

MB 2023-08

Contexte géologique des minéralisations de Ni-Cu ± Co et de Fe-V-Ti-P de la marge ouest de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



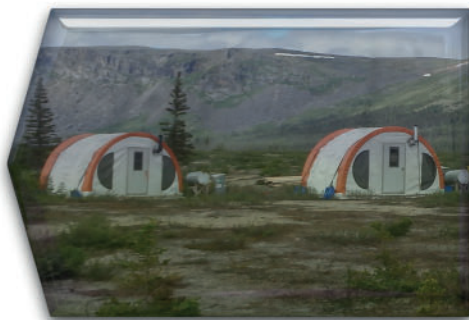
License

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

Énergie et Ressources
naturelles

Québec





Contexte géologique des minéralisations de Ni-Cu \pm Co et de Fe-V-Ti-P de la marge ouest de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean

Théo Hassen Ali, Renée-Luce Simard, Sarah Dare et Abdelali Moukhsil

MB 2023-08



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.

Rapport préliminaire sur l'avancement des travaux

Contexte géologique des minéralisations de Ni-Cu \pm Co et de Fe-V-Ti-P de la marge ouest de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean

Théo Hassen Ali, géo. stagiaire¹, Renée-Luce Simard, géo., ing. Ph.D.¹, Sarah Dare, Ph.D.¹ et Abdelali Moukhsil, géo. Ph. D.²

1 : Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)

2 : Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec (MNRF)

Présenté le 8 mai 2023

**Ressources naturelles
et Forêts**

Québec



UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi

Table des matières

1	Introduction	1
2	Les anorthosites et leurs minéralisations	3
3	Géologie régionale	4
4	Géologie locale de la marge nord-ouest de la SALSJ.....	8
4.1	Secteur Lac Perron.....	10
4.1.1	Géologie du secteur Lac Perron	11
4.2	Secteur Mistass	21
4.2.1	Géologie du secteur Mistass.....	22
4.3	Secteur Lac Yenevac	27
4.3.1	Géologie du secteur Lac Yenevac	27
4.4	Secteur Mc Nickel	33
4.4.1	Géologie du secteur Mc Nickel	34
5	Estimation de la calcicité des plagioclases	38
5.1	Méthode par fluorescence-X portative	38
5.2	Méthode par norme Cross-Iddings-Pirsson-Washington (CIPW).....	40
5.3	Comparaison méthode XRFp et CIPW	41
5.4	Résultats.....	43
5.4.1	Lac Perron - Mistass.....	44
5.4.2	Lac Yenevac et Mc Nickel	46
6	Géochimie roche totale	47
7	Discussion et conclusion.....	56
7.1	Délimitation de secteurs et liens avec minéralisation.....	57
8	Conclusion	59
9	Références	60
10	Annexes numériques.....	I
10.1	Annexe 1 : analyses XRFp de plagioclases	I
10.2	Annexe 2 : analyses de roches totales	I
10.3	Annexe 3 : contrôle qualité des analyses de roches totales.....	I

Table des illustrations

Figure 1 : Diagrammes tenaires	4
Figure 2 : Carte de la Province de Grenville	5
Figure 3 : Carte de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (SALSJ).....	6
Figure 4 : Carte géologique régionale de la région nord-ouest de la SALSJ	9
Figure 5 : Cartographie de détails (été 2022) autour des indices Lac Perron et Mistass	11
Figure 6 Photographies des textures observables dans les anorthosites et les leuconorites du secteur Lac Perron	12
Figure 7 : Photographies des textures observables dans les anorthosites et les leuconorites du secteur Lac Perron (suite)	16
Figure 8 : Microphotographies des assemblages minéralogiques et des textures observées en lames minces dans le secteur de l'indice Lac Perron.....	18
Figure 9 : Microphotographies des assemblages minéralogiques et les textures retrouvée dans les lithologies ultramafiques observées en lames minces dans le secteur de l'indice Lac Perron	19
Figure 10 : Microphotographies des minéralisations d'oxydes retrouvées dans les lithologies du secteur Lac Perron	20
Figure 11 : Carte litho-géophysique interprétative de l'architecture du secteur Lac Perron	21
Figure 12 : Photographies des lithologies principales et affleurement minéralisé principal (Ni-Cu) du secteur Mistass	24
Figure 13 :Microphotographies des assemblages minéralogiques et textures du secteur Mistass.....	25
Figure 14 : Microphotographies d'un dyke granitique ainsi que de la minéralisations observable dans le secteur de l'indice Mistass	26
Figure 15 : Cartographie été 2022 autour de l'indice Lac Yenevac	28
Figure 16 : Photographies des lithologies principales du secteur Lac Yenevac	31
Figure 17 : Planche de photo des assemblages minéralogiques et des textures visibles autour de l'indice Lac Yenevac	32
Figure 18 : Planche photo des minéralisation et de la dunite visible dans le secteur de l'indice Lac Yenevac.....	33
Figure 19 : Photographies des lithologie principales de l'indice Mc Nickel.....	36
Figure 20 : Microphotographies des assemblages minéralogiques et des textures de l'indice Mc Nickel.....	37
Figure 21 : Diagramme binaire de comparaison des mesures de calcicité (contenu en An) par la méthode de XRFp et la méthode CIPW.	41
Figure 22 : Histogramme de la médiane générale des calcicités des plagioclases	43
Figure 23 : Carte géophysique et géochimique de calcicité de plagioclases par XRFp des secteurs Lac Perron, Mistass	45
Figure 24 : Carte géophysique et géochimique de la calcicité des plagioclases par XRFp du secteur Lac Yenevac...	46
Figure 25 : Diagrammes de Harker	49
Figure 26 : Diagrammes binaires d'éléments lithophiles en fonction du A) TiO_2 vs Fe_2O_3 B) TiO_2 vs P_2O_5 C) V vs Fe_2O_3 . Les analyses minéralogiques AA, BT, MG, IM, SL, OX par microsonde, voir Annexe 2, proviennent des données de Grant (2020) ; Vaillancourt (2001) et d'une communication personnelle de (Miloski, 2023).	51
Figure 27 : Diagrammes binaires d'éléments sidérophiles et chalcophiles en fonction du S total.....	52
Figure 28 : Patrons de terres rares (ETR en ppm) et P_2O_5 (en pd.%) normalisés par rapport à chondrite	55
Figure 29 Carte géophysique et géochimique de l'organisation de la calcicité des plagioclases (An_{XRF}) des lithologies anorthositiques mesurées durant la campagne de terrain 2022,	56
Équation 1 : A) Facteur de correction des données acquises grâce au protocole de XRFp avec les analyses de microsondes B) Equation quadratique permettant d'estimer la calcicité par le rapport Ca/Si(Tondoh, 2021)	38
Équation 2 : Calcule de l'anomalie en Eu normalisées aux valeurs chondritiques (McDonough et Sun, 1994).....	54

Liste des abréviations

Minéralogie

AA Andésine
AM Amphibole
AP Apatite
BO Biotite
CP Chalcopyrite
CL Chlorite
CX Clinopyroxène
DM Dolomite
FK Feldspath K
HB Hornblende
IM Ilménite
MG Magnétite
MI Mica
MV Muscovite
OF Oxyde de Fer
OV Olivine
OX Orthopyroxène
PG Plagioclase
PD Pentlandite
PO Pyrrhotite
PX Pyroxène
PY Pyrite
QZ Quartz
SF Sulfure
SL Spinelle
ZR Zircon

Texture

A2 Grain arrondi
AP Aphanitique
BN Brèche d'intrusion
FO Foliée
GR Granoblastique
GS Gneissique
GY Granophyrique
KO Coronitique
MA Massive
MG Mégacrystique
OĪ Oïkocrystique
PG Pegmatitique
SC Schisteux
SM Symplectitique
WK Stockwercks

Lithologie

F1 Sulfure Massifs (>65% SF)
F2 Sulfure Semi-Massifs (35-65% SF)
I1B Granite
I1D Tonalite
I1G Pegmatite
I2B Syénite à FK
I3A Gabbro
I3B Diabase (micro-ferrogabbro)
I3G Anorthosite
I3J Norite
I3N Troctolite
I3P Leuconorite
I3Q Gabbronorite
I4ZN Nelsonite
M14 Roche Calcosilicatée
M16 Amphibolite
M4 Paragneiss
OF Oxyde massifs
S5F2 Brèche polygénique à fragments flottant et matrice sulfurée
S6A Siltstone
T2 Mylonite

Autres

LN Lumière naturelle
LPA Lumière polarisée analysée
LR Lumière réfléchie

Résumé

En 2022, un projet de doctorat a commencé grâce à une collaboration entre le ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) et l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC). Ce projet vise à comprendre les liens entre les suites anorthositiques et les minéralisations magmatiques de sulfures (Ni-Cu \pm Co) et d'oxydes (Fe-Ti-V-P) par le moyen de la cartographie de la chimie du plagioclase par la méthode de fluorescence-X portative (XRFp). La Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (SALSJ), une des plus grandes suites anorthositiques au monde (20 000 km²), a été choisie comme sujet d'étude pour ce projet. La cartographie de la calcicité du plagioclase par XRFp permettra de cartographier géochimiquement les lithologies anorthositiques à proximité des indices minéralisés et ainsi mieux comprendre le lien entre la chimie du plagioclase dans les anorthosites, le type de minéralisations et leur mise en place.

Dans le cadre de ce projet, une campagne de cartographie de détail a été menée à l'été 2022 dans la marge ouest de la SALSJ, afin de déterminer l'organisation des unités anorthositiques et leurs associations avec les minéralisations d'oxydes et de sulfures du secteur. Les travaux touchent particulièrement quatre indices relativement bien étudiés regroupés dans un secteur ~20 km de rayon, soit l'indice de Fe-Ti-P de Lac Perron et les indices de Ni-Cu \pm Co de Mistass, Lac Yenevac et Mc Nickel. La cartographie de détail des faciès de la SALSJ et de la calcicité du plagioclase dans ce secteur, en combinaison avec la géophysique et la cartographie régionale du MRNF, ont permis d'identifier plusieurs secteurs distincts dans la marge ouest de la SALSJ et d'établir peut-être un lien entre ces secteurs et les types de minéralisations.

Le secteur de l'indice de Fe-Ti-P de Lac Perron a permis de mettre en évidence une organisation interne des lithologies orientées WNW-ESE marquée par une diminution de la calcicité du plagioclase autour de l'indice. Cet indice d'oxydes est en effet encaissé dans une anorthosite pegmatitique à plagioclase de composition andésine (An₄₀), tandis que les roches anorthositiques du secteur sont constituées d'une alternance de bandes de leuconorite caractérisée par un plagioclase de type labrador (An₅₁). Cette organisation lithologique et chimique n'est visible que dans le secteur de Lac Perron, autour de l'indice d'oxydes. La cartographie a aussi permis de mettre en évidence deux nouveaux indices dans le secteur de Lac Perron : 22TH118 (~2,5 km au SE de Lac Perron) et 22TH51 (~4 km au NE de Lac Perron), tous deux associés à des dunites à oxydes-apatite.

Les suites anorthositiques hôtes des minéralisations de sulfures Ni-Cu \pm Co (Lac Yenevac, Mistass et Mc Nickel), quant à elles, ne présentent pas de lien notable avec les zones minéralisées. Les roches hôtes de ces minéralisations sont principalement des lithologies gabbroïques à leuconoritiques. La composition du plagioclase est An₅₀ à Mistass, An₄₉ à Lac Yenevac et An₄₄ à Mc Nickel. Les minéralisations de sulfures semblent être localisées à proximité des zones de faille déjà connues (p. ex. Lac Yenevac) ou des linéaments géophysiques qui correspondent également à des limites de secteurs ou à des failles mises en évidence par des variations de la calcicité du plagioclase dans les roches de la zone d'étude (p. ex. Mistass). Une dunite à sulfures a été identifiée en association avec les minéralisations de Lac Yenevac.

Ces travaux montrent bien que l'utilisation de la XRFp dans les terrains anorthositiques constitue un outil efficace et peu coûteux qui permet de cartographier efficacement l'organisation interne des complexes anorthositiques à échelle régionale, mais aussi à une échelle plus détaillée pour mettre en évidence les différences pétrographiques et géochimiques entre les unités anorthositiques à sulfures et les suites anorthositiques à oxydes. D'autres travaux suivront en 2023 dans la marge sud de la SALSJ pour

mieux comprendre le lien entre ces différents secteurs, l'organisation interne et la structure des massifs anorthositiques et les minéralisations en oxydes et en sulfures.

1 Introduction

L'étude des liens entre les suites anorthositiques et les minéralisations magmatiques de sulfures (Ni-Cu±Co) et d'oxydes (Fe-Ti-V-P) par l'application de la méthode de fluorescence-X portative (XRFp) ont permis la mise en place d'un projet de doctorat entre l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) et le ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) au printemps 2022. Ce projet de doctorat, sous la supervision de S. Dare, R-L. Simard, (UQAC) et l'aide de A. Moukhsil (MNRF), cherche à répondre à la problématique de relation entre les minéralisations (sulfures et oxydes) et la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (SALSJ) selon trois objectifs :

1. Caractériser les minéralisations Ni-Cu±Co et Fe-Ti-(V)-P
2. Déterminer la distribution spatiale des faciès anorthositiques et la calcicité de plagioclase
3. Identifier les relations entre les minéralisations et les faciès anorthositiques dans les marges ouest et sud de la SALSJ

Afin de répondre à ces objectifs, des travaux de terrain et de géochimie ont été prévus sur une période de 3 ans. La première campagne de terrain a pris place entre juin et juillet 2022 dans la marge nord-ouest de la SALSJ comprenant les feuillets SNRC 32H08, 32H01 et 22E04. Ce terrain a pris place dans un secteur cartographié en 2021 par le MRNF, recensant différents indices de sulfures (Mc Nickel, Lac Yenevac, Mistass) et d'oxydes de Fe-Ti-P (Lac Perron). La deuxième campagne de terrain prendra place dans la marge sud-est de la SALSJ en 2023, comprenant les feuillets 22D06, 22D05 et 22D12. Ces choix de secteurs d'études ont pour but de produire une cartographie détaillée des différents faciès anorthositiques et de la calcicité du plagioclase contenant les deux types de minéralisations (sulfures et oxydes) dans les zones les moins impactées par des modifications post mise en place de la SALSJ.

Ce manuscrit a pour but de documenter les observations faites sur le terrain durant la campagne 2022 et présenter les résultats préliminaires de la géochimie de roche totale, calcicité du plagioclase par XRF portatif (XRFp) ainsi que la pétrographie macroscopique et microscopique des échantillons récoltés lors de cette campagne.

2 Les anorthosites et leurs minéralisations

Les anorthosites sont des roches ignées plutoniques, leucocrates, constituées à plus de 90 % modal de feldspaths plagioclases (Figure 1A) et de moins de 10 % minéraux mafiques comme pyroxène, olivine, ilménite, magnétite, apatite, biotite, hornblende (Streckeisen *et al.*, 2005). Ces lithologies sont incluses

dans la suite anorthositique qui est définie par la classification modale des roches gabbroïques avec comme pôle discriminant le pyroxène et l'olivine (Figure 1B ; Streckeisen *et al.*, 2005).

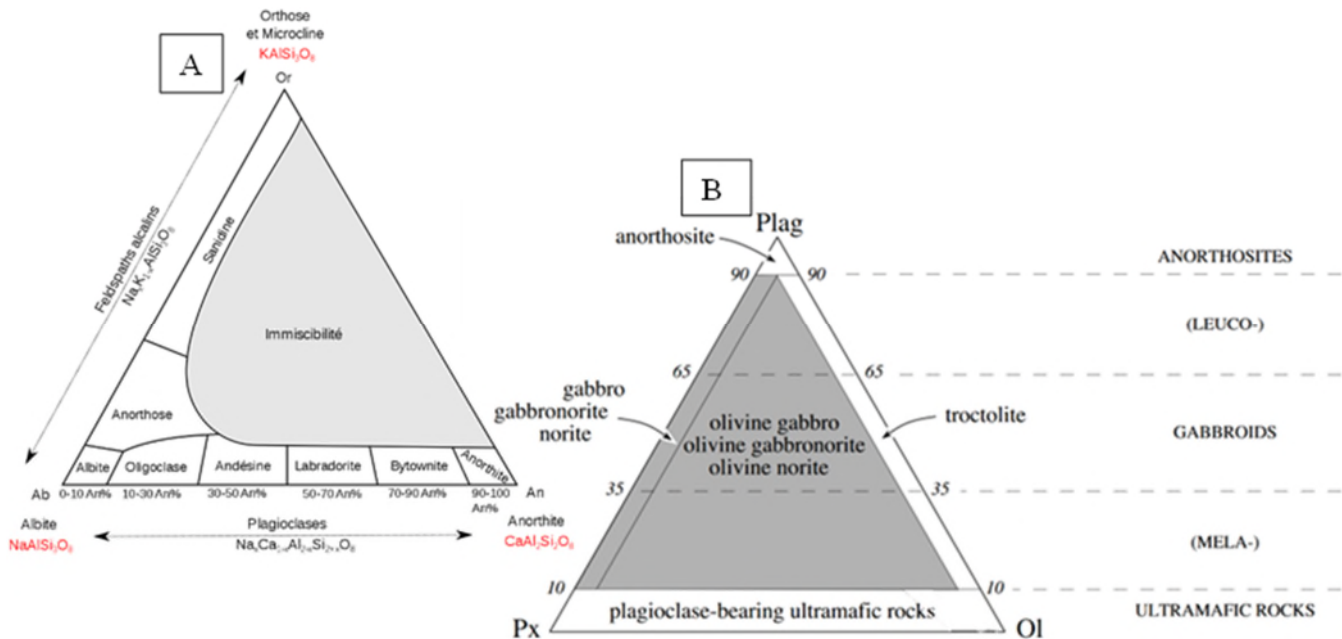


Figure 1 : Diagrammes ternaires : A) Diagramme ternaire de classification des feldspaths cristallisés à haute température, basé sur la proportion modale d'albite, d'orthose et d'anorthite ou sur la proportion normative de Na, K, Ca (en rouge), tiré de Smith et Brown (1988). Les feldspaths plagioclases des anorthosites se trouvent principalement dans la partie inférieure du diagramme, entre les champs Albite et Anorthite. Dans le cas des suites anorthositiques, la calcicité du plagioclase se répartit entre les compositions andésitique (An30-An50) et labradoritique (An50-An70). B) Diagramme ternaire de classification modale des roches gabbroïques basé sur la proportion de feldspaths plagioclases (Plag), pyroxènes (Px) et olivines (Ol) (modifié de Streckeisen *et al.*, 2005).

Ces suites anorthositiques sont hôtes de 1) minéralisations de sulfures, enrichies en Ni-Cu±Co ± éléments du groupe du platine (EGP), dont la formation est favorisée par la contamination crustale de magma peu différenciés, et 2) des minéralisations d'oxydes ± apatite, une source de Fe-Ti(V)-P, favorisées par des magmas évolués par cristallisation fractionnée (Charlier *et al.*, 2015 ; Kerr et Ryan, 2000). Cette dichotomie pétrogénétique observable dans une suite lithologique hôte, pousse à approfondir notre compréhension des processus de formation et de mise en place de ces lithologies afin de faciliter l'exploration minérale en terrain anorthositique.

3 Géologie régionale

La Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (SALSJ) est un complexe igné situé dans la partie centrale de la ceinture allochtone de la Province de Grenville, Québec, Canada (Figure 2 ; Hébert *et al.*, 2009b). La Province de Grenville est un ensemble morphostructurale dont la partie exposée se trouve dans le secteur est du Bouclier canadien. Cette province géologique est divisée en deux domaines

tectonostratigraphiques : la ceinture parautochtone et la ceinture allochtone (Gobeil *et al.*, 2003 ; Rivers, 2009). Selon le modèle tectonique de Rivers et al (1989), l'Orogénie grenvillienne est une collision continent-continent datée entre 1190 et 980 Ma, succédant à la subduction et l'accrétion d'arc sur la marge de Laurentia, entre ~1700 à 1200 Ma. L'Orogénie grenvillienne correspond à une compression nord-ouest comprenant au moins trois épisodes collisionnels (Higgins et van Breemen, 1992 ; Rivers, 1997). Chacune de ces périodes de convergence est suivie par des périodes de relaxation post-orogénique, offrant une tectonique extensive propice à la formation des suites anorthosite-mangérite-charnockite-granite (AMCG). Cette tectonique extensive s'étend sur une période de 600 Ma entre 1160 à 1010 Ma (Corrigan et Hanmer, 1997 ; Higgins et van Breemen, 1996 ; Rivers, 2015).

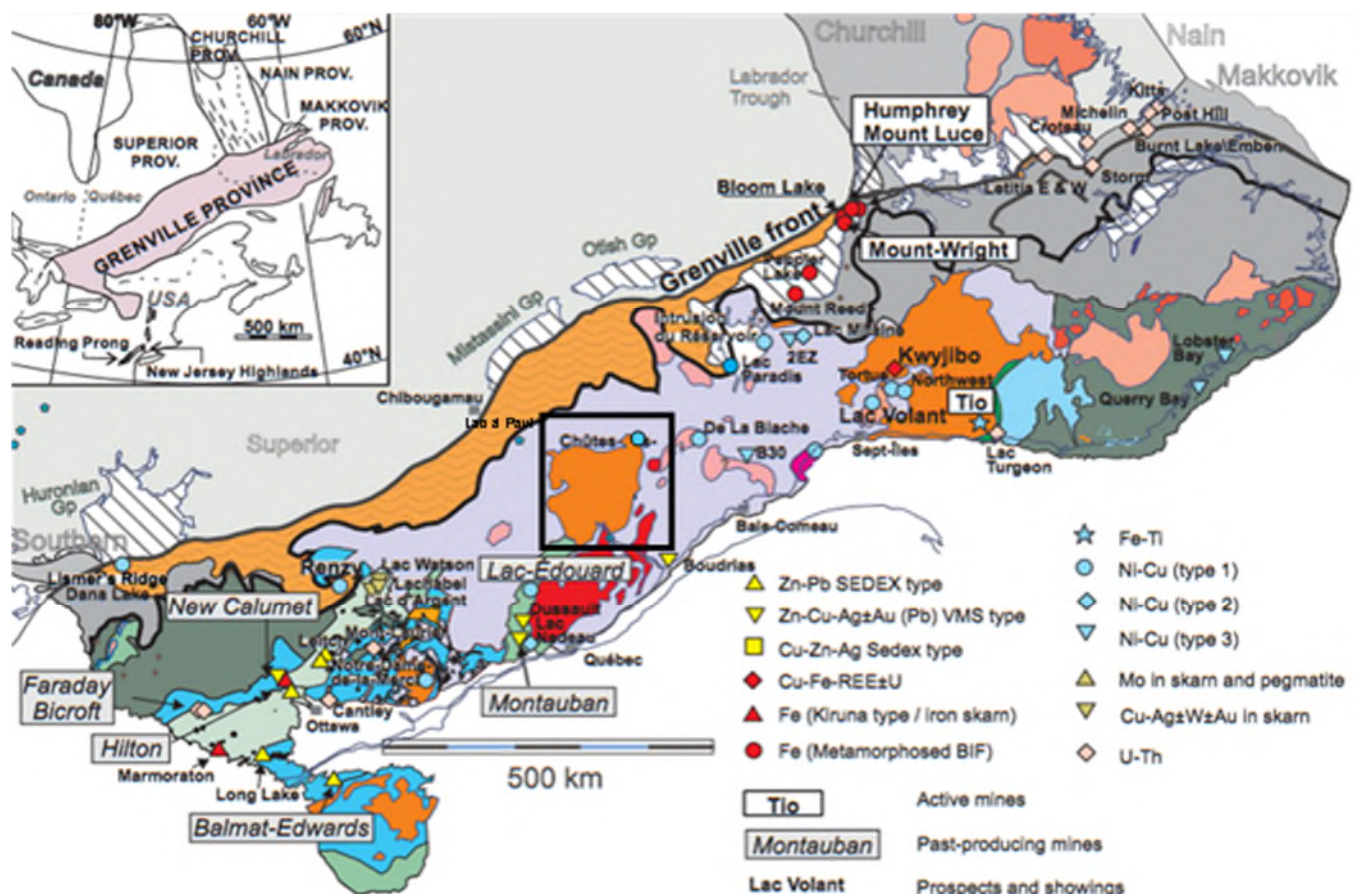


Figure 2 : Carte de la Province de Grenville localisant la SALSJ, encadrée en noir (modifiée de Corriveau *et al.*, 2007)

La tectonique extensive, liée à la relaxation orogénique a permis la formation d'une suite plutonique de 20 000 km² : la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (SALSJ). Ce complexe igné fait partie des deux plus grandes suites anorthositiques au monde, avec le complexe du Kunene, Namibie-Angola, Afrique australe (>18 000 km²; Maier *et al.*, 2013). Plusieurs indices de Ni-Cu±Co et Fe-Ti-(V)-P ont été observés, principalement aux marges nord et nord-est de la SALSJ (Figure 3; El Bourki et Moukhsil, 2022a, 2022b ; Hébert *et al.*, 2009a).

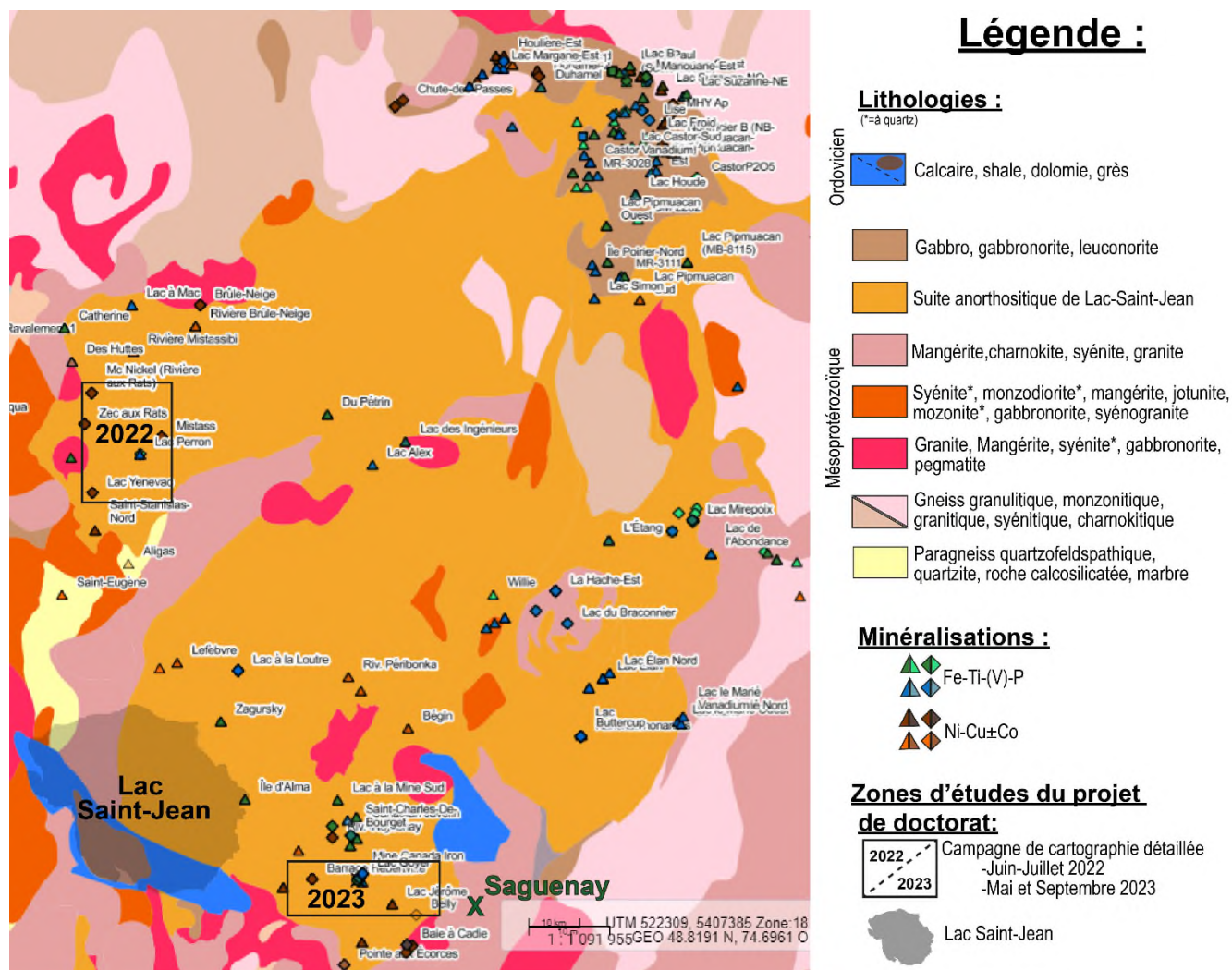


Figure 3 : Carte de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (SALSJ) avec les indices de minéralisation de sulfures (Ni-Cu-Co) et d'oxydes (Fe-Ti-V-P) et les zones de cartographie détaillées prévues pour le projet de doctorat (modifiée du SIGÉOM : MRNF, 2022)

Les travaux de Hébert *et al.* (2005) et Morse (2006) semblent montrer qu'il existe un lien entre la chimie du plagioclase des anorthosites et le type de minéralisation. Ce lien est actuellement en train d'être testé par le développement et l'application d'un protocole d'estimation de la calcicité (contenu en anorthite : An) grâce à un proxy Ca/Si du plagioclase avec un appareil de fluorescence-X (XRFp) portatif (voir section méthode, ce document, pour plus de détails; Tondoh, 2021). Ce projet est financé par le ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) du Québec ainsi que par la chaire de recherche en géochimie appliquée aux gisements métalliques de S. Dare de l'Université du Québec à Chicoutimi. Le développement de cette méthode d'estimation de la calcicité du plagioclase par XRFp (Mercier, 2022 ; Tondoh, 2021), sous la supervision de S. Dare et R-L. Simard permet maintenant de cartographier chimiquement la SALSJ par la calcicité du plagioclase et d'inférer sur le type de minéralisation pouvant se trouver dans un secteur anorthositique d'intérêt (Gueye, 2023 ; Mercier, 2022). Le développement de

cet outil de cartographie à l'échelle régionale a été fait en collaboration avec le MRNF (A. Moukhsil, M. El Bourki et leurs équipes) qui a fournis les suites d'échantillons anorthositiques à l'échelle des feuillets SNRC.

