

CARACTÉRISATION PÉTROGRAPHIQUE DU RUBANEMENT ENRICHÉ EN
PLAGIOCLASE DANS LA PÉRIDOTITE NELSONITIQUE DU GISEMENT DE
FE-TI-P DU LAC À PAUL

Par
Alexandra Blanchette

Mémoire présenté dans le cadre du cours
Projet de fin d'étude
(6GLG604)

Table des matières

Liste des annexes	iii
Liste des figures	iii
Résumé	iv
Remerciements	v
Liste des abréviations et des symboles	vi
1.0 Introduction	1
2.0 Problématique	2
3.0 Localisation du site d'étude	2
4.0 Géologie	3
4.1 Géologie régional.....	3
4.2 Géologie du secteur du Lac à Paul	3
5.0 Méthodologie	6
5.1 Descriptions mégascopiques.....	6
5.2 Descriptions microscopiques.....	7
5.3 Descriptions comparatives.....	7
6.0 Pétrographie	7
6.1 Principales textures.....	8
6.1.1 La texture protoclastique des plagioclases.....	8
6.1.2 Les textures coronitiques.....	9
6.1.3 Les textures associées aux amas d'apatite, d'oxyde de Fe-Ti et d'olivine.....	11
6.2 Descriptions pétrographiques.....	13
6.2.1 Descriptions pétrographiques de la péridotite nelsonitique.....	13
6.2.2 Descriptions pétrographique de la leuconorite.....	16
6.2.3 Descriptions comparatives.....	18
7.0 Interprétations des observations pétrographiques	24
7.1 Les évidences relatives aux variations modales.....	24
7.2 Les évidences relatives aux variations texturales.....	25
7.3 Les évidences relatives aux relations entre les minéraux.....	26
8.0 Discussion	27
9.0 Conclusions et recommandations	28
10.0 Références	30

Liste des annexes

Annexe 1 : Schématisation stratigraphique du gisement de la zone Paul.....	31
Annexe 2 : Cartographie du décapage 4Est de la zone Paul avec teneurs moyennes en TiO₂ et P₂O₅.....	32
Annexe 3 : Synthèse des descriptions pétrographiques de l'échantillon LAP-2015.....	33

Liste des figures

Figure 1: Carte de la localisation de la propriété du Lac à Paul.....	2
Figure 2: Carte géologique et structurale simplifiée de la portion NE de la zone 22E (SNRC).....	4
Figure 3 : Carte géologique de la zone Paul et positionnement du secteur d'étude.....	5
Figure 4: Échantillon de péridotite nelsonitique avec horizons de leuconorite provenant du décapage 4Est, dans le secteur E de la zone Paul (LAP-2015).....	7
Figure 5 : Textures associées aux plagioclases de la leuconorite.....	9
Figure 6 : Réaction de déstabilisation des olivines.....	10
Figure 7 : Coronite de Bt et de Hbl autour des Ox de Fe et de Ti dans la leuconorite	11
Figure 8 : Textures relatives à l'assemblage Ap + Ol + Ox de Fe-Ti dans la péridotite nelsonitique et dans la leuconorite.....	12
Figure 9 : Péridotite nelsonitique de l'échantillon LAP-2015.....	13
Figure 10 : Textures et assemblages relatifs à la péridotite nelsonitique de l'échantillon LAP-2015.....	15
Figure 11 : Leuconorite de l'échantillon LAP-2015.....	16
Figure 12 : Textures et assemblages relatifs à la leuconorite de l'échantillon LAP-2015.....	17
Figure 13 : Diagrammes à bandes décrivant la distribution et la granulométrie des olivines dans l'échantillon LAP-2015.....	19
Figure 14 : Diagrammes à bandes décrivant la distribution et la granulométrie des apatites dans l'échantillon LAP-2015.....	20
Figure 15 : Diagramme à bandes décrivant la distribution de l'ilménite dans l'échantillon LAP-2015.....	21
Figure 16 : Diagramme à bandes décrivant la distribution de la magnétite dans l'échantillon LAP-2015.....	22
Figure 17 : Diagramme à bandes décrivant la distribution des phases d'altération sur les olivines de la péridotite nelsonitique.....	22
Figure 18 : Diagrammes à bandes décrivant la distribution et la granulométrie des opx dans l'échantillon LAP-2015.....	23

Résumé

Le gisement de Fe-Ti-P du Lac à Paul, détenu par la compagnie Ariane Phosphate, est localisé dans la portion nord-est de la Suite anorthositique du Lac-Saint-Jean, qui fait partie de la zone centrale de la Province géologique du Grenville. Le secteur est formé principalement de roches anorthositiques (anorthosite, leuconorite, norite, gabbro, gabbro-norite et gabbro à olivine), mais comprend également des séquences ultramafiques (pyroxénite, péridotite, dunite, roche à oxyde de Fe-Ti). Plusieurs secteurs de la propriété du Lac à Paul sont porteurs de la minéralisation en Fe-Ti-P, mais c'est la zone Paul qui représente le plus grand intérêt économique. L'épaisseur de la zone minéralisée, qui est stratiforme et subverticale, varie généralement entre 100 et 350 mètres et sa continuité a été établie d'est en ouest sur une longueur de 4 kilomètres. La minéralisation de la zone Paul est principalement contenue dans un faciès de péridotite nelsonitique dans lequel s'intercale des horizons noritiques.

Le projet de fin d'études présenté a comme objectif de caractériser, de manière détaillée, une section de 56 centimètres de péridotite nelsonitique dans laquelle s'insèrent plusieurs horizons leuconoritiques d'épaisseur variable ($< 0,1-11$ cm). La pertinence du projet est d'en arriver à mieux comprendre les variations modales et texturales du gisement et d'établir une relation entre les deux lithologies.

L'étude pétrographique démontre que la péridotite nelsonitique est composée majoritairement par un cumulat d'olivine (33%) et d'apatite (29%). Les zones interstitielles, qui sont complètement recristallisées, comprennent de l'ilménite (22%), de la magnétite (9%), du spinelle ($\leq 5\%$) et des sulfures ($\leq 2\%$).

Les leuconorites présentent, quant à elles, d'importantes proportions de plagioclase (32%) porphyroclastique qui décrivent une texture protoclastique, accompagnée localement par la formation de néoblastes recristallisés. Les orthopyroxènes primaires sont complètement amphibolisés et remplacés par la hornblende verte (26%), l'actinote (8%) et la cummingtonite ($\leq 2\%$). La présence de minéralisation est généralement assez faible à l'intérieur de cette lithologie, à l'exception de certaines zones présentant un assemblage particulier d'oxyde, d'apatite et d'anciennes olivines déstabilisées ($\leq 5-10\%$ d'ilménite, $< 2\%$ de magnétite, $\leq 10-15\%$ d'apatite et $\leq 12\%$ d'anciennes olivines).

L'étude des variations modales et granulométriques de la minéralisation sur l'échantillon a permis de valider que les zones de contact entre les deux lithologies présentent entre 5 et 15% plus d'apatite et que leur granulométrie moyenne est supérieure aux abords du contact et à l'intérieur des leuconorites. Le phénomène inverse semble être observé pour l'ilménite et la magnétite.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de projet, M. Philippe Pagé, pour sa patience et ses conseils judicieux. Son sens critique et son perfectionnisme ont été des outils précieux dans la réalisation de ce travail. Je remercie également Mme Sarah-Jane Barnes, la co-directrice de ce projet et la titulaire de la Chaire de Recherche du Canada en Métallogénie Magmatique, pour avoir accepté de garder un œil sur mon projet et d'en être la lectrice.

J'aimerais parallèlement remercier la compagnie Arianne Phosphate pour m'avoir permis d'initier cette recherche et, particulièrement, M. Hugues Guérin-Tremblay, pour m'avoir associé à ce projet.

Finalement, je tiens à remercier chacune des personnes que j'ai eu la chance de côtoyer durant mes études, autant les professeurs dévoués que tous les futurs géologues. Merci d'avoir fait de ces trois années une période enrichissante qui m'a permis d'acquérir un bagage de connaissances solide et, surtout, une foule de souvenirs inoubliables.

Liste des abréviations et des symboles

% : Pourcent
< : Plus petit que
> : Plus grand que
≤ : Plus petit ou égal à
≥ : Plus grand ou égal à
Act : Actinote
Am : Amphibole
AMCG : Suite anorthositique du type Anorthosite-Mangérite-Charnockite-Granite
Ap : Apatite
E : Est
Ca : Calcium
Ccp : Chalcopyrite
cm : Centimètre(s)
Cum : Cummingtonite
Fe : Fer
Hbl : Hornblende
FMSLSJ : Fonds miniers du Saguenay-Lac-Saint-Jean
Idd : Iddingsite
Ilm : Ilménite
kbars : Kilobars
km : Kilomètre(s)
LN : Lumière naturelle
LM : Lame mince
LP : Lumière polarisée
LR : Lumière réfléchie
N : Nord
Mag : Magnétite
m : Mètre(s)
mm : Millimètre(s)
Mt : Million(s) de tonnes
Ol : Olivine
Opx : Orthopyroxène
Ox : Oxyde
P : Phosphore
Plg : Plagioclase
Pn : Pentlandite
Po : Pyrrhotite
Px : Pyroxène
P₂O₅ : Pentoxyde de diphosphore
S : Sud

SALSJ : Suite anorthositique du Lac-Saint-Jean
SNRC : Système national de référence cartographique
Srp : Serpentine
Spl : Spinelle
Sul : Sulfure
Ti : Titane
TiO₂ : Dioxyde de titane
O : Ouest
ZDCP : Zone de déformation de Chute-des-Passes
ZDP : Zone de déformation de Pipmuacan
ZDSF : Zone de déformation de Saint-Fulgence
µm : Micromètre(s) (10⁻⁶ m)

1.0 Introduction

Ce projet de fin d'études, initié en collaboration avec la compagnie Arianne Phosphate, se veut une étude pétrographique détaillée visant à caractériser le rubanement riche en plagioclase intercalé dans les péridotites nelsonitiques du domaine sud du gisement de la zone Paul. Cette zone représente actuellement le principal intérêt économique du Lac à Paul.

La propriété du Lac à Paul, située approximativement à l'est du centre de la province de Québec, au Canada, a été acquise entièrement par la compagnie Arianne Phosphate en 2008. La présence de minéralisation en Fe-Ti-P sur ce secteur a été découverte accidentellement en 1997, après que Virginia Gold Mines, en partenariat avec SOQUEM, y a découvert des indices intéressants de P_2O_5 et de TiO_2 sur l'un de ses forages. En 1999, suite à la découverte de ces teneurs prometteuses et à la réalisation de plusieurs autres travaux d'exploration, Arianne Phosphate décide de s'impliquer dans ce projet en acquérant une option sur la propriété, alors détenue par le Fonds Minier du Saguenay-Lac-Saint-Jean (FMSLSJ). Elle y réalisa des études supplémentaires de reconnaissance du secteur jusqu'en 2001, avec la collaboration du FMSLSJ. Ce n'est cependant qu'en 2008, suite à une inflation du prix du phosphore sur le marché, qu'Arianne Phosphate achète la presque totalité des claims couvrant le secteur et qu'elle relance officiellement le projet.

Les campagnes d'exploration subséquentes qu'elle a menées ont notamment permis de définir davantage la zone Paul. Grâce à ces travaux, les ressources inférées de cette zone ont pu être quantifiées avec un niveau de confiance supérieur. Selon la plus récente étude de faisabilité, publiée au début 2015, les ressources minérales de la zone Paul mesurées et indiquées seraient actuellement de 590,24 Mt à 7,13% P_2O_5 , en utilisant une teneur de coupure de 4,0% P_2O_5 . Ces nouveaux résultats représentent une augmentation de 221% par rapport à ceux de la dernière estimation, datant de 2011. En ajoutant les ressources mesurées et indiquées des extensions ouest et est de la zone Paul, le tonnage total, d'après la même teneur de coupure, est estimé à 702,2 Mt à 7,16% P_2O_5 . À ces valeurs, il est possible d'ajouter les ressources mesurées et indiquées de la zone Manouane qui sont estimées à 164 Mt à 5,9% P_2O_5 , en utilisant une teneur de coupure de 2,43% P_2O_5 . Toujours selon l'étude de faisabilité de 2015, le projet minier du Lac à Paul, récemment redéfini, aurait une durée de vie approximative de 25,75 ans, excluant les 18 premiers mois de préproduction.

Les prochaines sections de ce rapport présentent les descriptions pétrographiques relatives à l'échantillon pluricentimétrique récolté à l'intérieur de la zone sud du gisement en Fe-Ti-P de la zone Paul. Il sera notamment question de la distribution de la minéralisation par rapport à la proximité des horizons riches en plagioclases à l'intérieur de la péridotite nelsonitique.

2.0 Problématique

À l'heure actuelle, il n'y a toujours aucun consensus par rapport à un modèle de mise en place de la minéralisation en Fe-Ti-P dans le secteur du Lac à Paul. Plusieurs processus magmatiques, résultant d'un phénomène unique ou d'un ensemble d'événements, sont proposés hypothétiquement dans la littérature comme étant des mécanismes plausibles à la formation de ce gisement enrichi en éléments incompatibles (Ti et P). Bien que cette étude ne vise pas la définition d'un modèle génétique précis, ses objectifs principaux sont d'établir une corrélation entre la distribution de la minéralisation dans la péridotite nelsonitique, associée à la partie nord du gisement de la zone Paul, et la présence des horizons fortement enrichis en plagioclase. L'enjeu majeur de cette recherche est donc de définir la nature de la relation entre les deux lithologies observées afin d'améliorer la compréhension de la formation de ce type de gisement.

3.0 Localisation du site d'étude

La propriété du Lac à Paul est localisée à 190 km au nord de l'arrondissement de Chicoutimi, dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, dans la province du Québec, au

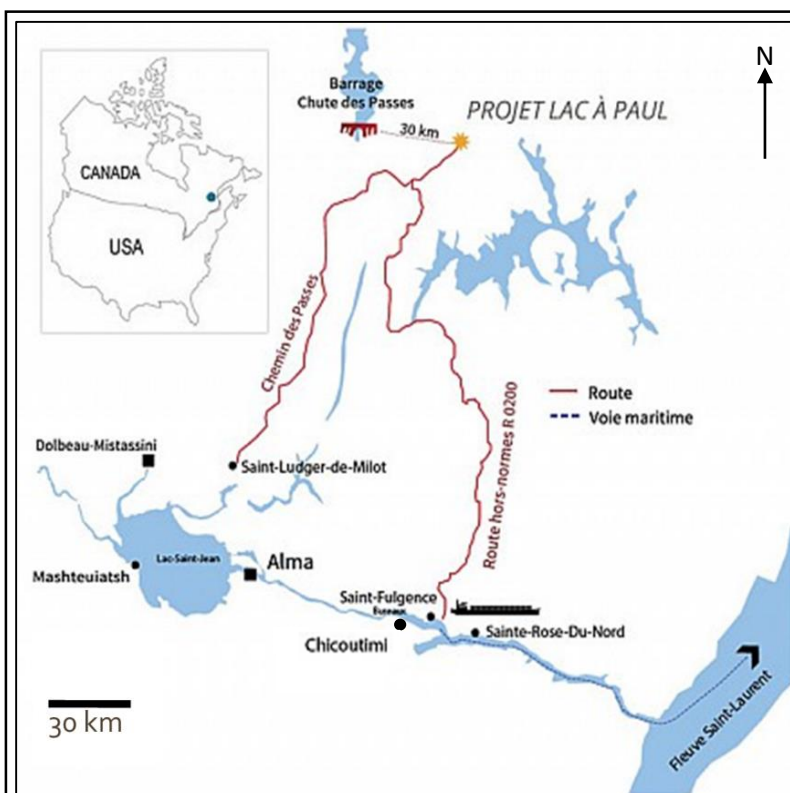


Figure 1: Carte de la localisation de la propriété du Lac à Paul (Tirée de : <http://www.arianne-inc.com/>)

Canada (Figure 1). Ce secteur est représenté sur les feuillets 22E/10 et 22E/15 du système de référence SNRC. Elle est définie par 498 titres miniers contigus qui représentent une superficie de 275 km² (27 617 hectares). L'accès à cette propriété est relativement facilité par la présence de deux routes préexistantes. Il est d'abord possible d'atteindre cette zone en traversant le village de Saint-Ludger-de-Milot qui permet d'accéder au Chemin des Passes. Il est également possible de rejoindre ce chemin en utilisant la route R0200, qui est accessible via la municipalité de Saint-

Fulgence. Dans l'optique d'un développement minier éventuel, l'utilisation de cette dernière route permettrait notamment d'accéder à un emplacement potentiel pour un port en eau profonde dans la rivière Saguenay. Des installations hydroélectriques, exploitées par la compagnie Rio Tinto Alcan et situées à environ 35 km de la propriété du Lac à Paul, permettraient d'alimenter le projet minier en électricité.

4.0 Géologie

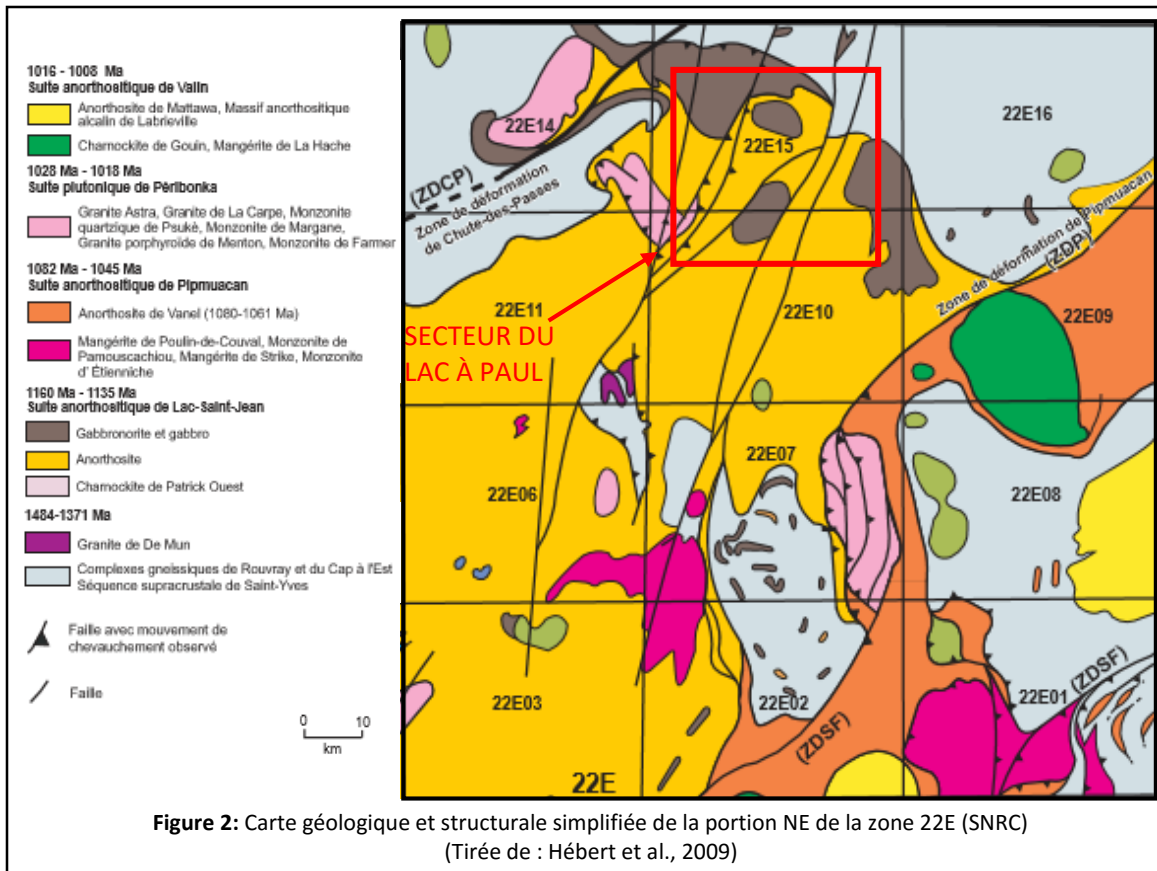
4.1 Géologie régionale

La Suite anorthositique du Lac-Saint-Jean (SALSJ) est un complexe anorthositique de 20 000 km² situé au centre de la Province géologique du Grenville. Elle fait partie d'un ensemble de masses anorthositiques, résultant d'un phénomène de magmatisme intraplaque, qui se sont insérées à travers le Grenville durant la période du mésoprotérozoïque. Les unités centrales à la Province du Grenville correspondent à des suites de type anorthosite-mangérite-charnockite-granite (AMCG) (Hébert et al., 2009). Cette suite est composée principalement d'un regroupement de lobes coalescents mafiques de composition anorthositique, leucogabbroïque et leucotroctolitique (Turcotte, 2001). Elle contient également d'autres séquences mineures de roches mafiques dont des gabbronorites, des gabbros, des norites, des troctolites, des diorites ferrifères et des pyroxénites. Des séquences ultramafiques s'ajoutent finalement à la suite en se présentant sous la forme de dunite, de péridotite et de roche riche en oxyde de Fe-Ti (Fredette, 2006). La minéralisation en Fe-Ti-P de la SALSJ est restreinte aux suites AMCG et elle est associée à la présence des roches anorthositiques (Hébert et al., 2009).

