de terrain ». Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. MB 2023-01.
- Lucas, St. B., et St-Onge, M. R., 1998. Géologie des provinces précambriennes du lac Supérieur et de Grenville et fossiles du Précambrien en Amérique du Nord. Ottawa: Commission géologique du Canada.

**Cartographie des carbonatites et des fénites au nord de Gatineau et leurs potentiels en éléments de terres rares (ÉTR), Province de Grenville  
PU-2020-12-1355B**

---

- Marcantonio, F. 1986. Isotope geochemistry of the McCloskey's Field carbonatite complex. B.Sc. thesis. Carleton University, Ottawa, Ontario
- MRNF, 2024. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec. Tableau des seuils anomaliques. Consulté le 8 avril 2024. [https://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/html/I3202\\_seuil.htm](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..
- PQVMCS, 2020. Plan Québécois pour la Valorisation des Minéraux Critiques et Stratégiques. Consulté le 4 avril 2024.
- Rivers, T., John, K., Aphrodite, I., et Andrew, H., 2002. « The High-Pressure Belt in the Grenville Province: Architecture, Timing, and Exhumation ». Canadian Journal of Earth Sciences 39, n° 5: 867-93.
- Rivers, T., Martignole, J., Gower, C.F. et Davidson., A., 1989. New tectonics division of the Grenville Province, southeast Canadian Shield. Tectonics, 8 : 63-84.
- Rivers, T., Culshaw, N., Hynes, A., Indares, A., Jamieson, R. et Martignole, J., 2012. The Grenville orogen – A post-LITHOPROBE perspective. Dans: Percival, J.A., Cook, F.A. et Clowes, R.M., éditeurs, Tectonic Styles in Canada: The LITHOPROBE Perspective. Geological Association of Canada; Special Paper 49 : 97-236.
- 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.
- Shaw, D.M., Moxham, R.L., Filby, R.H. et Lapkowsky, W.W., 1963a. The petrology and geochemistry of some Grenville skarns: Part 1. Geology and petrography. Canadian Mineralogist, 7 : 420 à 442.
- Shaw, D.M., Moxham, R.L., Filby, R.H. et Lapkowsky, W.W., 1963b. The petrology and geochemistry of some Grenville skarns: Part 2. Geochemistry. Canadian Mineralogist, 7 : 578 à 616.
- Schneider, D.A., N. Cope, et D.K. Holm., 2013. Thermochronology of the Mont Laurier Terrane, Southern Canadian Grenville Province, and Its Bearing on Defining Orogenic Architecture. Precambrian Research 226: 43-58.
- Schumann, D., Martin, R. F., Fuchs, S. et De Fourestier, J., 2019. Silicocarbonatitic melt inclusions in fluorapatite from the Yates prospect, Otter Lake, Québec: evidence of marble anatexis in the Central metasedimentary Belt of the Grenville Province. The Canadian Mineralogist, 57 : 1-22.
- SIGÉOM, 2024. Carte interactive. Consulté le 20 novembre 2024. [https://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1108\\_afchCarteIntr](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.
- Sinaei-Esfahani, F., 2013. Localized metasomatism of Grenvillian marble leading to its melting, Autoroute 5 near Old Chelsea, Quebec. Mémoire de maîtrise, Université McGill (Canada). 133 pages.
- Shimizu, N. et Kushiro, I., 1975. Partitioning of Rare-Earth Elements between Garnet and Liquid at High-Pressures - Preliminary Experiments. Geophysical Research Letters 2(10) : 413-416.

- Wanless, R.K., Stevens, R.D., Lachance, G.R. et Delabio, R.N., 1980. Age determinations and geological studies. K-Ar isotopic ages; Report 14. Commission Géologique du Canada. Étude 79 - 2.
- Wilson, M.E. 1920. Buckingham, Hull and Labelle Counties, Quebec. Commission Géologique du Canada. Publication 1691.
- Woolley, A. R. et Kempe, D. R. C., 1989. Carbonatites: nomenclature, average chemical compositions, and element distribution. *Dans*: Bell, K., éditeur, Carbonatites, genesis and evolution. London, UK: 1–14.
- Wickramasinghe, W.A.G.K., Madugalla, T.B.N.S., Athurupana, B., Zhao, L., Zhai, M., Li, X. et Pitawala, H.M.T.G.A., 2024. An unusual occurrence of carbonatites derived from the crust in the UHT granulite facies metamorphic terrain of Sri Lanka. *Precambrian Research*, 410 : 107502.
- Wynne-Edwards, H.R., 1972. The Grenville province. *Dans*: Price, R.A. et Douglas J.W., éditeurs, Variations in Tectonic Styles in Canada (). Geological Association of Canada, Special paper 2: 263-334.
- 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.

---

## Annexe

---