Plusieurs travaux ont été effectués afin de caractériser les minéralisations de Fe-Ti-(V)-P et Ni-Cu±Co et leurs mises en place dans la SALSJ, sans toutefois établir de façon claire la relation pétrogénétique avec les lithologies magmatiques hôtes (Fredette, 2006 ; Grant, 2020 ; Huss, 2002 ; Martin-Tanguay, 2012 ; Néron, 2011 ; Vaillancourt, 2001).

Les travaux de (Hébert et al., 2005) mettent en évidence une association entre les minéralisations de Fe-Ti-(V)-P et des lithologies hôtes tel que des gabbronorites dans la marge est et des faciès anorthositiques andésinitiques dans la marge nord. Il a été reporté, pour les autres marges de la SALSJ : des indices de Fe-Ti-V dans les marges sud (Buttercup) et nord (Margane/Houillère-Nord) et des indices de Fe-Ti-P dans les marges sud (Saint-Charles de Bourget), ouest (Lac Perron) et nord (gîte de Lac Paul: Bachari, 2004 ; Fredette, 2006 ; Grant, 2020). Ces études ont confirmé que les minéralisations en Fe-Ti-V, majoritairement à magnétite ±ilménite, sont associées à des anorthosites/leucogabbronorites à plagioclase de calcicité >50 (labradorite), indicateur d'un magma plus primitif. En comparaison, les lithologies hôtes des minéralisations de P contiennent de l'olivine et ont des plagioclases avec An<50 (andésine), indicateur d'un magma plus évolué (Bachari, 2004 ; Fredette, 2006 ; Grant, 2020).

Dans le cas des minéralisations de Ni-Cu±Co, des modèles pétrogénétiques ont été proposés pour expliquer la formation des minéralisations dans les lithologies hôtes. Ainsi, dans la marge Sud, l'indice Lac Kénogami (Dumont) permet d'observer une association entre des minéralisations à Ni-Cu±EGP et une lithologie hôte gabbronoritique à harzburgitique (Vaillancourt, 2001). Cette minéralisation serait mise en place grâce à un modèle similaire à celui de Voisey's Bay, impliquant une succession d'injections d'un magma parental basaltique primitif (Fo=80-88; An=66-90), contaminé par les paragneiss encaissants (Vaillancourt, 2001). Dans le cas de l'indice Ni-Cu de Houillère de la région de Lac à Paul, dans la marge Nord (Figure 3), Huss (2002) interprète la formation et la mise en place de minéralisations de sulfures dans des lithologies mafiques à ultramafiques (harzburgitique, pyroxénitique, noritique, suite anorthositique), comme étant issues de la contamination d'un magma parental par les paragneiss et les marbres des roches encaissantes. Dans ce cas, le magma était un peu plus évolué (Fo=55-60, plagioclase An=40-46; Huss 2002).

4 Géologie locale de la marge nord-ouest de la SALSJ

Le secteur d'étude de la première campagne de terrain a été effectué dans la marge nord-ouest de la SALSJ entre 30 et 50 km au nord de la ville de Dolbeau-Mistassini, dans les feuillets SNRC 32H08, 32H01 et 22E04 (Figure 4). Au total, 21 jours de terrain ont été effectués du 11/06/2022 au 06/07/2022. La zone d'étude a été divisée en quatre secteurs regroupés autour des quatre principaux indices de cette zone : un à oxides-apatite (Lac Perron) et trois à sulfures Ni-Cu±Co (Mistass, Lac Yenevac et Mc Nickel; Figure 4). Une cartographie détaillée des différents facies de la SALSJ a été effectuée le long de traverses d'observation localisées principalement en bordure de chemins forestiers, à l'exception du secteur Mc Nickel, où seul un grand décapage a été cartographié due à la difficulté d'accès et à la campagne de terrain du feuillet 32H08 (El Bourki et Moukhsil, 2022b). Ces 21 jours de terrain ont permis la production de 221 géofiches, et la prise de 175 échantillons.

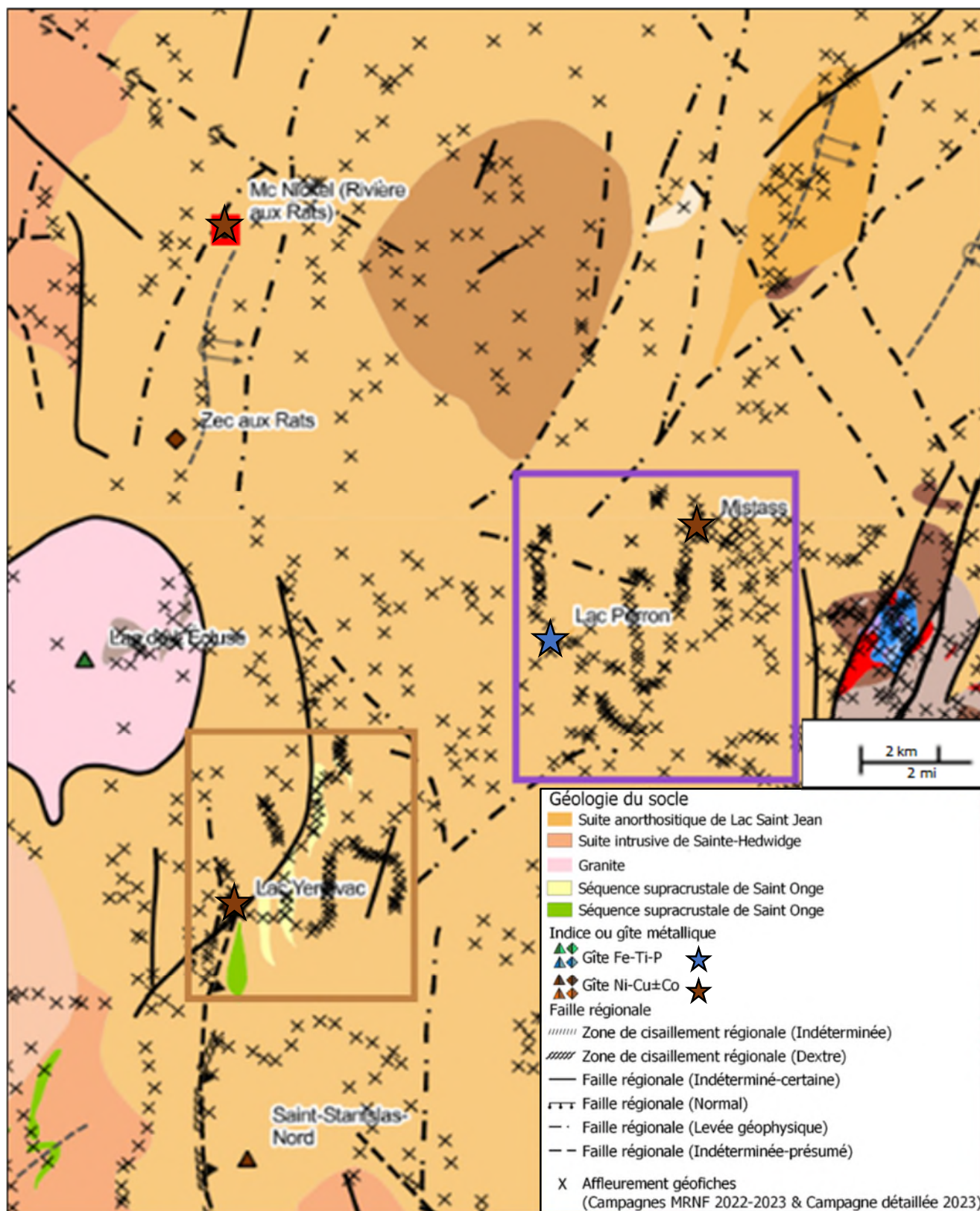


Figure 4 : Carte géologique régionale de la région nord-ouest de la SALSJ (carte tirée du SIGÉOM); mettant en évidence les 4 secteurs étudiés durant la campagne 2022 : Lac Perron et Mistass (encadré violet), Lac Yenevac (encadré brun) et Mc Nickel (encadré rouge). Les différentes nuances de couleurs jaunes-brunâtres sur la carte correspondent à la SALSJ (voir légende El Bourki et Moukhsil, 2022a, 2022b)

4.1 Secteur Lac Perron

Le secteur Lac Perron est d'une superficie de ~27 km² est répartie autour de l'indice de Lac Perron (Fe-Ti-P, ~200 m²; Figure 4). L'indice du Lac Perron est situé dans le secteur du kilomètre 44, sur le bord Ouest de la route forestière de la compagnie Bowater. Cet indice d'oxyde a été découvert par R. Dégagné en 2002 et décapé par C. Tremblay (Tremblay, 2014 ; 2017). Les décapages montrent des lentilles de nelsonites (oxydes de fer-titane + apatite), s'étendant vers le nord de façon sporadique. Ces nelsonites se présentent comme des lithologies massives à grains très grossiers progressivement remplacées par une linéation modérément développée lorsque l'on s'approche du contact avec l'anorthosite hôte (Tremblay, 2014).

Selon les travaux historiques, la minéralisation est très grossière (>3 cm) et consiste en des amas de magnétite (30-40 % modal), ilménite (25-30 % modal), spinelle (5-10 % modal) et apatite (0-45 % modal ; Grant, 2020). Les grains d'apatite dans les nelsonites se présentent comme des cristaux très grossier (>3cm) de forme irrégulière contenant des inclusions d'oxydes de fer et sont répartis de façon hétérogène à travers l'affleurement (Grant, 2020). Les oxydes présentent des textures de recristallisation dynamique variable et une forme allongée lorsqu'ils se trouvent proche du contact avec l'anorthosite (Grant, 2020). Les analyses géochimiques de roche totale donnent les concentrations suivantes: Fe₂O₃ : 58,7-64,6 %, TiO₂ : 19,6-25,8 %, P₂O₅ : 1,4-6,6 %, et V : 0,21-0,6 % (Grant, 2020 ; Tremblay, 2014). Cette nelsonite massive est encaissée dans une anorthosite mégacrystique (>2 cm) pauvre en minéraux mafiques avec des contacts nets, irréguliers (Grant, 2020). Une altération modérée à forte est visible dans les cristaux de plagioclases sous la forme de séricite (Grant, 2020). Les plagioclases hôtes de l'indice Lac Perron ont une calcicité de plagioclase An=43 (Grant, 2020). Quelques cristaux d'oxydes de fer sont visibles localement (0-5 % modal) (Grant, 2020). Ces oxydes sont entourés par des couronnes >0,5 cm constituées d'une couronne interne de biotite + amphibole et une couronne externe de grenat (Grant, 2020).

4.1.1 Géologie du secteur Lac Perron

Un total de 22 km linéaire de traverses a été effectué dans ce secteur et 99 géofiches ont été rédigées (Figure 5).

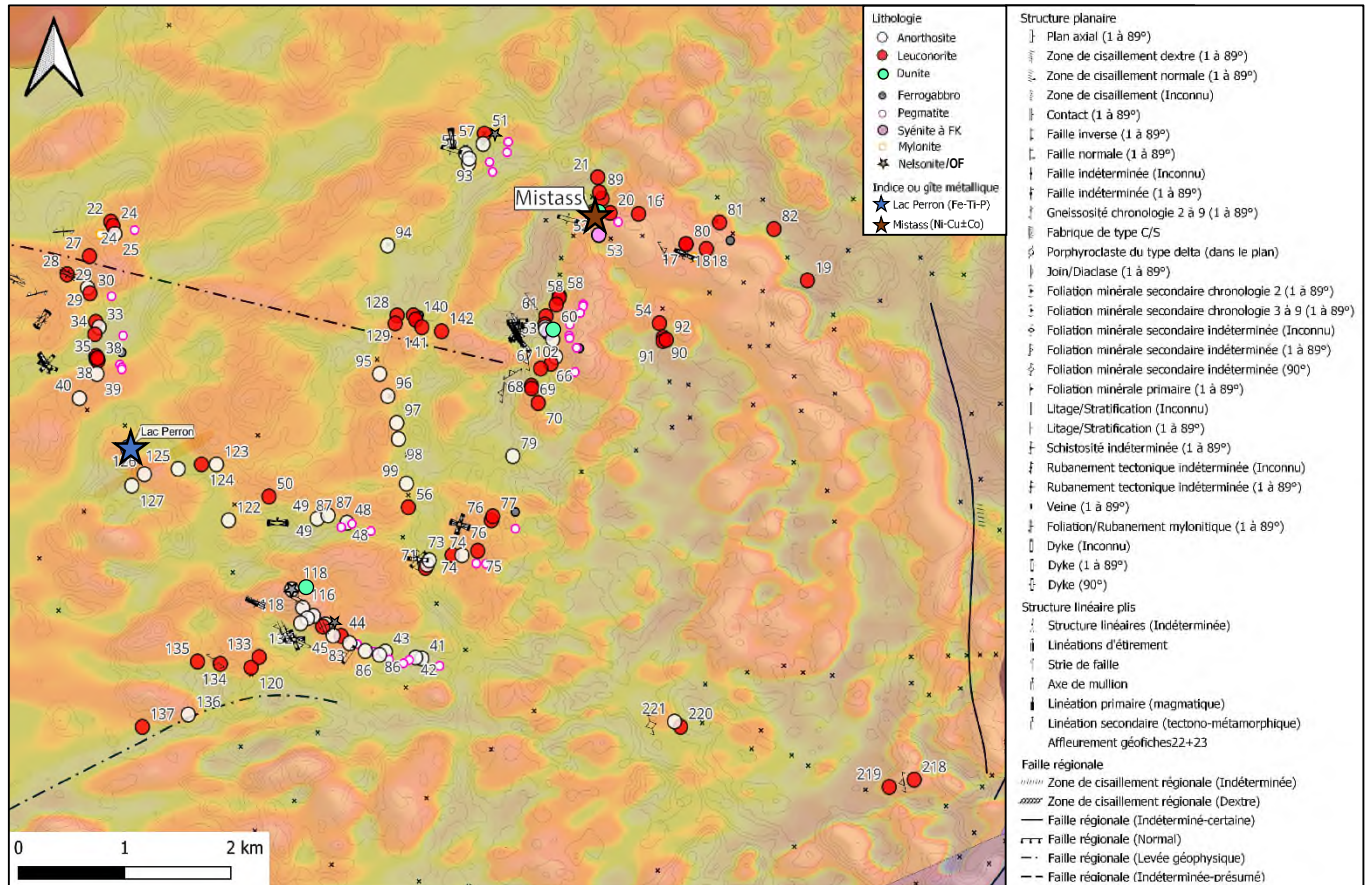


Figure 5 : Cartographie de détails (été 2022) autour des indices Lac Perron et Mistass montrant la distribution des principales lithologies observées dans le secteur avec leurs numéros de géofiches, ainsi qu'une compilation des données structurales du SIGÉOM et associées avec les données prises sur ce terrain. (cartes géologiques et géophysiques tirées du SIGÉOM, données de Intissar et Benahmed, 2015). Les numéros réfèrent aux numéro de station sont indiqués sous le format 22THXXX et les figurés des dykes granitiques pegmatitiques et des dykes microferrogabbros sont décalés à droite de la position réelle de l'affleurement.

Autour de l'indice de Lac Perron on observe trois lithologies principales (anorthosite, leuconorite, dykes granitiques ; Figure 5) ainsi que des lithologies plus auxiliaires tel que des dunites à oxyde-apatite et nelsonite, les dykes de micro-ferrogabbro et les dykes de pegmatite granitique.

L'anorthosite est présente à 46 % des affleurements visités, occupant en moyenne ~54 % de la surface des affleurements. Généralement, les portions anorthositiques des affleurements sont de couleur blanc-grisâtre clair à noir foncé en surface altérée et gris bleuté moyen à bleu violacé foncé en surface fraîche (Figure 6A, 6B, 6F). Ces lithologies peuvent se présenter sous deux formes sur le terrain, caractérisées par leurs textures : une anorthosite « granoblastique » et une anorthosite « pegmatitique ».

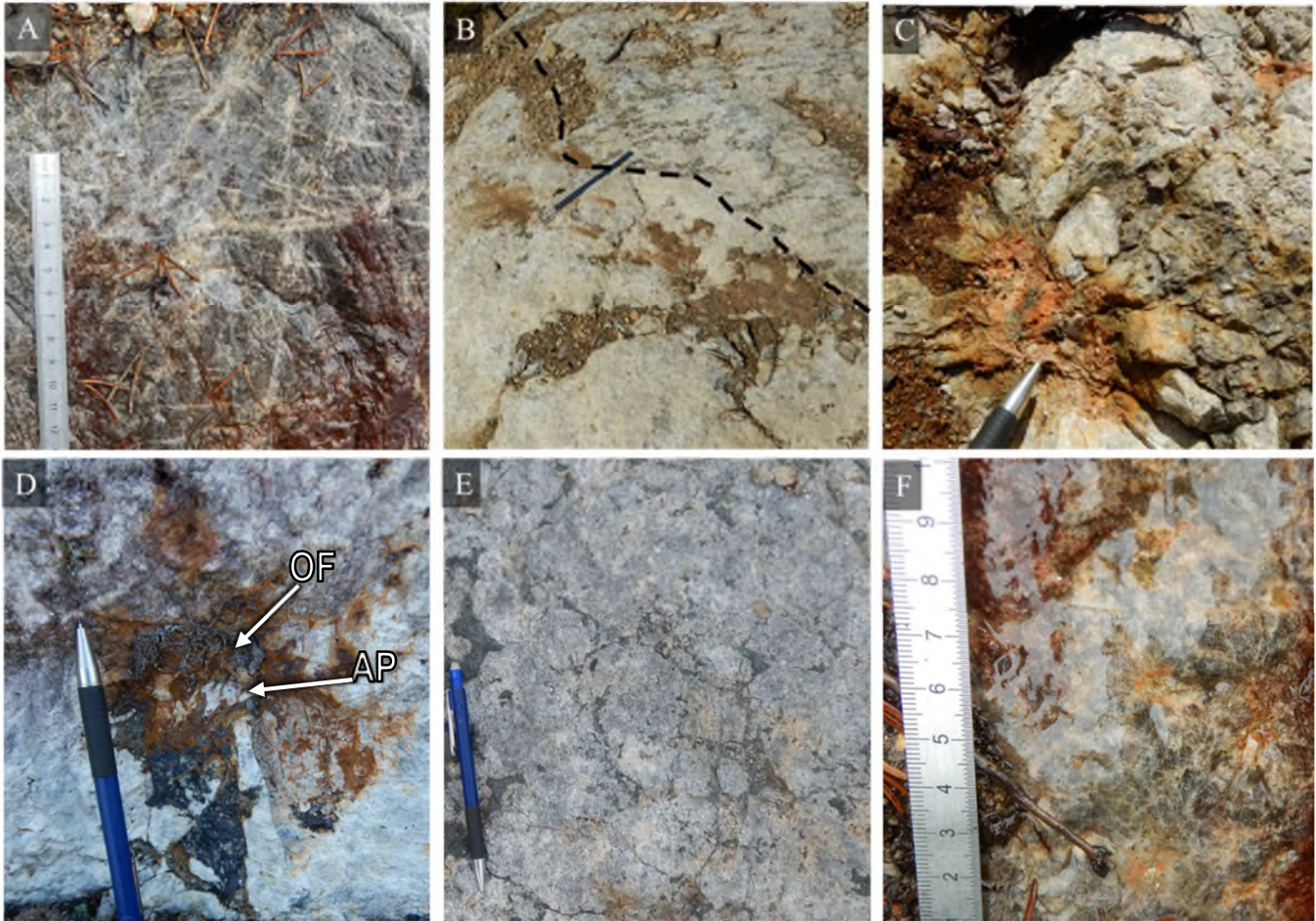


Figure 6: Photographies des textures observables dans les anorthosites et les leuconorites du secteur Lac Perron. A) Anorthosite mégacrystique (22TH50) ; B) Contact entre une anorthosite et une leuconorite à grain très grossier déformée avec « mottled texture » (22TH47) ; C) Anorthosite à grain grossier avec poche granitique (22TH117 ; FK-QZ-BT) ; D) Anorthosite mégacrystique avec poche nelsonitique (22TH115) ; E) Leuconorite à amas de plagioclases avec minéraux ferromagnésiens interstitiels (22TH67) ; F) Anorthosite granoblastique (22TH50)

L'anorthosite la plus communément rencontrée est une anorthosite à texture granoblastique, hétérogranulaire, à grain grossier à mégacrystiques (0,5 à >3 cm; 95 % des observations sur ce secteur ; Figure 6F). Il est à noter une transition a été observée entre les textures mégacrystiques à granoblastiques, corrélée avec une diminution de la taille des grains et un éclaircissement de la couleur des lithologies passant de noir foncé à blanc clair (Figure 6F), typique des anorthosites plus déformées dans le secteur.

L'anorthosite hétérogranulaire est composée d'un assemblage minéralogique de plagioclases (90 à 99 %), pyroxène (clinopyroxènes et orthopyroxènes ; 1 à 10 %), magnétite-ilménite (1 à 2 %), spinelle (<3 %), biotite (1 à 6 %), hornblende (1 à 5 %), ± apatite, ± chalcopryrite, ± pyrite, et ± pyrrhotite (Figure 8A, 8B). Il est à noter que les plagioclases contenus dans ces lithologies montrent de nombreuses inclusions d'apatites alignées selon les macles cristallines (Figure 8A, 8B). Quelques-unes de ces anorthosites peuvent présenter une texture poecilitique (16 % d'observation) caractérisée par des

oïkocrystes grossièrement circulaires à oblates de pyroxènes (CX et OX) abritant des chadacrystes (xénocrystal) de plagioclases idiomorphes (< 7mm de long; Figure 7H), similaire aux couronnes oïkocrystiques visibles dans la leuconorite 22TH44 (Figure 8C, 8D). La texture oïkocrystique se définit comme un type spécifique de texture poecilitique caractérisé par des cristaux de plagioclases (chadacrystes) inclus dans des cristaux de pyroxènes plus grands (oïkocrystes). Ces oïkocrystes ont un axe long mesurant en moyenne entre 1 à 6 cm, mais pouvant atteindre jusqu'à 20 cm. Une texture observée à la surface des affleurements dénote la présence de ces oïkocrystes, la « *mottled texture* » (texture tachetée), similaire à la texture visible sur la leuconorite (Figure 6B). Cette texture peut amener à une érosion préférentielle (dépressions ovoïdes) des oïkocrystes.

Enfin, il est possible d'observer dans ce faciès anorthositique des amas de plagioclases et amas avec minéraux ferromagnésiens interstitiels, similaires à la texture à amas, visible dans la leuconorite (Figure 6E). Parmi les amas observables, l'affleurement 22TH64 est constitué d'une anorthosite granoblastique à amas mégacrystiques d'orthopyroxènes et clinopyroxènes (>3 cm ; Figure 7I) noir-brunâtre moyen riche en oxydes de fer à grains moyens (2 mm à 1 cm ; ilménite, magnétite, spinelle) et des sulfures (pyrite, pyrrhotite, chalcoppyrite, pentlandite en forme de flamme d'exsolution (Figure 9C) de formes et de tailles variables (Figure 9A, 9B, 9C). La forme de ces amas est assez particulière puisqu'elle forme des lambeaux dispersés à travers l'anorthosite (Figure 7I) et est caractérisée, au contact avec l'anorthosite hôte, par une texture coronitique caractérisée par un assemblage à biotite-amphibole.

Des amas (ou poches) de granites pegmatitiques (Figure 6C) ou de nelsonites (Figure 6D) sont également présents dans cette anorthosite granoblastique. Ils se présentent plutôt comme des poches centimétriques de formes irrégulières se trouvant aux interstices des cristaux de plagioclases. Les poches granitiques pegmatitiques ont une taille variable allant de quelques centimètres de diamètre (Figure 6C), à un mètre, à une dizaine de mètres de long. Ces poches pegmatitiques sont reconnaissables sur le terrain par leurs couleurs jaune-rougeâtre clair à blanc-jaunâtre moyen en surface altérée et rouge-blanchâtre clair à blanc-rougeâtre clair en surface fraîche. Les granites pegmatitiques ont une granulométrie moyenne à très grossière (0,5 cm à >10 cm, jusqu'à 50 cm). Ces poches de granite pegmatitique, représentant le liquide évolué piégé dans l'anorthosite, ont été observées dans les anorthosites à proximité de minéralisations d'oxydes de fer du secteur de Lac Perron. Ces lithologies ont notamment servi à dater les intrusions anorthositiques dans la SALSJ (Higgins et van Breemen, 1992). Les poches nelsonitiques se trouvent dans des anorthosites quasiment dépourvus de pyroxènes (Figure 6D). Le deuxième type d'anorthosite observable (4 % des occurrences) sur ce terrain sont des dykes d'anorthosites à oxydes pegmatitiques (Figure 7J). Ces anorthosites sont caractérisées par une texture à grain grossier à très

grossier de 0,5 à >10 cm, se retrouvant sous forme de dyke recoupant les autres lithologies. Ces pegmatites anorthositiques à oxydes présentent un assemblage minéralogique constitué de plagioclase (70 %), de magnétite-ilménite (27 %), et de spinelle (3 %).

Le deuxième type de lithologie principal dans le secteur de Lac Perron est la **leuconorite**, présente dans 34 % des affleurements visités occupant en moyenne ~43 % de la surface des affleurements. Généralement, les portions leuconoritiques des affleurements sont de couleur blanc-grisâtre clair à gris foncé en surface altérée et gris-blanchâtre moyenne à gris-brunâtre foncé en surface fraîche (Figure 6E). Ces lithologies peuvent aussi se présenter sous deux formes sur le terrain, caractérisées par leurs textures : la « leuconorite à grain grossier » et la « leuconorite pegmatitique ». La leuconorite la plus communément rencontrée à une texture oïkocristique (40 % d'occurrence), granoblastique, hétérogranulaire, à grain grossier (0,5 à 3 cm) pouvant apparaître comme foliées (8 % d'occurrence ; Figure 6B).

Cette leuconorite est composée d'un assemblage minéralogique de plagioclases (70 à 88 %), pyroxène dont orthopyroxène (1 à 30 %), oxyde de fer dont magnétite-ilménite (1 à 3 %), spinelle (<2 %), biotite (2 à 15 %), hornblende (5 à 20 %) ± sulfures (~1 % ; Figure 8C-D). La leuconorite est généralement granoblastique, régulièrement poecilitique causant par endroit une « *mottled texture* » en surface des affleurements, et localement coronitiques (couronnes de hornblende, biotite, autour des orthopyroxènes). Certains affleurements présentent un allongement préférentiel des oïkocristes (ratio de 1 :3 à 1 :5) avec un axe long moyen mesurant entre 2 et 14 cm, mettant en évidence une foliation relativement faible dans certaines leuconorites du secteur (Figure 6B). Certaines autres textures peuvent être observées comme une variation de la granulométrie pouvant aller de mégacristique (>3 cm ; Figure 7G) à grain moyen (0,1 à 0,5 mm), diminution de taille de grain souvent corrélée avec une intensification de la texture granoblastique.

Il est aussi possible d'observer des amas de leuconorites et d'anorthosites dans cette lithologie hôte (2 % d'occurrence) montrant des textures et des variations minéralogiques faisant penser tantôt à une brèche avec des blocs anguleux d'anorthosite ou de leuconorite qui semblent transportés dans la lithologie hôte, tantôt à des amas de plagioclases granoblastiques associés à des amas avec minéraux mafiques interstitiels (Figure 6E). Il est aussi possible d'observer des textures coronitiques caractérisées par une bordure réactionnelle à hornblende et biotite, souvent autour de pyroxènes, principalement clinopyroxène, centimétriques à pluricentimétriques (2 % d'occurrence; Figure 8C- D). Certains affleurements présentent un seul type de texture avec un seul type de granulométrie, rendant leur aspect homogène (2 % d'occurrence) tandis que d'autre présente une grande variabilité de texturale (*varied-textured*) et de granulométrie, rendant leur aspect hétérogène (6 % d'occurrence).

Le deuxième type de leuconorite observable (4 % des occurrences) est catégorisé comme des « leuconorites pegmatitiques ». Ces leuconorites sont similaires aux anorthosites à oxydes pegmatitiques : texture à grain très grossier de 1 à 10 cm, se retrouvant sous forme de dyke similaire aux dykes d'anorthosites pegmatitiques. L'assemblage minéralogique de ces leuconorites pegmatitiques est plagioclase (70 à 75 %), pyroxène (5 à 20 %), oxyde de fer dont magnétite-ilménite (5 à 10 %), et de biotite (<15 %). Ils sont généralement orientés 230/90, et ne présentent pas de déformation apparente.