D'un point de vue structural, la mise en place de la SALSJ a été facilitée par la présence de trois zones de déformation majeures qui sont orientées NE-SO et qui forment généralement de grands corridors de largeur kilométrique (Figure 2). La bordure SE de la SALSJ est traversée par plusieurs failles de chevauchement qui forment la Zone de déformation de Saint-Fulgence (ZDSF). La bordure NO est, quant à elle, définie par la présence d'une grande faille de chevauchement qui représente la Zone de déformation de Chute-des-Passes (ZDCP). Entre ces deux zones se trouve la Zone de déformation de Pipmuacan (ZDP), caractérisée par la présence de failles de décrochement généralement dextres. L'ensemble de ces trois zones de déformation est recoupé par des failles de décrochement senestres qui sont orientées NNE-SSO et par une série de failles normales tardives d'orientation NO-SE (Hébert et al., 2009).

4.2 Géologie du secteur du Lac à Paul

La propriété du Lac à Paul est localisée dans la portion NE de la SALSJ (Figure 2), dans le secteur Chute-des-Passes. Ce territoire chevauche la zone de contact entre la SALSJ, au sud, et un complexe gneissique, au nord, formant ainsi la ZDCP (Turcotte,

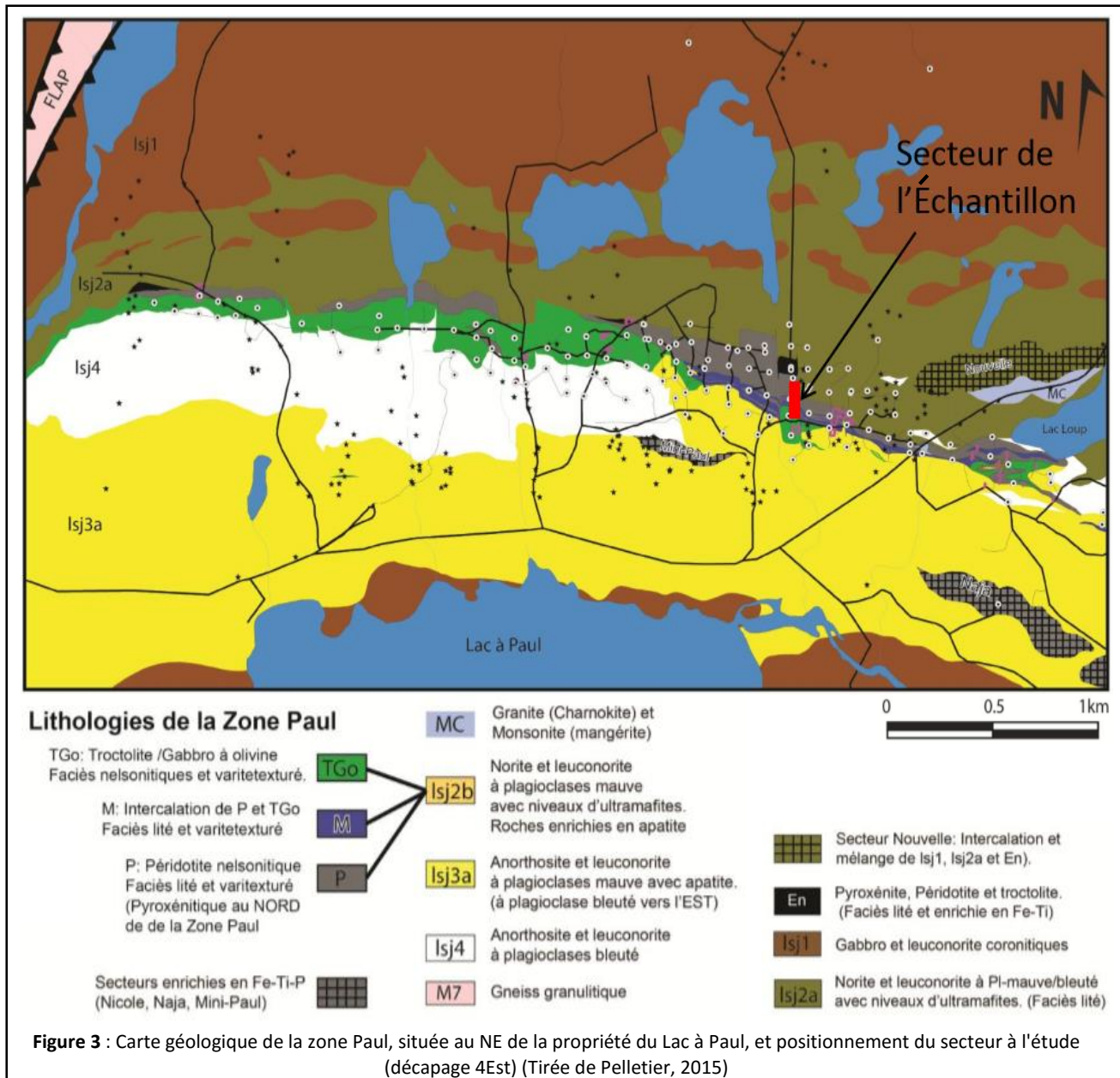


2001). Les roches de la région du Lac à Paul sont incorporées à l'intérieur d'une série de lobes coalescents qui sont dominés principalement par des séquences mafiques de composition anorthositique : anorthosite, leuconorite, norite, gabbro, gabbro à olivine. Des séquences ultramafiques (pyroxénite, péridotite, dunite et roche à oxyde de Fe-Ti) se retrouvent également en proportion plus faible à l'intérieur de la propriété (Duplessis, 2009).

La minéralisation en Fe-Ti-P du Lac à Paul est répartie en plusieurs zones distinctes à l'intérieur de la propriété. Le principal secteur d'intérêt économique est la zone Paul, située au nord de la propriété détenue par Ariane Phosphate (Figure 3). Elle est définie par un assemblage intrusif de roche à caractère mafique qui comprend des leuconorites, des norites, des gabbro et des ultramafites riches en apatite, en ilménite et en magnétite (Cimon et Hébert, 1998). La lentille minéralisée stratiforme de cette zone s'étend sur près de 4 km d'est en ouest et son épaisseur varie généralement entre 100 et 350 m. Elle présente également un pendage assez abrupte, qualifié de subvertical (Duplessis, 2009).

Le gisement de la zone Paul est lui-même divisé en deux domaines distincts. En effet, le domaine nord, qui est interprété comme étant la base stratigraphique de la suite magmatique, est composé de péridotite nelsonitique (20-35% d'Ap, 20-35% d'Ilm+Mag (~3/2)) dans laquelle s'intercale des horizons d'épaisseur variable d'anorthosite, de troctolite et de norite qui sont, elles aussi, minéralisées (8-15% d'Ap). La distribution de

la minéralisation est hétérogène dans ce domaine. L'apatite, particulièrement, semble montrée un enrichissement progressif à l'approche des horizons riches en plagioclase. Le domaine sud, quant à lui, est composé de norite, de leuconorite et de troctolite présentant entre 8-15% d'apatite. La distribution de la minéralisation est homogène dans ce domaine. Les roches au nord du gisement comprennent des norites, des gabbronorites et des pyroxénites litées généralement pauvres en apatite (1-3%) mais particulièrement enrichies en ilménite (15-30%). Au sud, le gisement est délimité par des unités anorthositiques, leuconoritiques, troctolitiques et leucotroctolitiques partiellement minéralisées en apatite (4-10%) (Pelletier et al., 2014). Une coupe stratigraphique schématisée du gisement de la zone Paul est présentée à l'annexe A.



L'échantillon pluricentimétrique à l'étude (LAP-2015), qui a été préalablement fourni par Ariane Phosphate, a été récolté dans le domaine nord du gisement de la zone Paul sur le décapage 4Est (Figure 3). Comme cet échantillon contient une proportion modale de silicate supérieure à 5%, il ne peut être qualifié de nelsonite selon les critères établis par Nabil (2003). Cependant, de par le fait que les proportions d'apatite, d'ilménite et de magnétite de cet échantillon sont supérieures à 50%, le qualificatif de nelsonitique lui est imputable. De plus, en considérant les études géochimiques réalisées par Pelletier (2014) sur le décapage 4Est (annexe B), cette zone est tout de même considérée comme potentiellement économique par Ariane Phosphate. En effet, les concentrations moyennes en P_2O_5 des roches étudiées (>8%) montrent des valeurs supérieures à la teneur de coupure de 4%, fixée par la compagnie à l'intérieur de leur dernière étude de faisabilité, publiée en 2015.

5.0 Méthodologie

L'ensemble de cette étude a été réalisée à partir d'un échantillon de roche d'une longueur de 56 cm, prélevé à l'est de la zone Paul, dans le domaine nord du gisement. La localisation approximative de l'échantillon est représentée sur la figure 3 et son positionnement exact est montré à l'annexe B. La définition de l'emplacement a été choisie par le géologue Hugues Guérin-Tremblay. Afin d'être en mesure de bien observer les variations modales et texturales des différentes lithologies, l'échantillon a été coupé en une tranche longitudinale d'orientation N-S, de manière à ce qu'il recoupe perpendiculairement la stratigraphie du gisement.

À partir de cet échantillon, un total de douze lames minces polies a été produit, permettant ainsi de couvrir avec précision 48 cm des 56 totalisant l'exemplaire de roche à l'étude. L'analyse pétrographique a été décomposée en trois volets, soit la description mégascopique, la description microscopique et, finalement, une description comparative visant à mettre en relation chacune des sections préalablement caractérisées par rapport à leur position dans l'échantillon.

5.1 Descriptions mégascopiques

Afin de bien visualiser les principales variations observables à l'échelle mégascopique sur l'échantillon, ce dernier a d'abord été décrit dans son ensemble. Par la suite, chacune des lithologies a été décrite individuellement, permettant ainsi de mieux distinguer les deux types de roches représentées sur l'échantillon LAP-2015. Outre l'identification minérale et texturale de chacune des zones, d'autres critères tels que la distribution des minéraux, la granulométrie, la couleur ainsi que le magnétisme ont été considérés au cours de ce volet descriptif.

5.2 Descriptions microscopiques

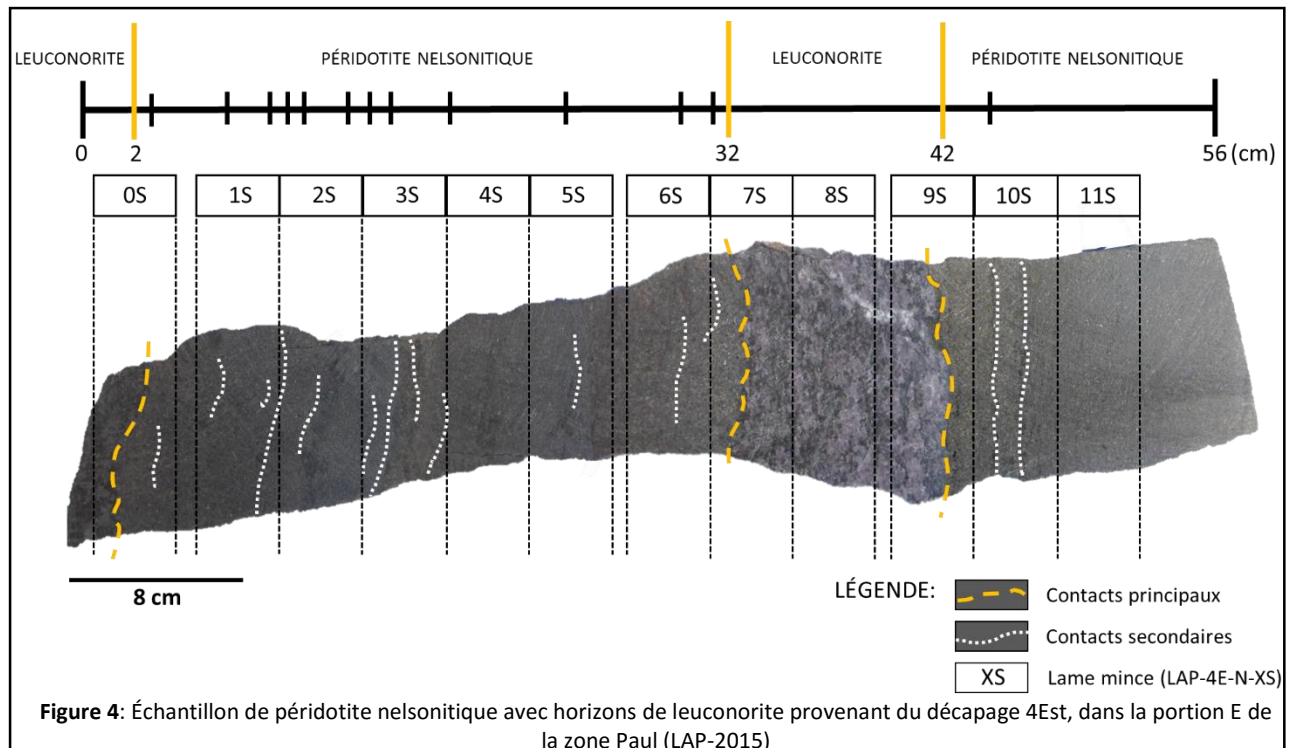
De par la précision requise pour cette étude, qui visait la représentation des fluctuations modales et texturales sur un échantillon de taille exiguë par rapport à l'ensemble du gisement, les proportions modale de chacune des douze lames minces polies ont été décrites par unité centimétrique afin d'accroître la définition des résultats. Une attention particulière a été portée à plusieurs autres critères pour ce deuxième volet descriptif. En effet, chacun des minéraux identifiés a été qualifiés selon sa forme, sa taille, ses inclusions, la nature de ses contacts entre les différentes phases, son association par rapport à une texture particulière ou à une phase d'altération et, finalement, par rapport aux évidences de déformation qu'il pouvait suggérer. Des tableaux synthèses, présentant le détail des descriptions microscopiques, sont fournis en annexe C.

5.3 Descriptions comparatives

Afin d'être en mesure de quantifier l'influence des horizons riches en plagioclase sur les différents paramètres décrits, les résultats obtenus ont été disposés graphiquement par rapport à leur position relative dans l'échantillon LAP-2015. Les paramètres comparatifs utilisés au cours de cette étude sont le pourcentage minéralogique (Ol, Ap, Ilm et Mag), la granulométrie (Ol et Ap), le développement des textures coronitiques autour des olivines (Opx) et le degré d'altération des olivines (Srp, Idd).

6.0 Pétrographie

Les descriptions qui suivent sont basées sur les observations effectuées à partir des douze lames minces polies et de l'échantillon mégascopique LAP-2015 provenant du



décapage 4Est, dans le secteur E de la zone Paul (Figure 3). En regardant l'échantillon mégascopique dans son ensemble (Figure 4), il est possible de remarquer d'emblée la présence de deux lithologies disposées en alternance. La majorité de la pièce rocheuse est composée de péridotite nelsonitique, couvrant sommairement 43 cm sur les 56 portés à l'étude. Cette lithologie se distingue notamment par sa granulométrie fine à très fine (<1 mm) et par sa teinte gris verdâtre à gris noirâtre. La leuconorite, qui constitue la deuxième lithologie à l'étude, est particulièrement représentée sur deux secteurs de l'échantillon. En effet, ces deux secteurs, qui définissent les horizons principales, forment des bandes continues dont les épaisseurs sont respectivement de 2 et de 11 cm, du N vers le S. Ces horizons principaux se caractérisent principalement par l'omniprésence de plagioclase porphyrique mauve, dont la taille varie entre 0,5 et 2 cm. De manière plus locale, la leuconorite forme également de fins horizons subparallèles (< 1 cm), continus à discontinus, qui s'insèrent à plusieurs endroits à l'intérieur de la péridotite nelsonitique. Ces horizons secondaires sont notamment perceptibles au niveau des bordures noir verdâtre qu'elles génèrent au contact avec la lithologie principale. Ces zones réactionnelles forment des bandes millimétriques enrichies principalement en amphibole.