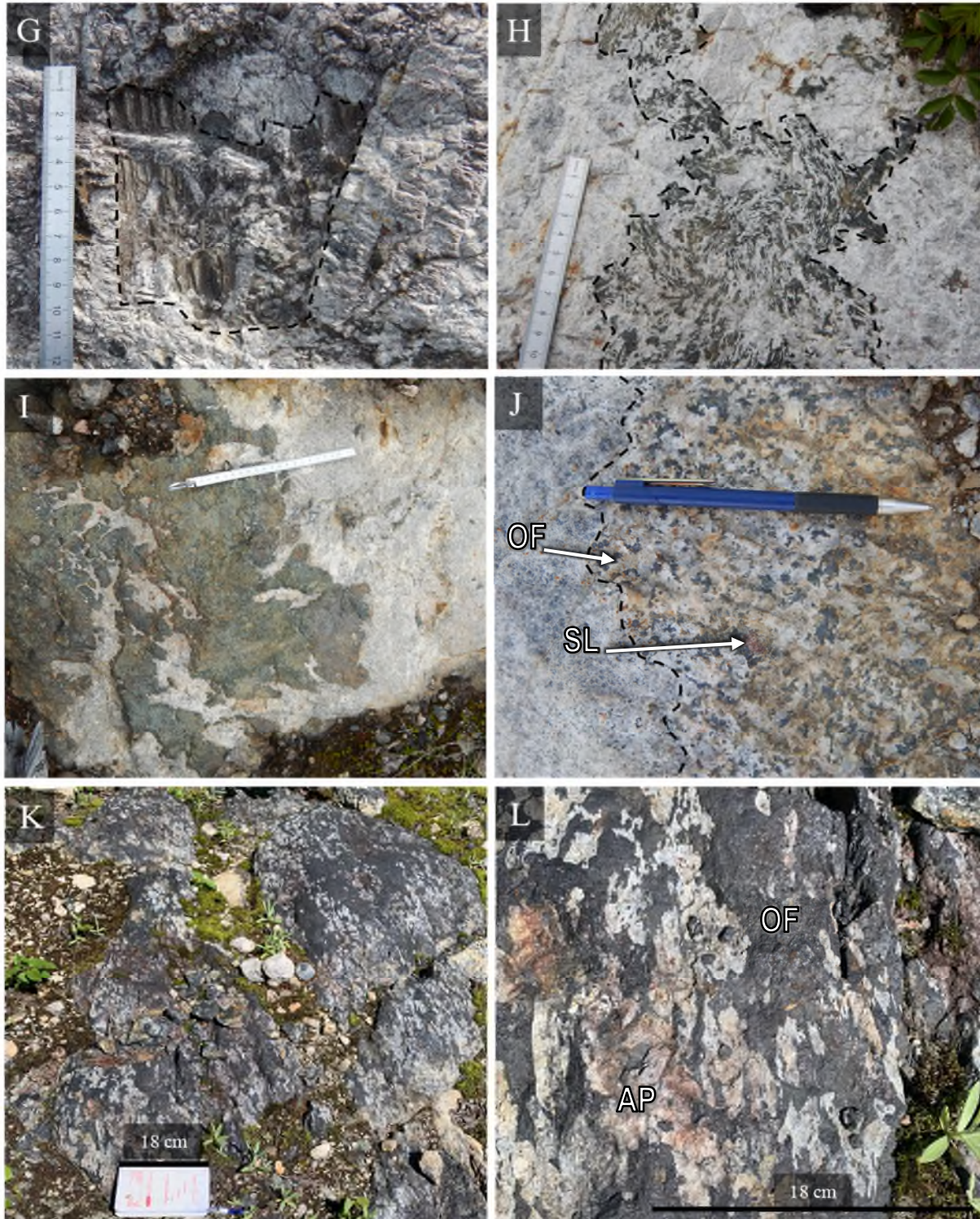


Figure 7 : Photographies des textures observables dans les anorthosites et les leuconorites du secteur Lac Perron (suite) G) Leuconorite poecilitique avec porphyroclastes de pyroxène mégacrystique et chadacrystes de plagioclase, entouré en traits hachurés noirs (22TH34) ; H) Leuconorite poecilitique avec oikocrystes pyroxénitiques et chadacrystes de plagioclase, entouré en traits hachurés noirs (22TH57) ; I) Anorthosite granoblastique à amas mégacrystiques de pyroxènes, d'oxydes de fer et de sulfures, entourés d'une couronne d'amphibole et de biotite (22TH64) ; J) Anorthosite à grain grossier avec dyke d'anorthosite pegmatitique, formant un plaquage à l'affleurement (à droite du traits hachurés noir ; 22TH133), K) Vue générale vers le nord de l'affleurement de l'indice Lac Perron avec oxydes de fer et apatite. L) Vue rapprochée de mégacristsaux d'apatite (AP) et d'oxyde de fer (OF) de l'indice Lac Perron

Des **pegmatites granitiques** à plagioclases (10 à 97 %), quartz (20 à 40 %), feldspath-K (2 à 50 %), \pm pyroxène (<5 %), \pm biotite (2 à 10 %), \pm muscovite (<2 %), oxydes de fer dont magnétite-ilménite (1 à 15 %) \pm spinelle (<1 %), apatite (<2 %) sont communément observées dans le secteur de l'indice Lac Perron, représentant jusqu'à 15 % des lithologies observées couvrant 1,5 % des surfaces observées. Elles se présentent sous la forme de dykes allant de 5 cm à 1 m d'épaisseur. Les relations de recoupement avec les lithologies principales sont marquées par des contacts nets. Ces lithologies sont reconnaissables sur le terrain par leur couleur jaune-rougeâtre clair à blanc-jaunâtre moyen en surface altérée et rouge-blanchâtre clair à blanc-rougeâtre clair en surface fraîche. Ces dykes de granite pegmatitique ont une granulométrie moyenne à très grossière (2 mm à >10 cm) avec 12 % d'occurrence de texture granophyrique. Ils sont généralement orientés 220/28, et ne présentent pas de déformation apparente.

Quelques **dykes de micro-ferrogabbro** (diabase) magnétiques constituant 1 % des lithologies ont été observés recoupant les leuconorites. Ces dykes sont noir-verdâtre foncé en surface altérée et noir en surface fraîche, aphanitique à finement grenue (minéraux ferromagnésiens <0,2 mm ; Figure 8E, 8F), dont l'épaisseur varie de 20 cm à 1 m de large. Ils sont généralement orientés 220/28, et ne présentent pas de déformation apparente.

Finalement, des **dunites** sont observables dans le secteur de Lac Perron aux affleurements 22TH118 et 22TH63. Dans le cas de l'affleurement 22TH118, il s'agit d'une dunite à oxydes-apatite associée à des débris de nelsonites retrouvées dans le chemin forestier. De façon générale, ces dunites sont noir-grisâtre en couleur altérée, noir foncé en couleur fraîche et présentent une granulométrie grossière (0,5 à 3 cm). Ces lithologies sont constituées d'olivine (65 %), d'oxydes de fer (magnétite-ilménite, 25 %), apatite (10 %), \pm sulfures (chalcoppyrite, <1 % ; Figure 9D-F). Les textures visibles en lames minces sont les textures symplectiques principalement des magnétite-ilménites en intercroissance avec le plagioclase indiquant la présence de fluides dans le système (Figure 9D).

Les minéralisations d'oxydes de fer-titane/apatite de l'indice de Lac Perron se caractérisent par des **nelsonites** (Figure 7K, 7L) à amas d'apatite plus ou moins déformés et contenus dans une anorthosite granoblastiques à amas granitiques pegmatitiques. À l'indice de Lac Perron, la nelsonite forment une lentille d'une dizaine de mètres très grossièrement grenue bien exposée le long d'un chemin forestier (Grant, 2020). À 2,5 km au sud-ouest de l'indice Lac Perron, à affleurement 22TH118, a été trouvé dans un remblai de chemin forestier des morceaux éparpillés de nelsonite à grain grossier d'oxydes de fer dont magnétite-ilménite (~84 %), apatite (~15 %), à olivine (~1 % ; Figure 10A, 10B). Enfin, à l'affleurement 22TH46, situé à 500 m au sud-est de Lac Perron, se trouve une minéralisation d'oxydes de fer massifs

(magnétite, ilménite, spinelle) incluse dans une anorthosite granoblastique hétérogranulaire à amas granitiques pegmatitiques (Figure 10C, 10D).

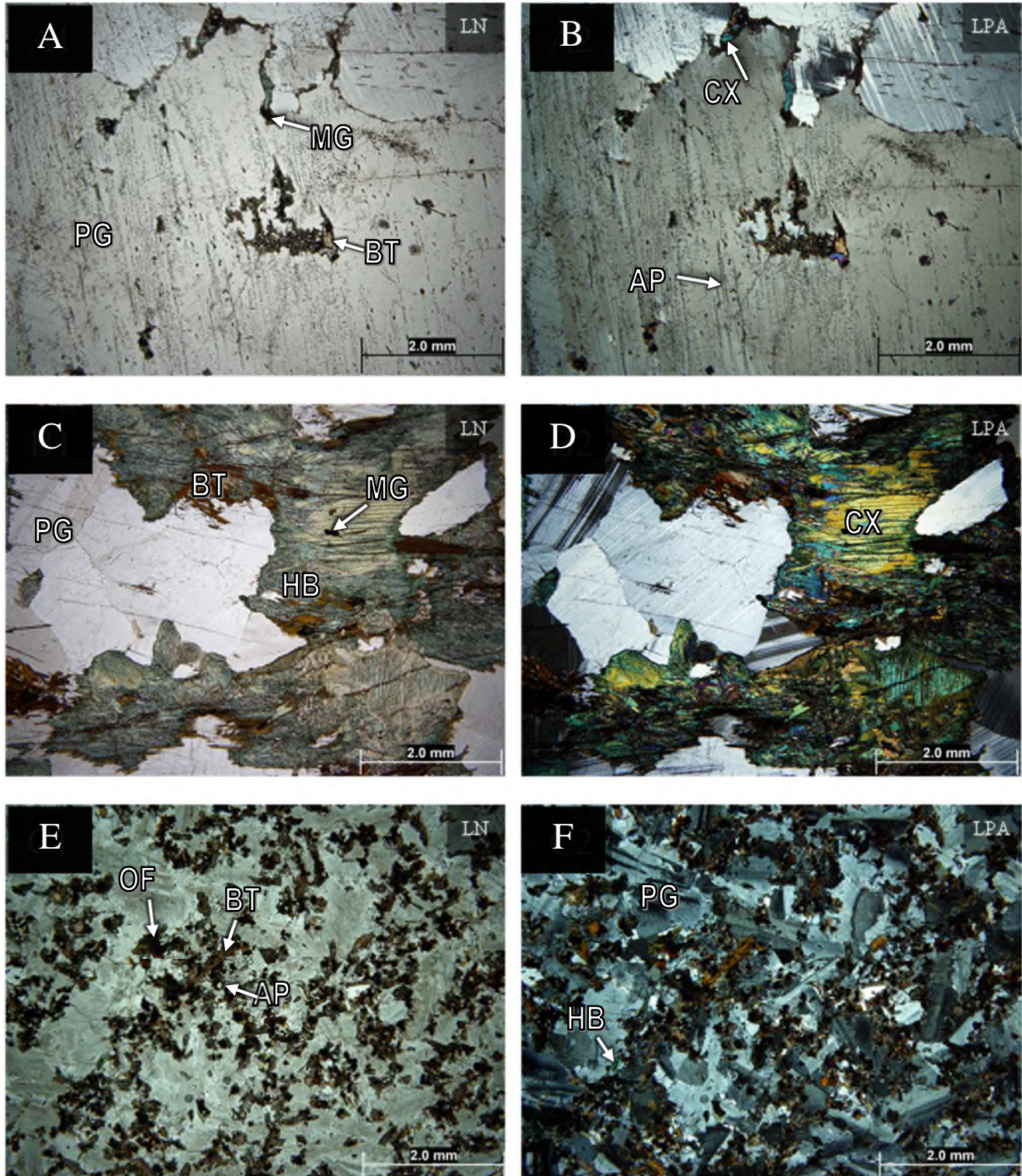


Figure 8 : Microphotographies des assemblages minéralogiques et des textures observées en lames minces dans le secteur de l'indice Lac Perron : A) Anorthosites à grains grossier et inclusions d'AP (PG, CX, OX, OF, MG, CL, BT) en LN B) en LPA ; 22TH50, C) Leuconorites oïcristique cononitique à HB+BT autour de CX/OX en LN D) en LPA (22TH44), E) Dykes de micro-ferrogabbros à PG, MG, IM, AP, BT, HB, CL en LN F) en LPA (22TH65B).

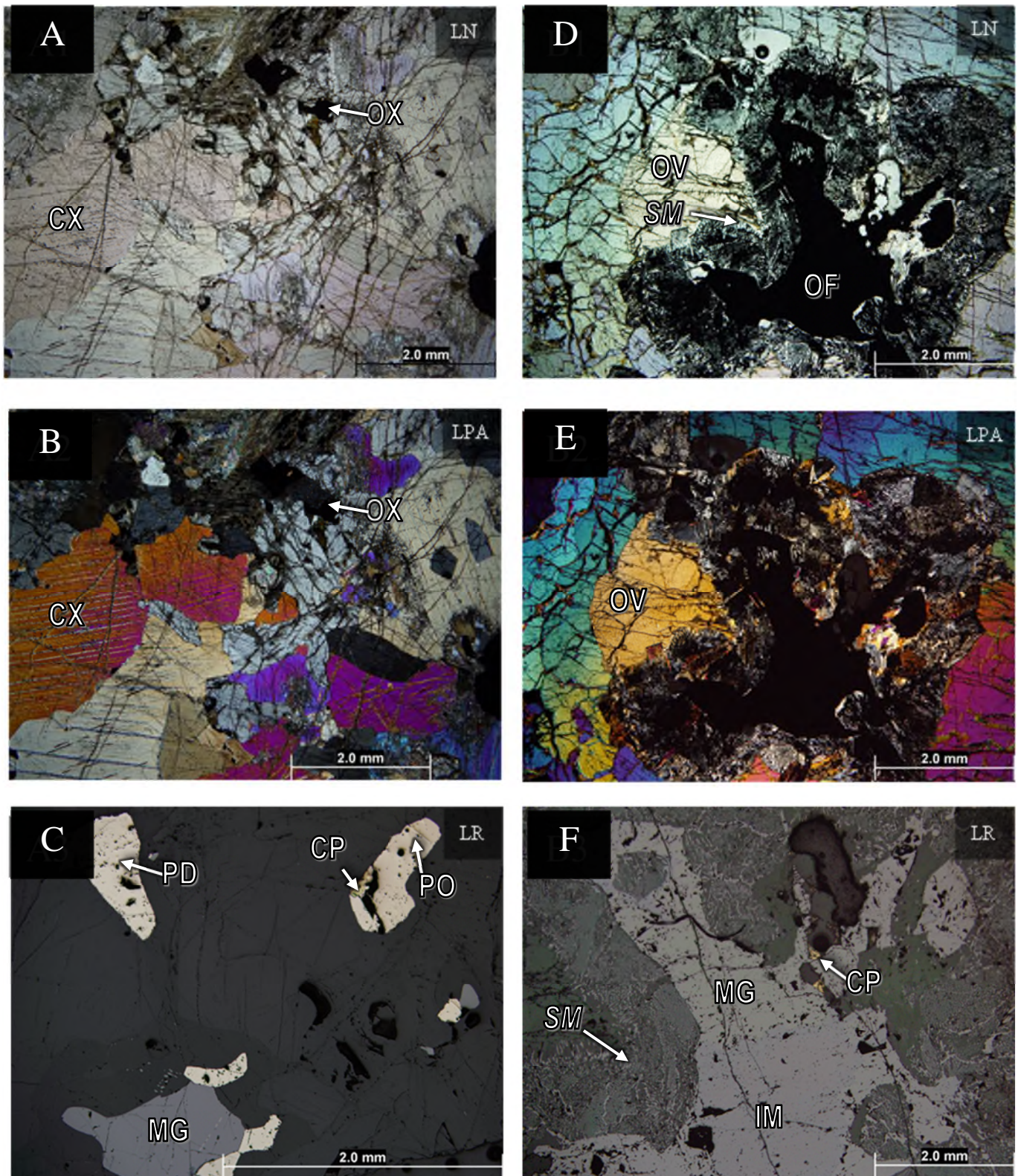


Figure 9 : Microphotographies des assemblages minéralogiques et les textures retrouvée dans les lithologies ultramafiques observées en lames minces dans le secteur de l'indice Lac Perron : A) Amas de pyroxènes (OX, CX) à globules de sulfures disséminés (PY, CP, PO, PD) et MG dans une anorthosite granoblastique en LN, B) en LPA, C) en LR (22TH64B) D) Dunite à oxyde-apatite (MG) sympléctitique (SM) en LN, E) en LPA, F) en LR (22TH118A)

Toutes les lithologies du secteur présentent un degré variable de déformation. Deux zones mylonitisées ont été observées principalement dans les anorthosites (22TH29) et leuconorites (22TH24). Elles sont généralement <1 m de large, et caractérisée par la couleur blanc crème à jaunâtre à rosâtre que prennent les plagioclases et associés à une réduction de la taille des grains.

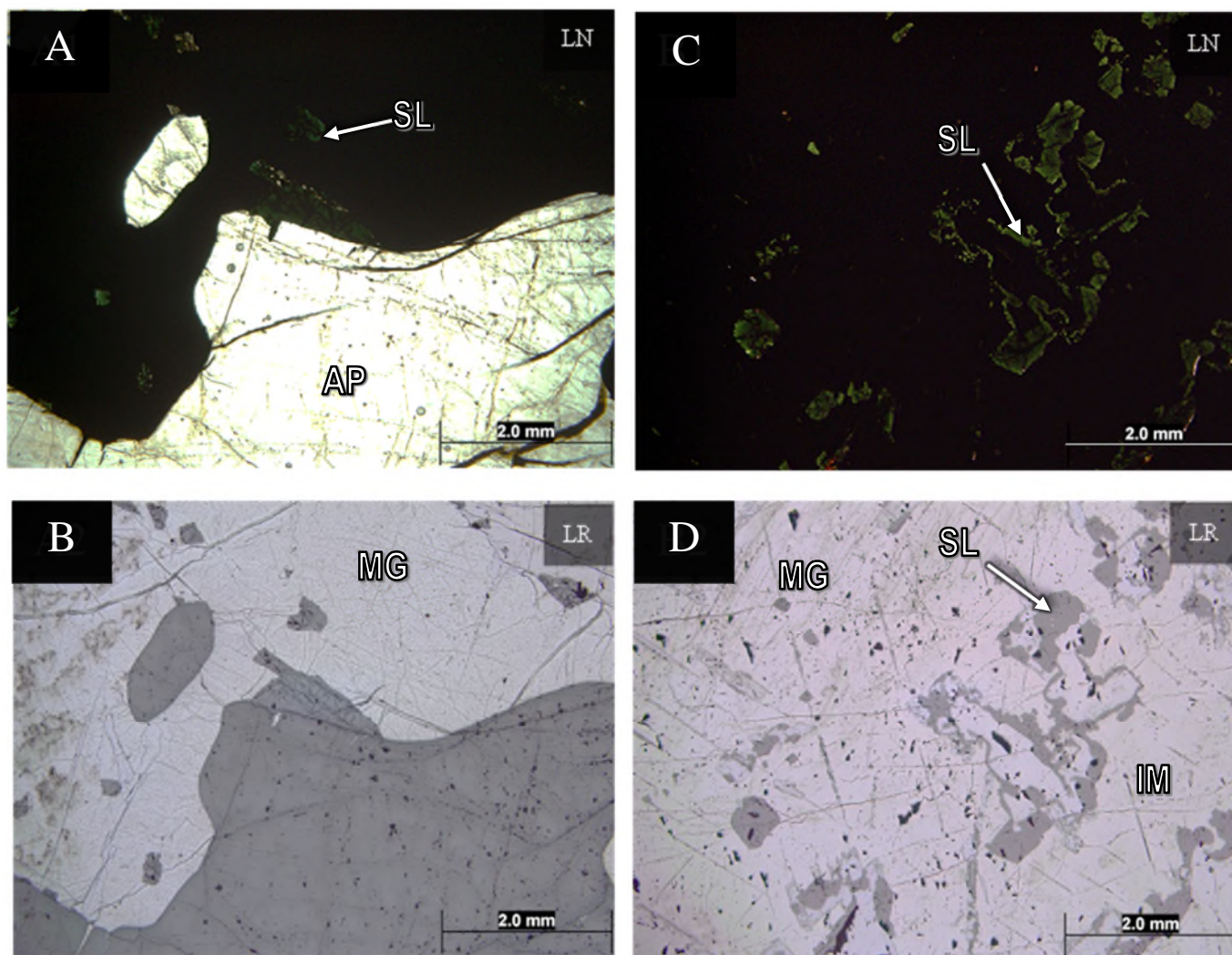


Figure 10 : Microphotographies des minéralisations d'oxydes retrouvées dans les lithologies du secteur Lac Perron A) Nelsonite (MG, AP, SL) en LN, B) en LR (22TH51), C) Oxydes de fer massifs (MG, SL) en LN, et D) en LR (22TH460x)

Au niveau de l'organisation de ces lithologies autour de l'indice Lac Perron, il est possible d'observer deux organisations de part et d'autre de l'indice Lac Perron. Au nord de l'indice, la succession d'affleurements compris entre 22TH22 et 22TH40 semble montrer une alternance d'anorthosites et de leuconorites alternant tous les ~200 m (Figure 11). Une bande ~1 km d'épaisseur d'anorthosite orientée ~288/90 semble entourée l'indice de Lac Perron. Au sud, l'alternance semble être formée par des bandes plus épaisses allant jusqu'à ~1,5 km d'épaisseur (Figure 11). Les bandes d'anorthosites et de leuconorites

sont orientées ouest-nord-ouest/est-sud-est comme semble le montrer les mesures structurales au niveau du contacts anorthosites-leuconorites ($\sim 300/90$).

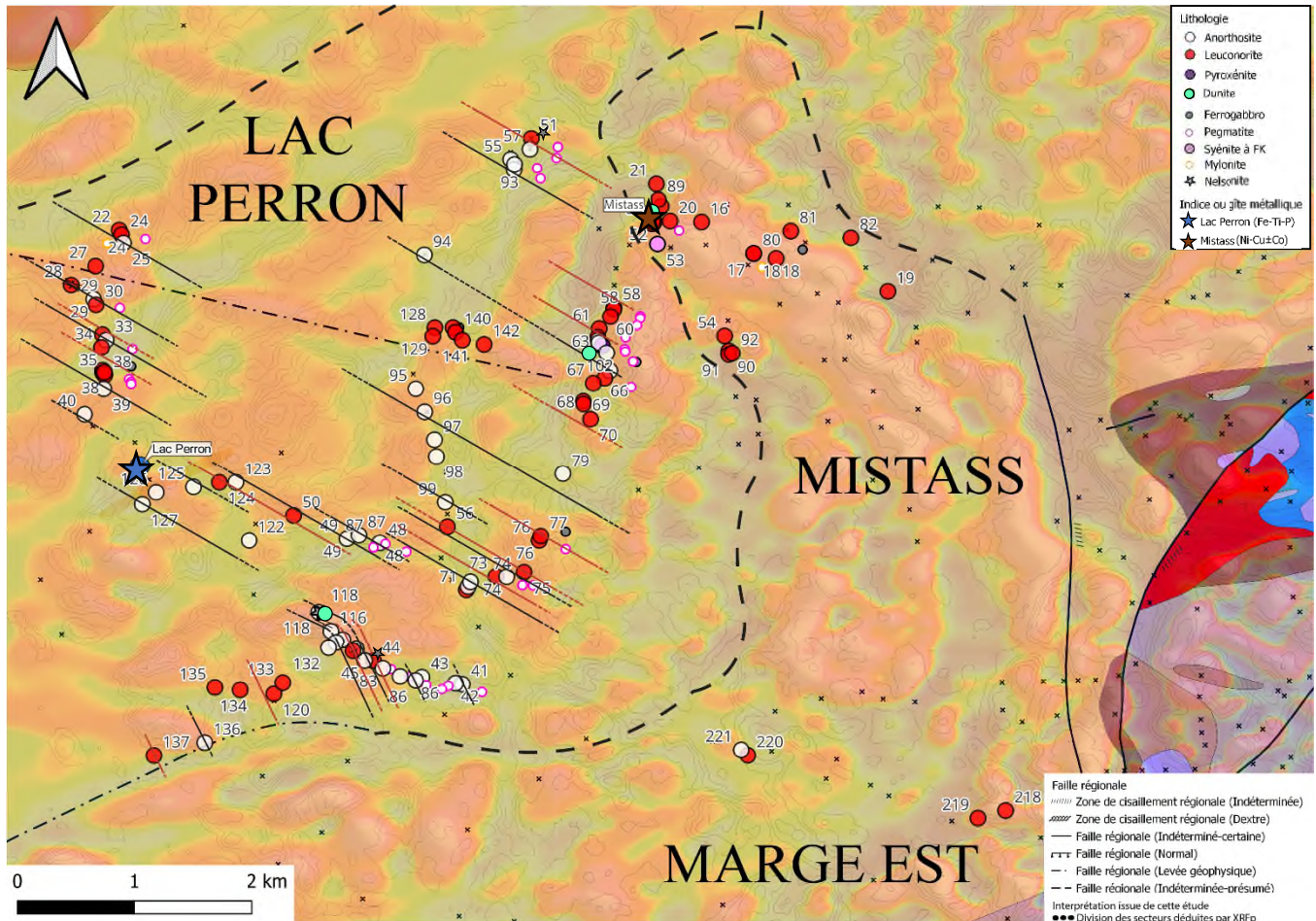


Figure 11 : Carte litho-géophysique interprétative de l'architecture du secteur Lac Perron. Les lignes noires représentent l'orientation des lithologies anorthositiques et les lignes rouges représentent l'orientation des lithologies leuconoritiques. L'orientation de ces bandes est contraint par les mesures de contacts anorthositiques-leuconoritiques mesurés sur le terrain. Les lignes noires pointillées délimites les secteurs Lac Perron et Mistass déterminés par l'organisation des lithologies et la calcicité du plagioclase (discutée dans les parties ci-dessous).

Peu de litages ou foliations magmatiques ont été observés dans ce secteur, mais de façon générale les foliations magmatiques sont orientées $\sim 292/60$ et peuvent présenter des pendages inverses ($\sim 113/81$). Les linéations d'étirement dans ce secteur sont subhorizontales/faibles plongées vers le sud-est, définies par l'allongement des oïkocristes dans les leuconorites.

4.2 Secteur Mistass

Le secteur de Mistass, d'une superficie de $\sim 3 \text{ km}^2$ est répartie autour de l'indice de Mistass (Ni-Cu±Co±EGP, $\sim 150 \text{ m}^2$). Cette indice est situé à l'embranchement est, au km 49,5 de la route Bowater, du côté est (Tremblay, 2007). Cet indice de sulfures a été mis à jour par L. Lefebvre et R. Veilleux en 2005 et des travaux de prospections, de décapages, de rainurages, de levés géophysiques et de forage ont été

effectués en 2012 par Magnor exploration Inc. Mandaté par Randsburg International Gold Corp (Ouellet, 2014). Les différents travaux de terrain ont permis de caractériser la morphologie de l'indice Mistass comme un dépôt de sulfures principalement disséminés (5 % modal) avec des niveaux décimétriques à métriques (<5 m) de minéralisation massive à semi-massive (Ouellet, 2014). Ces minéralisations se trouvent dans une lithologie anorthositique noritique (>20 à 30 % ferromagnésiens) chloritisée (Ouellet, 2014 ; Tremblay, 2007). La granulométrie de la norite hôte est variable, mais significativement plus fine dans les portions minéralisées. La disposition du corps minéralisé semble être contrôlé géologiquement avec une direction 020 à 040 (Tremblay, 2007). Des dykes de pegmatitiques et de diabases ont été observés dans les forages recoupant la minéralisations (Ouellet, 2014).

Selon les travaux historiques, la minéralisation se constitue, dans la partie disséminée, de pyrrhotite, chalcopryrite, pyrite, en forme de goutte moyenne à grossière (millimétrique à centimétrique; (Ouellet, 2014). Il est à noter la présence de magnétite-ilménite millimétrique et de trace de graphite (<1 %) ainsi que des amas de pyroxènes centimétriques dans ce faciès disséminé (Ouellet, 2014). Les analyses géochimiques donnent les concentrations suivantes, pour le dépôt massif : Ni=0,46-0,64 %, Cu=~0,1 % (Ouellet, 2014) et pour les sulfures disséminés : Ni=4380-9950 ppm, Cu=4020-7440 ppm allant jusqu'à 56000 ppm mesuré, Co=562-1565 ppm, Au=14-18 ppb (Tremblay, 2007).

4.2.1 Géologie du secteur Mistass

Un total de 6 km linéaire de traverses a été effectué dans ce secteur et 17 géofiches ont été rédigées (Figure 5). Autour de l'indice de Mistass on observe une lithologie principale (leuconorite) avec proche de la zone minéralisée des lithologies ultramafiques comme des péridotites, ainsi que la présence de lithologies auxiliaires comme le gabbro, la syénite, les granites pegmatitiques ou les dykes de micro-ferrogabbro.

La lithologie principale dans le secteur de Mistass est la leuconorite, présente dans 70 % des affleurements visités occupant en moyenne ~98 % de la surface des affleurements. Généralement, les portions leuconoritiques des affleurements sont de couleur blanc-brunâtre clair à gris-orangé foncé en surface altérée et gris-violacé moyen foncé en surface fraîche. Ces lithologies peuvent, comme pour Lac Perron, se présenter sous deux formes sur le terrain : « granoblastique » et « pegmatitique ». La leuconorite la plus communément rencontrée à une texture granoblastique, hétérogranulaire, oïkocrystique « mottled texture » (57 % d'occurrence), à grain moyen à grossier (1 mm à 1 cm) pouvant apparaître comme foliées (aplatissement des oïkocrystes, 9 % d'occurrence ; Figure 12B). Certains affleurements présentent un seul type de texture avec un seul type de granulométrie, rendant leur aspect homogène (7 %

d'occurrence) tandis que d'autres présente une grande variabilité de texture et de granulométrie, rendant leurs aspect hétérogène (1 % d'occurrence). La texture granoblastique et dans certain cas peu/pas visible ce qui permet d'observer la texture primaire, ou massive, de ces lithologies (4 % d'occurrences). Cette texture massive est souvent associée à une texture coronitique ou les cristaux de pyroxènes sont entourés d'un assemblage à biotite, hornblende (Figure 12A). Il est aussi possible d'observer des amas de leuconorites et d'anorthosites dans la leuconorite hôte (2 % d'occurrence). La leuconorite est composée d'un assemblage minéralogique de plagioclases (75 à 82 %), pyroxène dont orthopyroxène (2 à 20 %), oxyde de fer dont magnétite-ilménite (1 à 20 %), biotite (1 à 15 %), hornblende (1 à 23 %) ± sulfures (assemblage à pyrite, chalcoppyrite, pyrrhotite, pentlandite en forme de flamme d'exsolution, Figure 14D, 1 à 2%), apatite (<1 % ; Figure 1313A). Il est aussi possible d'observer autour de Mistass des dykes de leuconorites pegmatitiques caractérisées par un assemblage à plagioclase (67 %), de magnétite-ilménite (20 %), pyroxène (10 %) et de spinelle (3 %; Figure 13A, C, E).