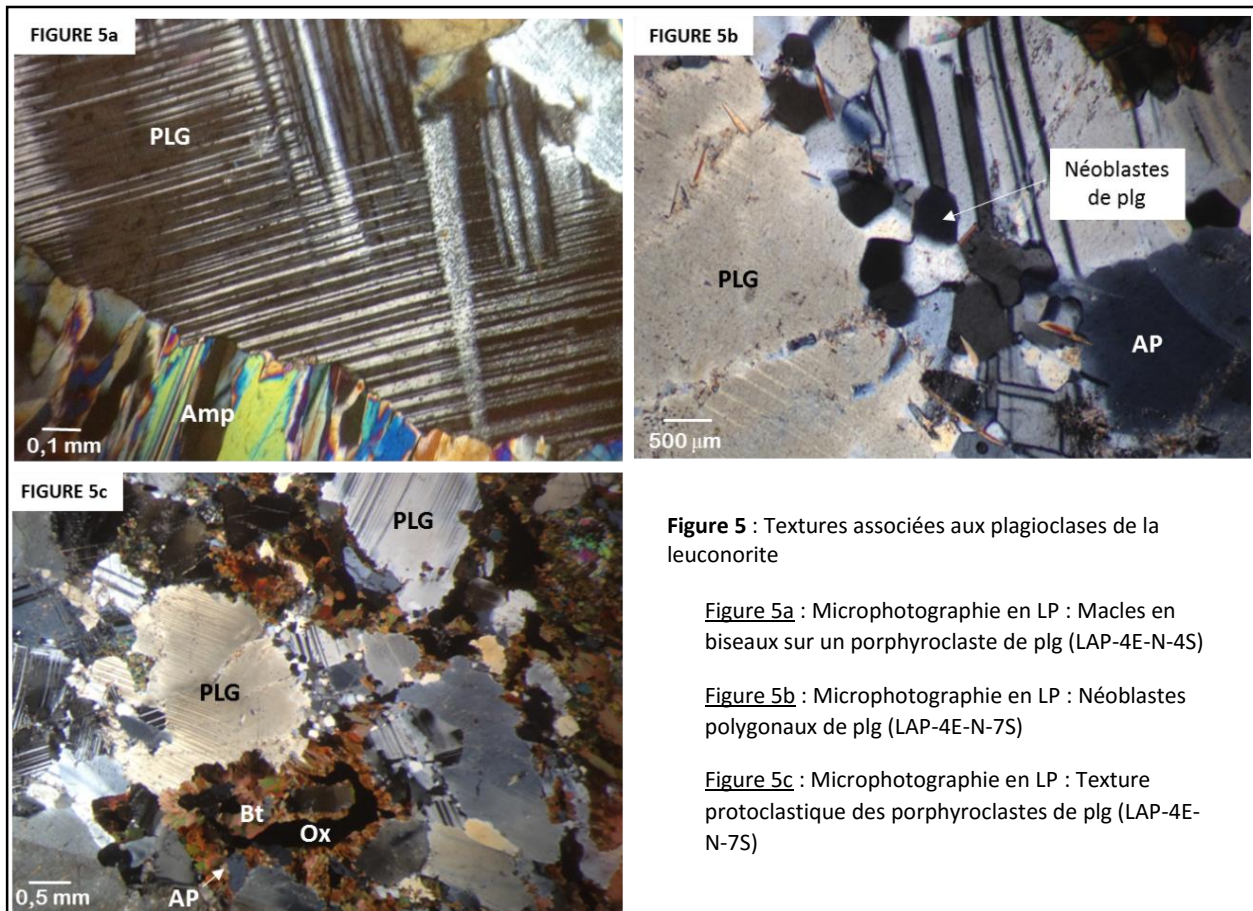
Les prochaines sections présentent donc le détail des observations de chacune des deux lithologies, soit la péridotite nelsonitique et la leuconorite. Dans un premier temps, les principales textures répertoriées dans chacune des lithologies seront décrites en détail afin de faciliter leur association aux observations microscopiques subséquentes. Par la suite, les lithologies seront décrites individuellement de manière mégascopique et microscopique. Les descriptions portent notamment sur la composition modale de chacune de phases minérales et sur les textures primaires et secondaires qui les caractérisent. La dernière partie de cette section permet d'exposer l'évolution minéralogique et texturale applicable à l'ensemble de l'échantillon. Le détail complet des descriptions est affiché à l'intérieur de l'annexe C.

6.1 Principales textures

6.1.1 La texture protoclastique des plagioclases

Les plagioclases constituent la phase minérale dominante de la leuconorite (<80%). Ces derniers sont principalement représentés sous forme de phénocristaux xénomorphes pouvant atteindre une dimension de 5 mm. De plus, plusieurs évidences de déformation sont visibles sur ces minéraux, notamment à l'intérieur et en périphérie de ces derniers. D'abord, l'aspect intracristallin de certains plagioclases accuse la présence de macles difformées présentant une apparence soit ondulée ou alors biseauté (Figure 5a). Le caractère roulant de leur extinction suggère également un niveau relatif de distorsion interne. De plus, à la frontière de certains grains, il est possible d'observer des contacts suturés et, localement, la formation de néoblastes, qui se configurent en un assemblage de petits cristaux de plagioclase (<1 mm). Ces amoncellements néoformés décrivent régulièrement une texture polygonale qui confirme le processus de recristallisation de ces derniers (Figure 5b). Leur abondance, leur forme ainsi que leurs évidences de déformation définissent une texture protoclastique qui est caractéristique de cette lithologie (Figure 5c).

Selon Kehlenbeck (1972), la texture protoclastique indique que la roche a faiblement recristallisée et qu'elle peut être associée à un stade précoce de rééquilibration dynamique en réponse à l'imposition d'une contrainte. Ce même auteur suggère que les zones présentant une concentration plus importante de néoblastes tendent à décrire une texture davantage à caractère phorphroclastique, c'est-à-dire qu'elles peuvent être associées à un stade de rééquilibration plus avancé. Les porphyres de plagioclases qui ont perdu leurs évidences de déformation interne se rapprochent donc de ce niveau.

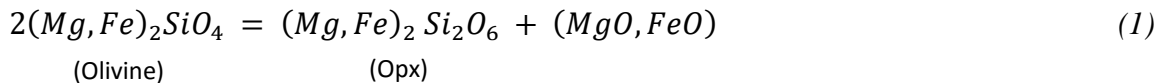


6.1.2 Les textures coronitiques

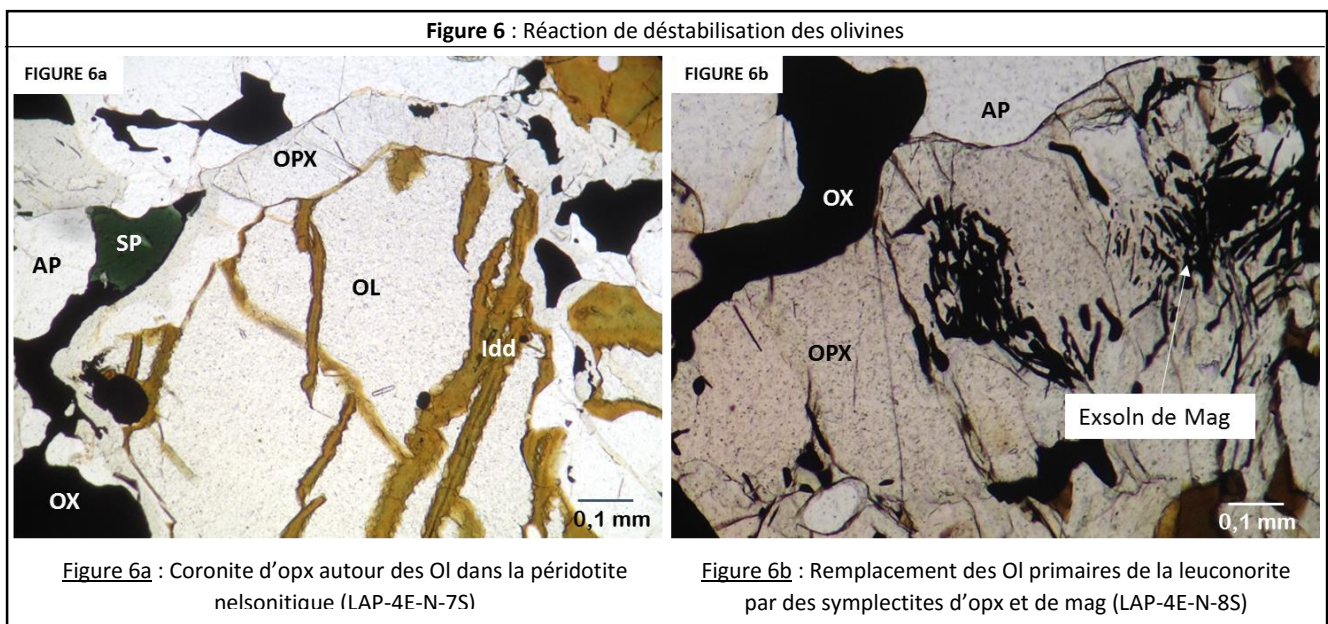
Les coronites autour des olivines

Les textures coronitiques associées aux olivines se matérialisent de diverses manières dans les échantillons, selon qu'elles soient intégrées dans la péridotite nelsonitique ou la leuconorite. Dans la péridotite nelsonitique, elles s'apprécient par la formation d'une couronne externe d'orthopyroxène en périphérie des olivines qui sont en contact avec les oxydes de Fe-Ti (Figure 6a). Le degré de développement de ces couronnes tend à croître de manière significative près des zones de contact entre les deux lithologies, laissant ainsi présager que ce déséquilibre serait favorisé par la présence proximale de plagioclase dans l'environnement des olivines. Dans la leuconorite, la déstabilisation des

olivines primaires évoque un stade de réaction beaucoup plus élevé. L'assemblage textural résultant se distingue par la présence de symplectite d'orthopyroxène et de magnétite, qui sont les produits directs de la perturbation des silicates d'origine (Figure 6b). Selon Fredette (2006), la déstabilisation subsolidus des olivines serait déclenchée par la présence d'eau dans le système et elle se traduit par une exsolution interne de Fe. Par ce retrait, un excédent de silice (SiO₂) est généré dans la composition de l'olivine, créant ainsi les orthopyroxènes secondaires. La réaction 1 montre la transformation des phases impliquées. La formation de ces coronites exige que le refroidissement du magma s'effectue à des pressions relativement élevées estimées entre 8 et 10 kbars (Fredette, 2006).



Dans la péridotite nelsonitique étudiée, la réaction de déstabilisation des olivines est incomplète. De ce fait, seuls les pourtours de ces silicates sont substitués par les orthopyroxènes. Les métaux, quant à eux, ont migré entièrement à l'intérieur des phases interstitielles adjacentes, composées principalement d'oxyde de Fe et de Ti.



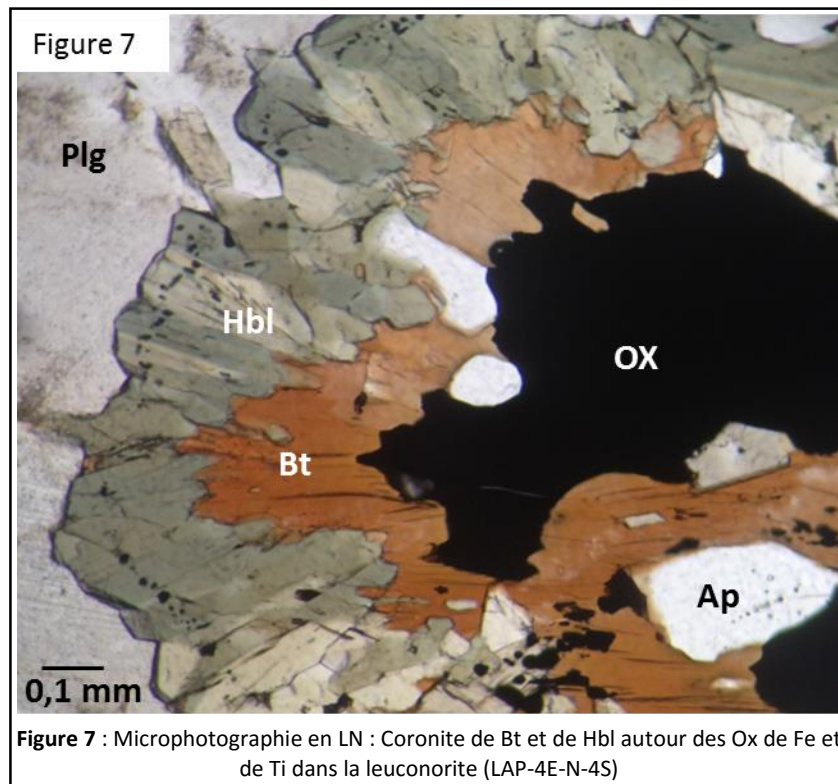
Les coronites autour des oxydes de Fe-Ti

Cette réaction métamorphique est observable de manière quasi-systématique dans la leuconorite étudiée. Elle se définit par une zonation minérale qui met en relation une couronne interne de biotite et une auréole externe de hornblende verte (Figure 7). Cet assemblage sépare ce qui était, à l'origine, une zone de contact entre les oxydes de Fe et de Ti et les plagioclases. Des exsolutions d'oxyde de Fe et de Ti se disposent fréquemment en gouttelettes au pourtour du halo extérieur amphibolitique.

La formation de cette coronite est reliée à un phénomène d'hydratation qui permet de catalyser la réaction 2.



Selon Fredette (2006), un apport externe de Fe et de Mg serait également un facteur limitant au déclenchement de cette même réaction. Tel que mentionné précédemment, la réaction 1, décrivant le processus de déstabilisation des olivines reliques de la leuconorite, est susceptible de fournir cette contribution supplémentaire au système. De plus, les conditions environnantes de pression et de température nécessaires à l'équilibre de cette coronite décrivent un état imputable au faciès métamorphique des granulites. Afin de permettre la stabilité des produits réactionnels, il est également suggérer que ces paramètres n'évoluent pas de manière concomitante. De ce fait, le développement de cette texture serait favorisé soit par une augmentation graduelle de la pression à haute température ou alors par un refroidissement progressif à pression constante (Fredette, 2006).



6.1.3 Les textures associées aux amas d'apatite, d'oxyde de Fe-Ti et d'olivine

Cet assemblage ubiquiste forme la base même de la péridotite nelsonitique étudiée et il est quasi-indissociable lorsqu'une de ces phases minérales apparaît à l'intérieur de la leuconorite. Chacune de ces lithologies le représente toutefois en proportion très différente. En effet, la péridotite nelsonitique est presque exclusivement formée de ces minéraux. La disposition de ces derniers décrit une texture de cumulat d'olivine et d'apatite dans laquelle

les oxydes de Fe et de Ti, soit l'ilménite et la magnétite, s'y intègrent de manière interstitielle (Figure 8a). L'aspect des minéraux relatifs à cette association suggère qu'ils ont été soumis à un certain degré de déformation. En réponse à ces contraintes, l'apatite a notamment enregistré une extinction roulante fréquemment marquée par une partition de sa structure cristalline en une masse jointive de sous-grains. Cette apparence traduit un stade de recristallisation partiel de ce minéral. L'ilménite et la magnétite démontrent, quant à eux, des évidences qui reflètent un stade de recristallisation complet. Leur distribution interstitielle, par rapport aux silicates et aux apatites, indique que ces derniers ont possiblement été remobilisés suite à une période de déformation et qu'ils ont, par la suite, recristallisé au pourtour des olivines et des apatites. La configuration texturale particulière qu'ils adoptent dans les interstices, caractérisée par la présence de jonctions triples et de grains polygonaux, est également indicatrice de leur recristallisation (Figure 8b).

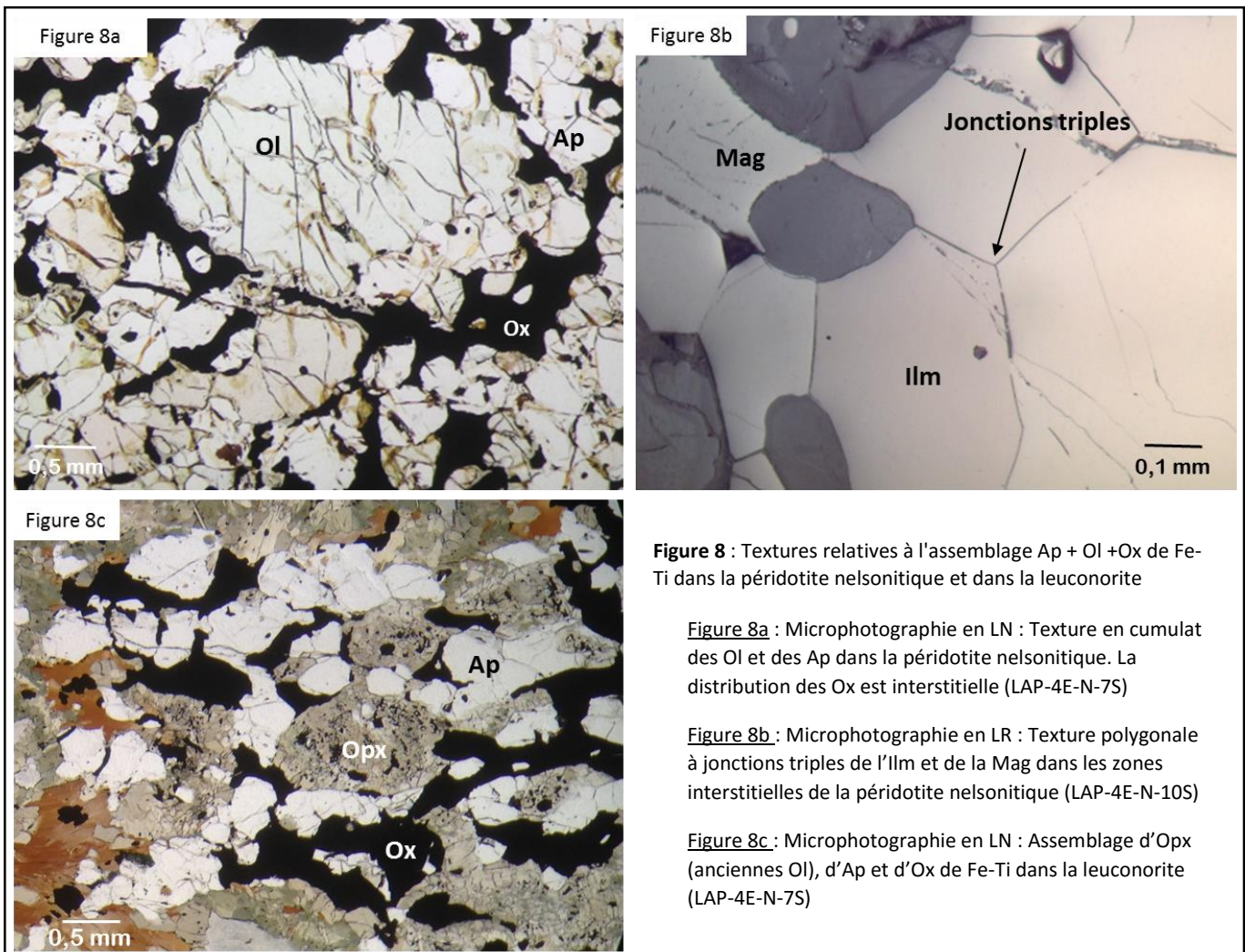


Figure 8 : Textures relatives à l'assemblage Ap + Ol + Ox de Fe-Ti dans la péridotite nelsonitique et dans la leuconorite

Figure 8a : Microphotographie en LN : Texture en cumulat des Ol et des Ap dans la péridotite nelsonitique. La distribution des Ox est interstitielle (LAP-4E-N-7S)

Figure 8b : Microphotographie en LR : Texture polygonale à jonctions triples de l'Ilm et de la Mag dans les zones interstitielles de la péridotite nelsonitique (LAP-4E-N-10S)

Figure 8c : Microphotographie en LN : Assemblage d'Opx (anciennes Ol), d'Ap et d'Ox de Fe-Ti dans la leuconorite (LAP-4E-N-7S)

La leuconorite visée par cette étude renferme également des assemblages similaires à ceux observés dans la péridotite nelsonitique. Ils se distinguent toutefois par la substitution complète des olivines primaires en une phase de symplectite d'orthopyroxène

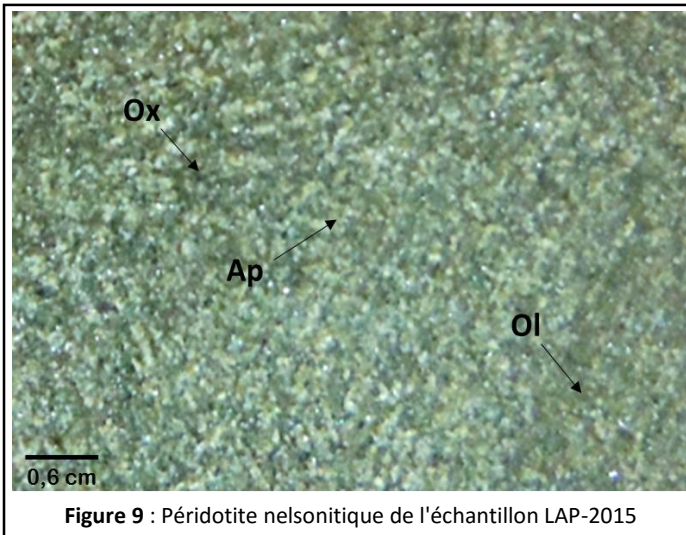
et d'oxyde de Fe et de Ti. Ce comportement a été décrit précédemment d'après la réaction 1. Outre cette différence, la combinaison présente dans la leuconorite exprime les mêmes caractéristiques texturales que celles qui définissent la roche principale, c'est-à-dire qu'elle manifeste un agencement en cumulat des olivines (maintenant transformées en Opx + Ox Fe-Ti) et des apatites partiellement recristallisées (Figure 8c). Les phases interstitielles, majoritairement composées d'oxyde de Fe et de Ti, s'ordonnent de manière homologue à l'unité péridotique en disposant leurs cristaux polygonaux de façon à produire des jonctions triples. Cet assemblage particulier circonscrit la majorité de la minéralisation de la leuconorite puisque cette dernière ne concentre généralement pas ces phases minérales en quantité importante lorsqu'elles sont représentées individuellement.

6.2 Descriptions pétrographiques

6.2.1 Descriptions pétrographiques de la péridotite nelsonitique

Description mégascopique

La péridotite nelsonitique (Figure 9) est de couleur gris verdâtre à gris moyen foncé. Elle est homogène, massive et moyennement à fortement magnétique. La granulométrie de cette dernière est très fine (< 1 mm), rendant ainsi la minéralogie difficilement distinguable à l'œil nu. Il est cependant possible de discerner la présence d'olivine et d'apatite formant,



respectivement, de petits amas de couleur vert olive et beige pâle, légèrement jaunâtre. Les zones entourant ces amas sont composées essentiellement d'oxydes de Fe et de Ti. Ces minéraux se caractérisent par leur teinte gris moyen foncé et leur magnétisme prononcé. La composition apparente moyenne de cette lithologie est de 40% d'olivine, 35% d'oxyde de Fe-Ti et 25% d'apatite.

Figure 9 : Péridotite nelsonitique de l'échantillon LAP-2015

Description microscopique

La péridotite nelsonitique étudiée se compose principalement d'un assemblage de 4 phases minérales. L'olivine est le minéral le plus représenté dans la lithologie en montrant une occurrence moyenne de 33% par rapport à l'ensemble des échantillons décrits. Ce dernier est en association directe avec les cristaux d'apatite qui constitue généralement 29% de la roche. L'ilménite (22%) et la magnétite (9%) complètent l'agencement typique de la péridotite nelsonitique. Leur abondance relative indique que l'ilménite est prédominante dans la distribution habituelle des oxydes de Fe et de Ti (ratio ~2 :1).

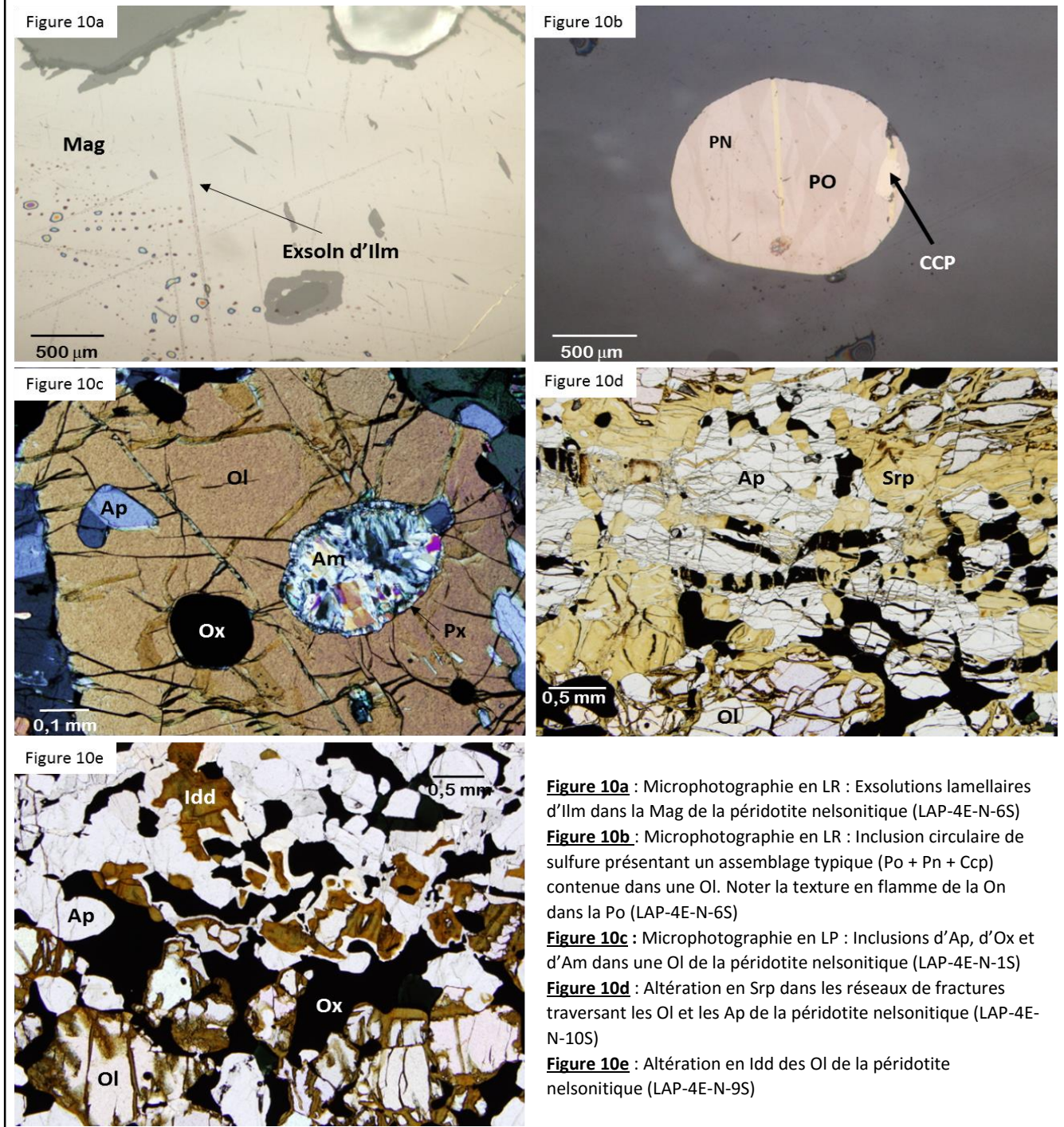
La texture dominante de cette lithologie est définie par le comportement des cristaux hypidiomorphes à xénomorphes d'olivine et d'apatite, dont la disposition suggère un processus magmatique d'accumulation gravitationnelle (Figure 8a). La séquence résultante édifie une structure de cumulat dans laquelle les interstices sont comblés majoritairement par les oxydes de Fe et de Ti. Ces derniers s'ordonnent entre les silicates et les apatites sous la forme de cristaux polygonaux à jonctions triples (Figure 8b). Cette configuration, à laquelle il est possible d'ajouter la nature droite des bordures cristallines, traduit une étape de recristallisation statique (post-déformation) où les phases déstabilisées se sont agglomérées les unes avec les autres en adoptant un état de plus faible niveau énergétique (Charlier et al., 2015). Cette restructuration, à l'état subsolidus, s'accompagne de la formation d'exolutions lamellaires d'ilménite à l'intérieur des cristaux de magnétite (Figure 10a). L'insertion de ces dernières est également la résultante d'un remaniement structural des composantes, induit par le refroidissement progressif du milieu. L'abaissement de la température modifie notamment le degré d'oxydation du Fe. Celui-ci passe alors de sa forme oxydée (Fe^{3+}), qui est stable dans la magnétite, à son état réduit (Fe^{2+}), qui se fixe principalement dans l'ilménite, générant ainsi les intercroissances (Nabil, 2003).

Les espaces d'intercumulat contiennent également du spinelle ($\leq 5\%$) et des sulfures ($\leq 2\%$), dont la disposition reproduit l'agencement textural des autres minéraux interstitiels (jonctions triples et grains polygonaux). Les sulfures, soit la pyrrhotite, la pentlandite et la chalcopyrite, décrivent également une configuration qui leur est singulière dans l'environnement. Ces derniers s'associent fréquemment dans un assemblage de type magmatique où la pentlandite décrit des exolutions ondulantes dans la pyrrhotite, produisant ainsi une texture en flamme (Figure 10b). La chalcopyrite, qui est la phase sulfurée la moins représentée, s'amalgame occasionnellement à cet assemblage.

Les olivines se définissent, dans la péridotite nelsonitique, comme des cristaux hypidiomorphes à xénomorphes, ayant généralement une forme arrondie. Leur taille varie entre 0,5 et 1,8 mm à travers l'ensemble de la lithologie. De plus, elles contiennent régulièrement des inclusions d'oxyde de Fe et de Ti, d'apatite et de sulfure. Une des lames minces étudiées (LAP-4E-N-1S) présentait également une inclusion de matériel leuconoritique (Figure 10c). Des coronites d'orthopyroxène se développent aussi fréquemment autour de ces cristaux, décrivant ainsi un état de déstabilisation de ces phases minérales primaires (voir réaction 1). Les effets de la déformation se sont notamment imprégnés sur ces cristaux en leur attribuant un fort degré de fracturation, qui peut être relatif à la période de compaction subsolidus du matériel ou, alors, à une contrainte subséquente. Les fissures, qui sont parfois continues à travers les phases minérales, sont altérées soient en serpentine ou bien en iddingsite (Figure 10d, Figure 10e), selon des proportions très variables qui semblent reliées, principalement, à la proximité des horizons de leuconorite et à l'amplitude ponctuelle de la fissuration. D'autres minéraux hydratés, tels que de la chlorite, se développent également en très faible quantité dans les fractures.

Les apatites, quant à elles, sont omniprésentes à l'intérieur de la péridotite nelsonitique. Leurs cristaux (0,1 - 0,8 mm) décrivent des formes hypidiomorphes à xénomorphes à l'aspect régulièrement arrondi. De manière analogue aux olivines, elles contiennent des inclusions de sulfure et d'oxyde de Fe et de Ti. Bien que ces inclusions soient généralement informes, certaines à l'apparence circulaire ont toutefois été observées

Figure 10 : Textures et assemblages relatifs à la péridotite nelsonitique de l'échantillon LAP-2015

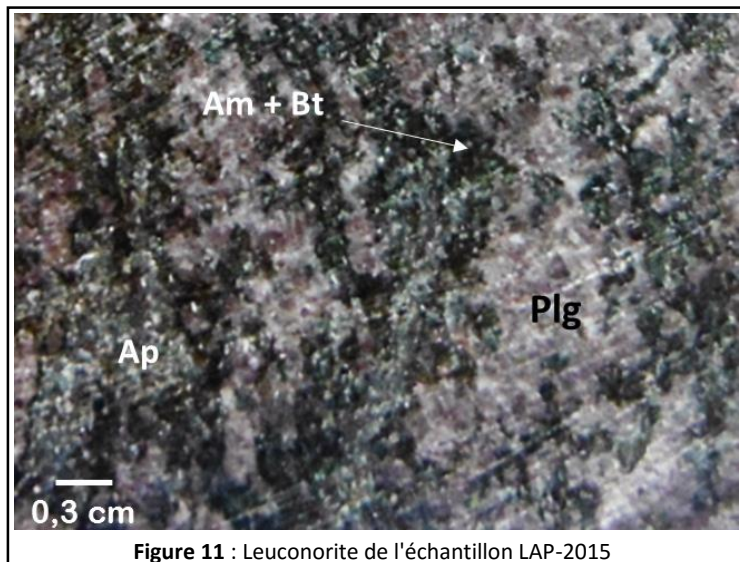


ponctuellement. Cet aspect inhabituel, particulièrement pour les oxydes, pourrait suggérer un phénomène d'immiscibilité qui aurait ségrégé le magma en plusieurs phases. De plus, les cristaux d'apatites affichent des structures morphologiques qui évoquent la recristallisation partielle de ces derniers. Notamment, elles montrent une extinction roulante particulièrement accentuée par la subdivision partielle de son système cristallin en une masse de sous-grains.

6.2.2 Descriptions pétrographiques de la leuconorite

Description mégascopique

La leuconorite (Figure 11) est de couleur mauve pâle à brun verdâtre. Elle est hétérogène, massive et localement faiblement magnétique. Les secteurs présentant une teinte mauve sont constitués de phénocristaux de plagioclase (≤ 2 cm). Les zones brun verdâtre contiennent principalement des minéraux ferromagnésiens (≤ 4 mm) tels que de la biotite et des amphiboles, et, également, des petits cristaux d'apatite (≤ 1 mm). Ces derniers ont tendances à s'agglomérer sous forme d'amas pouvant atteindre jusqu'à 5 mm. La composition apparente moyenne de cette lithologie est de 52% de plagioclase, 20% d'amphibole, 15% de biotite, 8% d'apatite et 5% d'oxyde de Fe-Ti.



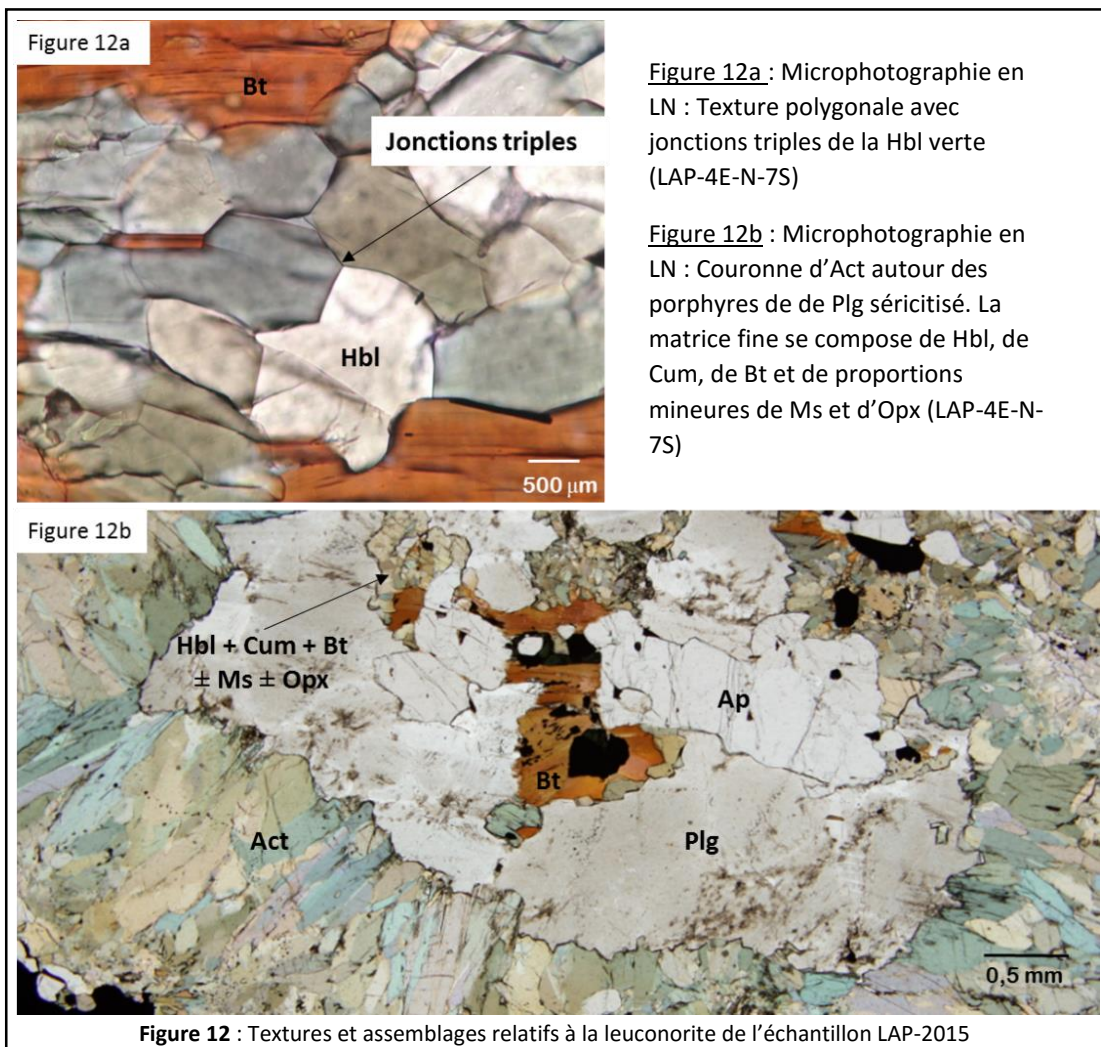
Description microscopique

La leuconorite étudiée se compose essentiellement d'une phase dominante de plagioclase porphyrique couvrant en moyenne 32% de l'ensemble des échantillons décrits. Les amphiboles sont également omniprésentes à l'intérieur de cette lithologie. Les principaux types représentés sont la hornblende verte (26%), associée à une phase davantage enrichie en calcium appartenant à la famille de l'actinote (8%), et la cummingtonite (2%). La composition des horizons millimétriques discontinus, qui se retrouvent disséminés à travers la péridotite nelsonitique, est majoritairement définie par la présence de hornblende verte (65%) et d'actinote (30%), qui sont amalgamées avec des proportions mineures de plagioclase et de biotite ($\leq 5\%$).

La texture caractéristique de cette lithologie est définie par les phénocristaux de plagioclase (≤ 5 mm) qui décrivent un agencement de type protoclastique. La déformation subie par ces cristaux se distingue notamment au niveau de l'ondulation de leurs macles. La formation de néoblastes (≤ 1 mm), parfois polygonaux, entre les phorphyroclastes de

plagioclase, indique la recristallisation partielle de ces derniers. Une altération en séricite s'est développée sur l'ensemble des plagioclases primaires.

Les espaces interstitiels aux plagioclases sont comblés par de fins cristaux d'amphibole, de biotite, d'orthopyroxène et de muscovite. Les amphiboles sont majoritairement représentées par une mosaïque de petits cristaux prismatiques recristallisés (≤ 1 mm) qui montrent une texture polygonale caractérisée, localement, par des jonctions triples (Figure 12a). Régulièrement, ces amas polycristallins sont formés d'une zone interne riche en cummingtonite et d'une auréole externe enrichie en hornblende verte. Localement, de petits fragments d'orthopyroxènes sont encore perceptibles au centre de ces assemblages, formant des agglomérats de sous-grains à fort relief. La présence d'actinote, quant à elle, est notamment soutenue autour des porphyroclastes de plagioclase, où elle y décrit une couronne radiale de cristaux aciculaires (≤ 2 mm) (Figure 12b). La hornblende verte est aussi présente dans les réactions coronitiques autour des oxydes de Fe et de Ti. Elle est alors associée à la biotite (10%), qui constitue la partie interne de la couronne métamorphique. La biotite se retrouve également en association avec les amphiboles des zones interstitielles. Les cristaux hypidiomorphes (≤ 4 mm) de cette



dernière montre alors un certain degré de flexure au niveau de leurs clivages {001}. Cette déformation est mise en évidence par l'alignement préférentiel de ses inclusions d'oxyde de Fe le long de ses plans de clivage. L'accumulation de ces minéraux opaques est reliée à un phénomène d'altération de la biotite.