Des dykes de pegmatites granitiques à plagioclases (20 à 55 %), quartz (19 à 40 %), feldspath-K (5 à 44 %), ± amphibole (<3 %), ± biotite (1 à 10 %), ± muscovite (<2 %), oxydes de fer dont magnétite-ilménite (1 à 40 %) ± sulfures (<1 %) ± zircons (<1 %) sont communément observés dans le secteur de l'indice Mistass, représentant jusqu'à 24 % des lithologies observées couvrant 0,5 % des surfaces observées. Un dyke de pegmatite granitique présent à proximité de l'indice Mistass (22TH52) présente des textures granophyrique caractérisée par des inter croissances de quartz et feldspath K (texture graphique ; Figure 14A, 14B). Elles se présentent sous la forme de dykes allant de 10 cm à 5 m d'épaisseur, avec des contacts nets à lobés. Ces lithologies sont reconnaissables sur le terrain par leurs couleurs jaune-blanchâtre clair à rose très clair en surface altérée et blanc-rosé clair en surface fraîche. Les dykes de granites pegmatitiques ont généralement une granulométrie pegmatitique moyenne à très grossière (1 mm à >10 cm). Ils sont d'orientations variables (Figure 5) et ne présentent pas de déformation apparente.

Finalement, quelques dykes de micro-ferrogabbro (diabases magnétiques) constituent 6 % des lithologies et occupent 1 % de la surface des affleurements. Ces dykes sont noir-brunâtre en surface altérée et noir profond en surface fraîche, aphanitique à finement grenue (ferromagnésiens <0,2mm ; Figure 13C), dont l'épaisseur varie de 50 cm à >3 m de large (Figure 12E). Ils sont orientés généralement est-ouest, sont subverticaux, et ne présentent pas de déformation apparente.

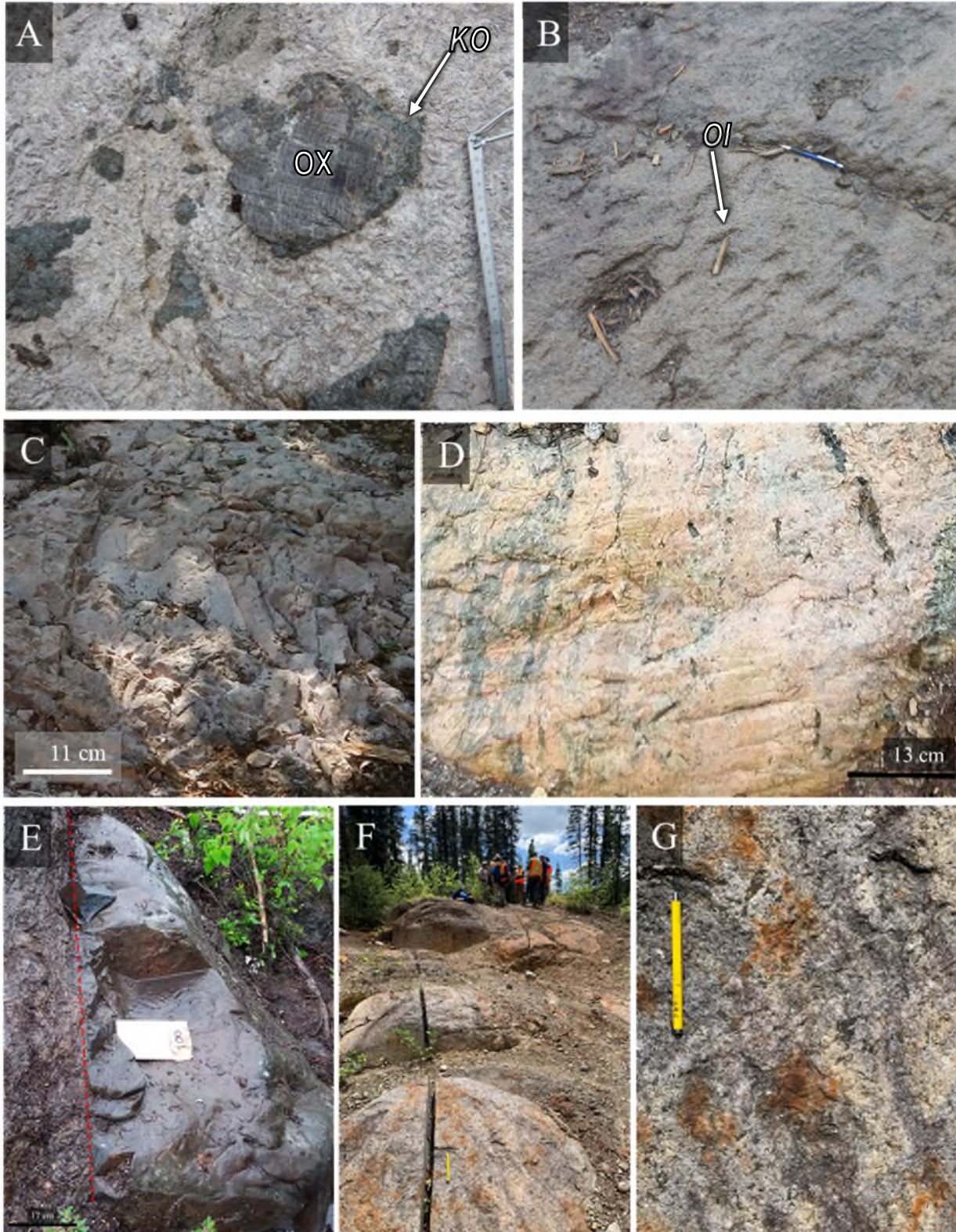


Figure 12 : Photographies des lithologies principales et affleurement minéralisé principal (Ni-Cu) du secteur Mistass. A) Leuconorite granoblastique à orthopyroxènes mégacrystiques coronitiques (*KO*) (22TH17) ; B) Leuconorite oïkocrystique (*OI*) foliée (22TH18) ; C) Syénite (22TH53) D) Mylonite (22TH18); E) Dyke de diabase magnétique (micro-ferrogabbro), le contact avec la leuconorite hôte est marquée par la ligne hachurée rouge (22TH18) F) Vue générale de l'affleurement de l'indice Mistass G) Leuconorite à sulfures disséminés, indice Mistass

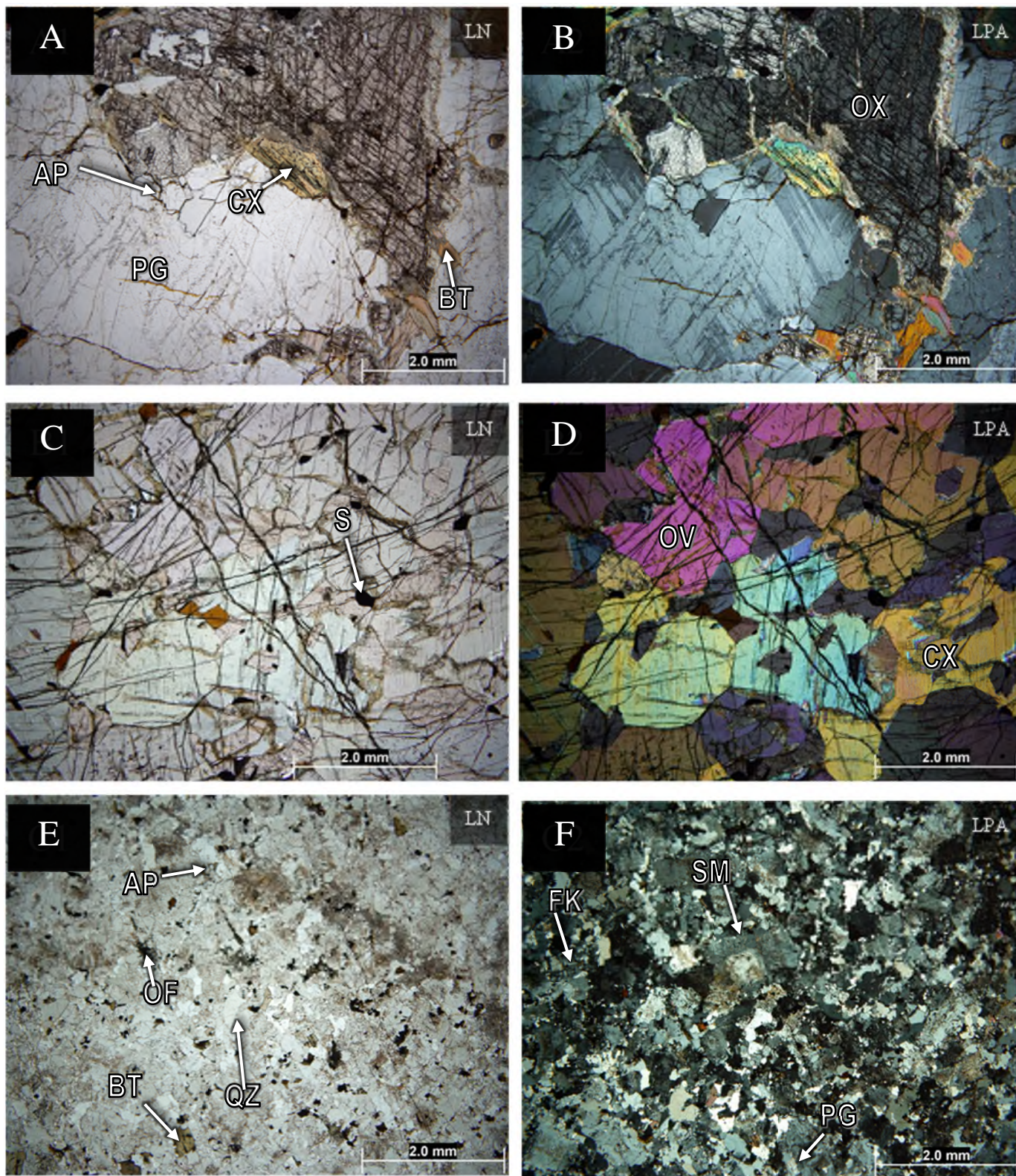


Figure 13 :Microphotographies des assemblages minéralogiques et textures du secteur Mistass A) Leuconorite coronitique BT, HB entourant OX en LN B) en LPA (22TH53C) C) Lherzolite à SF (PY, CP, PO, PN et MG) en LN D) en LPA(22TH52C) E) Syénite QZ, FK, PG, BT, MG, IM, AP en LN F) en LPA (22TH53A)

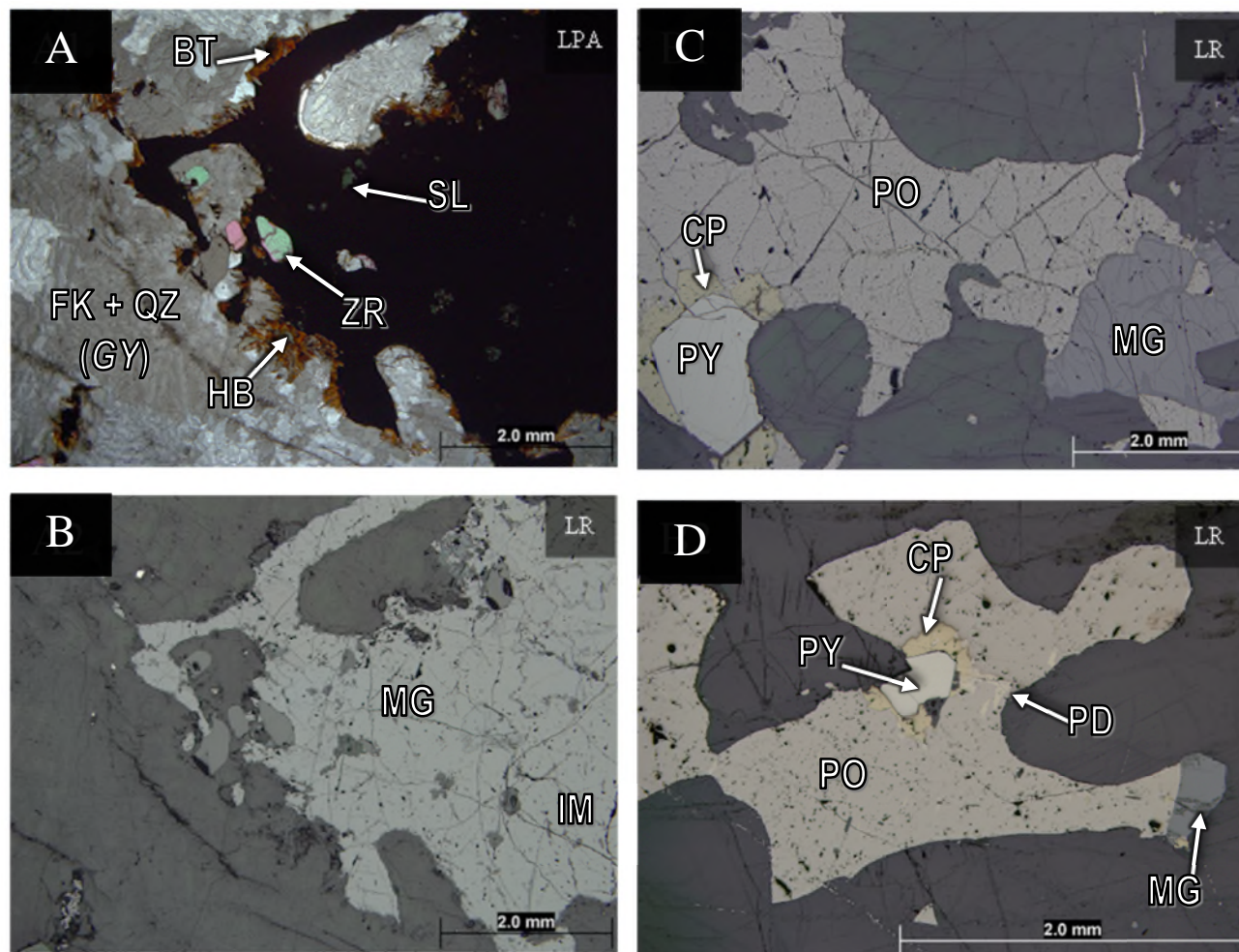


Figure 14 : Microphotographies d'un dyke granitique ainsi que de la minéralisations observable dans le secteur de l'indice Mistass A) dyke granitique à FK+QZ (GY), BT, AM, PX, MG, IM, RU ZR en LPA B) en LR (22TH52B) C) PY, CP, PO, PD et MG dans leuconorite coronitique en LR (22TH20B) et D) dans gabbro en LR (22TH52C)

À l'affleurement principal de l'indice Mistass, la proportion de minéraux mélancrates (pyroxènes, oxydes) augmente si bien que la roche hôte de la minéralisation en sulfures est une leuconorite (Figure 12G). Cette minéralisation de sulfures est composée de pyrrhotite, chalcopryrite, pentlandite, pyrite et magnétite sous forme disséminée, aux interstices entre les minéraux mélancrates et les plagioclases de la leuconorite hôte. À ~300 m au sud-sud-ouest de l'indice de Mistass, les affleurements de 22TH53 et 22TH52 sont caractérisés respectivement par une leuconorite à sulfures disséminés (Figure 12F), une syénite rose aphanitique (Figure 12C), et la présence locale de lherzolite à sulfures (Figure 13C-D).

Au niveau de l'organisation de ces lithologies autour de l'indice Lac Mistass montre la présence d'un corps leuconoritique allongé sur 3 km² autour de l'indice Mistass, orienté vers le sud-est. La transition dans l'organisation du complexe anorthositique entre le secteur de Lac Perron et Mistass semble correspondre avec une anomalie de gradient vertical du champ magnétique résiduel négative orientée nord-sud (Figure 11).

4.3 Secteur Lac Yenevac

Le secteur de l'indice Lac Yenevac, d'une superficie de ~23 km² est réparti autour de l'indice de Lac Yenevac (Ni-Cu ; ~800 m²). L'indice de Lac Yenevac est situé à 15 km au nord du village de Saint Stanislas. Cet indice de sulfure a été mis à jour par P. Mattinen en 2006, représentant de la compagnie Quebec Nickel Ressources Inc (Girard et Fournier, 2007). Par la suite, des travaux de cartographie et de forage ont été effectués en 2008 et 2010 via un mandat de Québec Nickel Ressources Inc. à IOS services géoscientifiques Inc. (Block *et al.*, 2010 ; Girard et Martel, 2008). Les différents travaux de terrain ont permis de caractériser la morphologie de l'indice Lac Yenevac comme un dépôt de sulfures massifs à semi-massifs (Girard et Martel, 2008). Ces minéralisations se trouvent dans une anorthosite gabbroïque (10 à 30 % de ferromagnésiens) massive, granoblastique homogène et foliée (Block *et al.*, 2010). Les plagioclases et les pyroxènes constitutifs de la lithologie hôte se trouvent dans une matrice gabbroïque (Block *et al.*, 2010). Dans la zone de transition entre la lithologie hôte et la minéralisation se trouve une lithologie gabbroïque finement grenue (Block *et al.*, 2010). Des dykes de granitoïdes pegmatitiques tardifs recoupent l'anorthosite gabbroïque hôte de la minéralisation (Block *et al.*, 2010).

Selon les travaux historiques, la minéralisation se constitue de pyrrhotite, chalcoppyrite et de pyrite qui pour ce dernier minéral, se retrouve disséminée ou en forme d'amas millimétrique à centimétrique dans la matrice gabbroïque (Block *et al.*, 2010). Les analyses géochimiques donnent les concentrations de métaux suivantes : Ni=0,26-1,20 %, Cu=0,19-0,87 % (Block *et al.*, 2010).

4.3.1 Géologie du secteur Lac Yenevac

Un total de ~16 km linéaire de traverses ont été effectuées dans ce secteur et 91 géofiches ont été produites (Figure 15). L'indice de Lac Yenevac est caractérisé une grande diversité lithologique. Dans ce secteur, on observe une lithologie principale : leuconorite (50 % d'occurrence) et 13 lithologies secondaires (<20 % d'occurrence), comprenant : anorthosite (7 % d'occurrence), gabbro (16 % d'occurrence), dunite (<1% d'occurrence), dykes pegmatitiques granitiques (14 % d'occurrence), ainsi que les lithologies appartenant à la Séquence supracrustale de Saint-Onges (roches calcosilicatées, paragneiss, amphibolite, siltstone ; 6 % d'occurrence), et les granitoïdes (tonalites, granites, syénites à feldspaths potassiques ; <1 % d'occurrence; Figure 16).

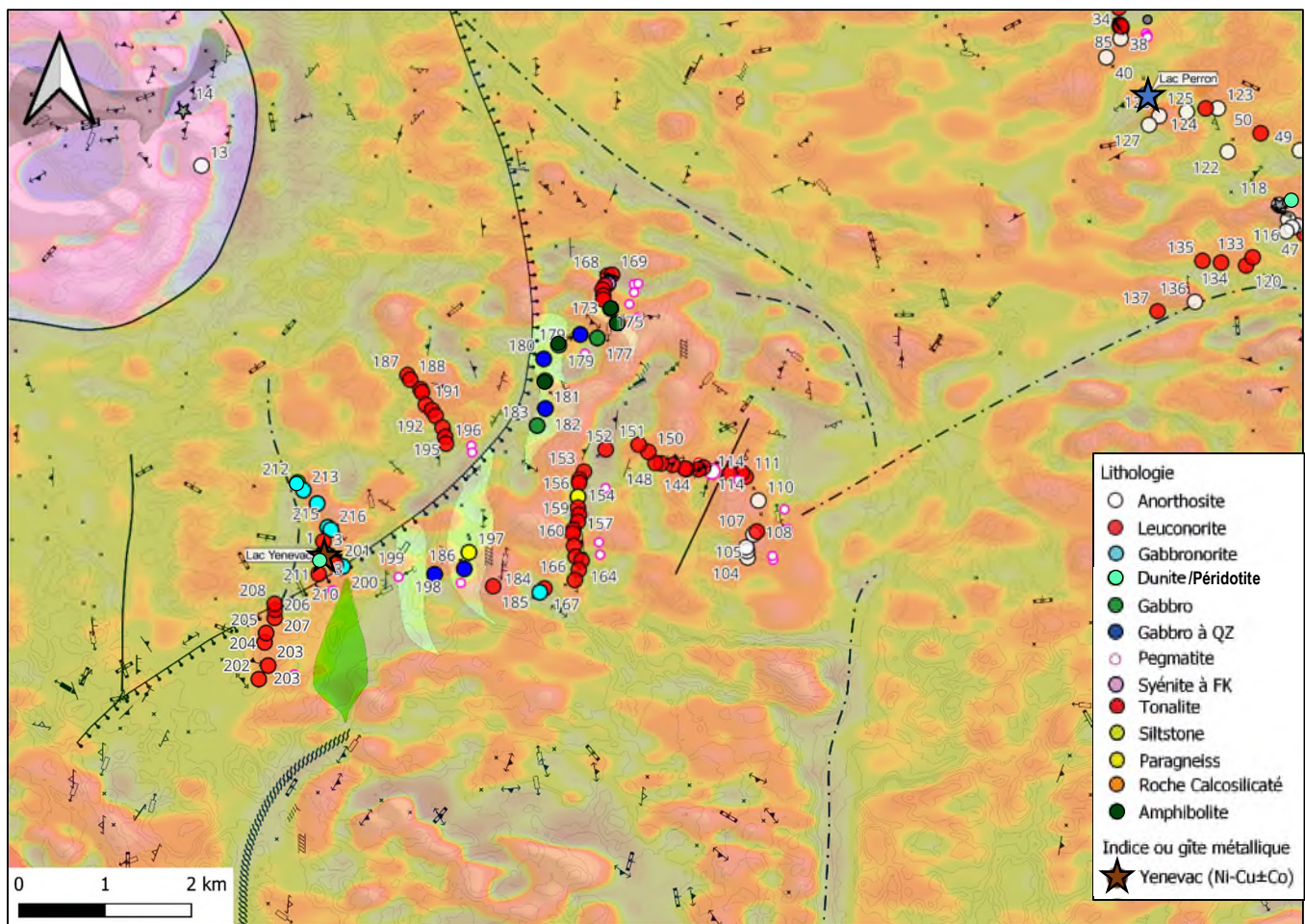


Figure 15 : Cartographie été 2022 autour de l'indice Lac Yenevac montrant distribution des principales lithologies observées dans le secteur, ainsi que les mesures de litages et foliations magmatiques (même légende que Figure 4). Au niveau de l'indice Lac Yenevac (étoile brune), il est important de noter la présence de poches pegmatitiques dans la leuconorite hôte de la minéralisation.

La leuconorite du secteur de Lac Yenevac occupe en moyenne ~68 % de la surface des affleurements. Généralement, les portions leuconoritiques des affleurements sont de couleur blanc-orangé foncé à gris-blanchâtre clair en surface altérée et gris-brunâtre moyenne à noir-grisâtre moyen en surface fraîche (Figure 16A). La leuconorite a une texture granoblastique, hétérogranulaire, oïkocrystique « mottled texture » (46 % d'occurrence), à grain moyen à grossier (1 mm à 1 cm) pouvant apparaître comme foliée (oïkocristes aplatis ; 9 % d'occurrence). Certains affleurements présentent un seul type de texture avec un seul type de granulométrie, rendant leur aspect homogène (21 % d'occurrence ; Figure 16A) tandis que d'autres présentent une variabilité de texture et de granulométrie (*varied-textured*), rendant leurs aspects hétérogènes (7 % d'occurrence). Localement, sur l'affleurement de l'indice Lac Yenevac, il est possible d'observer une augmentation de la granulométrie correspondant à la texture mégacrystique (>3 cm), permettant d'observer une texture coronitique (2 % d'occurrence ; Figure 16A),

caractérisée par des cristaux de pyroxènes entourés d'un assemblage à hornblende, biotite et oxyde de fer similaire à la texture visible dans le secteur Mistass (Figure 16A):

De façon générale, la leuconorite est composée d'un assemblage minéralogique de plagioclases (65 à 90 %), pyroxène dont orthopyroxène (1 à 30 %), oxyde de fer dont magnétite-ilménite (1 à 5 %), spinelle (<1 %), biotite (1 à 15 %), hornblende (1 à 25 %) \pm sulfures (assemblage à pyrrhotite, chalcopryrite, pyrite ; 1 à 5 %), apatite (<1 %). Il est à noter que dans ce secteur, à deux endroits, il est possible d'observer une texture de brèche d'intrusion (22TH196 ; Figure 16C), les clastes étant des anorthosites et/ou des leuconorites et une leuconorite à grain arrondis (22TH157 ; Figure 16B). Les grains arrondis de cette leuconorite sont des porphyroclastes arrondis de plagioclases (<2 cm) dans une matrice de plagioclases et de minéraux ferromagnésiens symplectitiques et d'un assemblage à feldspath K + quartz granophyrique (<2 mm ; Figure 17C ; Figure 17D) avec des sulfures disséminés, constituant une leuconorite avec sulfures disséminés, principalement pyrrhotite (<1 % ; Figure 17D).

Les roches **gabbroïques (gabbro et gabbronorite)** sont le groupe de lithologies occupant le plus de surface autour des affleurements du secteur de Lac Yenevac avec ~20 % de surface identifiée comme gabbroïque. Généralement, les portions gabbroïques des affleurements sont de couleur blanc-rouillé clair à moyen foncé en surface altérée et blanc-rouillé moyen à gris-rouillé moyen en surface fraîche. Les lithologies gabbroïques peuvent localement présenter une texture migmatitique avec un leucosome constitué de plagioclase et de quartz et un mélanosome constitué de biotite et d'amphibole principalement.

Les gabbros présentent sur le terrain des textures granoblastiques/porphyroclastiques (8 % d'occurrence), généralement à grain fins (57 % d'occurrence), mais pouvant adopter une granulométrie grossière (1 mm à 3 cm) donnant une texture hétérogranulaire à l'affleurement (8 % d'occurrence). D'autres textures sont visibles sur ce secteur tel que la texture foliée (8 % d'occurrence) mis en évidence par la texture oïkocrystique (3 % d'occurrence). Ces textures se retrouvent dans 14 % des cas présentent sur le même affleurement donnant lieu à une texture hétérogène. L'assemblage minéralogique des gabbros comprend plagioclase (27 à 40 %), pyroxènes dont orthopyroxène (1 à 25 %), hornblende (20 à 24 %), biotite (1 %), oxydes de fer dont magnétite-ilménite (<5%) \pm apatite \pm sulfures (pyrite, pyrrhotite, chalcopryrite, pentlandite en forme de flamme d'exsolution; Figure 18C).

Les gabbronorites présentent des textures granoblastiques massives à foliées, la foliation étant définie par l'allongement des minéraux mélanocrates, avec une granulométrie fine à grossière (0,2 à 5 mm; Figure 16D). L'assemblage minéralogique de ces gabbronorites est plagioclase (40 à 50 %), clinopyroxène-orthopyroxène (24 à 70 %), hornblende (<30 %), biotite (2 à 5 %), sulfures (chalcopryrite, pyrite, pyrrhotite ; <2 % ; Figure 17E-F).

Les **anorthosites** occupent 7 % de surface en moyenne par affleurement et sont concentrées à l'extrémité de la traverse au SE du secteur Lac Yenevac. Ces lithologies sont reconnaissables à l'affleurement par leur couleur gris-orangé clair en surface altérée et gris-orangé moyen en surface fraîche. Les textures portées par les anorthosites du secteur Lac Yenevac sont les textures granoblastique (67 % d'occurrence), massive homogène (20 % d'occurrence) et oïkocristique (13 % d'occurrence). La granulométrie est moyenne à grossière (2 mm à 3 cm). L'assemblage minéralogique de ces anorthosites est plagioclase (90 à 98 %), pyroxène (2 à 10 %), hornblende (2 à 5 %), biotite (1 à 2 %), sulfures (chalcopryrite, pyrite, pyrrhotite ; <1 %) et oxydes de fer dont magnétite-ilménite (<1 %).

Enfin, les lithologies appartenant à la **Séquence supracrustale de Saint-Onges** occupent 2 % de la surface des affleurements observés. Cette séquence supracrustale comprend des roches calcosilicatées (1 % d'occurrence), paragneiss (1 % d'occurrence), amphibolites (3 % d'occurrence) et siltstones (1 % d'occurrence). Les roches calcosilicatées (Figure 16F) sont gris moyen en surface altérée et fraîche avec une texture massive. L'assemblage minéralogique de ces roches est dolomie (49 %), quartz (20 %), grenat, (30 %) plagioclase (1 %). On trouve associées à ces roches calcosilicatées des amphibolites noir-verdâtre foncé en surface altérée et fraîche. L'assemblage minéralogique des amphibolites est plagioclase (5 %), amphibole (85 %) et oxyde de fer dont magnétite-ilménite (10 %). Des siltstones et des paragneiss sont identifiables par leurs couleurs jaune-rouillée moyen en surface altérée et gris moyen en surface fraîche. Les textures que ces lithologies portent sont respectivement grains très fins (<0,2 mm), schisteux et grains fins (0,2 à 0,5 mm), gneissique. L'assemblage minéralogique observée est à plagioclase, hornblende, biotite, sulfures (pyrite, pyrrhotite), et quartz. Ces roches sont généralement déformées, et présentent des schistosités, foliations métamorphiques et mylonitiques, ainsi que gneissosité généralement orientés nord-sud, et subverticales.

Des **dykes granitiques pegmatitiques** constitués de plagioclase (30 à 64 %), quartz (25 à 50 %), feldspath-K (15 à 40 %), ± amphibole (<8 %), ± biotite (3 à 5 %), oxydes de fer dont magnétite-ilménite (<10 %). Elles se présentent sous la forme de dyke allant de 20 cm à 5 m d'épaisseur, avec des contacts nets à lobés. Ces lithologies sont reconnaissables sur le terrain par leurs couleurs jaune-blanchâtre clair à rose très clair en surface altérée et blanc-rosé clair en surface fraîche. Les dykes de granite pegmatitique ont généralement une granulométrie pegmatitique moyenne à très grossière (0,5 mm à >10 cm). Ils sont d'orientations variables (Figure 5) et ne présentent pas de déformation apparente.

Enfin, la **minéralisation de l'indice Lac Yenevac** se caractérise par des sulfures situés dans des lithologies leuconoritiques, gabbroïques à ultramafiques (dunite) similaire à celle de Mistass. Cette minéralisation est caractérisée par un assemblage de gouttelettes de pyrrhotite, chalcopryrite et pentlandite

en forme de flamme d'exsolution (Figure 18C). Autour de l'affleurement de l'indice Lac Yenevac (Figure 16G, 16H), ont pu être observé des dunites et des gabbros (Figure 16E). Les gabbros hôtes de la minéralisation de Lac Yenevac peuvent présenter des granulométries grossières à mégacrystiques (0,5 à >3 cm) avec la présence de poches pegmatitiques nelsonitiques. En s'approchant de la minéralisation, on peut observer la présence localisée de dunites à gouttelettes de sulfures (pyrrhotite, chalcoppyrite, pentlandite; Figure 18A-C) et au contact avec la minéralisation se trouve une zone de contact à grain fins décrite comme un micro-gabbro à sulfure disséminés. Tout comme pour Mistass, il n'y a pas d'organisation claire entre les lithologies entourant la minéralisation de Lac Yenevac hormis un contact entre la leuconorite et l'anorthosite orientées nord-ouest sud-est (155/65).

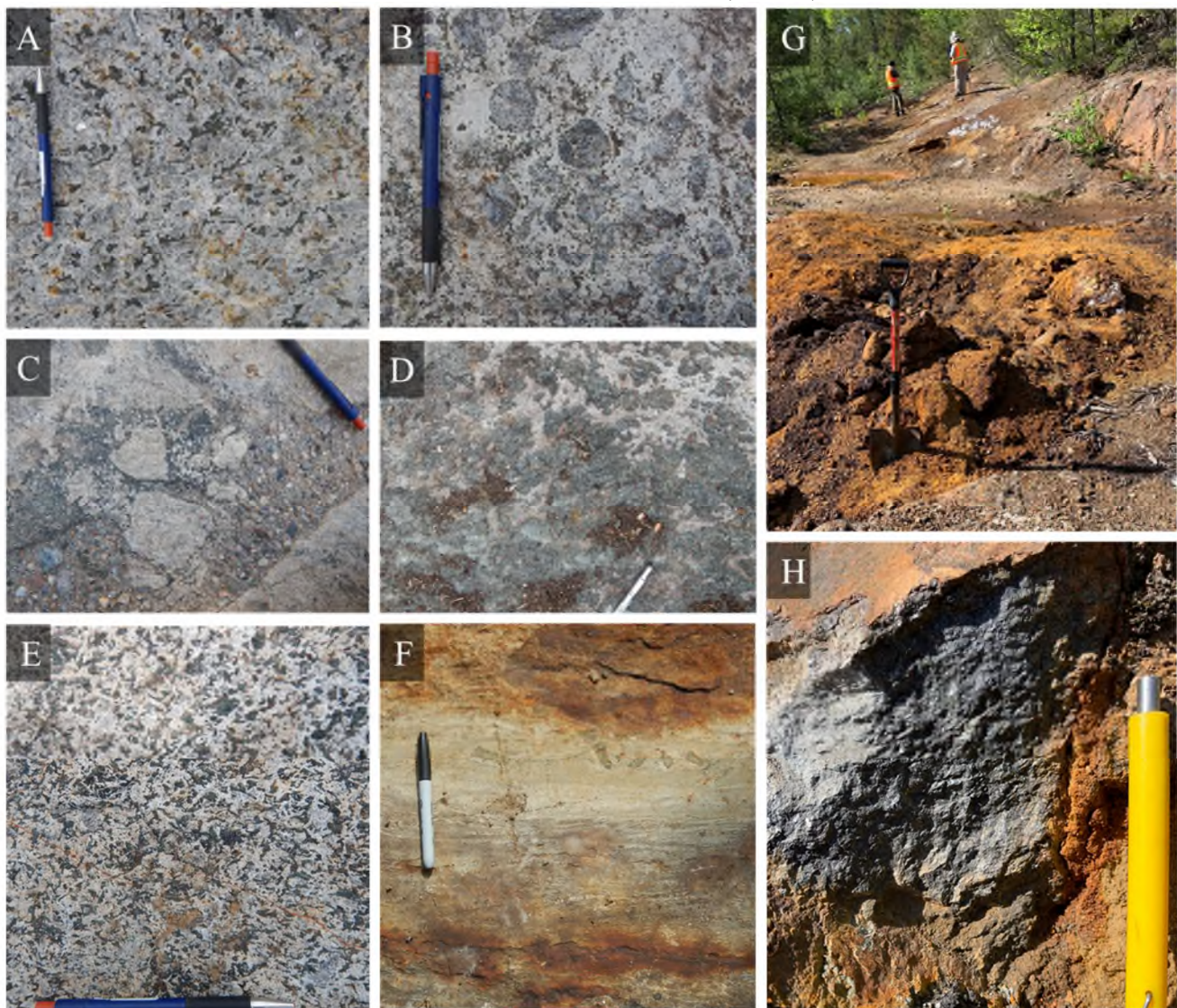


Figure 16 : Photographies des lithologies principales du secteur Lac Yenevac – A) Leuconorite homogène oïkocrystique (22TH143) B) Leuconorite à grains arrondis (22TH157) C) Brèche d'intrusion leuconoritique (22TH195) D) Gabbronorite (22TH212), E) Gabbro (22TH175) F) Paragneiss (22TH197) G) Affleurement de l'indice Lac Yenevac avec au premier plan le gossan marquant le centre de la minéralisation, H) Sulfures massifs de l'indice Lac Yenevac (22TH002)

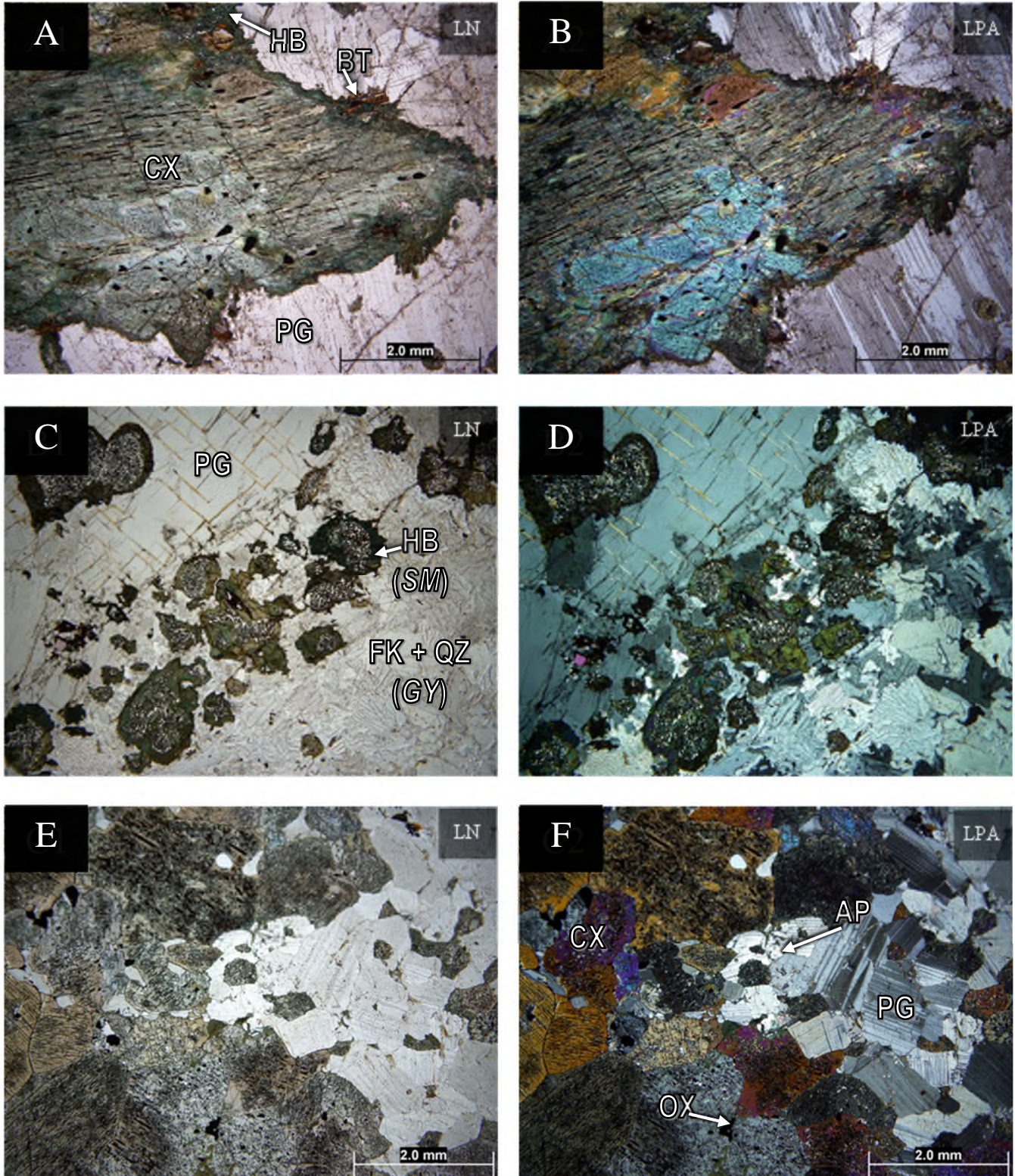


Figure 17 : Plaque de photo des assemblages minéralogiques et des textures visibles autour de l'indice Lac Yenevac A) Leuconorite coronitique avec BT, HB autour de PX en LN, B) en LPA (22TH109A) C) Leuconorite à grain arrondis symplectitique à PG, HB avec une couronne d'HB et des granophyres (QZ+FK) en LN, D) en LPA (22TH157B) E) Gabbro-norite à PG, OPX, CPX, HB, BT, MG en LN F) en LPA (22TH212)

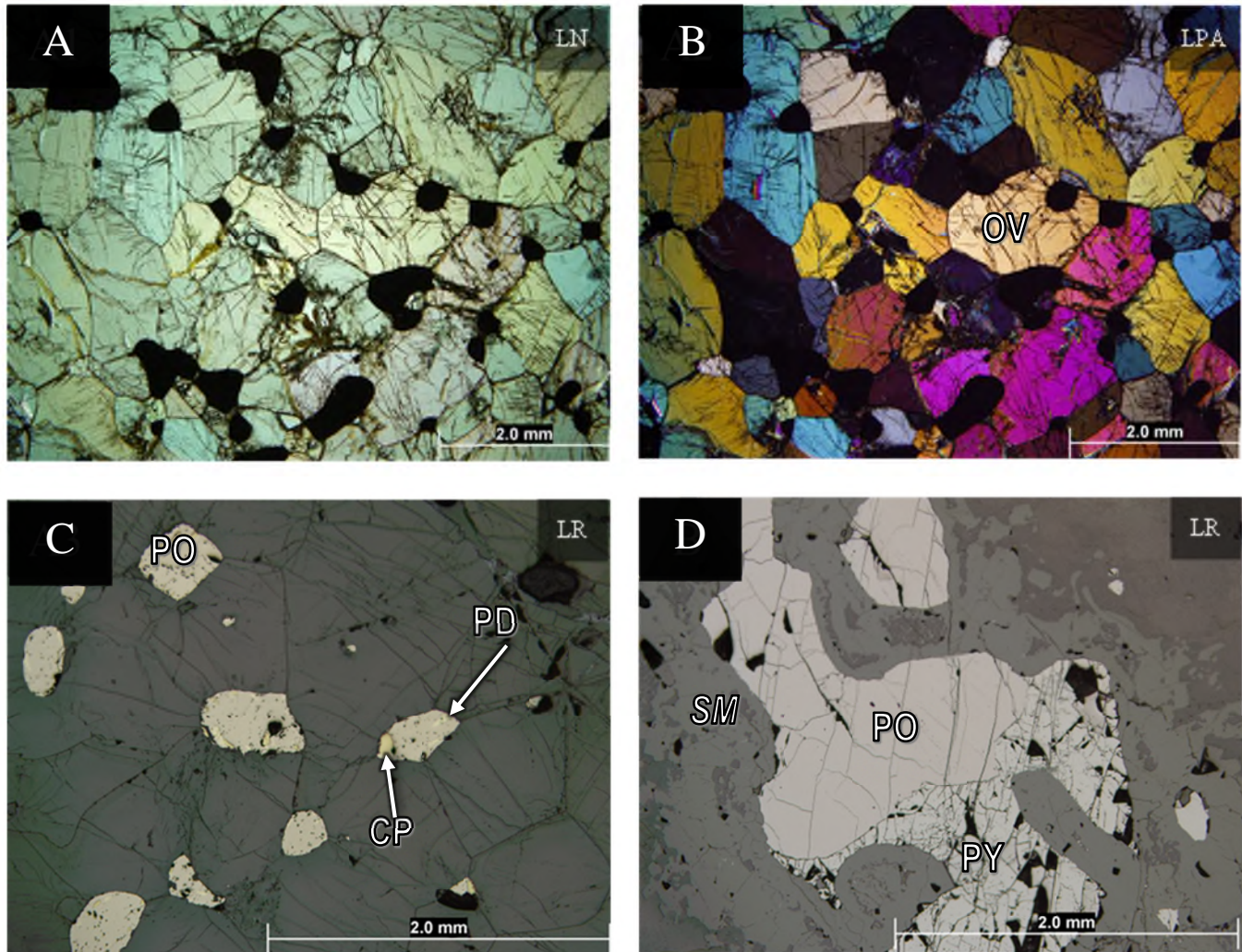


Figure 18 : Planche photo des minéralisation et de la dunite visible dans le secteur de l'indice Lac Yenevac A) Dunite avec gouttelettes de PO, CP, PD située à l'est de la zone minéralisé sur l'affleurement de l'indice Lac Yenevac en LN, B) en LPA, C) gouttelettes de CP et PO avec exsolution de PD dans dunite, en LR (22TH04A) D) PO dans leuconorite symplectitique à grain arrondis (22TH157A)

4.4 Secteur Mc Nickel

Le secteur Mc Nickel est limité à un affleurement de ~6 km², sur l'indice de Mc Nickel Figure 20). L'indice de Mc Nickel est situé 45 km au nord de Dolbeau-Mistassini (Turcotte, 2014). Cet indice de sulfures a été mis à jour par Lefebvre en 1988 et des travaux de prospections, de décapages, de rainurages, de levés géophysiques et de forage ont été effectués en 2012 par McNickel Inc. historiquement, puis par IOS Services Géoscientifiques inc. mandaté par Exploration Khalkos inc. (Mountain, 1988 ; Turcotte, 2014).

Les différents travaux de terrain ont permis de caractériser la morphologie de la minéralisation de l'indice Mc Nickel comme un dépôt de sulfures massifs à semi-massifs béchiques à fragments arrondis (texture durchbewegung) encaissés dans des anorthosites gabbroïques et des leucogabbros (Mountain,

1988). Les lithologies anorthositiques hôtes mettent en évidence des textures variables, généralement massives, granoblastiques, oïkocrystiques à grain grossier et/ou gneissiques (Figure 20F ; Tremblay et Girard, 2011). L'assemblage minéralogique de ces lithologies est composée de plagioclase (40 % à 80 %), de pyroxènes (5 % à 50 %) et de sulfure disséminé (pyrrhotite, pyrite et chalcopryrite ; 1 % à 15 %) avec des traces d'oxydes (magnétite-ilménite et ilménite ; 2 % ; Turcotte, 2014). Plusieurs types d'altérations sont visibles sur le terrain : l'hématitisation, l'albitisation du plagioclase, la chloritisation des pyroxènes accompagnés d'une auréole de magnétite-ilménite ainsi que l'épidotisation, la carbonatation, la silicification et la serpentinitisation des lithologies associées aux zones de brèches, de fracturations et de cisaillements (Turcotte, 2014).

Selon les travaux historiques, la minéralisation se constitue de chalcopryrite, pyrrhotite et pentlandite et pyrite. Ils peuvent se trouver sous 3 textures différentes : sulfures massifs (30 % d'occurrences), sulfures de type « stringer » (essaim de veinules; 50 % d'occurrences) et sulfures disséminés (10 à 20 % d'occurrences; (Tremblay et Girard, 2011). La pyrite peut être observée sous forme de grands cristaux subidiomorphes ou des amas pluricentimétriques (~20 cm) présentant des textures oïkocrystiques et s'organisant sous forme de veines <10 cm (Tremblay et Girard, 2011). Ces pyrites ne semblent pas associées aux sulfures massifs à semi-massifs, se présentant sous la forme d'amas centimétriques à métriques contenant des pyrrhotites grossières (Tremblay et Girard, 2011). Enfin, certains sulfures se trouvent sous forme de lentilles ou en remplissage de fractures (Mountain, 1989). Les analyses géochimiques les plus récentes donnent les concentrations suivantes : Ni=0,08-0,75 pd %, Cu=0,05-1,1 pd %, Co=0,01-0,41 pd % (Tremblay et Girard, 2011).

4.4.1 Géologie du secteur Mc Nickel

Un total de 7 géofiches ont été produites autour de l'indice de Mc Nickel dans lesquels ont été observées 3 lithologies principales (leuconorite, sulfures massifs, sulfures disséminés) ainsi que la présence d'une brèche polygénique à fragments arrondis dans une matrice sulfurée (Figure 19).

La lithologie hôte principale est la leuconorite répartie autour de la zone de sulfure principale (33 % d'occurrence) et occupant en moyenne ~30 % de la surface des affleurements (Figure 19A). La texture de la leuconorite est hétérogranulaire (Figure 19E), massive allant de grain moyen à mégacrystique, avec certains secteurs foliés (Figure 19F). La roche est de couleur blanc orangé clair en surface altérée et blanc grisâtre clair en surface fraîche. Cette leuconorite a un assemblage minéralogique à plagioclase (~55 %), orthopyroxène (30 %), hornblende (6 %), oxydes de fer (~3 %), biotite (2 %) et sulfures disséminés ~4 % (pyrrhotites, chalcopryrite, pentlandite en forme de flamme d'exsolution ; Figure 19C, Figure 20A, 20B,

20C). Cette leuconorite présente des sulfures disséminés en s'approchant des sulfures massifs au cœur de l'affleurement.

La lithologie principale sur l'affleurement principal de Mc Nickel (Figure 19B) est les sulfures massifs (33 % d'occurrence) et occupant en moyenne ~60 % de la surface des affleurements. Les portions de sulfures massifs sont de couleur noir-orangé moyen en surface altérée et noir-orangé foncé en surface fraîche. Il est même possible d'observer des gossans dans la partie centrale de l'affleurement. Les textures de ces sulfures massifs sont les textures massives et stockwercks/stringers à minéralogique à pyrrhotite (~50 %), chalcopryrite (~20 %), pyrite (~10 %) \pm magnétite-ilménite (10 %) \pm pentlandite (3 % ; Figure 20D) associée des mégacristaux subidiomorphes de pyrite. En bordure des sulfures massifs, la leuconorite hôte présentent des sulfures disséminés constituent 28 % des observations avec une occupation de 8 % de la surface des affleurements Figure 20C). Ces sulfures disséminés sont composés de 70 % pyrrhotite, 1% pentlandite, 5 % chalcopryrite, et 24 % magnétite-ilménite (Figure 20A, 20B, 20C).

La dernière lithologie remarquable sur cet affleurement est une brèche polygénique à matrice de sulfures massifs à semi-massifs présentant une texture durchbewegung avec des xénocristaux (et/ou xénolithes) de plagioclase, biotite, apatite, et pyroxène. Cette lithologie constitue 4 % des observations et occupe 1 % de la surface de l'affleurement localisé dans la partie sud-ouest du décapage (Figure 20D).

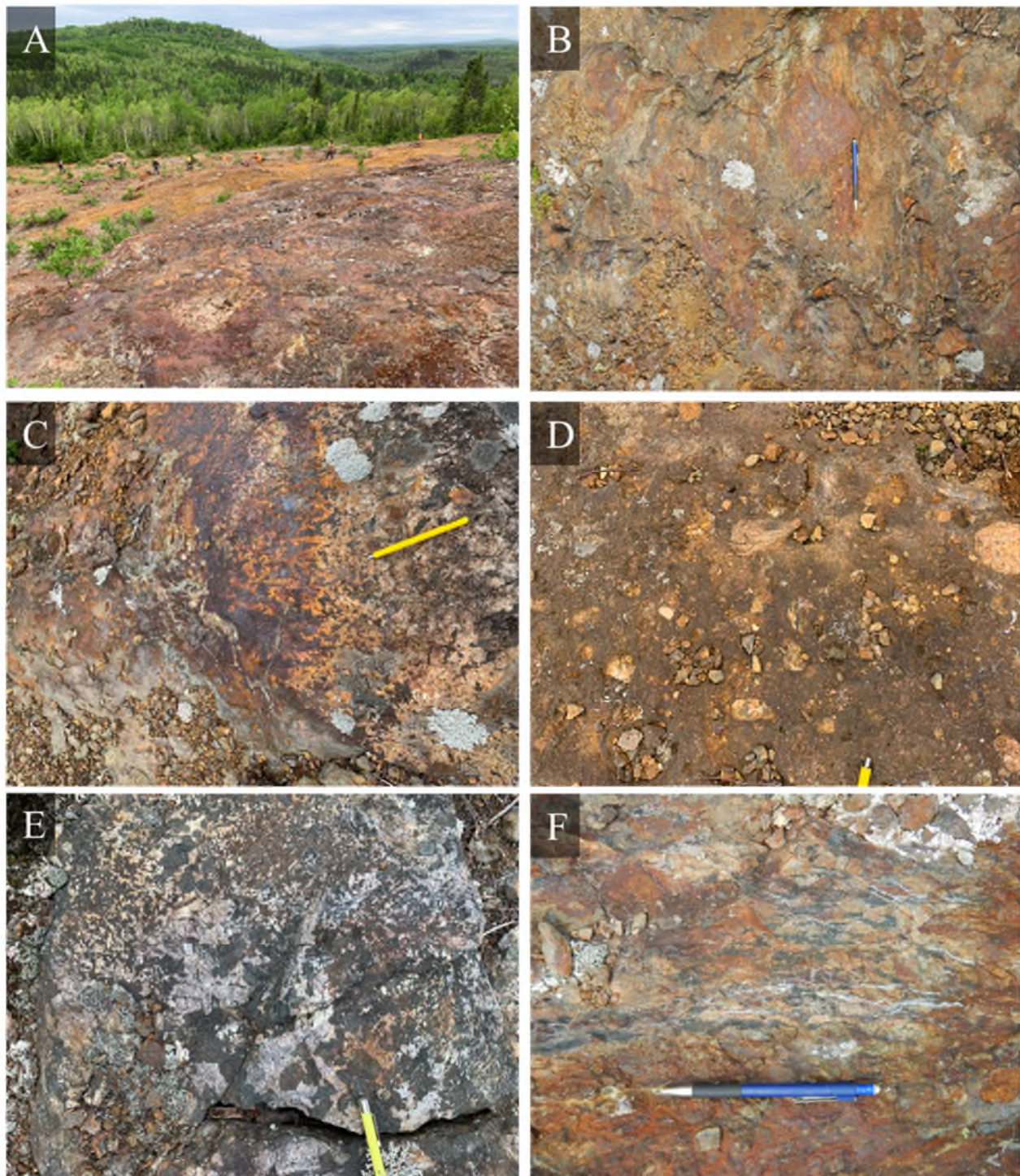


Figure 19 : Photographies des lithologie principales de l'indice Mc Nickel. A) Vue générale du décapage de l'indice Mc Nickel. Photo prise dans la partie supérieure de l'affleurement, vue vers le sud, B) Texture massive des sulfures de Mc Nickel (à gauche du crayon) avec une zone de déformation de l'encaissant (à droite du crayon ; 22TH08), C) Contact entre la leuconorite hôte et les sulfures massifs montrant la texture disséminée (22TH07) D) Brèche polygénique à matrice sulfurée (texture durchbewegung; 22TH12), E) Leuconorite hôte hétérogranulaire présentant une partie centrale à texture mégacrystique et un pourtour à granulométrie moyenne (22TH09), F) Leuconorite foliée dans la zone de sulfures disséminés (22TH06)

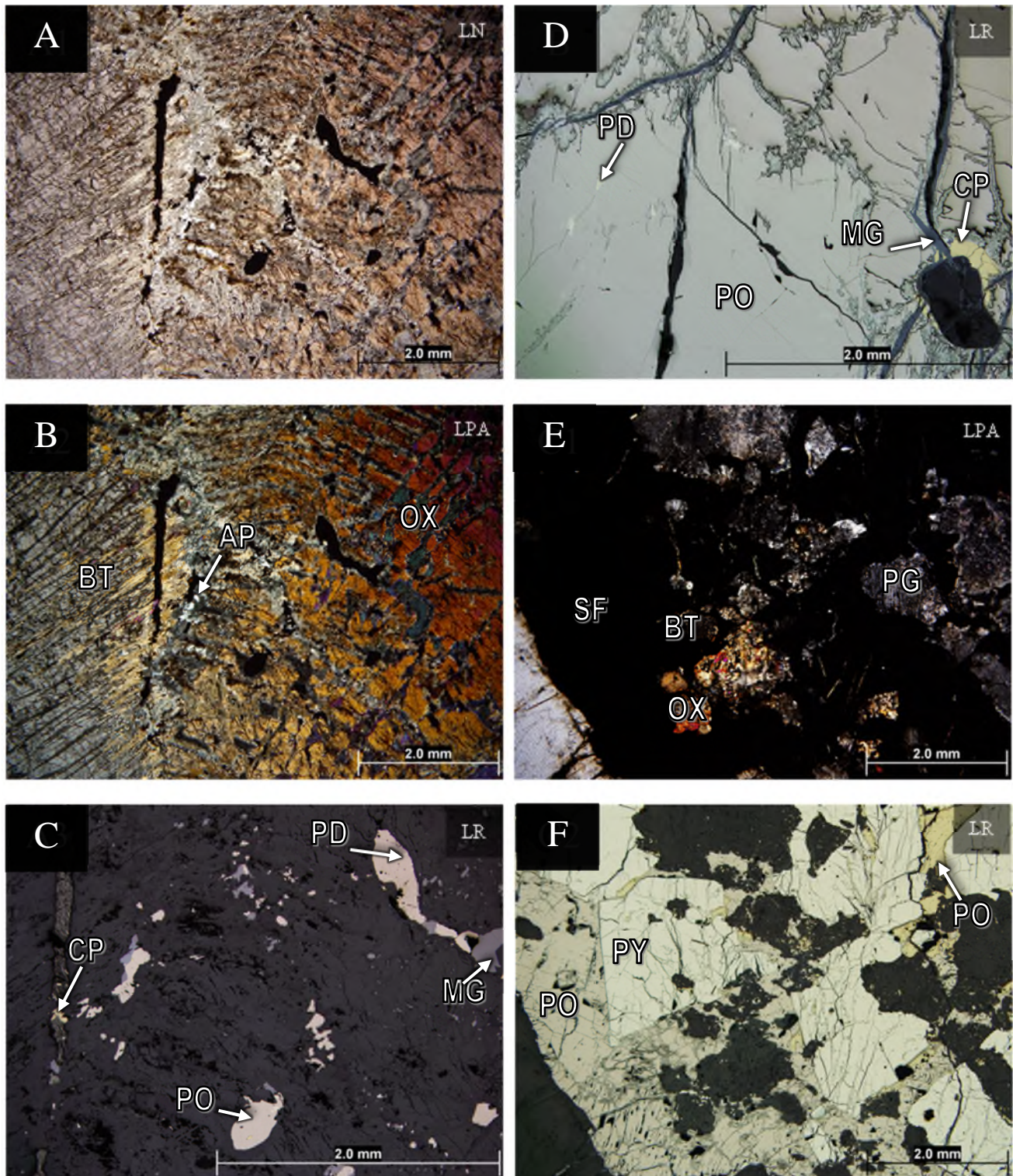


Figure 20 : Microphotographies des assemblages minéralogiques et des textures de l'indice Mc Nickel A) leuconorite hôte composée de d'OX, BT, AP, PO, PD, CP, MG, B) en LPA, C) en LR D) sulfures massifs composés de pyrrhotite massive avec flammes de pentlandite et chalcopyrite avec magnétite-ilménite le long de plans de fractures en LR, E) Matrice sulfurée de la brèche polygénique (texture durchbewegung) montrant pyrrhotite massive avec pyrite idiomorphe et chalcopyrite remobilisée le long de plans de fractures en LPA F) en LR.

5 Estimation de la calcicité du plagioclase

5.1 Méthode par fluorescence-X portative

La méthode d'estimation de la calcicité du plagioclase par XRF portative (XRFp) a été développée et appliquée dans le cadre de la chaire de recherche en géochimie appliquée aux gisements métalliques de l'UQAC notamment grâce aux travaux de Gueye (2023) ; Mercier (2022) ; Tondoh (2021) sous la supervision de S. Dare et R-L. Simard. L'estimation de la calcicité du plagioclase (contenu en anorthite : An) par le biais de la méthode de XRFp provient du besoin d'utiliser des outils « de terrain » pour l'acquisition et traitement des résultats rapides permettant de cartographier chimiquement les plagioclases dans les terrains anorthositiques. Cet outil d'analyse rapide et portatif permettrait alors de comprendre l'organisation interne de ces massifs et d'inférer sur les possibles minéralisations présentes dans un secteur en cours de cartographie. La XRFp est une méthode d'estimation quantitative, non destructive, de la chimie majeure, mineure par l'étude du rayonnement-X secondaire émis par un échantillon.