La présence de la minéralisation est nettement inférieure à l'intérieur de la leuconorite. Certains cristaux idiomorphes d'apatite sont observables localement à travers la lithologie, mais les proportions qu'ils définissent sont très faibles ($\leq 2\%$). Les zones les plus enrichies sont principalement contenues dans un assemblage particulier qui met en relation l'apatite ($\leq 0,85$ mm), les oxydes de Fe et de Ti (≤ 1 mm) et des orthopyroxènes ($\leq 0,8$ mm). La présence des symplectites d'orthopyroxène et de magnétite sont le résultat de la déstabilisation complète des olivines primaires (voir section 6.1.3). Les proportions de magnétites (1 %), de sulfures (0,1 %) et de spinelles (0,3%) sont également fortement amputées à l'intérieur de la leuconorite, comparativement à la péridotite nelsonitique.

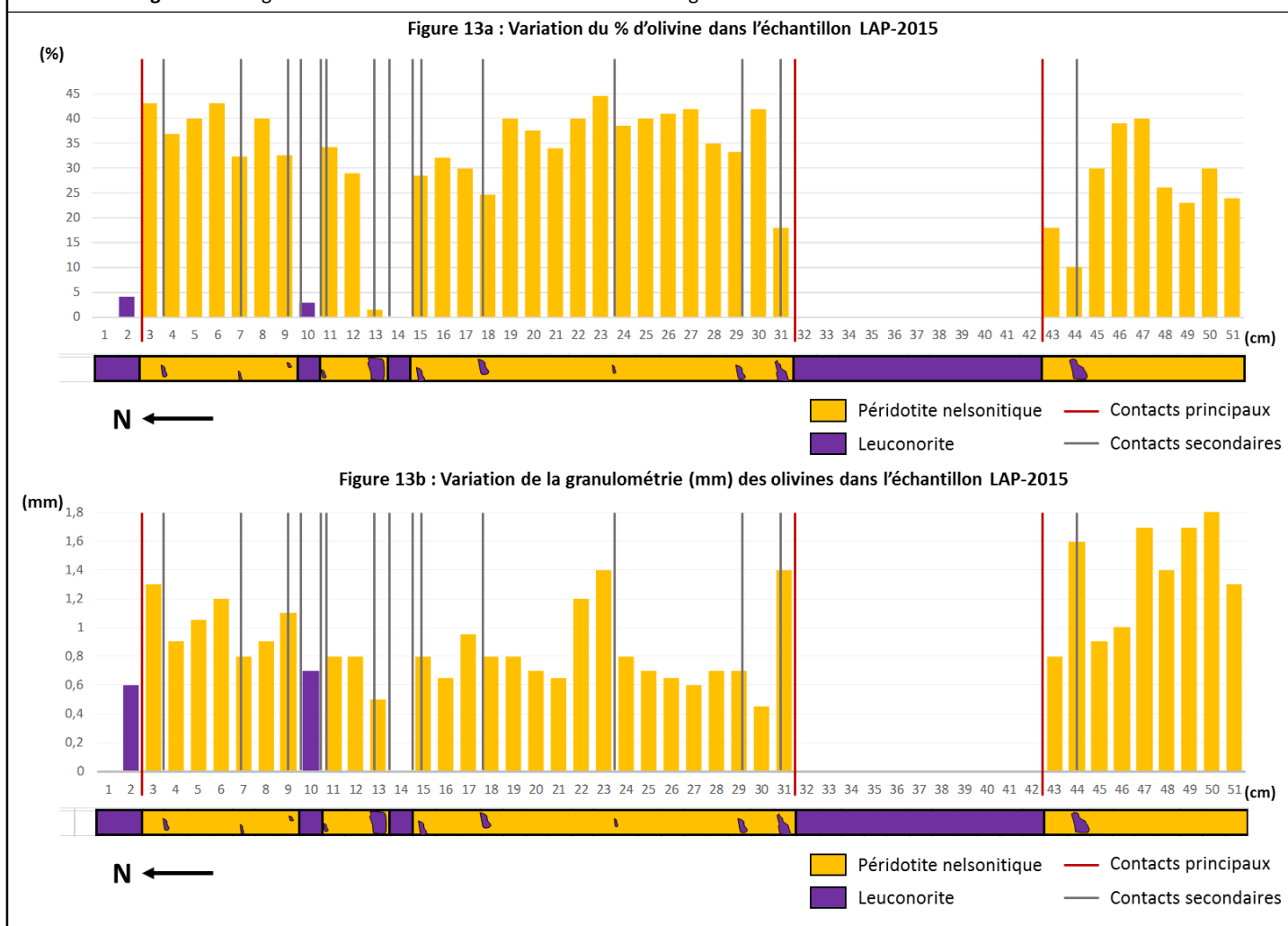
6.2.3 Descriptions comparatives

Comportement de l'olivine

La répartition des olivines est presque exclusivement associée à la péridotite nelsonitique. En effet, seulement quelques olivines conservent leur stabilité dans la leuconorite, mais ces dernières se retrouvent toujours à l'intérieur d'un périmètre inférieur à 1 cm par rapport à la zone de contact. En termes de pourcentage, la distribution des olivines, dans la péridotite nelsonitique, varie entre 10% et 45% (Figure 13a). À l'approche de l'horizon principal de leuconorite ([32-42] cm), le pourcentage d'olivine diminue de près de la moitié, indiquant que ce dernier est sensible à la proximité de cette lithologie. Les horizons secondaires de leuconorite n'ont toutefois pas un effet aussi marqué sur la distribution de ce minéral, bien qu'ils causent tout de même une dépréciation de ses proportions modales. En somme, les proportions d'olivine ont tendances à s'élever dans les parties centrales de la péridotite nelsonitique. À mesure qu'elles s'en éloignent, les olivines se disséminent progressivement jusqu'au contact entre les deux lithologies, où elles disparaissent alors complètement à l'intérieur du premier centimètre. En analysant l'échantillon LAP-2015 dans son ensemble, il est également possible de remarquer une diminution de la représentation des olivines dans la portion sud. L'occurrence moyenne de ce minéral, dans cette zone de 4 cm, chute de 33% (moyenne globale des Ol dans la péridotite nelsonitique) à 26% (moyenne de la LM LAP-4E-N-11S).

Au niveau granulométrique, les olivines montrent un comportement différent de celui décrit par rapport à leur distribution (Figure 13b). En effet, les cristaux d'olivine affichent globalement une granulométrie supérieure dans les portions centrales de la péridotite nelsonitique, mais aussi à l'approche des horizons principaux de leuconorite. Dans ces zones, le diamètre des olivines oscille généralement entre 1,2 et 1,4 mm alors que, dans les autres secteurs, la granulométrie moyenne varie plutôt entre 0,6 et 0,8 mm. Il y a également une augmentation marquée de la taille des olivines au sud de l'échantillon, bien que ce minéral y soit significativement moins représenté que dans les zones septentrionales.

Figure 13 : Diagrammes à bandes décrivant la distribution et la granulométrie des olivines dans l'échantillon LAP-2015



Comportement de l'apatite

L'apatite est la deuxième phase minérale en importance, après les olivines, à l'intérieur de la péridotite nelsonitique. Elle compose généralement entre 25% et 30% cette lithologie (Figure 14a). En périphérie des contacts principaux, les proportions d'apatite ont cependant tendance à croître entre 5% et 15%, suggérant ainsi une corrélation positive entre la présence des horizons principaux de leuconorite et la concentration des apatites. La portée de cet effet est toutefois assez faible puisqu'elle ne dépasse habituellement pas une marge supérieure à 3 cm. La présence des horizons secondaires millimétriques, généralement discontinus, n'induit pas un effet aussi prononcé que celui observé en bordure des horizons principaux pluricentimétriques. Cependant, elles permettent également de concentrer davantage les apatites en provoquant une augmentation de leur proportion variant entre 2% et 7%. Autrement, la densité d'apatite diminue fortement dans la leuconorite. Les proportions de celle-ci sont fréquemment inférieures à 5%. De plus, de manière analogue aux olivines, une baisse considérable des pourcentages affecte la portion

sud de l'échantillon. La teneur de cette diminution fluctue entre 10% et 15% sur les 5 derniers centimètres étudiés.

En analysant le comportement des apatites par rapport à leur granulométrie, il est possible de corréler directement la présence de la leuconorite à une augmentation de leur taille (Figure 14b). De manière générale, les apatites comprises dans la leuconorite ont une dimension supérieure de 25% comparativement à celles de la péridotite nelsonitique, passant d'une moyenne globale de 0,5 mm à 0,65 mm. Dans les zones de contact, la moyenne des cristaux augmente entre 0,7 et 0,8 mm. Au sud de l'échantillon, un comportement différent est encore une fois perceptible. En effet, la moyenne des cristaux d'apatite décroît de plus de 60% dans cette zone, faisant ainsi chuter leur moyenne globale à 0,2 mm.

Figure 14 : Diagrammes à bandes décrivant la distribution et la granulométrie des apatites dans l'échantillon LAP-2015



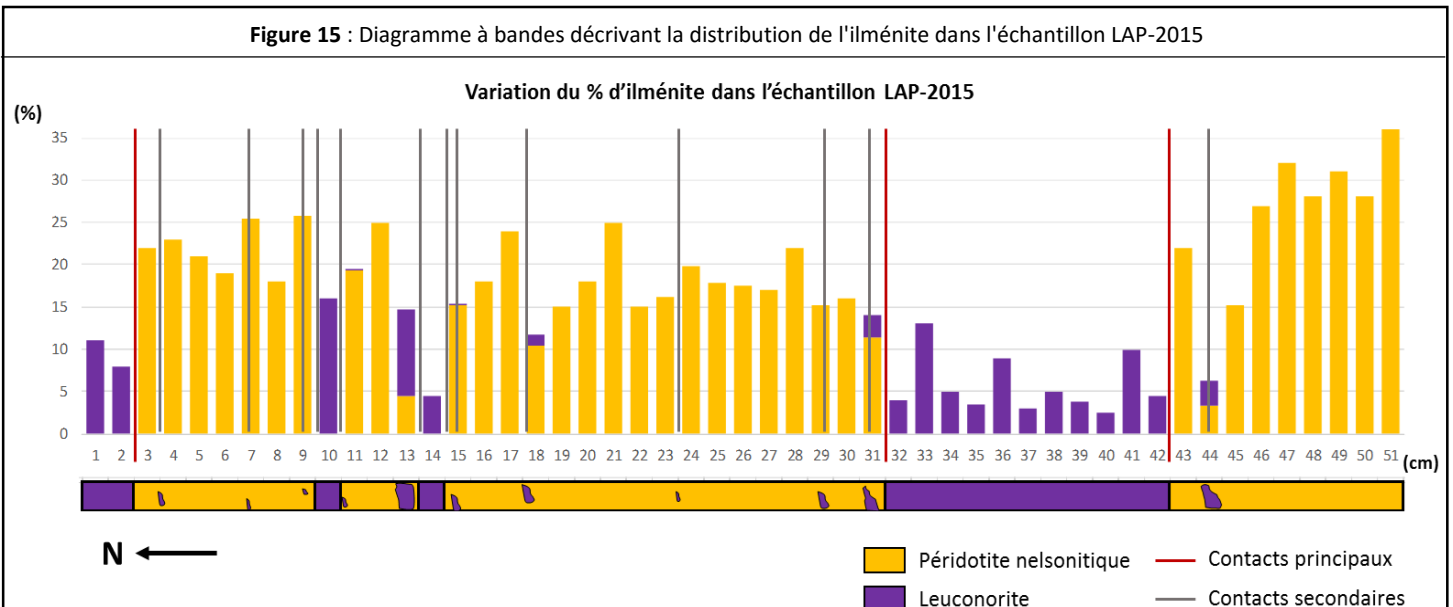
Exemple d'interprétation des graphiques pour le 13^e centimètre : Dans la Figure 14a, le cumulatif des deux bandes superposées indiquent qu'il y a un pourcentage total d'apatite de 33% à l'intérieur de ce centimètre. De ce total, 6% sont attribuable à la péridotite nelsonitique alors que les 27% restants sont associés à la leuconorite. Dans la Figure 14b, il est possible de constater que la granulométrie moyenne des apatites de la péridotite nelsonitique est de 0,65 mm alors que celle des apatites de la leuconorite est de 0,7 mm.

Comportement de l'ilménite

La distribution de cet oxyde de Ti est relativement constante dans la péridotite nelsonitique, variant entre 15% et 25% (Figure 15). Ce comportement stable suggère que la répartition de ce minéral n'est pas influencée par la proximité de la leuconorite. Cependant, à l'intérieur même de cette lithologie, les proportions d'ilménite sont beaucoup plus faibles que dans la péridotite nelsonitique. En effet, ces dernières descendent fréquemment au-dessous des 5%. L'extrémité sud de l'échantillon présente un enrichissement considérable pouvant atteindre jusqu'à 15% par rapport à la moyenne générale de la péridotite nelsonitique.

La granulométrie de l'ilménite est quasi immuable tout au long de l'échantillon LAP-2015. Celle-ci oscille entre 0,6 et 1 mm dans la péridotite nelsonitique et entre 0,4 et 1 mm dans la leuconorite. Les amplitudes observées ne démontrent aucune corrélation par rapport à la contiguïté de ces minéraux avec la leuconorite.

Figure 15 : Diagramme à bandes décrivant la distribution de l'ilménite dans l'échantillon LAP-2015

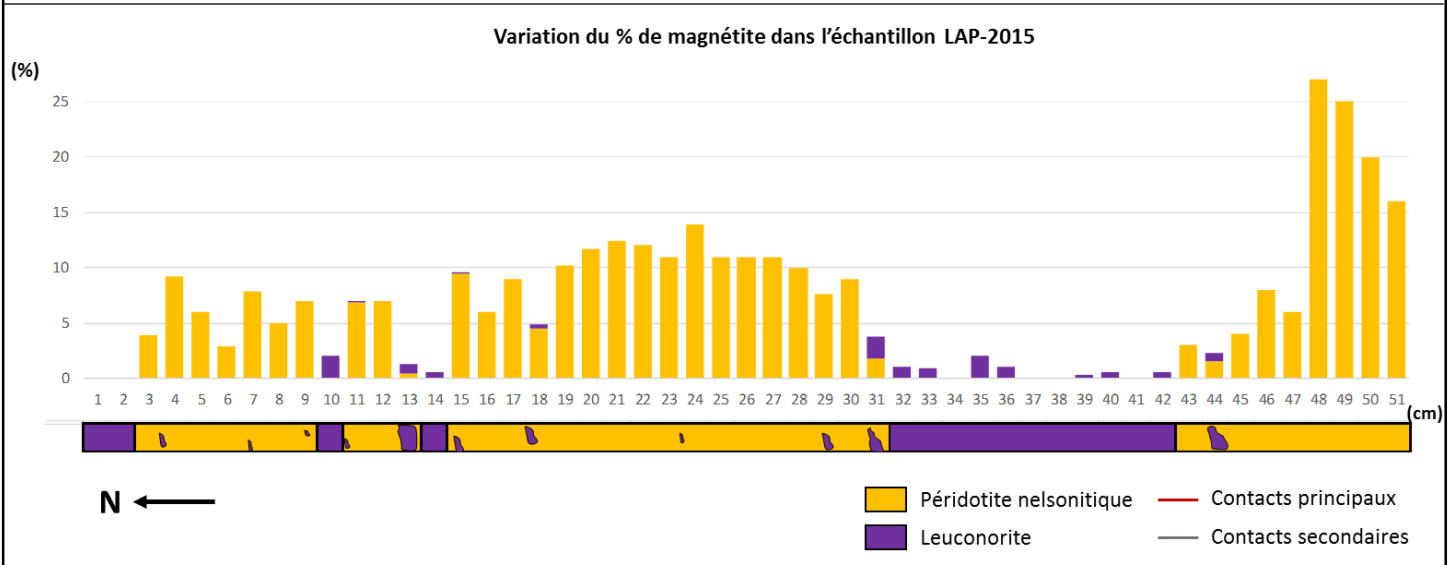


Comportement de la magnétite

Cet oxyde de Fe se retrouve en proportion constante à l'intérieur de la péridotite nelsonitique, variant généralement entre 5% et 10% (Figure 16). La faible mobilité de ses proportions modales à proximité des horizons leuconoritiques suggère que cette lithologie n'a pas d'impact significatif sur la distribution de ce minéral. Cependant, contrairement à l'ilménite, la magnétite est quasi absente de la composition de la leuconorite, n'atteignant jamais des proportions plus élevées que 2%. La section la plus au sud de l'échantillon LAP-2015 décrit, encore une fois, un comportement très différent. Les pourcentages de magnétite, dans cette portion, augmentent effectivement de plus de 15% par rapport aux proportions moyennes de l'échantillon.

La granulométrie de la magnétite varie dans les mêmes intervalles que l'ilménite à l'intérieur de la péridotite nelsonitique, c'est-à-dire qu'elle fluctue entre 0,6 et 1 mm. La taille des cristaux de magnétite ne semble pas régulée par la présence de la leuconorite.

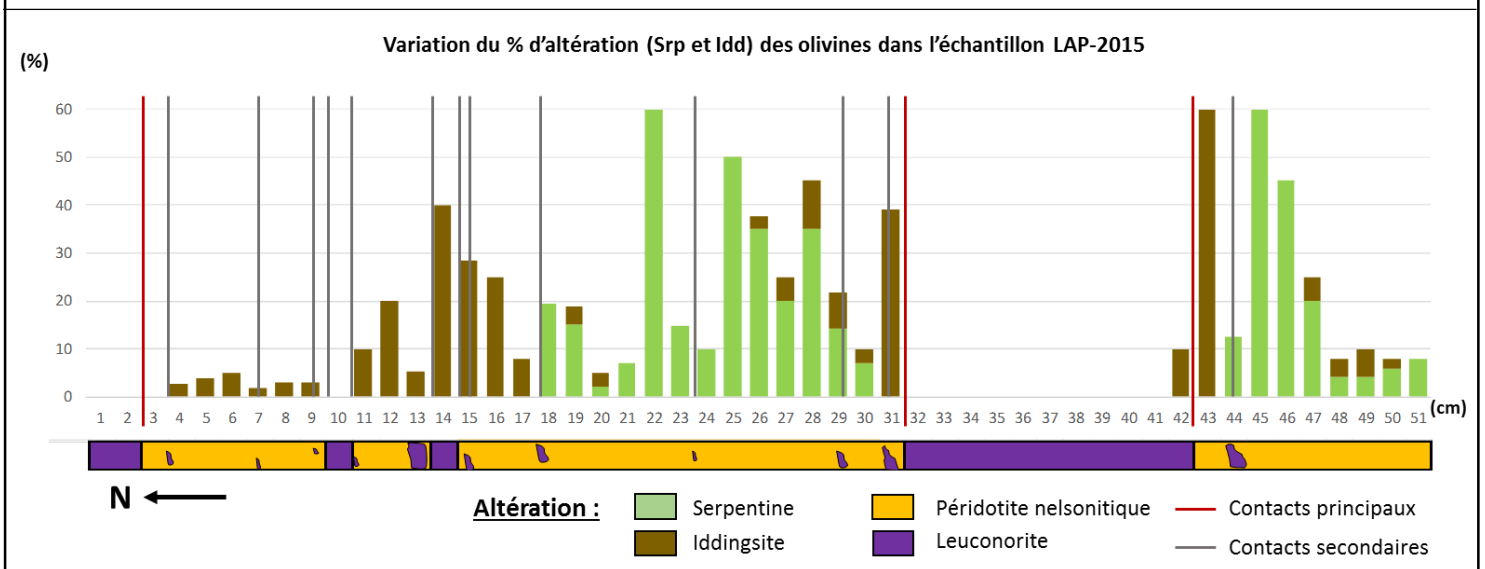
Figure 16 : Diagramme à bandes décrivant la distribution de la magnétite dans l'échantillon LAP-2015



Comportement de l'altération des olivines

Les olivines de la péridotite nelsonitique étudiée exposent principalement deux types d'altération. Celles-ci, soient la serpentine et l'iddingsite, interagissent différemment avec les cristaux d'olivines dépendamment de l'environnement direct de ces silicates (Figure 17). Dans les sections médianes de la péridotite nelsonitique, la distribution des minéraux d'altération est contrôlée essentiellement par les réseaux de fractures majeures

Figure 17 : Diagramme à bandes décrivant la distribution des phases d'altération sur les olivines de la péridotite nelsonitique

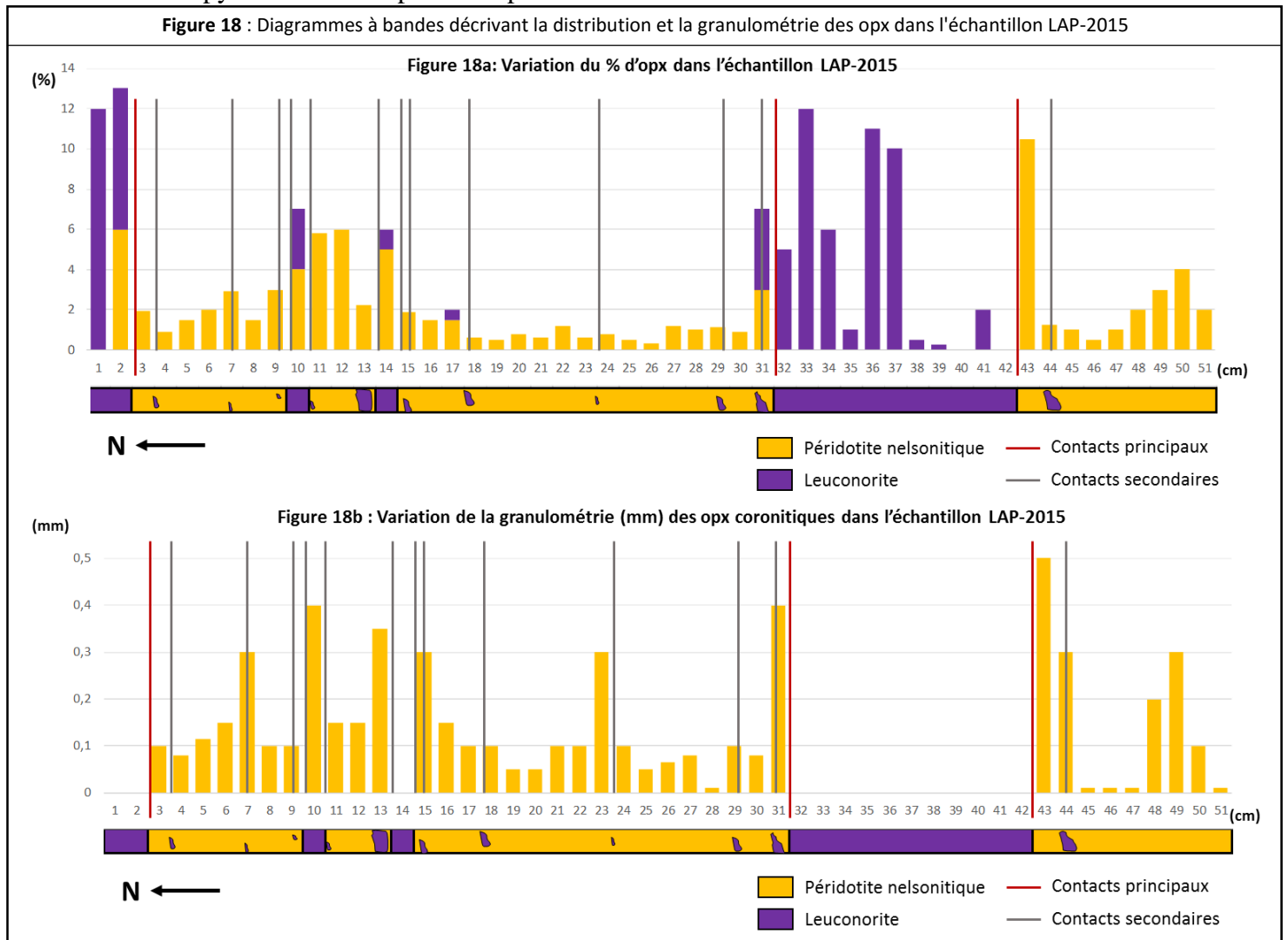


qui sillonnent cette lithologie (Figure 10d). La serpentine est généralement dominante dans ce type de contexte. L'iddingsite, lorsque présente dans ces régions, s'intègre également dans les phases minérales de la péridotite nelsonitique en suivant les mêmes réseaux de faiblesses internes. Cette phase d'altération, qui est plus riche en Fe que la serpentine, est cependant prépondérante surtout près des contacts entre les deux lithologies. Ces endroits spécifiques sont, de plus, dépourvus complètement de serpentine. De plus, la distribution de l'iddingsite se présente d'une manière différente que celle observée dans les régions centrales. En effet, la répartition de cette dernière suggère que son développement est contrôlé individuellement à partir de chacun des cristaux d'olivines plutôt que par les réseaux généraux de fractures (Figure 10e). Cette disposition réfère possiblement à un phénomène de pseudomorphose d'origine métamorphique.

Variation des textures coronitiques autour des olivines

La présence des orthopyroxènes, dans l'échantillon LAP-2015, est perceptible de deux manières, selon la lithologie étudiée. Dans la péridotite nelsonitique, les orthopyroxènes sont représentés par les couronnes réactionnelles entourant les olivines. Le

Figure 18 : Diagrammes à bandes décrivant la distribution et la granulométrie des opx dans l'échantillon LAP-2015



degré de développement de ces coronites, qui sont produites par un phénomène de déstabilisation des olivines, est directement lié à la proximité de ces minéraux avec les horizons de leuconorite (Figure 18a). En effet, les olivines distales à la leuconorite affichent un stade coronitique plus faible. L'insertion des bandes discontinues mineures de leuconorite déclenchent une réaction de déstabilisation généralement proportionnelle à la dimension de ces horizons, provoquant ainsi la formation secondaire d'auréoles d'orthopyroxènes plus importantes. Près des zones principales, l'épaisseur des coronites tend à augmenter considérablement (Figure 18b). Les orthopyroxènes contenus dans la leuconorite résultent principalement de la déstabilisation complète des olivines primaires. Cette phase secondaire se concentre surtout à l'intérieur des assemblages d'apatite et d'oxydes de Fe et de Ti (voir section 6.1.3). Toutefois, une proportion mineure d'orthopyroxène provient de la composition initiale de cette lithologie. Ces derniers sont alors associés aux amphiboles recristallisées de la matrice. Les olivines localisées au sud de l'échantillon LAP-2015 traduisent un degré de déstabilisation élevé malgré l'absence de la leuconorite.

7.0 Interprétations des observations pétrographiques

L'étude aussi détaillée de l'interaction unissant la péridotite nelsonitique, qui est interprétée comme étant la base de la séquence stratigraphique du gisement de la zone Paul, et de la leuconorite, qui est caractéristique du domaine sus-jacent à cette dernière, permet d'éclaircir la progression événementielle qui a permis la mise en relation de ces deux lithologies. La présente section décrit les principales évidences corrélatives qui ont été soulevées par l'analyse de l'échantillon LAP-2015.

7.1 Les évidences relatives aux variations modales

L'étude complète de l'échantillon LAP-2015 a permis de révéler que la distribution de la minéralisation en Fe-Ti-P de la péridotite nelsonitique était influencée notamment par deux phénomènes distincts. Dans un premier temps, une variation significative des phases minérales de cette lithologie semble se produire stratigraphiquement, indépendamment de la présence des horizons leuconoritiques. En effet, du nord vers le sud, l'échantillon s'enrichi considérablement en ilménite et en magnétite, alors qu'il s'appauvrit parallèlement en apatite et en olivine. Cette variabilité permet de suggérer que le domaine inférieur du gisement de la zone Paul est composé, à sa base, d'une unité à caractère davantage nelsonitique que les formations lithologiques supérieures. Les informations prélevées sur l'échantillon LAP-2015 ne permettent toutefois pas de déduire la présence de nelsonite puisque toutes les sections étudiées présentaient une proportion de minéraux silicatée supérieure à 5%, contredisant ainsi les critères de la définition établie par Nabil (2003).

Dans un deuxième temps, il a été établi que les pourcentages d'apatites montrent de fortes variations dans l'échantillon LAP-2015, selon la lithologie dans laquelle elles se trouvent et, aussi, selon la proximité que ces dernières entretiennent avec les insertions

leuconoritiques. En effet, dans la péridotite nelsonitique, la distribution des apatites est homogène et elles sont, en moyenne, représentées dans des proportions de 25% à 30%. Dans la leuconorite, les apatites se répartissent de manière hétérogène. Elles définissent généralement moins de 5% de la teneur de cette lithologie. Cependant, ces dernières se concentrent localement dans des amas particuliers qui permettent d'augmenter sa présence relative jusqu'à 15%. Dans la péridotite elle-même, la représentation des apatites augmente en fonction de sa contiguïté avec la leuconorite. Cet enrichissement local, pouvant élever le pourcentage d'apatite jusqu'à 45%, indique que ces deux lithologies interagissent ensemble pour générer une zone plus favorable à la cristallisation des apatites. La nature apparente de cette interaction suggère que la leuconorite, qui est une roche clairement riche en Ca de par son abondance en plagioclase, pourrait possiblement avoir contribué à enrichir la zone de contact en cet élément, favorisant ainsi la formation d'apatite. De plus, ce phénomène, de par sa restriction au domaine des péridotites nelsonitiques, pourrait indiquer que cette lithologie a été formée à partir d'un liquide résiduel préalablement enrichi en P, contrairement à celui des leuconorites qui devait, vraisemblablement, présenter une concentration plus faible en cet élément pour avoir généré aussi peu d'apatite.

Une variation considérable du rapport entre l'ilménite et la magnétite est également perceptible d'une lithologie à l'autre. Effectivement, le rapport des oxydes de Ti sur les oxydes de Fe dans la péridotite nelsonitique est généralement de ~2 :1 alors que, dans la leuconorite, la magnétite n'est que très peu représentée. En effet, l'ilménite est régulièrement prépondérante par rapport à la magnétite dans la leuconorite, surpassant les proportions de cette dernière selon un rapport variant entre 5 à 10 fois. Le champ de stabilité des oxydes de Fe et de Ti est fortement dépendant de deux facteurs, soient la fugacité en oxygène et la composition du magma parental. Lorsque la fugacité d'oxygène est élevée, le degré d'oxydation du Fe favorise la cristallisation de la magnétite avant l'ilménite. La situation inverse n'est toutefois pas corollaire. En effet, le point de saturation de l'ilménite est dépendant de la concentration en Ti dans le liquide résiduel. De ce fait, même en condition oxydante, la forte concentration du liquide résiduel en TiO_2 peut induire la cristallisation de l'ilménite seule, sans former de magnétite. En condition réductrice, le champ de stabilité beaucoup plus large de l'ilménite induit la déstabilisation de la magnétite et, conséquemment, l'enrichissement du liquide résiduel en Fe (Charlier et al., 2015).

7.2 Les évidences relatives aux variations texturales

L'ensemble des textures relevées dans chacune des lithologies indique possiblement que ces dernières ont été exposées à des niveaux différents de déformation. En effet, la péridotite nelsonitique semble décrire un milieu moins déformée que la leuconorite. Cette hypothèse suggère que la majeure partie des contraintes déformantes ont été imposées à la leuconorite antérieurement ou de manière synchrone à la formation de la péridotite nelsonitique. À l'intérieur de cette dernière, les évidences de déformation se limitent aux niveaux de fracturation important des olivines, à l'extinction ondulante et la formation de sous-grains des apatites et à la texture polygonale à jonctions triples des oxydes de Fe-Ti. Les olivines présentent également un certain degré de déstabilisation partielle en générant, à leur pourtour, des coronites d'orthopyroxène. La leuconorite, quant

à elle, présente, en plus des mêmes évidences que la péridotite nelsonitique, davantage de manifestation relative à leur déformation. Les marques qu'elles présentent sont similaires à celles enregistrées généralement par les roches de la SALSJ. Entre autres, parmi les signes corollaires, il y a la texture protoclastique des plagioclases qui dévoilent, par leur extinction roulante et l'ondulation de leurs macles, des évidences de recristallisation partielle dynamique produites à l'état sub-solidus (Turcotte, 2001). Il y a également les cristaux de biotite qui témoignent, par la courbure de leurs clivages et par l'alignement préférentiel des oxydes sur ces derniers, du passage d'au moins un épisode de déformation. Les olivines primaires de cette lithologie ont également été complètement remplacées lors du métamorphisme régional. Le degré de déstabilisation qu'elles affichent est supérieur à celui enregistré dans les péridotites nelsonitiques, montrant une substitution complète en orthopyroxène.

Les autres évidences de déformation, observées dans la leuconorite, peuvent être utilisées comme des agents indicateurs des conditions de pression et de température que cette unité rocheuse a subie. Le premier indice permettant de qualifier l'état systémique attribuable à la paragenèse métamorphique de cette lithologie est l'amphibolitisation des orthopyroxènes primaires. Selon Fredette (2006), ces minéraux, en présence d'eau, ont été métamorphosés en hornblende verte en transitant d'abord en cummingtonite. La présence simultanée de ces deux types d'amphibole indique que les conditions auraient atteint le faciès métamorphique des amphibolites supérieurs (Turcotte, 2001). Il y a également les couronnes réactionnelles autour des oxydes de Fe et de Ti qui nécessitent, pour être générées, des prédispositions relatives au faciès des granulites (Fredette, 2006).

7.3 Les évidences relatives aux relations entre les minéraux

La séquence de cristallisation des phases minérales est particulièrement complexifiée par le degré important de recristallisation des minéraux. Ces processus affectent notamment les oxydes de Fe et de Ti qui montrent des évidences de remobilisation sub-solidus complète. Il a cependant été établi que le caractère interstitiel de ces phases par rapport aux silicates ferromagnésiens n'était pas représentatif de la séquence de cristallisation. En effet, même si l'apparition des oxydes de Fe-Ti est directement subséquente à la formation des plagioclases, leur distribution dans les cumulats sera presque toujours interstitielle aux silicates puisque leur capacité à migrer par fluage à l'état solide est beaucoup plus élevée que pour les autres phases (Charlier et al., 2015). De plus, les relations par rapport aux inclusions ne permettent pas d'établir, avec certitude, la séquence de cristallisation en raison de l'intensité des processus de remobilisation qui ont affectés l'ensemble des phases minérales. Cependant, de par le fait qu'autant les olivines que les apatites s'incluent mutuellement, il est possible de présumer que la cristallisation de ces dernières était simultanée. Cette hypothèse est renforcée par le fait que ces deux phases minérales édifient les bases de la texture primaire de cumulat et que, pour ce faire, elles ont dû se déposer concomitamment dans la chambre magmatique.

Les inclusions peuvent toutefois clarifier la chronologie reliant les deux lithologies étudiées. En effet, une inclusion constituée par un cœur amphibolitisé et un pourtour de

pyroxène a été observée dans une olivine de la péridotite nelsonitique, à proximité de la zone de contact entre les deux lithologies (Figure 10c). Le patron concentrique des amphiboles, accompagné par la couronne de pyroxène, est une réaction caractéristique des coronites entre les olivines et les plagioclases. De ce fait, il peut être présumé que le matériel inclus préalablement lors de la formation de l'olivine était un fragment de plagioclase de la leuconorite et que les amphiboles actuellement perceptible sont d'origine secondaire. Cette observation permet de supposer que la formation de la péridotite nelsonitique est tardive par rapport à la leuconorite.

La forme des inclusions est également indicatrice des conditions magmatiques à partir desquelles les roches du Lac à Paul ont été générées. En effet, plusieurs inclusions circulaires de sulfures et également d'oxydes de Fe et de Ti ont été observées dans les olivines de la péridotite nelsonitique de l'échantillon LAP-2015. Cette forme particulière est fréquemment le résultat d'un emprisonnement du matériel sous forme liquide dans le cristal en formation. Cela suggère que les oxydes de Fe et de Ti, ainsi que les sulfures, formaient deux phases immiscibles dans le magma silicaté, rendant ainsi possible la captation de ces gouttelettes.

8.0 Discussion

La principale difficulté d'interprétation des mécanismes ayant menés à la formation du gisement de la zone Paul résulte du fait que les roches les plus enrichies en Fe-Ti-P sont celles qui sont situées à la base stratigraphique de la lentille. De plus, les évidences soulevées dans cette étude suggèrent que la cristallisation des apatites et des olivines a été simultanée dans la péridotite nelsonitique. Cependant, il est admis que, de par l'incompatibilité du Ti et du P avec les silicates, les magmas générant ce type de gisement doivent être suffisamment évolués pour permettre à ces éléments de se concentrer en proportion importante dans le liquide résiduel (Fredette, 2006). Il serait donc peu probable que des taux aussi élevés d'apatite, d'ilménite et de magnétite aient pu être formés en cristallisant parmi les premières phases minérales. De ce fait, en tenant compte de l'inclusion amphibolitisée retrouvée dans une olivine de la péridotite nelsonitique et de la différence dans la déformation et le degré d'altération entre les deux lithologies, il est plausible de présumer que la leuconorite, qui est positionnée plus en hauteur que la péridotite nelsonitique dans l'intrusion magmatique, a cristallisé avant les séquences inférieures. Cela impliquerait donc que ce serait la plagioclase, et non l'olivine, qui aurait été la première phase à cristalliser. Cette hypothèse serait cohérente avec beaucoup d'autres observations effectuées sur l'échantillon LAP-2015. En effet, dans un premier temps, en émettant l'hypothèse que la différenciation du magma parental s'effectue vers le bas, cela permet d'expliquer que des concentrations aussi fortes de Fe-Ti-P se retrouvent à la base du gisement puisque la phase résiduelle est en mesure de s'enrichir en ces éléments à mesure que ce dernier évolue. Elle permet également d'associer la faible minéralisation de la leuconorite au fait que le liquide n'était pas suffisamment évolué, à cette étape, pour permettre la concentration du Ti et du P en proportion suffisante et ce, malgré le fait que cette lithologie était clairement enrichie en Ca. Selon les observations effectuées, la

présence des horizons de leuconorite dans la péridotite nelsonitique pourrait possiblement provenir de fragment du toit qui ont été arrachés et incorporés dans la péridotite nelsonitique. Ces derniers ont pu, par la suite, être déformés pour générer les zones rubanées visibles dans l'échantillon étudié. Il est également possible de suggérer que les assemblages caractéristiques d'apatite, d'oxyde de Fe et de Ti et d'orthopyroxène, dispersés dans la leuconorite, correspondraient à du liquide évolué (enrichi en Fe-Ti-P) qui se serait possiblement infiltré dans les horizons de leuconorite.