Cette méthode présente un inconvénient majeur par rapport aux terrains anorthositiques, il est difficile de détecter des éléments plus légers que la silice (^{14}Si), comme le sodium (^{11}Na). Le sodium étant clé dans le calcul de la calcicité traditionnel du plagioclase ($\text{An} = \text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na})$ mol. %), afin de parer à cette problématique, Tondoh (2021) a testé l'utilisation du rapport Ca/Si comme proxy pour estimer la concentration de sodium due à la double substitution $\text{Ca}^{2+} + \text{Al}^{3+} \rightleftharpoons \text{Na}^{+} + \text{Si}^{4+}$ dans la structure du plagioclase. Grâce à l'utilisation de calibrant et moniteurs pour corriger la dérive et le biais de l'instrument, il est possible de « corriger » les valeurs de Al, Si, Ca obtenues par XRFp. Cette correction s'effectue grâce à l'utilisation de standards naturels (de plagioclase) analysés par microsonde électronique desquels seront déterminés des facteurs de corrections (Équation 1A) afin d'obtenir la vraie valeur de calcicité du plagioclase en résolvant un polynôme du second degré permettant de déterminer l'équation quadratique suivante (Équation 1B ; voir protocole Tondoh, 2021 pour plus de détail).

Équation 1 : A) Facteur de correction des données acquises grâce au protocole de XRFp avec les analyses de microsondes B) Equation quadratique permettant d'estimer la calcicité par le rapport Ca/Si (Tondoh, 2021)

$$\text{A) } \text{Facteur de correction} = \frac{\sum \left(\frac{\text{Element chimique}_{\text{microsonde}}}{\text{Element chimique}_{\text{XRF}}} \right)}{\text{Nombre d'analyse}}$$

$$\text{B) } x_{\frac{\text{Ca}}{\text{Si}}} = \frac{-0.0038 + \sqrt{(1.2592 \cdot 10^{-5} + 1,2 \cdot 10^{-4}y)}}{2(3 \cdot 10^{-5})}$$

Le XRFp utilisé est un XRF Niton XL3t de la marque Thermo Scientific utilisé au LabMaTer, réglé sur le mode Cu/Zn avec un temps d'analyses total de 60s comme suggéré par les protocoles analytiques de Mercier (2022) ; Tondoh (2021). Afin de caractériser l'homogénéité chimique des échantillons, il est suggéré de déterminer les différents types de plagioclases qui composent l'échantillon (porphyroclastes, chadacrystes, matrices) et de faire des analyses sur un minimum de trois grains de plagioclase par type afin de caractériser l'homogénéité chimique du plagioclase et de faciliter le traitement des données (Tondoh, 2021). Les différents critères qui permettent de s'assurer de la qualité de l'analyses sont l'absence de Mg, une quantité de $Fe < 0,5 \%$ et un $P < 1 \%$ (voir Gueye 2023 pour plus de détail). Cependant, il est à noter que certains plagioclases peuvent comporter des micro-inclusions d'apatites ou d'oxydes de fer faisant augmenter les proportions de Fe et de P. Si les concentrations de ces deux éléments sont élevées et constantes lors des trois mesures, alors les hautes teneurs en Fe ou P sont représentatives de l'échantillon. Ainsi le critère exclusif qualifiant une analyse de plagioclase « propre » est la concentration de Mg avec le Fe et le P pour affiner la sélection des données. Finalement un facteur de correction est appliqué aux données recueillies pour atténuer la dérive instrumentale. Cette correction a été développée à l'aide d'échantillons naturels MGBCP09 (anorthosite $An_{microsonde} 51$; Grant, 2020) utilisé pour calibrer le Si, Al, Ca, 20PM02 (norite riche en oxydes-apatite $An_{microsonde} 49$; (Grant, 2020 ; Miloski, 2023) utilisé pour calibrer le Sr, 21PM12B (mangérite riche en oxydes $An_{Laser} 28$; Miloski, 2023) utilisé pour calibrer K, Ba, et l'échantillon MGLPR07 (anorthosite $An_{microsonde} 43$; Grant, 2020) a été utilisé comme moniteur instrumental durant la totalité de l'étude. Les données de calibrations ont été acquises pour chaque sessions d'analyses et représentent un total de 188 analyses donnant les facteurs de correction moyen suivants : 1,084 pour Si, 1,392 pour Al, 1,228 pour Ca, 3,893 pour K, 2,7. Néanmoins, pour des calcités sortant de la transition andésine-labradorite, il faudra utiliser des calibrants représentatifs de la chimie du terrain étudié. Sur la totalité de la période d'analyse, comprenant en 1085 analyses de plagioclases, effectuées sur 164 échantillons, la précision et justesse du méthode XRFp pour la calcicité de plagioclase, basé sur l'analyse du moniteur LPR07 ($n=78$) est $< 5\%$ (précision 0,4 %, justesse $\pm 0,004$; Annexe 1 : analyses XRFp de plagioclases).

Les travaux de Mercier (2022) et Gueye (2023) ont permis de cartographier, via la calcicité du plagioclase, le massif anorthositique de Lac-Saint-Jean dans les feuillets SNRC 32H01, 32H08 et 22E05 grâce à cette méthode en collaboration avec les équipes du MRNF. Ces cartographies géochimiques par XRFp ont montré une distribution « organisée » de la calcicité du plagioclase dans les anorthosites en secteur à l'échelle régionale, avec des secteurs plus labradoritiques ($An > 50$) et des secteurs plus

andésinitiques ($An < 50$), des zonations de calcicité de la marge vers le cœur de « lobes » d'anorthosites dans certains secteurs, et même de possibles associations de certains types de minéralisation (Fe-Ti-V-P, Cu-Ni-Co) avec certains de ces secteurs (Gueye, 2023 ; Mercier, 2022). Les travaux du présent projet de doctorat ont pour but d'appliquer ces descriptions et interprétations à une échelle plus détaillée afin de caractériser l'organisation de SALSJ autour d'indices minéralisés.

5.2 Méthode par norme Cross-Iddings-Pirsson-Washington (CIPW)

La calcicité du plagioclase peut aussi être déterminée par l'utilisation de la norme Cross-Iddings-Pirsson-Washington (CIPW), consistant en une conversion des analyses de roche totale en une minéralogie normative. Dans le cas des lithologies anorthositiques, étant constituées à plus de 90 % de feldspath, il est raisonnable de penser que l'estimation de la calcicité du plagioclase par CIPW ($An = Ca / (Ca + Na)$) est représentative de la calcicité moyenne du plagioclase de l'échantillon. Cette estimation assume que les concentrations de Ca et de Na sont homogènes à travers les plagioclases et que les autres minéraux porteurs de Ca ne seront pas suffisamment nombreux pour venir altérer le ratio $Ca / (Ca + Na)$ du plagioclase. De ce fait, il est possible de prédire que l'estimation de la calcicité du plagioclase en terrain anorthositiques est fiable pour des lithologies quasi-monominéraliques et de moins en moins fiable lorsque l'on augmente la proportion des autres phases minérales. Aussi dans le cas des anorthosites, la fiabilité de l'estimation de la calcicité du plagioclase diminue lorsque plusieurs générations de plagioclases cohabitent dans la même lithologie, comme la présence de chadacrystes (Higgins, 1991) ou que des événements postérieurs viennent rouvrent les systèmes minéralogiques comme l'altération ou le métamorphisme. Ainsi les observations de terrain et les estimations de proportions minéralogiques deviennent critiques dans le cadre du calcul de la calcicité du plagioclase par CIPW, et ne devrait pas être utilisé pour des roches contenant >70 % de plagioclases. De ce fait, la méthode de XRFp devient un atout dans ce genre de terrain puisqu'elle permet d'approximer les résultats CIPW de la méthode de roche totale en camp de terrain associé à une acquisitions de données bien plus importante, 1085 analyses en XRFp contre 64 analyses de roches totales, couvrant une surface plus grande, 164 stations de géofiches contre 64, pour un coût moindre et une précision similaire. Une façon de s'assurer que les calcicités estimées par CIPW sont représentatives des populations de plagioclases présentes dans les massifs anorthositiques est de comparer ces estimations avec les données acquises et corrigées par XRFp.

5.3 Comparaison méthode XRFp et CIPW

Dans le but de s'assurer de la justesse des données estimées par la méthode An-XRFp, ces données ont été comparées avec les données obtenues par la méthode CIPW (n=48; Figure 21). Dans le cas de cette campagne de terrain, la corrélation entre les contenus en An mesurés par XRFp et calculés par la norme CIPW est satisfaisante puisqu'elle est ? dans l'enveloppe de l'écart type ($\pm 5\%$).

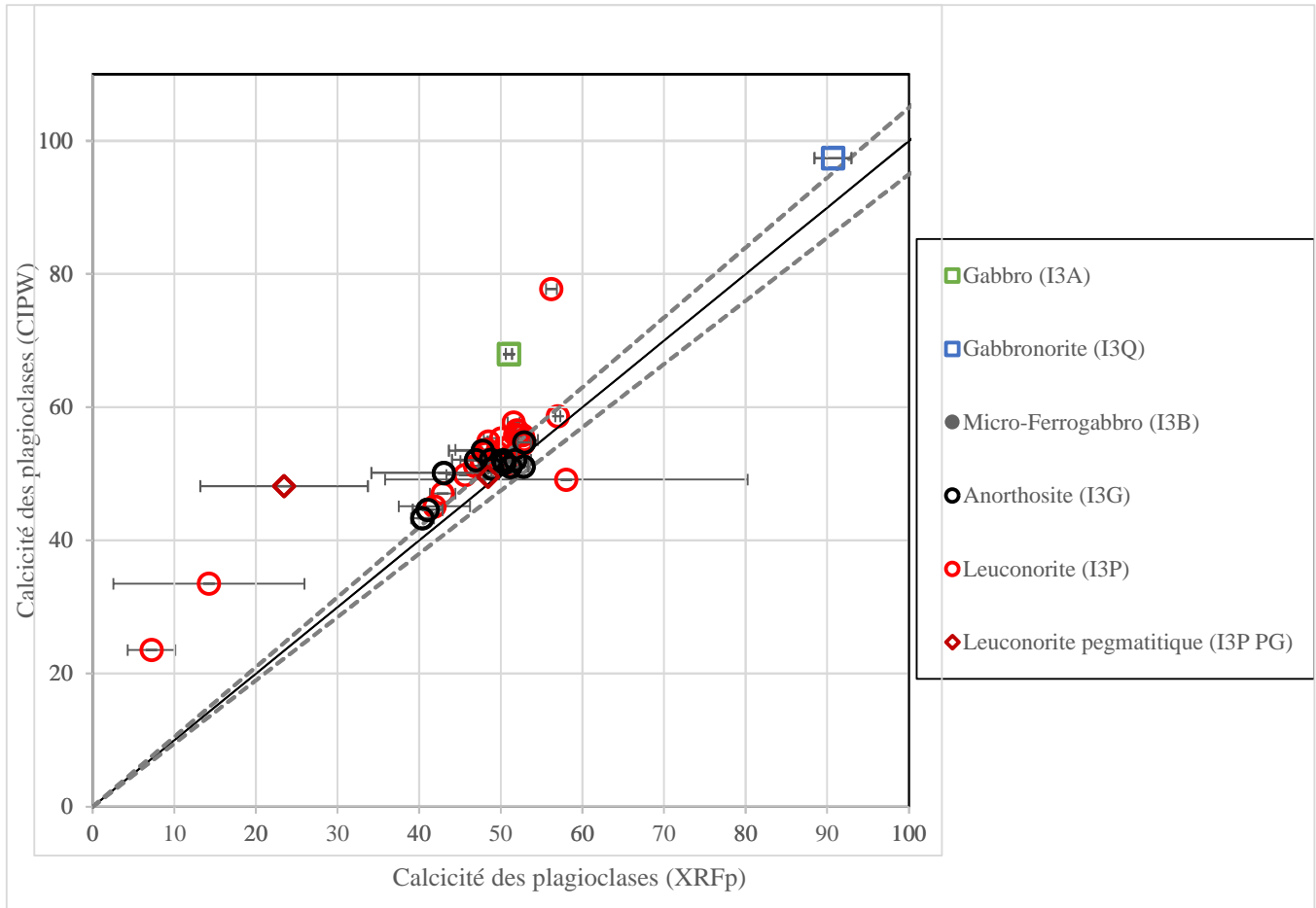


Figure 21 : Diagramme binaire de comparaison des mesures de calcicité (contenu en An) par la méthode de XRFp et la méthode CIPW. La droite pleine représente une corrélation 1:1 entre les données de An_{CIPW} et de An_{XRFp} et les droites pointillées représentent l'enveloppe d'écart type définies à $\pm 5\%$.

Il est à noter que la partie principale du nuage de point constitué des leuconorites (cercles rouges) et des anorthosites (cercles noirs) est proche de la limite supérieure de la barre d'erreur ($+5\%$), ce qui implique une légère surestimation de la calcicité du plagioclase par la méthode CIPW. On peut aussi remarquer que les leuconorites sont plus susceptibles de sortir du champ de corrélation, ce qui s'explique par la plus grande proportion d'autres phases minéralogiques pouvant contenir du Ca ou du Na, principalement pyroxène et amphibole.

De façon générale, la gamme de calcicité du plagioclase estimée par XRFp est pour la majorité des résultats entre 3 à 5 unités inférieures aux calcicités du plagioclase estimés par CIPW avec un écart type médian de 1,66 pour la suite anorthositique. Par exemple, pour la calcicité du plagioclase de Lac Yenevac, la calcicité du plagioclase par CIPW (An_{CIPW}) varie entre 51,1-53,7 et calcicité du plagioclase par XRF (An_{XRF}) entre 46,8-50,7. La méthode de XRFp permettra donc de corriger les estimations de An_{CIPW} à condition que les chimies des différents types de plagioclases (porphyroclastes, chadacrystes, matrices, etc.) soient homogènes. Ainsi la mise en carte de ces deux méthodes, si non corrigées l'une par rapport à l'autre, pourrait fausser les observations. Dans le cadre de cette étude, la calcicité obtenues par XRFp sera utilisées lors de la mise en carte, car elle semble plus juste que celles obtenues par CIPW, qui est trop dépendante de la présence d'autres phases minérales riche en Ca et à ce stade, non calibrée par les données obtenues par XRFp.

Les lithologies ferromagnésiennes ne seront pas discutées dans cette section car ils sortent de la droite de corrélation An_{CIPW} vs An_{XRF} (Figure 21).

5.4 Résultats

Un total de 730 grains de plagioclase a été analysé sur un total de 126 échantillons du secteur d'étude sur une variété de lithologies (Figure 22). La totalité des résultats est disponible en Annexe 1 : analyses XRFp de plagioclases.

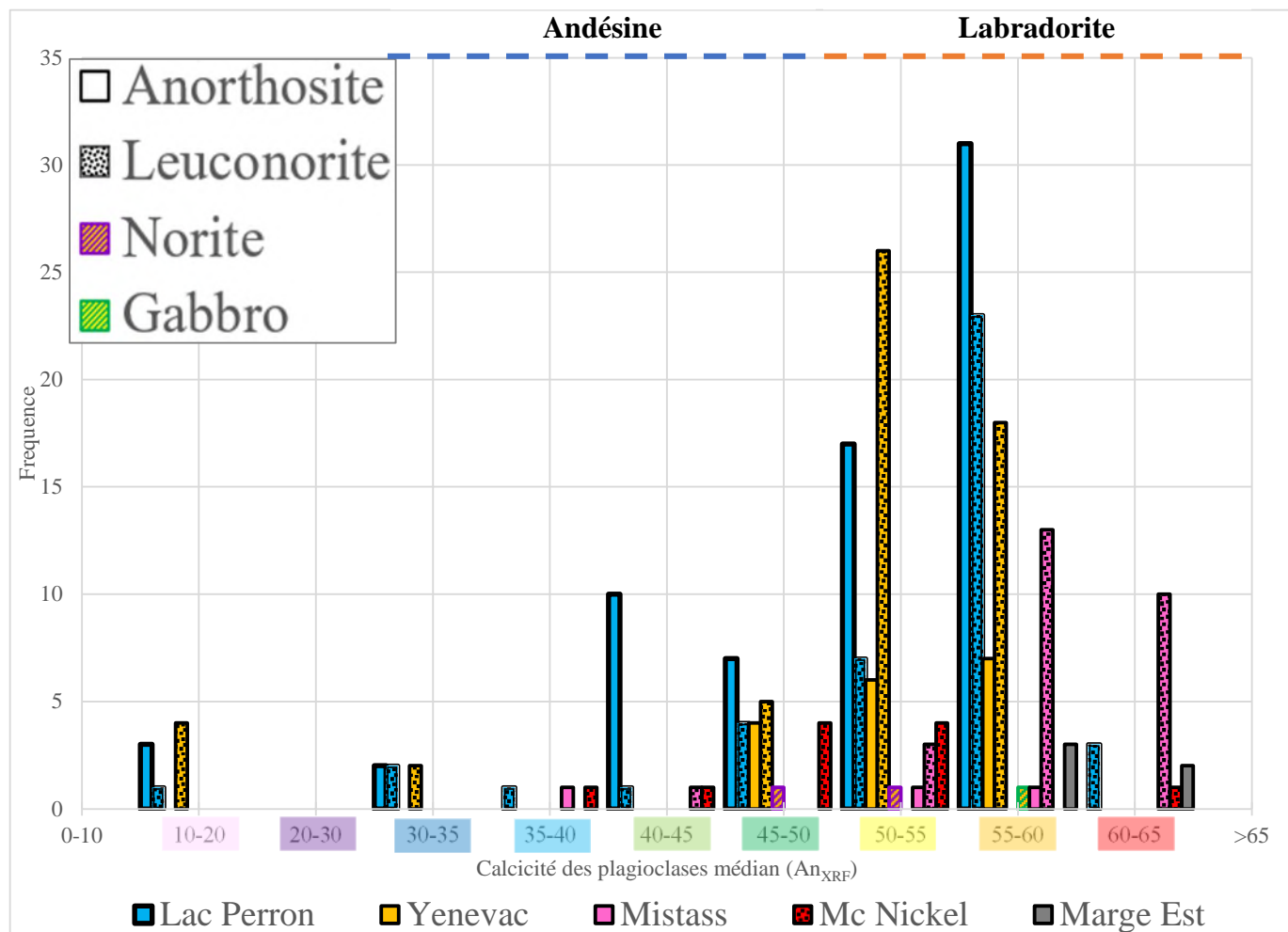


Figure 22 : Histogramme de la médiane générale des calcicités du plagioclase par XRFp (n=730) selon les indices et les lithologies. Le groupe d'échantillon de calcicité 10-20 correspond à des composition de feldspath K

Dans le cadre de cette étude, il a été choisi de faire la médiane de la calcicité du plagioclase estimée dans les porphyroclastes, les chadacrystes et la matrice granoblastique pour vérifier l'homogénéité des échantillons vis-à-vis de la calcicité du plagioclase par XRFp. Ces résultats permettent de démontrer que dans la majorité des cas il existe une homogénéité relativement bonne de la calcicité du plagioclase au sein d'un échantillon ce qui permet de produire un histogramme général de la calcicité médiane du plagioclase (Figure 22). Cependant ce n'est pas toujours le cas. Par exemple, l'échantillon 22TH157, présente une hétérogénéité très marquée avec une matrice de plagioclase granoblastique avec un An_{XRF} entre 21-27, tandis que An_{XRF} des porphyroclastes est entre 03 et 05 (étude détaillée à suivre). L'histogramme (Figure 22) montre la fréquence de la calcicité par secteur et type de lithologies dans la zone d'étude. Aux vues de cette répartition des données géochimiques, il a été décidé de classer les calcicités du plagioclase An_{XRF} par incrément de 5 unités plutôt que selon le découpage du diagramme ternaire (Figure 1A), afin de discriminer des secteurs chimiques distincts dans la zone d'étude de façon plus précise.

De façon générale, toutes lithologies anorthositiques confondues et tous secteurs confondus, présentent une distribution normale de la calcicité du plagioclase, autour d'une calcicité légèrement sous les An 50 (andésine), à l'exception des secteurs de Mistass et la marge est qui semblent avoir une calcicité général légèrement plus élevée (labradorite), avec un médian $An \sim 52$ et $An \sim 53$, respectivement. Le secteur Lac Perron montre une distribution de calcicité de plagioclase très large entre 38-60, avec un An_{XRF} médian 49 ± 11 ($n=352$) et un pic entre 55-60. Le secteur de Lac Yenevac montre une distribution similaire de calcicité de plagioclase très large entre 50-55, avec An_{XRF} médian de 49 ± 11 ($n=238$) et un pic à 50-55. Le secteur de Mc Nickel montre une distribution de calcicité de plagioclase assez large entre 35->65, avec un An_{XRF} médian autour de 45 ± 6 ($n=36$) et un pic à 45-50. Le secteur Mistass montre une distribution de calcicité de plagioclase relativement étroite entre 35-65, avec An_{XRF} médian autour de 52 ± 5 ($n=90$) et un pic entre 55-60. Les anorthosites de la marge est se trouve aussi dans ces gammes de calcicité élevées comprises entre 50 et 55 avec un An_{XRF} médian autour de 53 ± 2 ($n=14$) labradoritique.

5.4.1 Lac Perron - Mistass

Pour le secteur Lac Perron, la calcicité du plagioclase varie autour de An_{XRF} médian 49 ± 11 ($n=352$; Figure 23). Ce secteur présente une architecture en bandes orientées ouest-nord-ouest est-sud-est (305/90) avec une légère rotation de la portion sud du secteur vers le nord-nord-ouest sud-sud-est (335/90; Figure 11).

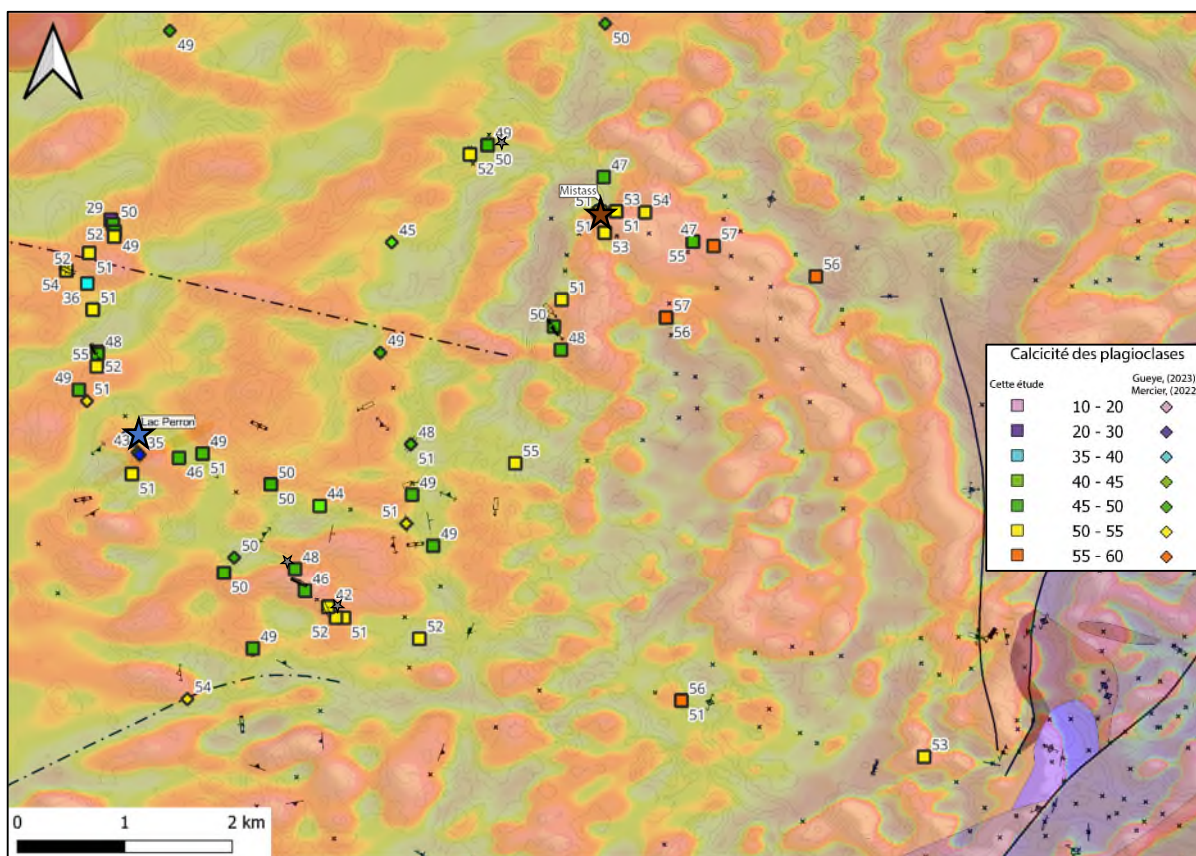


Figure 23 : Carte géophysique et géochimique de calcicité de plagioclases par XRFp des secteurs Lac Perron, Mistass (gradient vertical du champ magnétique résiduel ; (El Bourki et Moukhsil, 2022a, 2022b ; Intissar et Benahmed, 2015).

Les anorthosites du secteur de Lac Perron ont une chimie An_{XRF} médian autour de 47 ± 11 ($n=222$) et les leuconorites varient autour de $An_{XRF} 51 \pm 10$ ($n=130$). L'extrémité nord de la traverse passant par l'indice Lac Perron se trouve un point d'analyse indiquant un An_{XRF} médian à 29 ± 3 . Ce point de donnée correspond aux porphyroclastes d'une leuconorite associée à une poche pegmatitique, ce qui explique la calcicité faible estimée. Il est intéressant d'observer que la minéralisation de l'indice nelsonitique de Lac Perron et du nouvel indice 22TH118 sont encaissées dans les anorthosites appartenant aux groupes des An_{XRF} le plus faible du secteur autour de 40 ± 4 . L'indice 22TH118 se trouve notamment à proximité de débris dunitiques à oxydes-apatite.

En ce qui concerne l'indice Mistass, le An_{XRF} varie autour de 52 ± 5 ($n=90$; Figure 23) avec une distinction entre les leuconorites présentant un An_{XRF} autour de 53 ± 5 ($n=83$) et les anorthosites, minoritaires, présentant un An_{XRF} de 49 ± 4 ($n=7$). La minéralisation de l'indice de Mistass se trouve dans une leuconorite à $An_{XRF} 51 \pm 2$, pouvant atteindre $An_{XRF} 57 \pm 2$ avec à proximité, dans la zone minéralisée à 100 m à l'ouest, la présence d'une dunite à sulfures. Enfin, les échantillons pris vers la marge est

(22TH218) montrent un An_{XRF} autour de 53 ± 2 ($n=14$) pour les anorthosites mesurées, qui est une des valeurs moyennes les plus élevées du secteur pour des anorthosites.

5.4.2 Lac Yenevac et Mc Nickel

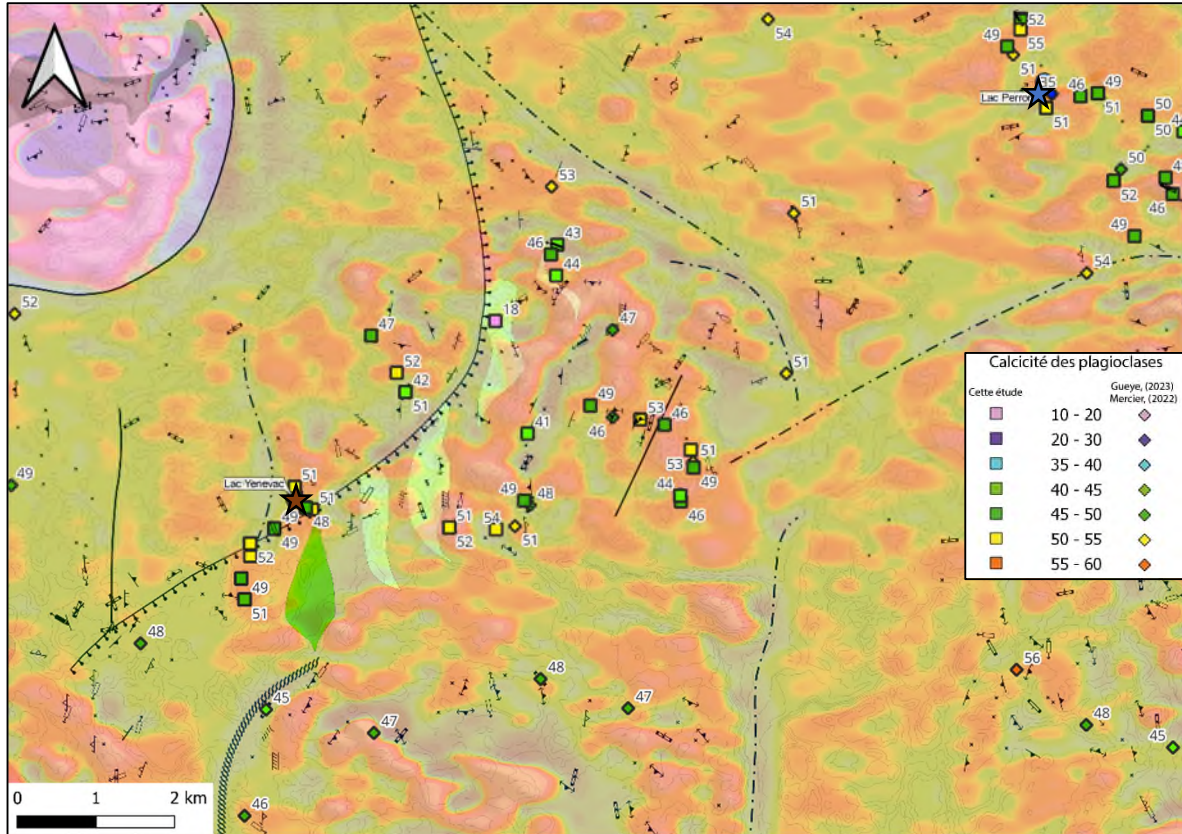


Figure 24 : Carte géophysique et géochimique de la calcicité du plagioclase par XRFp du secteur Lac Yenevac (gradient vertical du champ magnétique résiduel ; (El Bourki et Moukhsil, 2022a, 2022b ; Intissar et Benahmed, 2015))

Le secteur de Lac Yenevac présente des calcicités moyennes pour toutes les lithologies de An_{XRF} autour de 49 ± 11 ($n=238$; Figure 24). Parmi les lithologies retrouvées dans ce secteur, nous avons les leuconorites avec un An_{XRF} médian de 49 ± 12 ($n=174$). Les leuconorites hôtes de l'indice Lac Yenevac est aussi caractérisée par un An_{XRF} autour de $49 \pm 0,4$ ($n=20$) dans une leuconorite. Ensuite, le An_{XRF} anorthositique médian varie autour de 49 ± 3 ($n=53$), ce qui est similaire aux An_{XRF} des anorthosites présentent autour de l'indice Lac Perron. Enfin, les leuconorites du secteur Mc Nickel présentent un An_{XRF} autour de 45 ± 6 ($n=36$; Figure 24) correspondant au An_{XRF} le plus faible mesuré dans des leuconorites sur l'ensemble des secteurs étudiés.

Ainsi, les leuconorites autour de l'indice Mc Nickel ont le An_{XRF} le plus faible 45 ± 6 suivit par, les leuconorites de Lac Yenevac $49 \pm 0,4$ les leuconorites du secteur de Lac Perron 51 ± 10 et les leuconorites du secteur de Mistass 53 ± 5 manifestants une augmentation de la calcicité du plagioclase

d'ouest en est. Cette augmentation est aussi visible dans la calcicité des anorthosites avec An_{XRF} Lac Yenevac 49 ± 3 , puis An_{XRF} Mistass 49 ± 4 , et An_{XRF} Marge Est 53 ± 2 avec une exception, le secteur Lac Perron An_{XRF} 47 ± 3 et 40 ± 4 autour de l'indice nelsonitique.

6 Géochimie roche totale

Au total, 64 échantillons ont été soumis pour analyse de roche totale. La totalité des résultats est disponible en annexe 2. Les analyses ont été effectuées au laboratoire Actlabs (Ancaster, On). Pour le détail des méthodes analytiques utilisées et limites de détection, voir Annexe 3. Les analyses de ces roches totales ont été effectuées sur 64 échantillons comprenant 14 anorthosites, 31 leuconorites, 2 gabbronorites, 2 gabbros, 2 dunites : l'une riche en oxydes-apatite (22TH118) et l'autre riche en sulfure (22TH63), 1 syénite, 3 dykes de microferrogabbros, 6 sulfures massifs, 2 nelsonites et 1 oxyde massif. Les diagrammes de Harker présentés dans ce document montrent les variations en éléments majeurs suivantes K_2O , Al_2O_3 , MgO , TiO_2 , Fe_2O_3 , P_2O_5 vs SiO_2 (Figure 25) et intègrent des données microsondes de biotite, andésine, ilménite, magnétite, apatite, spinelle, olivine, orthopyroxène (Grant, 2020 ; Miloski, 2023) afin d'observer l'impact d'une phase minérale sur la géochimie roche totale. Ces pôles minéralogiques seront remplacés par des mesures microsondes faites sur les échantillons collectés durant la campagne de terrain 2023 dans les travaux futurs.

Dans la population des anorthosites ($n=14$; cercles noirs ; Figure 25), 11 se situent dans le secteur de Lac Perron, et 3 dans le secteur de Lac Yenevac. En ce qui concerne les anorthosites du secteur Lac Perron, elles présentent les caractéristiques géochimiques majeures suivantes SiO_2 entre 53,8-57 pd. % (Figure 25), Al_2O_3 entre 24,5-27,2 pd.% (Figure 25B), CaO entre 7,5-9,5 %, Na_2O entre 4,2-7,4 %, K_2O entre 0,73-1,42 % (Figure 25A) ainsi que des valeurs en Fe_2O_3 entre 0,8-3,5 % (Figure 25E), MgO entre 0,1-2,3 % (Figure 25C), TiO_2 entre 0,09-0,7 % (Figure 25D), P_2O_5 entre 0,4-0,9 % (Figure 25F) et total S entre 0,01-0,02 % (Figure 27). Pour les 3 anorthosites de Lac Yenevac, les concentrations en éléments majeurs sont dans la gamme des concentrations des anorthosites de Lac Perron.

Dans la population des leuconorites ($n=31$), 9 se situent dans le secteur de Lac Perron, 7 dans le secteur de Mistass dont une leuconorite pegmatitique, 1 proche de la marge est (22TH218), 8 dans le secteur de Lac Yenevac dont une leuconorite pegmatitique et 6 dans le secteur de Mc Nickel. En ce qui concerne les leuconorites du secteur Lac Perron, elles présentent les caractéristiques géochimiques majeures suivantes SiO_2 entre 53,8-56,5 pd. %, Al_2O_3 entre 20-27,2 pd %, CaO entre 7,8-10,3 pd %, Na_2O entre 3,2-4,8 pd %, K_2O 0,54-1,16 pd % ainsi que des valeurs en Fe_2O_3 entre 1,15-7,01 pd %, MgO entre 0,19-6,7 pd %, TiO_2 0,12-0,35 pd %, P_2O_5 0,01-0,04 pd %, total S entre 0,01-0,02 pd %.

On observe que les leuconorites de Lac Perron ont des concentrations en éléments ferromagnésiens (Fe, Mg, Ti) supérieurs aux anorthosites, ce qui est cohérent aux vues de la proportion de minéraux mélanocrates de ces lithologies. Les leuconorites de Mistass quant à elle ont des concentrations globalement similaires aux leuconorites de Lac Perron pour les éléments lithophiles (Si, Ca, Na, K). Les concentrations en éléments ferromagnésiens ainsi qu'en P et S, légèrement supérieures (Fe_2O_3 entre 2,1-7,1 pd %, MgO entre 1,3-3,7 pd %, TiO_2 entre 0,18-0,69 pd %, P_2O_5 0,02-0,04 pd %, total S entre 0,01-1,6 \pm 0,01 pd %) et une calcicité du plagioclase moyenne plus élevée, entre 51,5-56,9.

Les données de géochimies de l'échantillon de la marge est (22TH218) à des concentrations comprises dans les gammes de valeurs des leuconorites du secteur Mistass à l'exception de P_2O_5 , légèrement supérieur 0,06 %.

Les données de géochimies en éléments majeurs des leuconorites associées au secteur de Lac Yenevac sont plus proches des données de Mistass que de Lac Perron. Les concentrations en éléments lithophiles et S sont légèrement plus faibles que celles de Mistass (SiO_2 entre 50,6-56,1 pd %, Al_2O_3 entre 13,7-25,7 pd %, CaO entre 8,7-12,7 pd %, Na_2O entre 2,4-4,6 pd %, K_2O 0,4-1,1 pd % et total S entre 0,01-0,39 pd %) et les concentrations d'éléments ferromagnésiens et P sont légèrement plus fortes qu'à Mistass (Fe_2O_3 entre 2,2-9,7 pd %, MgO entre 1,1-7,5 pd %, TiO_2 0,2-1,26 pd %, P_2O_5 0,03-0,24 pd %). Dans le secteur de Lac Yenevac se trouve l'affleurement 22TH157, caractérisé par une leuconorite à grain arrondi possédant la calcicité du plagioclase la plus faible de toutes les lithologies anorthositiques de la campagne de terrain, comprise entre 23-33 soit une chimie oligoclasique.

Enfin, les leuconorites de Mc Nickel montrent une chimie très similaire à celle de Lac Yenevac. Il faut néanmoins rappeler que la leuconorite de Mc Nickel est échantillonnée juste au contact des sulfures massifs et que cette proximité peut avoir affectée la signature chimique des lithologies. Cette modification peut être illustrée par les échantillons 22TH08C1 et 22TH09C2 qui ont une concentration en éléments lithophiles inférieure à celle des autres leuconorites de Mc Nickel, par exemple SiO_2 entre 29,44-34,6 pd % et une concentration en éléments ferromagnésiens, P, S, Cl et calcicité du plagioclase supérieurs à Mc Nickel, par exemple S_{Total} entre 3,04-10,4 pd %. Cette variation peut être causée par la présence de sulfures dans les échantillons causant une « dilution » des éléments lithophiles et une augmentation des ferromagnésiens.

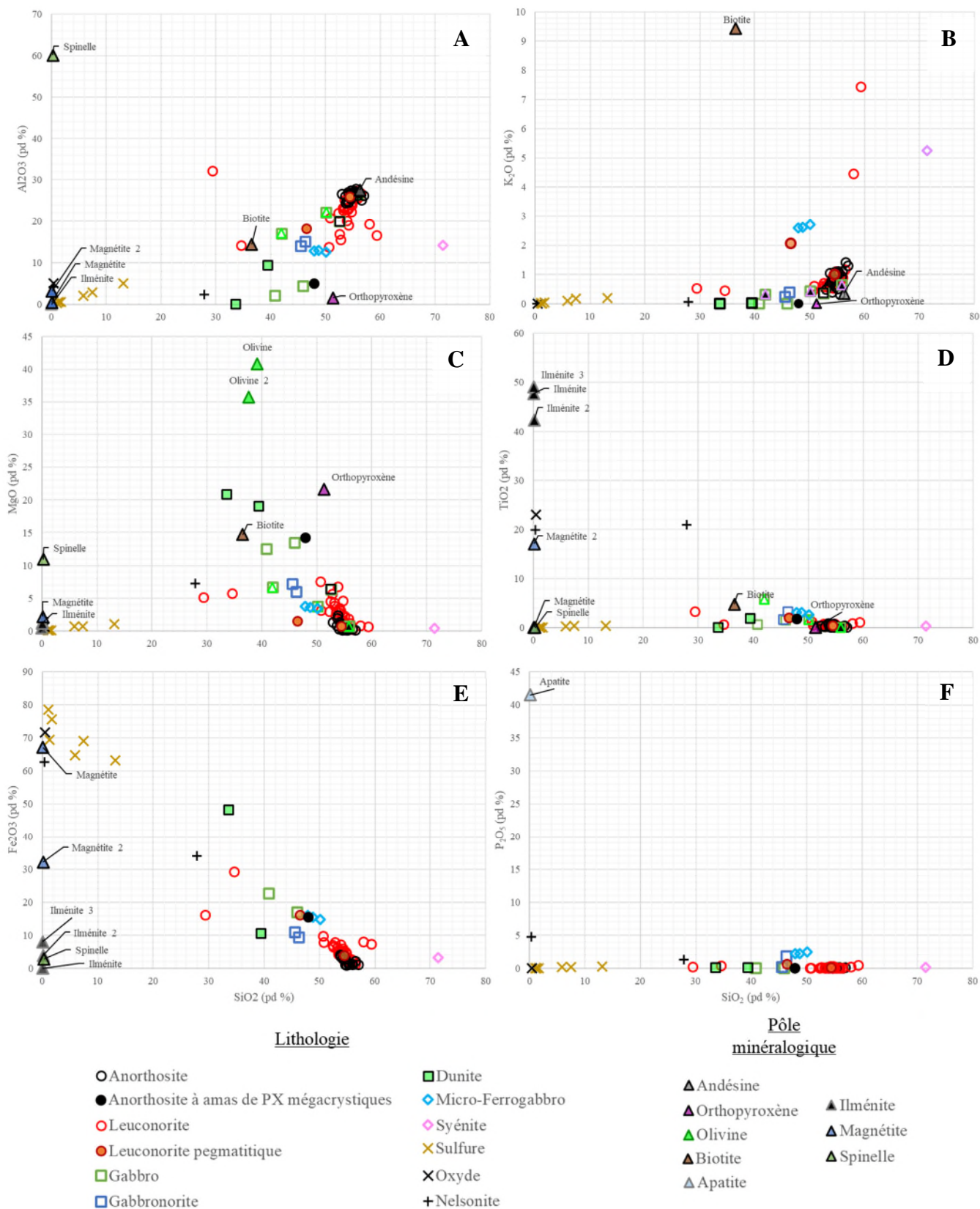


Figure 25 : Diagrammes de Harker A) Al_2O_3 vs SiO_2 B) K_2O vs SiO_2 C) MgO vs SiO_2 D) TiO_2 vs SiO_2 E) Fe_2O_3 vs SiO_2 F) P_2O_5 vs SiO_2 . Les analyses minéralogiques AA, BT, MG, IM, SL, OX par microsonde, voir Annexe 2, proviennent des données de Grant (2020) ; Vaillancourt (2001) et Miloski et al. (2023 in review).

Les lithologies anorthositiques et leuconoritiques présentent sur la plupart des diagrammes de Harker un nuage de données autour du pôle de plagioclase andésinitique. Les leuconorites possédant une variété minéralogique plus grande se dispersent vers différents pôles, principalement orthopyroxène et biotite. Les lithologies plus mafiques allant des gabbros aux dunites, forment une continuité entre les leuconorites dispersées et les pôles minéralogiques. Le diagramme Fe_2O_3 vs SiO_2 (Figure 25E) montre bien cet alignement avec un groupe pauvre en Fe, riche en Si et peu dispersé : les anorthosites, à l'exception de l'échantillon 22TH64, caractérisé par une anorthosite à amas de pyroxènes mégacrystiques et de sulfures, (cercle noir plein) dont la chimie est affectée par les amas mégacrystiques de minéraux ferromagnésiens.

Le groupe leuconoritique montre une dispersion en direction du pôle magnétite-ilménite dans le diagramme Fe_2O_3 vs SiO_2 (Figure 25E) et montrant un appauvrissement en Si et un enrichissement en Fe. Parmi ce groupe de leuconorite, on observe 3 groupes de points significativement écartés du jeu de données. Le premier, enrichie en Si en direction de la syénite (losange rose) caractérise la leuconorite oligoclasique à grain arrondi 22TH157. Le second, appauvri en Si et enrichi en Fe représente les leuconorites 22TH08C1 et 22TH09C2 caractérisées par la présence de sulfures diluant la signature silicatée. Le dernier est représenté par la leuconorite pegmatitique 22TH52B observable à proximité de l'indice Mistass et caractérisée par la présence d'oïkocristes d'oxydes de fer (magnétite-ilménite, ilménite, spinelle).

Les gabbronorites sont un peu plus appauvris en Si que les leuconorites pas plus enrichies en Fe dû à la présence de pyroxènes, tandis que les dykes de microferrogabbros et les gabbros se trouvent dans l'alignement entre le pôle plagioclase anorthositique et le pôle magnétite (Fe_2O_3 varie entre 9,33-10,93 et TiO_2 varie entre 1,68-3,22). Il est possible d'observer sur le diagramme Figure 25F que les dykes de microferrogabbros sont enrichis en P_2O_5 (2,18 à 2,49), ce qui se traduit en lame mince par la présence d'apatite.

Les dunites présentent une grande variation compositionnelle. La dunite à sulfures du secteur de Lac Perron 22TH63, situé à ~1,6 km au sud-sud-ouest de l'indice Mistass, contient autant de Fe_2O_3 (10,54) et de TiO_2 (1,92) que les gabbronorites mais est plus appauvri en Si, tandis que la dunite à oxydes-apatite hôte de l'indice trouvé à ~2,5 km au sud-sud-est de Lac Perron (22TH118) se trouve dans la continuité de l'alignement entre les leuconorites et le pôle magnétite-ilménite (Fe_2O_3 48,05 ; TiO_2 0,07).

Enfin, nous avons les minéralisations, qui se trouvent toutes regroupées autour du pôle magnétite-ilménite, sauf la nelsonite 22TH11, trouvées au centre de l'indice du secteur Mc Nickel qui est plus enrichies en SiO_2 27,86 pd % et plus appauvries en Fe que celle se trouvant sur l'indice Mistass (22TH51).

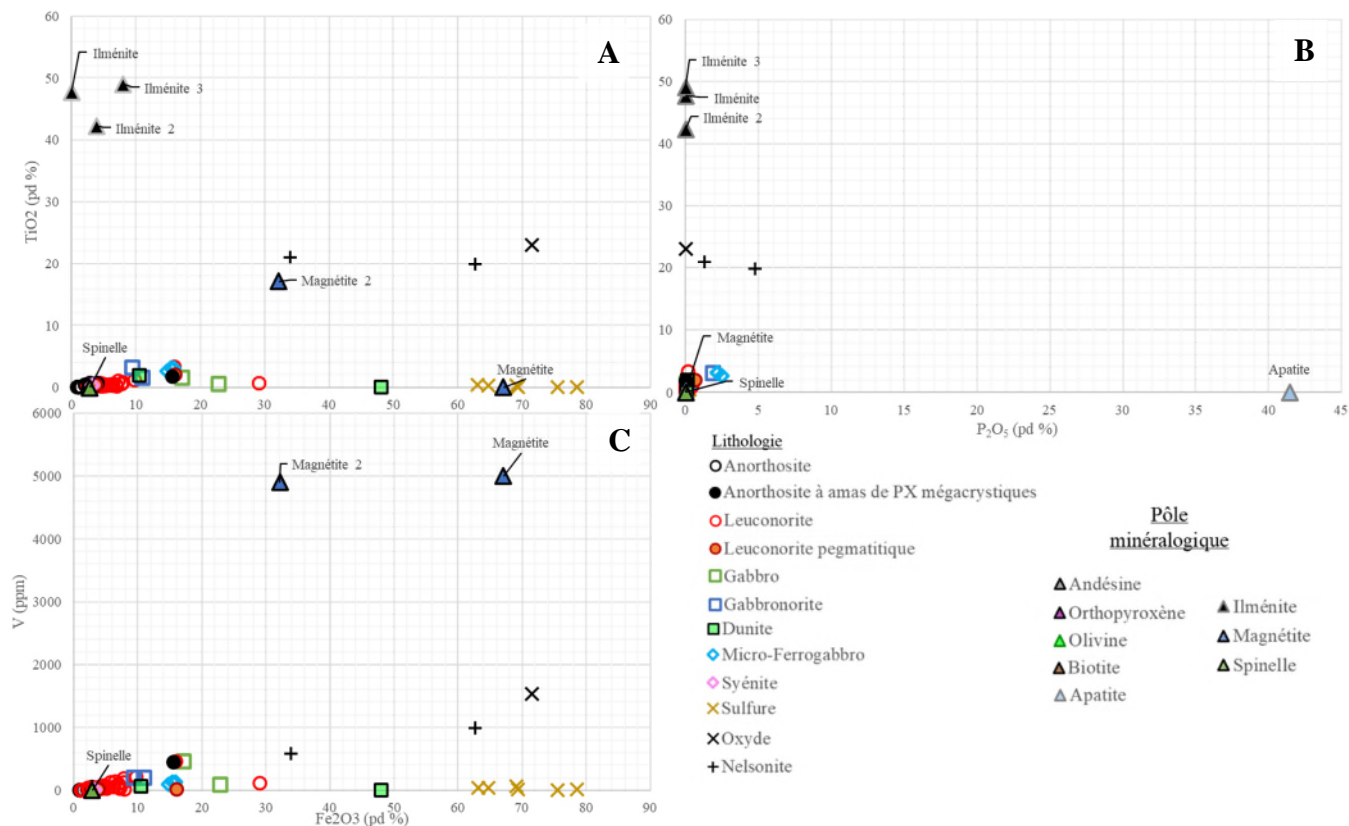
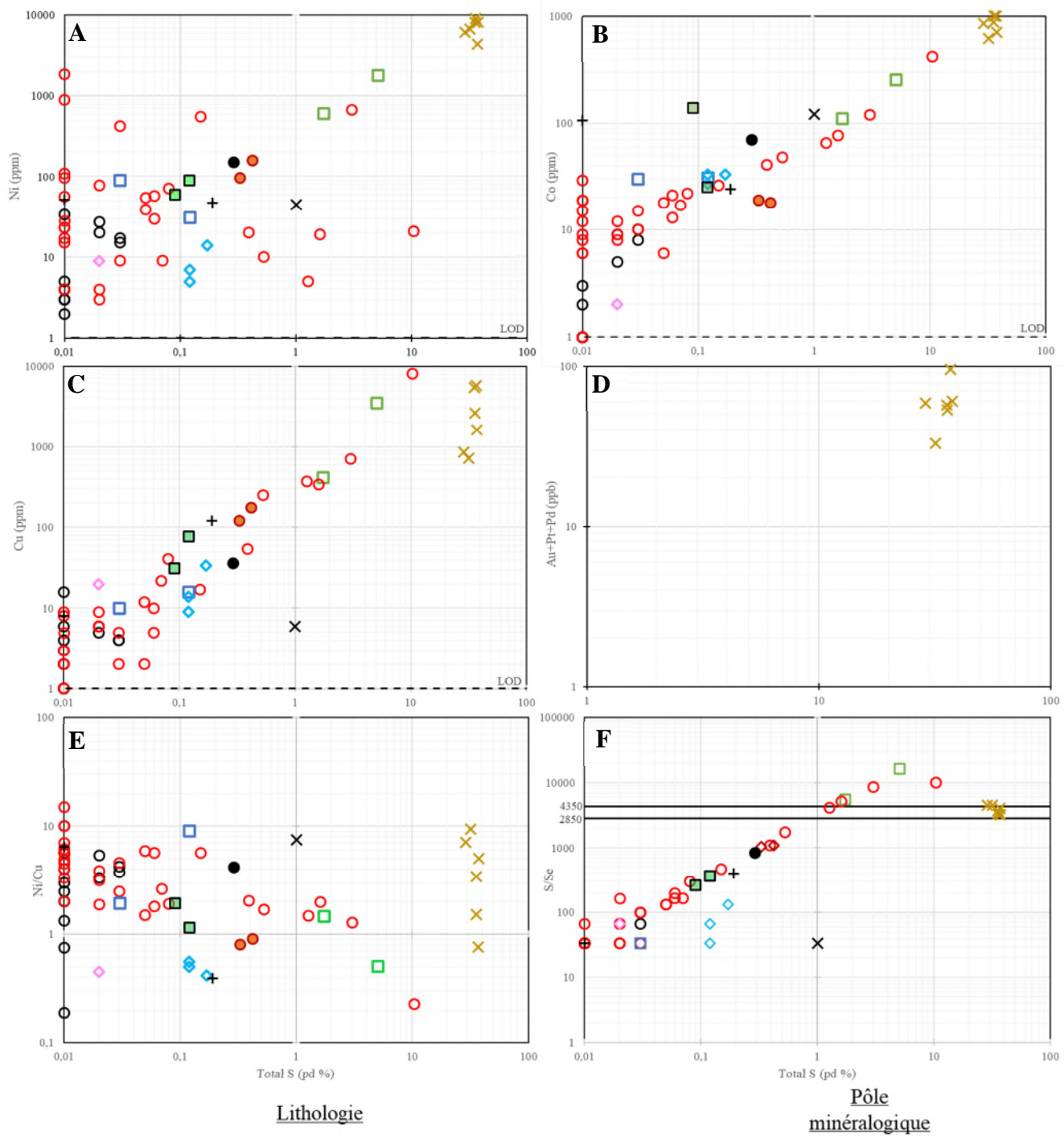


Figure 26 : Diagrammes binaires d'éléments lithophiles en fonction du A) TiO_2 vs Fe_2O_3 B) TiO_2 vs P_2O_5 C) V vs Fe_2O_3 . Les analyses minéralogiques AA, BT, MG, IM, SL, OX par microsonde, voir Annexe 2, proviennent des données de Grant (2020) ; Vaillancourt (2001) et d'une communication personnelle de (Miloski, 2023).

Au niveau de la minéralisation en oxydes, 3 diagrammes binaires ont été produits afin d'observer la répartition des oxydes selon les pôles minéralogiques de l'ilménite (TiO_2) de la magnétite (V) et de l'apatite (P_2O_5) en fonction de la concentration en Fe_2O_3 des lithologies échantillonnées (Grant, 2020 ; Miloski, 2023). Les diagrammes Figure 26A et Figure 26C montrent que l'oxyde de fer massif (22TH46Ox) est plus riche en TiO_2 (23,04 pd %) et en V (1530 ppm) que les nelsonites (TiO_2 19,9-20,9 % et V 581-993 ppm) ce qui peut s'expliquer par l'abondance de magnétite-ilménite dans cette lithologie. Cependant l'oxyde de fer échantillonné au sud-est de l'indice de Lac Perron est plus riche en TiO_2 et en Fe_2O_3 , mais moins riche en V que les pôles minéralogiques des magnétites provenant de l'indice Buttercup (Magnétite 2 ; TiO_2 = 17,1 %, Fe_2O_3 =32,17 %, V=4900 ppm) et de Lac à l'Original (Magnétite ; TiO_2 = 0,08 %, Fe_2O_3 = 67,09%, V=5000 ppm; Grant, 2020 ; Miloski, 2023). La Figure 26B confirme que les nelsonites sont enrichies en apatite (P_2O_5 =1,32 et 4,78 pd %), tout comme les dykes de microferrogabbros.



En ce qui concerne les minéralisations de sulfures, 6 diagrammes binaires ont été produits afin d'observer la répartition des sulfures selon leurs richesses en Ni (Figure 27A), Cu (Figure 27B), Co (Figure 27C) Au, Pt, Pd (Figure 27D) en fonction du S total, normalisation la concentration de sulfure mesuré recalculé à 100 %. Il peut être constaté que l'organisation lithologique reste la même (Figure 27) avec les anorthosites (ronds noirs), pauvres en sulfures (<LOD) excepté pour un groupe d'anorthosites contenant des sulfures disséminés (<0,03 S_{Total} %). Ces anorthosites montrent des concentrations légèrement plus élevées en Ni (entre 15 et 27 ppm) et Cu (entre 4 et 6 ppm) et peu dispersées. Les leuconorites (ronds rouges : S_{Total} entre 0,02 et 10,4 %) montrent un jeu de donnée dispersé de façon plus ou moins linéaire en direction des sulfures. Les lithologies dunitiques contiennent des concentrations en Fe (48,05 %) Ti (0,07 %), Ni (0,006 %), Cu (0,003 %), S_{Total} (0,09 %) pour la dunite à oxydes et Fe (10,54 %), Ti (1,92 %), Ni (0,009 %) Cu (0,007 %) S_{Total} (0,12 %).

Les oxydes quant à eux montrent des concentrations de sulfures faibles (Total S~LOD, Ni 0,004%, Cu 0,0006 %). Enfin, les sulfures massifs échantillonnées à Lac Yenevac et Mc Nickel sont caractérisés par des concentrations en S_{Total} entre 28,8-37,5 %, Ni entre 0,43-0,90 %, et Cu entre 0,07-0,57 %.

Sur les diagrammes Figure 27, il est possible d'observer une corrélation positive entre les éléments chalcophiles, l'estimation de S_{Total} entre les anorthosites et les leuconorites peu concentré et les sulfures. Le diagramme Co vs S_{Total} (Figure 27B) montre bien cette corrélation avec entre les lithologies anorthositiques et les sulfures, et les lithologies contenant des sulfures disséminés. Le diagramme Cu vs S_{Total} (Figure 27C) montre la même tendance dans les échantillons contenant des sulfures disséminés, mais les sulfures massifs, échantillonnées dans les secteurs de Yenevac et Mc Nickel, sont plus pauvres par rapport aux sulfures disséminés des leuconorites hôtes de Mc Nickel (rond rouge riche en Cu ; 22TH09) et les gabbros hôtes de Yenevac (carré vert ; 22TH04) indiquant probablement le drainage d'un liquide riche en Cu hors de la zone de sulfures massifs.

Les échantillons de sulfures analysés (n=6) sont des sulfures massifs prélevés à Mc Nickel (n=5) et Lac Yenevac (n=1). Les sulfures de Mc Nickel ont présenté les compositions suivantes : S_{Total} entre 28,8-37,5 pd %, Cu entre 0,07-0,57 %, Ni entre 0,43-0,82 %, Ni/Cu entre 0,39-9,38, Co entre 0,061-0,10 %, Au entre 7-48 ppb, Pt 9,5-28,5 ppb et Pd 16,4-34,2 ppb. L'échantillon de Lac Yenevac donne les valeurs suivantes S_{Total} 35,7 pd %, Cu 2640 ppm, Ni 9040 ppm, Ni/Cu 3,43, Co 1000 ppm, Au 10 ppb, Pt 1,9 ppb et Pd 41,5 ppb. Ces données montrent une proximité compositionnelle entre la minéralisation et la lithologie des secteurs Mc Nickel et Lac Yenevac et elles s'incluent dans les gammes de valeurs historiquement déterminées. Les prochains travaux vont entrer autre permettre d'augmenter la base de données des échantillons de sulfures en augmentant principalement le jeu de donnée de Lac Yenevac.

Les analyses de géochimie roche total ont aussi permis de produire des patrons d'éléments de terres rares (ETR) afin d'observer la parenté des différentes lithologies observées sur le terrain. Sur ces patrons ont été ajoutées le P₂O₅ (%) afin de vérifier l'impact de l'apatite sur les l'augmentation des patrons d'ETR légers. Les patrons ETR des anorthosites (Figure 28A) et des leuconorites (Figure 28B) présentent les mêmes patrons avec un léger enrichissement en ETR léger (La/Sm_N^{I3G} médian = 3,66 ±1,06 ; La/Sm_N^{I3P} médian =2,6 ±1,5) et un patron de ETR lourd relativement plat (Gd/Lu_N^{I3G} médian =2,15 ±2,49 ; Gd/Lu_N^{I3P} médian =1,74 ±1,32) avec une anomalie positive en Eu (Eu/Eu*^{I3G}=7,2 ±3,5 ; Eu/Eu*^{I3P}=3,9 ±4,3 ; Équation 2) typique de lithologie cumulatives à plagioclases.