De par la portée restreinte de cette étude, il est impossible de cibler spécifiquement un mécanisme magmatique permettant d'expliquer la mise en place de la minéralisation. Les évidences soulevées pointent toutefois vers deux hypothèses majeures. La première hypothèse suggère un processus de cristallisation fractionné, combiné avec un mécanisme de triage de cristaux (crystal sorting) et de flottabilité des plagioclases (plagioclase buoyancy). Selon Charlier et al. (2015), cette association est susceptible d'engendrer des enrichissements en minéraux denses qui s'accumulent, par densité, au fond de la chambre magmatique. De manière générale, la théorie émise par Chalier et al. (2015) stipule que, suite à la cristallisation d'une masse anorthositique, le liquide fractionné est en mesure d'acquérir des concentrations importantes de FeO , augmentant ainsi considérablement sa densité. Les plagioclases qui cristallisent ont tendances à s'élever dans l'intrusion en raison de leur densité plus faible que le liquide résiduel. Lorsque les oxydes de Fe et de Ti s'extirpent de la composition du magma, ces derniers, inversement aux plagioclases, ont un mouvement descendant dans la chambre magmatique. Ce processus de tri des phases par gravité permet d'accroître l'abondance des oxydes bien au-dessus des proportions cotectiques, c'est-à-dire au-dessus des proportions normales qui cristallisent à partir du magma parent. Effectivement, il a été établi par Fredette (2006) que le seul processus de différenciation d'un magma par fractionnement n'est pas suffisant pour générer des gîtes aussi enrichis en Fe, Ti et P et qu'il doit donc, pour être représentatif, être appuyé par des mécanismes secondaires. Par la suite, la deuxième hypothèse suggérée dans la littérature et corroborée par les observations est que les oxydes de Fe et de Ti aient formés une phase immiscible dans le liquide résiduel. La ségrégation à l'état liquide de possiblement trois phases, soit l'une enrichie en sulfures, l'autre en Fe-Ti±P et l'autre en silice, nécessite que le magma soit très évolué. Une fois isolée, la phase concentrée en Fe et en Ti aurait possiblement pu percoler par gravité vers la base, expliquant ainsi l'enrichissement progressif de l'échantillon LAP-2015 en oxyde de Fe et de Ti vers le nord. La source magmatique proposée par Charlier et al. (2015), pour soutenir ce processus, est de composition ferrobasaltiques.

9.0 Conclusions et recommandations

Ce projet de fin d'études, initié en partenariat avec la compagnie Arianne Phosphate, avait comme objectif de caractériser les zones rubanées riches en plagioclase intercalées dans la péridotite nelsonitique. L'étude pétrographique de l'échantillon LAP-2015 a permis de mieux définir la relation entre la péridotite nelsonitique et la leuconorite, localisées dans le domaine nord du gisement de la zone Paul, en plus de préciser le

comportement de la minéralisation par rapport à ces lithologies. Entre autres, les conclusions suivantes ont pu être formulées :

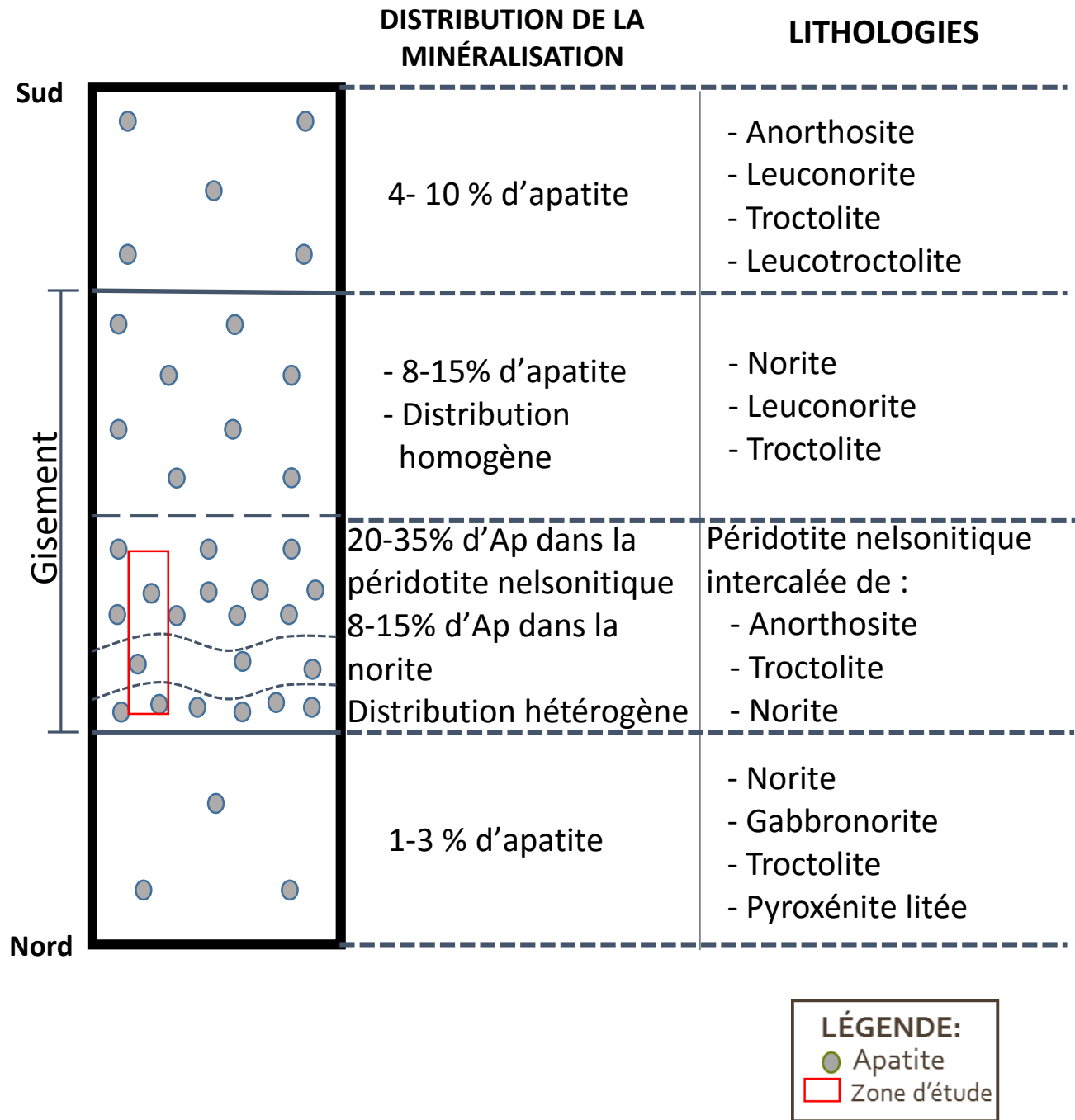
1. Les proportions d'apatite dans la péridotite nelsonitique (25-30%) augmentent entre 5-15% dans un rayon approximatif de 3 cm autour des lits leuconoritiques. À l'intérieur de cette lithologie, leur concentration diminue toutefois de manière significative ($\leq 5\%$).
2. La taille des cristaux d'apatite peut s'amplifier jusqu'à 40% dans les zones de contact entre les deux lithologies. De plus, bien que ce minéral soit moins présent dans la leuconorite, il peut être jusqu'à 25% plus gros que dans la péridotite nelsonitique.
3. Les proportions d'ilménite (15-25%) et de magnétite (5-10%) dans la péridotite nelsonitique, de même que leur granulométrie, ne sont pas influencées par leurs contiguïtés avec la leuconorite. Cette lithologie concentre toutefois ces minéraux en quantité inférieure par rapport à la péridotite nelsonitique. En effet, les pourcentages d'ilménite deviennent généralement $\leq 10\%$ alors que ceux de magnétite tombent à $\leq 2\%$.
4. Du nord vers le sud, les proportions d'apatite diminuent entre 10-15% alors que leur granulométrie moyenne s'amointrit de plus de 60%. Les oxydes de Fe et de Ti montrent un comportement inverse en augmentant tout deux leur pourcentage de 15%. La granulométrie de ces dernières ne montre toutefois pas de changement significatif.
5. La proportion des olivines de la péridotite nelsonitique diminue jusqu'à 50% près des horizons leuconoritiques principales, mais leur granulométrie moyenne a tendance à s'accroître dans ces zones. La proximité des lits riches en plagioclase induit également une amplification de l'altération en iddingsite sur ce minéral ferromagnésien en plus d'augmenter la déstabilisation de ce dernier. En effet, la taille des couronnes d'orthopyroxène qui l'entourent augmentent de 50-75% près de la leuconorite. Les proportions d'orthopyroxène croissent également considérablement près des horizons de leuconorite, montrant des pourcentages entre 3 et 10 fois supérieurs à ceux observés dans la péridotite nelsonitique.

Il a également été présumé que les plagioclases ont été la première phase minérale à cristalliser. Cependant, de par la portée restreinte de cette étude, il est difficile de pousser davantage les interprétations. Il est donc recommandé, dans l'optique d'améliorer les conclusions de ce projet, de valider que les observations effectuées sur l'échantillon LAP-2015 sont représentatives de la distribution sur les contacts majeurs du gisement.

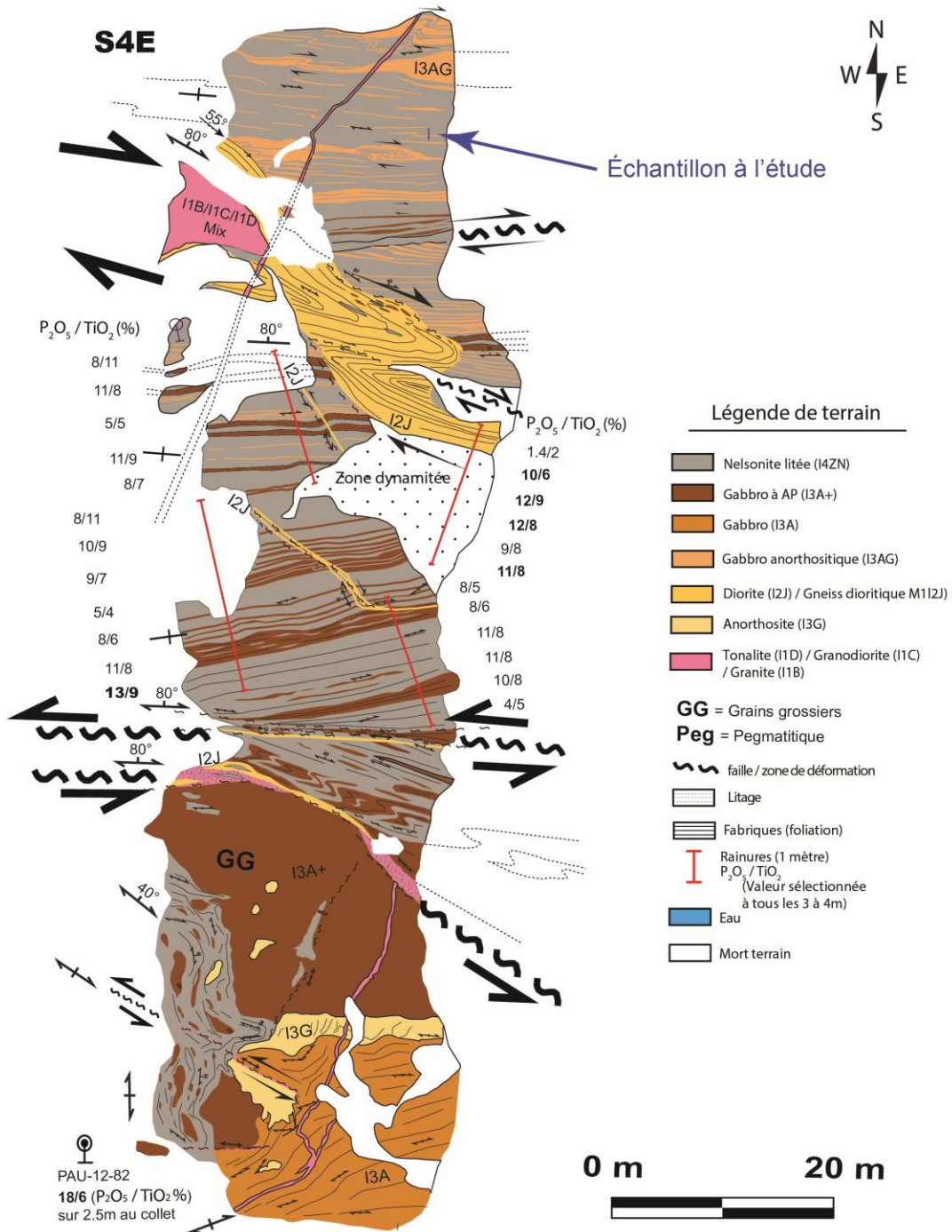
10.0 Références

- CHARLIER, B., NAMUR, O. et DUCHESNE, J.-C. 2015. Cumulate origin and polybaric crystallization of Fe-Ti oxide ores in the Suwalki Anorthosite, Northeastern Poland. *Economic Geology*, vol. 104, pp. 205–221
- CIMON J. et HEBERT C. 1998. Séquences différenciées associées au massif anorthositique de Lac-Saint-Jean, origine, mise en place et implications économiques. Ministère des ressources naturelles. MB 98-09, 24 pages
- DUBÉ, D. et BILODEAU, J. 2015. Étude de faisabilité pour la production de 3 Mtpa de concentré d'apatite à haute pureté – Projet Lac à Paul, Québec, Canada. Sommaire exécutif tiré du rapport technique NI 43-101, 26 pages.
- DUPLESSIS, C. 2009. Technical report: Phosphate and titanium resource estimation of the Lac à Paul property deposit, Saguenay-Lac-St-Jean, Québec, Canada. SGS Geostat Ltd. 126 pages.
- 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 Genville, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec, 304 pages.
- HÉBERT, C., VAN BREEMEN, O. et CADIEUX, A.-M. 2009. Région du réservoir Pipmiacan (SNRC 22E) : Synthèse géologique. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, RG 2009-01, 57 pages.
- KEHLENBECK, M., M. 1972. Deformation textures in the Lac Rouvray Anorthosite Mass. *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 9, pp. 1087-1098.
- NABIL, H. 2003. Genèse des dépôts de Fe-Ti-P associés aux intrusions litées (exemples: l'intrusion mafique de Sept-Iles, au Québec; complexe de Duluth aux États-Unis). Thèse de Ph.D., Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec, 441 pages.
- NAMUR, O., CHARLIER, B., TOPLIS, M. J., HIGGINS, M. D., LIÉGEOIS, J.-P. et VANDER AUWERA, J. 2010. Crystallization sequence and magma chamber processes in the ferrobaltic Sept Iles layered intrusion, Canada. *Journal of petrology*, vol. 51 (6), pp. 1203-1236
- PELLETIER, J.-D., BARNES, S.-J., PAGÉ, P., DARE, S. et GUÉRIN-TREMBLAY, H. (2014) Caractérisation du gisement de P-Ti du Lac à Paul, partie nord de la Suite anorthostique de Lac-Saint-Jean (Québec) : stratigraphie et chimie minérale. Résumé de conférence, Québec Mines 2014. DV 2014-04, pp. 147.
- PELLETIER, J.-D. 2015. Caractérisation du gisement de Fe-Ti-P du Lac à Paul, partie nord de la suite anorthositique du Lac-Saint-Jean (Québec) et comparaison avec d'autres dépôt de Fe-Ti±P associés aux suites anorthositiques. Mémoire de maîtrise (en préparation), Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.
- TURCOTTE, S. 2001. Mise en place de la portion nord-est de la suite anorthositique du Lac Saint-Jean durant un chevauchement Grenvillien. M. Sc. Thèse. Université du Québec à Chicoutimi, Québec, Canada. 225 pages.

Annexe A : Schématisation stratigraphique du gisement de la zone Paul



Annexe B : Cartographie du décapage 4Est avec teneurs moyennes en TiO_2 et P_2O_5



Source : Pelletier, J.-D. (2014)

Annexe C : Synthèse des descriptions pétrographiques de l'échantillon LAP-2015

#LM	Métrage (cm)	Lithologie		Contact	PÉRIDOTITES NELSONITIQUES								
		% Péridotite	% Norite		OL	Alt. OL	AP	Ilm	Mag	Sul	Spl	Bt	Opx (OI)
0S	1	0	100	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0S	2	0	100	OUI	4	0	0	0	0	0	0	0	6
0S	3	98	2	OUI	44	0	22	22,5	4	0,5	2	3	2
0S	4	92	8	OUI	40	Idd. (3)	22	25	10	1	1	0	1
	5												
1S	6	100	0	NON	43	Idd. (5)	30	19	2,9	0,1	3	0	2
1S	7	98	2	OUI	33	Idd. (2)	28	26	8	0,8	0,2	1	3
1S	8	100	0	NON	40	Idd. (3)	32	18	5	1,5	1,5	0,5	1,5
1S	9	99	1	OUI	33	Idd. (3)	24	26	7	2	2	3	3
2S	10	0	100	OUI	3	0	0	0	0	0	0	0	4
2S	11	98	2	OUI	35	Idd. (10)	32	19,7	7	0,3	0,1	0	5,9
2S	12	100	0	NON	29	Idd. (20)	32,5	25	7	0,5	tr.	tr.	6
2S	13	15	85	OUI	9	Idd. (35)	43	29,9	3	0,1	0	0	15
3S	14	0	100	NON	0	Idd. (40)	0	0	0	0	0	0	5
3S	15	95	5	OUI	30	Idd. (30)	37	16	10	0,3	0	4,7	2
3S	16	100	0	NON	32	Idd. (25)	39	18	6	0,5	tr.	3	1,5
3S	17	99,5	0,5	OUI	30	Idd. (8)	32	24	9	1	2,3	0,2	1,5
4S	18	65	35	OUI	38	Srp. (30)	37	16	7	0,1	1	tr.	0,9
4S	19	100	0	NON	40	Srp. (15) + Idd. (4)	30	15	10,2	0,8	3	0,5	0,5
4S	20	100	0	NON	37,5	Srp. (2) + Idd. (3)	30	18	11,7	0,8	1,2	0	0,8
4S	21	100	0	NON	34	Srp. (7)	26	25	12,4	0,3	0,7	1	0,6
5S	22	100	0	NON	40	Srp. (60)	25	15	12	1	5	0,8	1,2
5S	23	99	1	OUI	45	Srp. (15)	25	16,4	11	0,2	1,8	0	0,6
5S	24	99	1	OUI	39	Srp. (10)	26	20	14	1	1,2	0	0,8
5S	25	100	0	NON	40	Srp. (50)	28	17,9	11	1,1	1,5	0	0,5
	26												
6S	27	100	0	NON	42	Srp. (20) + Idd. (5)	26	17	11	0,8	2	tr.	1,2
6S	28	100	0	NON	35	Srp. (35) + Idd. (10)	28	22	10	1	3	0	1
6S	29	95	5	OUI	35	Srp. (15) + Idd. (8)	35	16	8	0,8	4	0	1,2
6S	30	100	0	NON	42	Srp. (7) + Idd. (3)	29	16	9	1,1	2	tr.	0,9
7S	31	60	40	OUI	30	Idd. (65)	40	19	3	0,6	2,4	0	5
7S	32	0	100	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7S	33	0	100	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7S	34	0	100	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8S	35	0	100	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8S	36	0	100	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8S	37	0	100	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8S	38	0	100	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39												
9S	40	0	100	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9S	41	0	100	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9S	42	0	100	OUI	0	Veine Idd. (10)	0	0	0	0	0	0	0
9S	43	100	0	OUI	18	Idd. (60)	44	22	3	0,5	2	tr.	10,5
10S	44	25	75	OUI	40	Srp. (50)	35	13,5	6	0,2	0,3	0	5
10S	45	100	0	NON	30	Srp. (60)	46	15,2	4	0,8	3	0	1
10S	46	100	0	NON	39	Srp. (45)	23	27	8	1	1,5	0	0,5
10S	47	100	0	NON	40	Srp. (20) + Idd. (5)	16	32	6	2	3	0	1
11S	48	100	0	NON	26	Serp. (4) + Idd. (4)	13	28	27	1	3	tr.	2
11S	49	100	0	NON	23	Serp. (4) + Idd. (6)	12	31	25	2	4	0	3
11S	50	100	0	NON	30	Serp. (6) + Idd. (2)	13	28	20	2	2,5	0,5	4
11S	51	100	0	NON	24	Serp. (8)	15	36	16	2	5	0	2