Équation 2 : Calcule de l'anomalie en Eu normalisées aux valeurs chondritiques (McDonough et Sun, 1994)

$$Eu/Eu^* = \frac{Eu_N}{\sqrt{(Sm_N \times Gd_N)}}$$

Les gabbros à sulfures disséminées (1-10 % SF) des secteurs Lac Yenevac et Mistass présentent des patrons de ETR relativement plats (La/Lu_N=2,05 ±2,58) avec une faible anomalie négative en Eu (Eu/Eu*=0,77 ±1,17). Les dunites à oxydes-apatite présentent un patron de ETR présentent un enrichissement en ETR léger et lourd avec un appauvrissement des ETR moyenne (22TH118 ; La/Sm_N= 2,32, Gd/Lu_N=1,29). Il est intéressant de noter que la dunite 22TH118 a le patron de ETR le plus bas du jeu de données. Cette caractéristique est explicable par la présence d'olivine et d'oxydes de fer qui contient peu d'ETR. Enfin en ce qui concerne les autres lithologies (Figure 28C), les lithologies ultramafiques à mafiques ont un spectre relativement plat, voir présentent un enrichissement en ETR lourdes comme la dunite avec La/Sm_N= 1,31 et Gd/Lu_N=0,29 (22TH64). Les dykes de micro-ferrogabbro présentent un enrichissement en ETR légères par rapport au ETR lourdes (La/Lu_N 17 ±0,93) avec un patron relativement lisse, sans anomalie en Eu, typique d'un liquide évolué cristallisant des oxydes et des apatites.

On observe cependant une concentration plus importante d'ETR dans les nelsonites par rapport aux sulfures, pouvant être dû à la présence d'apatite riche en ETR. L'oxyde massif étant dépourvu d'apatite, l'enrichissement en ETR léger peut être associé à la présence de clinopyroxènes. Au niveau des minéralisations (Figure 28D), les nelsonites sont plus enrichies en ETR légères et lourdes dues à la présence d'apatite tandis que les sulfures présentent un enrichissement en ETR légères, un enrichissement en ETR légères (La/Sm_N^{I4ZN} = 3,3 ±2,9 ; La/Sm_N^S = 2,5 ±1,8) et un appauvrissement en ETR lourdes avec un patron de ETR lourdes relativement plat Gd/Lu_N^{I4ZN} = 2,23 ±2,63 ; Gd/Lu_N^S = 2,07 ±0,73, avec une légère anomalie négative en Eu/Eu*^{I4ZN} = 1,6 ±1,3 ; Eu/Eu*^S = 0,8 ±0,3.

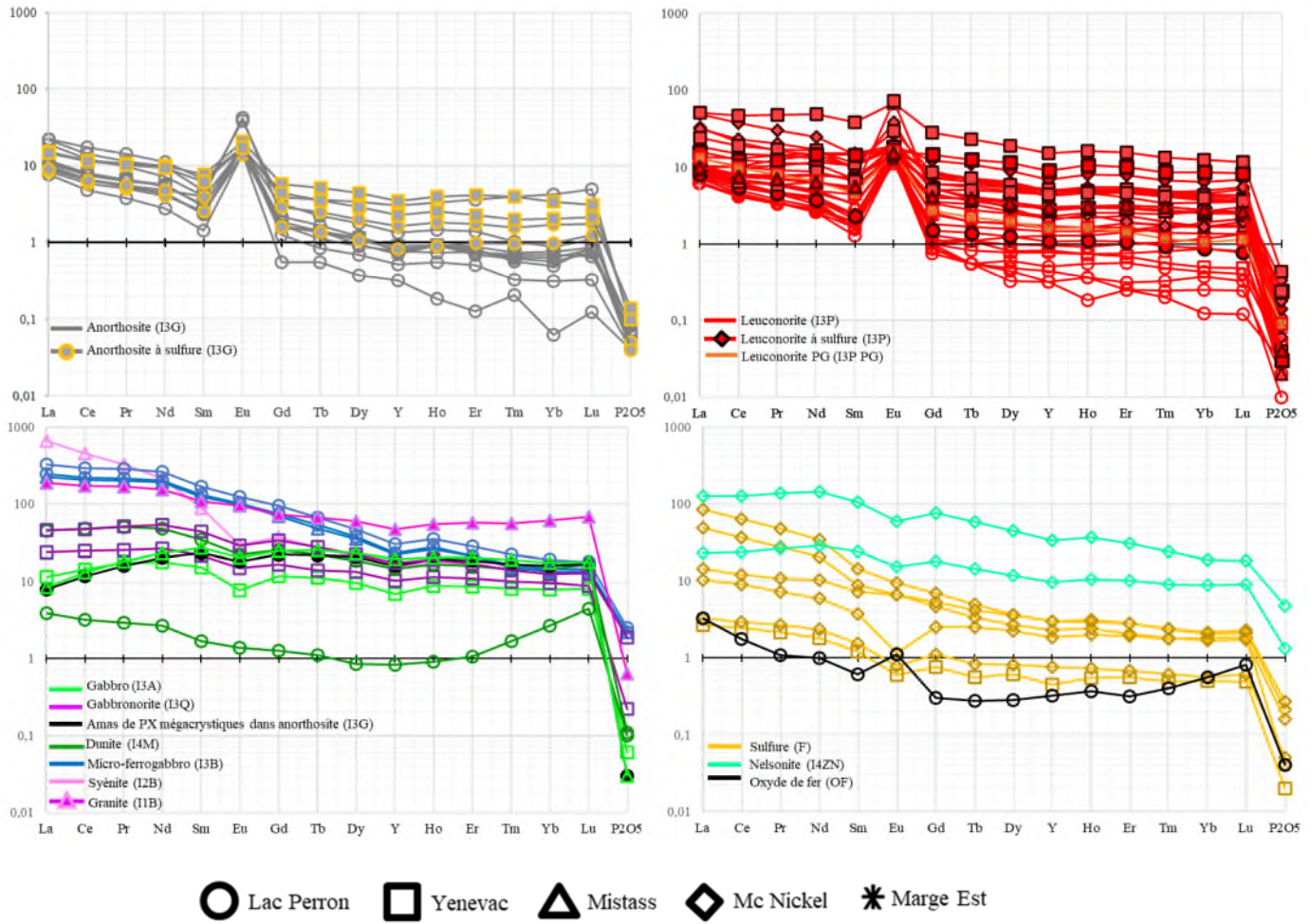


Figure 28 : Patrons de terres rares (ETR en ppm), normalisés par rapport aux chondrites et P_2O_5 (en pd.%) . A) anorthosites B) des leuconorites C) des autres lithologies échantillonnées et D) des minéralisations (valeurs de normalisation McDonough et Sun, 1994).

7 Discussion et conclusion

La campagne de terrain dans les secteurs des indices Lac Perron, Mistass, Yenevac et Mc Nickel a permis de cartographier plus en détail les lithologies, la distribution des faciès ainsi que la chimie (roche totale et calcicité de plagioclases) des suites anorthositiques abritant un indice d'oxydes de fer-apatite (Fe-Ti-(V)-P) et trois indices de sulfures Ni-Cu±Co (Figure 29). Ces travaux de terrain ont été l'occasion de tester la méthode d'estimation de calcicité du plagioclase (An) par XRF portatif sous forme de traverses détaillées à travers les lithologies hôtes des minéralisations. Ces analyses ont permis de mettre en évidence les différences architecturales, pétrologiques et chimiques des faciès anorthositiques et des lithologies hôtes des minéralisations d'oxydes et de sulfures dans la marge ouest de la SALSJ, mais aussi d'identifier de nouvelles minéralisations nelsonitiques 22TH118 et 22TH51.

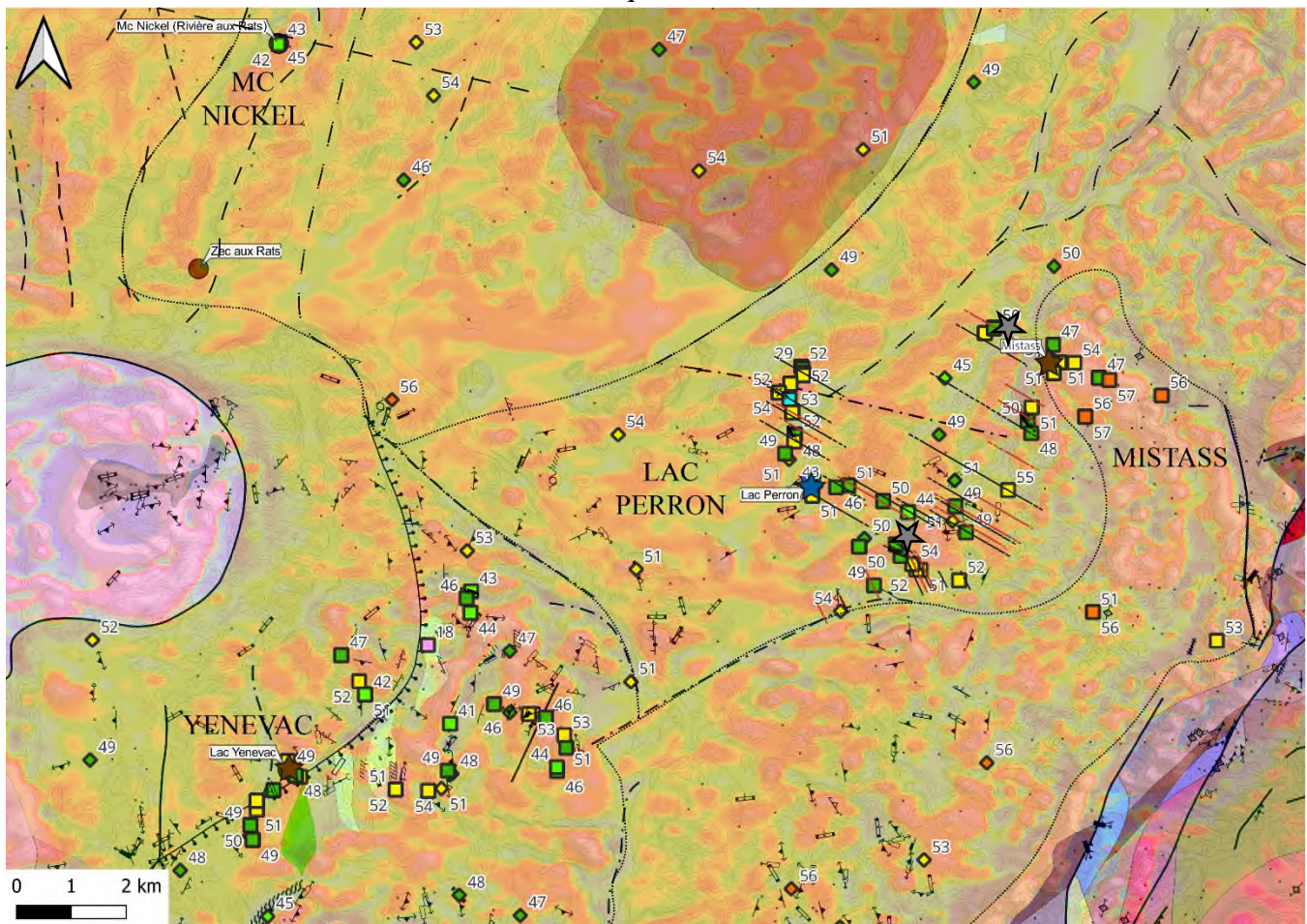


Figure 29 Carte géophysique et géochimique de l'organisation de la calcicité du plagioclase (An_{XRF}) des lithologies anorthositiques mesurées durant la campagne de terrain 2022, sectorisant les différents indices et leurs chimies de suites anorthositiques associées (gradient vertical du champ magnétique résiduel ; Intissar et Benahmed, 2015 ; MRNF, 2022). Les étoiles grises et noir, dans le secteur Lac Perron, représentent la localisation des affleurements contenant une minéralisation nelsonitique 22TH118 (dunite riche en oxyde-apatite) au S et 22TH51 (nelsonite à grains grossier) au N.

7.1 Délimitation de secteurs et liens avec minéralisation

La combinaison de la cartographie de l'architecture lithologique, d'organisation chimique (An_{XRF}) et de la géophysique a permis de déterminer des secteurs distincts dans la marge ouest de la SALSJ, et peut-être même un lien avec les types de minéralisation.

Le secteur Lac Perron est bordé au nord et au sud par des failles sud-ouest nord-est, et est caractérisé par une organisation interne des lithologies et chimiques orientées W-NW E-SE. Les anorthosites constituent la lithologie principale de ce secteur avec un An_{XRF} autour de 47 ± 11 andésinitique. Ces lithologies se présentent en alternances avec des bandes de leuconorites-labradoritiques $An_{XRF} 51 \pm 10$ orientées vers le ouest-nord-ouest est-sud-est et suivant la direction locale des anomalies magnétiques. Ces bandes semblent présenter une certaine organisation chimique, avec des bandes assez continues de lithologies labradoritiques basses, principalement constitué de leuconorite ($An 50-55$; jaune) et des bandes plus discontinues à chimies andésinitiques élevées, principalement constitué d'anorthosites ($An 45-50$; vert foncé). Il y semble aussi que les lithologies anorthositiques avec les chimies andésinitiques basses ($An 35-40$; bleu claire) soient associées aux minéralisations en oxydes. Autour de l'indice Lac Perron, la chimie andésinitique s'étend sur 1 km autour de la nelsonite. En ce qui concerne les nouvelles lithologies riches en oxydes et apatite, 22TH118 est caractérisée par une chimie andésinitique sur 500 m et 22TH51 n'a pas encore d'analyse XRFp, mais l'affleurement 22TH55 à proximité révèle un $An_{XRF} 49 \pm 1,78$. L'indice d'oxyde Lac Perron se trouve dans une anorthosite pegmatitique à $An_{XRF} 40 \pm 4$. Des travaux sont en cours afin d'établir le lien pétro-géochimique entre l'architecture du faciès anorthositique et roches associées du secteur Lac Perron et l'emplacement des minéralisations d'oxydes. Ce style d'architecture lithologique et d'organisation chimique n'est visible que dans le secteur de Lac Perron autour de l'indice d'oxyde.

Les anorthosites et leuconorites hôtes des minéralisations de sulfures Ni-Cu quant à elles, ne présentent pas d'architectures notables. Les lithologies hôtes de ces minéralisations sont principalement des lithologies gabbroïques à leuconoritiques $An_{XRF}^{Mistass} 50 \pm 0,38$, $An_{XRF}^{Lac Yenevac} 49 \pm 1,51$, $An_{XRF}^{Mc Nickel} 44 \pm 2,28$. L'emplacement des minéralisations semblent proximal à des zones de failles déjà connues (ex. Lac Yenevac), ou à des linéaments géophysiques qui correspondent également à des « limites de secteurs » tel que déterminer par la distribution de la calcicité régionale du plagioclase dans la zone d'étude (ex. Mistass).

Le secteur de Mistass est bordé au nord-ouest par une faille nord-est sud-ouest qui se continue vers le nord-est au niveau d'une anomalie magnétique négative. Cette anomalie correspond également au

changement d'organisation des roches anorthositiques, pouvant probablement être interprétée comme une zone de faille et/ou la marge entre deux « lobes » anorthositiques, et au sud-est par la faille du Petit Lac des Îles. Dans le secteur de Mistass, les calcicités de plagioclases médians sont généralement les plus élevées de la zone d'étude et diminuent vers le sud-est de labradoritique moyen (55-60 ; orange) à An_{XRF} labradoritique bas (50-55 ; jaune). La marge est présente des chimies An_{XRF} anorthositiques avec An_{XRF} médian = 53 ± 2 . Dans le cas du secteur Mistass, la leuconorite hôte de la minéralisation Ni-Cu±Co a une chimie An_{XRF} autour de 51 ± 2 .

Le secteur de Lac Yenevac est orienté N-S et s'amincit vers le nord. Ce secteur est délimité à l'E par des failles déduites par géophysiques et corrélées à des anomalies géophysiques négatives, au N orientée N-W S-E puis au S du secteur, orientée N-S. À l'O le secteur Lac Yenevac est traversé par des failles N-S qui rejoignent une faille normale traversant le secteur Lac Yenevac qui est au N orientée vers le N-NW S-SE et vers le S qui est orientée vers le N-NE S-SW. Au S de la faille normale se trouve des lambeaux de la Séquence supracrustale de Saint-Onge orientés N-S. L'indice de Yenevac se trouve encaissé dans des lithologies gabbroïques à enclaves pegmatitiques et dunitiques, à la jonction entre une faille orientée N-S, corrélée à une anomalie géophysique négative, ainsi qu'à des lithologies gabbroïques ou gabbro-noritiques amphibolisées, et la faille normale traversant le secteur Lac Yenevac. Le secteur de Yenevac est en majorité constitué de leuconorite avec un An_{XRF} médian de 49 ± 12 , correspondant à l'un des An_{XRF} leuconoritiques les plus faibles de la campagne de terrain. La leuconorite hôte de la minéralisation, une chimie An_{XRF} médian = $49 \pm 0,4$. Il est intéressant de noter que sur l'affleurement du secteur Yenevac se trouve une dunite proche de la minéralisation, ce qui est similaire à l'indice Mistass.

Le secteur de Mc Nickel se trouve dans le feuillet SNRC 32H08, bordé par trois failles déterminées par géophysiques deux à l'W et l'E orientées N-NE S-SW et une au N, senestre, orientée NW-SE. Les leuconorites hôtes de cet affleurement sont caractérisées par le An_{XRF} le plus faible de la campagne de terrain étant estimé pour les leuconorites de l'indice Mc Nickel autour de 45 ± 6 . Néanmoins, il est important de mentionner que le manque d'affleurement de la leuconorite hôte échantillonnée lors de la campagne réduit l'étude à l'hôte de l'indice et qu'il n'est donc pas possible de faire de généralisation dans le secteur de Mc Nickel.

De façon générale, la cartographie de la calcicité du plagioclase dans la zone d'étude a permis de constater une augmentation générale de la calcicité du plagioclase des leuconorites hôtes des minéralisations de sulfures de andésinitique moyen-haut (45-49) à labradoritique basse (53) vers l'est avec une association entre ces minéralisations et des zones de failles, généralement orientées Sud-ouest Nord-

Est. Cette variation chimique est interrompue par le secteur de Lac Perron caractérisé par une architecture en bandes orienté nord-ouest sud-est, composés principalement d'anorthosites andésinitiques moyenne 40 ± 4 .

8 Conclusion

L'utilisation de la XRFp dans les terrain anorthositiques et donc un outil efficace et peu coûteux qui permet de cartographier l'organisation interne des complexes anorthositiques à grande échelle (cette étude; (Gueye, 2023 ; Mercier, 2022) mais aussi de façon plus détaillée (cette étude) afin de mettre en évidence les variations pétro-géochimiques entre les lithologies à sulfures et les celles à oxydes. En effet, nous avons donc pu constater une diminution de la calcicité du plagioclase d'W en E dans les lithologies leuconoritiques et anorthositiques. Il a aussi été possible d'observer à proximité des minéralisations une diminution des An_{XRF} autour de la médiane, plus significative dans les anorthosites hôtes des minéralisations d'oxydes, par rapport aux minéralisations en sulfures incluses dans les leuconorites hôtes.

Plus de travail reste à faire pour mieux comprendre le lien entre ces différents secteurs, l'organisation interne/structure des lobes anorthositiques et la minéralisation en oxydes et sulfures.

9 Références

- Bachari, H. (2004). La génèse des dépôts d'oxydes Fe-Ti-V associés aux anorthosites massives de la région de Lac Saint-Jean (Saint-Charles et Lac Elan) et de la région de Havre Saint-Pierre (Massif de la Rivière-au-tonnerre, Massif de la Rivière Romaine et massif de Lac Allard), Québec, Canada., 167.
- Block, M., Lalancette, J. et Girard, R. (2010). 2010 Drilling program, Lac Yenevac project (GM65346) [Rapport de travaux]. IOS Services Géoscientifiques inc.
- Charlier, B., Namur, O., Bolle, O., Latypov, R. et Duchesne, J.-C. (2015). Fe–Ti–V–P ore deposits associated with Proterozoic massif-type anorthosites and related rocks. *Earth-Science Reviews*, 141, 56-81. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.11.005>
- Corrigan, D. et Hanmer, S. (1997). Anorthosites and related granitoids in the Grenville orogen: A product of convective thinning of the lithosphere? *Geology*, 25(1), 61. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)025<0061:AARGIT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0061:AARGIT>2.3.CO;2)
- Corriveau, L., Perreault, S. et Davidson, A. (2007). Prospective metallogenic settings of the Grenville province, (5), 30.
- Eckstrand, O. R. et Hulbert, L. J. (1987). Selenium and the source of sulfur in magmatic nickel and platinum deposits. *Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada, Programs*(12), 40.
- El Bourki, M. et Moukhsil, A. (2022a, 11 octobre). Géologie de la région de Doulebeau-Blondelas, Région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, projet sur les feuillets 32H01 et 32H07.
- El Bourki, M. et Moukhsil, A. (2022b, 22 novembre). Géologie de la région des lacs Bellemare et Chausson, province de Grenville, région du Saguenay–Lac-Saint-Jean, Québec, Canada (Projet visant les feuillets 22E05, 32H08).
- Fredette, J. (2006). Pétrographie, géochimie et potentiel économique en Fe-Ti-P du secteur du Lac à Paul, partie nord de la suite anorthositique de Lac-Saint-Jean, province de Grenville, Québec /. Université du Québec à Chicoutimi. <https://doi.org/10.1522/24755524>
- Girard, R. et Fournier, N. (2007). Geological mapping campaign, summer 2006, lac Yenevac project (GM63602) [Rapport de travaux]. IOS Services Géoscientifiques inc.
- Girard, R. et Martel. (2008). 2008 Drilling program, Lac Yenevac project (GM64034) [Rapport de travaux]. IOS Services Géoscientifiques inc.
- Gobeil, A., Brisebois, D., Clark, T., Verpalest, P., Madore, L., Wodicka, N. et Chevé, S. (2003). Géologie de la moyenne Côte-Nord. Dans *Géologie et ressources minérales de la partie est de la province de Grenville* (p. 9-58). Ressources naturelles, Faune et Parcs, Québec.

- Grant, M. (2020). Formation of magmatic Fe-Ti-V-P deposits within the Lac St. Jean area Saguenay, Québec, Canada: Insights from trace element composition of Fe-oxides and apatite [Master thesis, University of Ottawa].
- Gueye, B. (2023). Répartition spatiale de la composition des plagioclases de la Suite anorthositique de LSJ (Secteur Nord-Ouest) [Projet de fin d'études (en cours)]. UQAC.
- Hébert, C., Cadieux, A.-M. et van Breemen, O. (2005). Temporal evolution and nature of Ti-Fe-P mineralization in the anorthosite-mangerite-charnockite-granite (AMCG) suites of the south-central Grenville Province, Saguenay – Lac St. Jean area, Quebec, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 42, 16.
- Hébert, C., Van Breemen, O. et Cadieux, A.-M. (2009a). Géologie économique. Dans Région du réservoir Pipmuacan, (SNRC 22E): synthèse géologique (p. 31-37). Ressources naturelles et faune Québec. <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/1940772>
- Hébert, C., Van Breemen, O. et Cadieux, A.-M. (2009b). Géologie régionale. Dans Région du réservoir Pipmuacan, (SNRC 22E): synthèse géologique (p. 7). Ressources naturelles et faune Québec. <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/1940772>
- Higgins, M. D. (1991). The origin of laminated and massive anorthosite, Sept Iles layered intrusion, Québec, Canada. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 106(3), 340-354. <https://doi.org/10.1007/BF00324562>
- Higgins, M. D. et van Breemen, O. (1992). The age of the Lac-Saint-Jean Anorthosite Complex and associated mafic rocks, Grenville Province, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29(7), 1412-1423. <https://doi.org/10.1139/e92-113>
- Higgins, M. D. et van Breemen, O. (1996). Three generations of anorthosite-mangerite-charnockite-granite (AMCG) magmatism, contact metamorphism and tectonism in the Saguenay-Lac-Saint-Jean region of the Grenville Province, Canada. *Precambrian Research*, 79(3-4), 327-346. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(95\)00102-6](https://doi.org/10.1016/0301-9268(95)00102-6)
- Huss, L. (2002). Caractérisation de la minéralisation en Ni-Cu-EGP des indices de la région du Lac à Paul suite anorthositique de Lac St-Jean. Université du Québec à Chicoutimi. <https://doi.org/10.1522/13856148>
- Intissar, R. et Benahmed, S. (2015). Levé magnétique aéroporté dans le secteur ouest du Lac-Saint-Jean, Province de Grenville. *Énergie et ressources naturelles Québec*.
- Kerr, A. et Ryan, B. (2000). Threading the Eye of the Needle: Lessons from the Search for Another Voisey's Bay in Labrador, Canada, 24.
- Maier, W. D., Rasmussen, B., Fletcher, I. R., Li, C., Barnes, S.-J. et Huhma, H. (2013). The Kunene Anorthosite Complex, Namibia, and Its Satellite Intrusions: Geochemistry, Geochronology, and Economic Potential. *Economic Geology*, 108(5), 953-986. <https://doi.org/10.2113/econgeo.108.5.953>

- Martin-Tanguay, B. (2012). Pétrographie et caractérisation des oxydes de Fe-Ti à Saint-Charles de Bourget (Québec), associé à la suite anorthositique du Lac-Saint-Jean [Projet de fin d'étude, Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)].
- McDonough, W. F. et Sun, S. -s. (1994). The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 3-4(120), 223-253. [https://doi.org/doi:10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/doi:10.1016/0009-2541(94)00140-4)
- Mercier, F. (2022, 4 avril). Répartition spatiale des faciès de la Suite d'anorthosite du Lac-St-jean: implications pour exploration minérale [Projet de fin d'études]. Université du Québec à Chicoutimi.
- Miloski, P. (2023). Geochemical variation of Fe-Ti-P ore deposits and related Proterozoic anorthosite-massif in the Central Grenville Province, Quebec, Canada. Whole-rock LA-ICP-MS geochemistry, LA-ICP-MS trace element geochemistry of plagioclase, magnetite, ilmenite & apatite and Lu-Hf and Oxygen isotopes applied to tracking magma differentiation in several different Fe-Ti-P deposits/related host-anorthosites in the Saguenay-Lac Saint Jean area, Quebec. [Sciences appliquées, Université du Québec Chicoutimi].
- Morse, S. A. (2006). Labrador massif anorthosites: Chasing the liquids and their sources. *Lithos*, 89(1-2), 202-221. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2005.12.009>
- Mountain, B. (1988). Summary report on geological mapping and trenching on the whitefish lake property (GM48809) [Rapport de travaux]. Flanagan McAdam & Co.
- Mountain, B. (1989). Report on geology, geophysics and exploration drillin, Mc Nickel property (GM49672) [Rapport de travaux]. Mc Nickel Inc.
- MRNF. (2022). SIGÉOM | Système d'information géominière | Carte interactive. https://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1108_afchCarteIntr
- Néron, A. (2011). Caractérisation géochimique des oxydes de Fe-Ti dans un dépôt de Fe-Ti-P associé à la suite anorthositique du Lac-Saint-Jean, Québec, canada secteur lac à Paul et intégration des données du secteur lac à la mine [Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)].
- Ouellet, R. (2014). Rapport des travaux sur la propriété KM 50, été 2012 (GM68267) [Rapport de travaux]. Randsburg international gold corp.
- Queffurus, M. et Barnes, S.-J. (2015). A review of sulfur to selenium ratios in magmatic nickel–copper and platinum-group element deposits. *Ore Geology Reviews*, 69, 301-324. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.02.019>
- Rivers, T. (1997). Lithotectonic elements of the Grenville Province: review and tectonic implications. *Precambrian Research*, 86(3-4), 117-154. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(97\)00038-7](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(97)00038-7)
- Rivers, T. (2009). The Grenville Province as a large hot long-duration collisional orogen – insights from the spatial and thermal evolution of its orogenic fronts. *Geological Society, London, Special Publications*, 327(1), 405-444. <https://doi.org/10.1144/SP327.17>

- Rivers, T. (2015). Tectonic Setting and Evolution of the Grenville Orogen: An Assessment of Progress Over the Last 40 Years. *Geoscience Canada*, 42(1), 77-124. <https://doi.org/10.12789/geocanj.2014.41.057>
- Rivers, T., Martignole, J., Gower, C. F. et Davidson, A. (1989). New tectonic divisions of the Grenville Province, Southeast Canadian Shield. *Tectonics*, 8(1), 63-84. <https://doi.org/10.1029/TC008i001p00063>
- Smith, J. V. et Brown, W. L. (1988). Density. Dans *Feldspar minerals* (p. 290-291). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-72594-4>
- Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sørensen, H. et Woolley, A. R. (2005). *Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendation of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks* (2. ed). Cambridge Univ. Press.
- Tondoh, N. A. D. D. (2021, 6 décembre). Développement d'une méthode d'analyse chimique de plagioclase par fluorescence X portative appliquée à la répartition spatiale des faciès de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean [Projet de fin d'études].
- Tremblay, C. (2007, 30 juillet). Résumé des visites de la découverte de nickel et cuivre sur la propriété MISTASS (KM 50) (GM61167) [Rapport de travaux d'exploration simplifié].
- Tremblay, C. (2014, 9 mai). Rapport des travaux de la propriété du Lac Perron (GM 68125). Ministère de l'énergie et ressources naturelles.
- Tremblay, C. (2017, 5 juin). Résumé de la visite du projet Lac Perron (GM70775). Ministère de l'énergie et ressources naturelles.
- Tremblay, P. et Girard, R. (2011). Exploration project, poissons blancs (Mc Nickel) [Rapport de travaux]. IOS Services Géoscientifiques inc.
- Turcotte, J. (2014). Campagne de forage d'exploration pour le nickel, le cuivre et le cobalt, projet poissons blancs (GM67944) [Rapport de travaux].
- Vaillancourt, C. (2001). Étude géochimique et économique de la suite mafique et ultramafique de la Baie-à-Cadie au Lac Kénogami Saguenay-Lac-St-Jean Québec. Université du Québec à Chicoutimi. <https://doi.org/10.1522/12270310>

10 Annexes numériques

10.1 Annexe 1 : analyses XRFp de plagioclases

10.2 Annexe 2 : analyses de roche totale

10.3 Annexe 3 : contrôle qualité des analyses roches totales