#LM	Métrage (cm)	Lithologie		Contact	LEUCONORITES										
		% Péridotite	% Norite		Plg	Act	Hbl	Cum	Bt	Ap	Ilm	Mag	Opx (Ol)	Sul	Spl
0S	1	0	100	NON	10	12	25	0	20	8	11	0	12	tr.	2
0S	2	0	100	OUI	4	11	24	0	10	25	7,9	0	7	0,1	1
0S	3	98	2	OUI	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0S	4	92	8	OUI	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
	5														
1S	6	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1S	7	98	2	OUI	30	10	55	0	2	3	0	0	0	0	0
1S	8	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1S	9	99	1	OUI	40	0	55	0	5	0	0	0	0	0	0
2S	10	0	100	OUI	7	16,94	16	0	5	27	16	2	3	tr.	0
2S	11	98	2	OUI	30	10	55	0	0	0	3	2	0	0	0
2S	12	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2S	13	15	85	OUI	0	35	15	0	5	32	12	1	0	tr.	0
3S	14	0	100	NON	14	23	16	0	5	31	4,5	0,5	1	tr.	tr.
3S	15	95	5	OUI	0	38	5	0	30	23	3,5	0,5	0	0	0
3S	16	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3S	17	99,5	0,5	OUI	0	0	2	0	3	0	0	0	95	0	0
4S	18	65	35	OUI	40	0	19	3	15	18	4	1	0	tr.	0
4S	19	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4S	20	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4S	21	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5S	22	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5S	23	99	1	OUI	55	0	30	0	15	0	0	0	0	0	0
5S	24	99	1	OUI	70	0	20	0	8	0	0	0	0	0	0
5S	25	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26														
6S	27	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6S	28	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6S	29	95	5	OUI	45	13	20	0	20	0	0	0	0	0	2
6S	30	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7S	31	60	40	OUI	3	15	20	3	12	23	6,5	5	10	tr.	2,5
7S	32	0	100	NON	27	24	10	3	15	11	4	1	5	tr.	tr.
7S	33	0	100	NON	18	0	25	6	8	17	13	0,95	12	tr.	0
7S	34	0	100	NON	41,45	0	13	10	13	11,5	5	0	6	tr.	0
8S	35	0	100	NON	70	0	9	5	7	2,5	3,5	2	1	tr.	0
8S	36	0	100	NON	25	0	19	8	10	17	9	1	11	tr.	0
8S	37	0	100	NON	65	0	8	1	8	4	3	0	10	1	0
8S	38	0	100	NON	60	0	15	6	11	2,5	5	0	0,5	tr.	0
	39														
9S	40	0	100	NON	82	0	4	1	6	4	2,5	0,5	0	tr.	0
9S	41	0	100	NON	37	0	12	6	30	2	10	0	2	1	0
9S	42	0	100	OUI	32	30	9	6	10	8	4,5	0,5	0	tr.	0
9S	43	100	0	OUI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10S	44	25	75	OUI	58	10	10	0	6,95	8	4	1	0	tr.	2
10S	45	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10S	46	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10S	47	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11S	48	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11S	49	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11S	50	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11S	51	100	0	NON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

LAP-4E-N-05		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Ol	21	Cx hypidiomorphe arrondi, fortement craquelé, altéré en Idd, parfois coronitique, inclusions d'Ox et d'Ap + Sul circulaires, entre 0,5 et 3 mm
Ap	19	Cx xénomorphe arrondi, craquelé, fractures altérées en Idd, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, entre 0,2 et 1 mm
Ilm	16	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, entre 0,2 et 0,8 mm
Hbl verte	15	Cx xénomorphe, parfois polygonaux, ≤ 0,2 mm
Bt	8	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, inclusions d'Ox, associé aux fractures majeures, ≤ 0,2 mm
Opx	7	Coronitique : Cx xénomorphe, surtout autour des Ol (couronne réactionnelle), ≤ 0,1 mm ; Ancienne Ol : Cx xénomorphe arrondi, inclusions d'Ox, ≤ 0,8 mm
Act	6	Cx hypidiomorphe à xénomorphe, prismatique allongé, entre 0,2 et 0,8 mm
Plg	4	Porphyroclaste : Cx xénomorphe, altéré en séricite, ext. roulante, Ø inclusion, parfois coronitique (act), entre 1 et 4 mm ; Néoblaste : Cx xénomorphe, parfois polygonal, ≤ 1 mm
Mag	3	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, entre 0,2 et 0,8 mm
Spl	1	Cx xénomorphe, inclusions d'Ox, associé aux Ox interstitiels, ≤ 1,5 mm
Sul	tr.	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,2 mm
Ms	tr.	Cx xénomorphe allongé, ≤ 0,2 mm

LAP-4E-N-1S		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Ol	37	Cx hypidiomorphe arrondi, fortement craquelé, altéré en Idd, parfois coronitique, inclusions d'Ox et d'Ap + Sul circulaires, entre 0,3 et 3 mm
Ap	28	Cx xénomorphe arrondi, craquelé, fractures altérées en Idd, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, entre 0,5 et 1,5 mm
Ilm	22	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, entre 0,3 et 1 mm
Mag	6	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, entre 0,3 et 1 mm
Opx	3	Coronitique : Cx xénomorphe, surtout autour des Ol (couronne réactionnelle), ≤ 0,3 mm
Spl	2	Cx xénomorphe, inclusions d'Ox, associé aux Ox interstitiels, ≤ 1,5 mm
Bt	1	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, altéré en Chl, inclusions d'Ox, associé aux fractures majeures, ≤ 0,2 mm
Sul	1	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,2 mm
Plg	tr.	Cx hypidiomorphe, associé aux horizons discontinus de leuconorite, parfois maclé, altéré en séricite, ≤ 0,1 mm
Act	tr.	Cx hypidiomorphe à xénomorphe, prismatique allongé, entre 0,2 et 0,8 mm
Hbl verte	tr.	Cx xénomorphe, parfois polygonaux, ≤ 0,2 mm

LAP-4E-N-2S		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Ap	31	Cx xénomorphe arrondi, craquelé, fractures altérées en Idd, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, entre 0,3 et 1,5 mm
Ilm	19	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1,2 mm
Ol	17	Cx hypidiomorphe arrondi, fortement craquelé, altéré en Idd, parfois coronitique (opx), inclusions d'Ox et d'Ap + Sul circulaires, entre 0,2 et 4 mm
Act	12	Cx hypidiomorphe à xénomorphe, prismatique allongé, entre 0,2 et 0,8 mm
Hbl verte	7	Cx xénomorphe, parfois polygonaux, ≤ 0,2 mm
Opx	5	Coronitique : Cx xénomorphe, surtout autour des Ol (couronne réactionnelle), ≤ 0,4 mm ; Ancienne Ol : Cx xénomorphe arrondi, inclusions d'Ox, ≤ 0,8 mm
Mag	4	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1,2 mm
Bt	3	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, altéré en Chl, inclusions d'Ox, associé aux fractures majeures, ≤ 0,2 mm
Plg	2	Porphyroclaste : Cx xénomorphe, altéré en séricite, ext. roulante, Ø inclusion, parfois coronitique (act), entre 1 et 4 mm ; Néoblaste : Cx xénomorphe, parfois polygonal, ≤ 1 mm
Sul	tr.	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,1 mm
Spl	tr.	Cx xénomorphe, inclusions d'Ox, associé aux Ox interstitiels, ≤ 1,5 mm
Ms	tr.	Cx xénomorphe allongé, ≤ 0,2 mm

LAP-4E-N-3S		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Ap	35	Cx xénomorphe arrondi, craquelé, fractures altérées en Idd, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, entre 0,1 et 2 mm
Ol	23	Cx hypidiomorphe arrondi, fortement craquelé, altéré en Idd, parfois coronitique (opx), inclusions d'Ox et d'Ap + Sul circulaires, entre 0,1 et 4 mm
Ilm	15	Cx xénomorphe en amas interstitiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1 mm
Mag	6	Cx xénomorphe en amas interstitiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1 mm
Act	6	Cx hypidiomorphe à xénomorphe, prismatique allongé, entre 0,2 et 0,6 mm
Bt	4	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, altéré en Chl, inclusions d'Ox, associé aux fractures majeures, ≤ 0,2 mm
Plg	4	Porphyroclaste : Cx xénomorphe, altéré en séricite, ext. roulante, Ø inclusion, parfois coronitique (act), entre 0,5 et 4 mm ; Néoblaste : Cx xénomorphe, parfois polygonal, ≤ 1 mm
Hbl verte	4	Cx xénomorphe, parfois polygonaux, ≤ 0,2 mm
Opx	3	Coronitique : Cx xénomorphe, surtout autour des Ol (couronne réactionnelle), ≤ 0,1 mm ; Ancienne Ol : Cx xénomorphe arrondi, inclusions d'Ox, ≤ 0,8 mm
Sul	tr.	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,7 mm
Spl	tr.	Cx xénomorphe, fracturé, associé aux Ox interstitiels, ≤ 1,1 mm
Ms	tr.	Cx xénomorphe allongé, ≤ 0,2 mm

LAP-4E-N-4S		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Ol	34	Cx hypidiomorphe arrondi, fortement craquelé, altéré en Srp, parfois coronitique (opx), inclusions d'Ox et d'Ap + Sul circulaires, entre 0,3 et 4 mm
Ap	29	Cx xénomorphe arrondi, craquelé, fractures altérées en Srp, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, entre 0,1 et 2 mm
Ilm	17	Cx xénomorphe en amas interstitiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1 mm
Mag	10	Cx xénomorphe en amas interstitiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1 mm
Plg	4	Porphyroclaste : Cx xénomorphe, altéré en séricite, ext. roulante, Ø inclusion, parfois coronitique (act), entre 0,5 et 4 mm ; Néoblaste : Cx xénomorphe, parfois polygonal, ≤ 1 mm
Hbl verte	3	Cx xénomorphe, parfois polygonaux, ≤ 0,2 mm
Bt	2	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, altéré en Chl, inclusions d'Ox, associé aux fractures majeures, ≤ 0,2 mm
Spl	1	Cx xénomorphe, fracturé, associé aux Ox interstitiels, ≤ 1,5 mm
Opx	tr.	Coronitique : Cx xénomorphe, surtout autour des Ol (couronne réactionnelle), ≤ 0,1 mm
Sul	tr.	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,7 mm
Cum	tr.	Cx xénomorphe, ≤ 0,3 mm
Ms	tr.	Cx xénomorphe allongé, ≤ 0,2 mm

LAP-4E-N-5S		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Ol	41	Cx hypidiomorphe arrondi, fortement craquelé, altéré en Srp (Idd en tr.), parfois coronitique (opx), inclusions d'Ox et d'Ap + Sul circulaires, entre 0,2 et 4 mm
Ap	26	Cx xénomorphe arrondi, craquelé, fractures altérées en Srp, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, ≤ 1,1 mm
Ilm	17	Cx xénomorphe en amas interstitiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1,2 mm
Mag	12	Cx xénomorphe en amas interstitiel polygonal avec parfois des jonctions triples, exsoln d'Ilm, Ø inclusion, ≤ 1,2 mm
Spl	2	Cx xénomorphe, fracturé, associé aux Ox interstitiels, ≤ 1,5 mm
Sul	1	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,2 mm
Opx	1	Coronitique : Cx xénomorphe, surtout autour des Ol (couronne réactionnelle), ≤ 0,3 mm
Plg	tr.	Cx hypidiomorphe, associé aux horizons discontinus de leuconorite, parfois maclé, altéré en séricite, ≤ 0,1 mm
Hbl verte	tr.	Cx xénomorphe, parfois polygonaux, ≤ 0,2 mm
Bt	tr.	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, altéré en Chl, inclusions d'Ox, associé aux fractures majeures, ≤ 0,1 mm

LAP-4E-N-6S		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Ol	38	Cx hypidiomorphe arrondi, fortement craquelé, altéré en Srp (Idd en tr.), parfois coronitique (opx), inclusions d'Ox et d'Ap + Sul circulaires, ≤ 2,5 mm
Ap	29	Cx xénomorphe arrondi, craquelé, fractures altérées en Srp, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, ≤ 1,5 mm
Ilm	18	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1,3 mm
Mag	10	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, exsoln d'Ilm, Ø inclusion, ≤ 1,3 mm
Spl	3	Cx xénomorphe, fracturé, associé aux Ox interstitiels, ≤ 1,1 mm
Sul	1	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,2 mm
Opx	1	Coronitique : Cx xénomorphe, surtout autour des Ol (couronne réactionnelle), ≤ 0,1 mm ; Ancienne Ol : Cx xénomorphe arrondi, inclusions d'Ox, ≤ 0,8 mm
Plg	tr.	Cx hypidiomorphe, associé aux horizons discontinus de leuconorite, parfois maclé, altéré en séricite, ≤ 0,1 mm
Hbl verte	tr.	Cx xénomorphe, parfois polygonaux, ≤ 0,2 mm
Bt	tr.	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, altéré en Chl, inclusions d'Ox, associé aux fractures majeures, ≤ 0,1 mm
Act	tr.	Cx hypidiomorphe à xénomorphe, prismatique allongé, entre 0,2 et 0,6 mm
Ms	tr.	Cx xénomorphe allongé, ≤ 0,2 mm

LAP-4E-N-7S		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Plg	22	Porphyroclaste : Cx xénomorphe, altéré en séricite, ext. roulante, Ø inclusion, macles biseautées, parfois coronitique (act), entre 1 et 5 mm ; Néoblaste : Cx xénomorphe, parfois polygonal, ≤ 1 mm
Ap	18	Cx xénomorphe arrondi, craquelé, fractures altérées en Idd, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, ≤ 2 mm
Hbl verte	14	Cx xénomorphe, parfois polygonaux, ≤ 0,2 mm
Bt	11	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, altéré en Chl, inclusions d'Ox, ≤ 3 mm
Ilm	9	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1,3 mm
Opx	8	Coronitique : Cx xénomorphe, surtout autour des Ol (couronne réactionnelle), ≤ 0,4 mm ; Ancienne Ol : Cx xénomorphe arrondi, inclusions d'Ox, ≤ 0,8 mm
Act	7	Cx hypidiomorphe à xénomorphe, prismatique allongé, entre 0,2 et 0,6 mm
Ol	5	Cx hypidiomorphe arrondi, fortement craquelé, altéré en Idd, parfois coronitique (opx), inclusions d'Ox et d'Ap + Sul circulaires, ≤ 3 mm
Cum	5	Cx xénomorphe, ≤ 0,3 mm
Mag	1	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, exsoln d'Ilm, Ø inclusion, ≤ 1,3 mm
Sul	tr.	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,2 mm
Spl	tr.	Cx xénomorphe, fracturé, associé aux Ox interstitiels, ≤ 1,5 mm
Ms	tr.	Cx xénomorphe allongé, ≤ 0,2 mm

LAP-4E-N-8S		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Plg	54	Porphyroclaste : Cx xénomorphe, altéré en séricite, ext. roulante, Ø inclusion, macles biseautées, parfois coronitique (act), entre 1 et 7 mm ; Néoblaste : Cx xénomorphe, parfois polygonal, ≤ 1 mm
Hbl verte	13	Cx xénomorphe, parfois polygonaux, ≤ 0,2 mm
Bt	9	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, couronnes autour des Ox, inclusions d'Ox, ≤ 3 mm
Ap	7	Cx xénomorphe arrondi, quelques cx idiomorphes disséminés, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, ≤ 2 mm
Opx	6	Ancienne Ol : Cx xénomorphe arrondi, inclusions d'Ox, ≤ 0,8 mm
Ilm	5	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 0,9 mm
Cum	5	Cx xénomorphe, ≤ 0,3 mm
Mag	1	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 0,8 mm
Sul	tr.	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,2 mm
Ms	tr.	Cx xénomorphe allongé, ≤ 0,2 mm

LAP-4E-N-9S		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Plg	39	Porphyroclaste : Cx xénomorphe, altéré en séricite, ext. roulante, Ø inclusion, macles biseautées, parfois coronitique (act), entre 1 et 7 mm ; Néoblaste : Cx xénomorphe, parfois polygonal, ≤ 1 mm
Ap	14	Cx xénomorphe arrondi, craquelé, fractures altérées en Idd, quelques cx idiomorphes disséminés, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, ≤ 1 mm
Bt	11	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, altéré en Chl, couronnes autour des Ox, inclusions d'Ox, ≤ 3 mm
Ilm	10	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 0,9 mm
Act	8	Cx hypidiomorphe à xénomorphe, prismatique allongé, entre 0,2 et 0,6 mm
Hbl verte	6	Cx xénomorphe, parfois polygonaux, ≤ 0,2 mm
Ol	5	Cx hypidiomorphe arrondi, fortement craquelé, altéré en Idd, parfois coronitique (opx), inclusions d'Ox et d'Ap + Sul circulaires, ≤ 2 mm
Opx	3	Coronitique : Cx xénomorphe, surtout autour des Ol (couronne réactionnelle), ≤ 0,1 mm
Cum	3	Cx xénomorphe, ≤ 0,3 mm
Mag	1	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 0,9 mm
Sul	tr.	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,2 mm
Spl	tr.	Cx xénomorphe, fracturé, associé aux Ox interstitiels, ≤ 1,5 mm
Ms	tr.	Cx xénomorphe allongé, ≤ 0,2 mm

LAP-4E-N-10S		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Ol	30	Cx hypidiomorphe arrondi, fortement craquelé, altéré en Srp, parfois coronitique (opx), inclusions d'Ox et d'Ap + Sul circulaires, ≤ 4 mm
Ap	25	Cx xénomorphe arrondi, craquelé, fractures altérées en Srp, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, ≤ 1,1 mm
Ilm	20	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1 mm
Plg	11	Porphyroclaste : Cx xénomorphe, altéré en séricite, ext. roulante, Ø inclusion, macles biseautées, parfois coronitique (act), entre 1 et 7 mm ; Néoblaste : Cx xénomorphe, parfois polygonal, ≤ 1 mm
Mag	5	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 0,9 mm
Act	2	Cx hypidiomorphe à xénomorphe, prismatique allongé, entre 0,2 et 0,6 mm
Hbl verte	2	Cx xénomorphe, parfois polygonaux, ≤ 0,2 mm
Spl	2	Cx xénomorphe, fracturé, associé aux Ox interstitiels, ≤ 1 mm
Sul	1	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,2 mm
Bt	1	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, altéré en Chl, couronnes autour des Ox, inclusions d'Ox, ≤ 0,5 mm
Opx	1	Coronitique : Cx xénomorphe, surtout autour des Ol (couronne réactionnelle), ≤ 0,1 mm
Ms	tr.	Cx xénomorphe allongé, ≤ 0,2 mm

LAP-4E-N-11S		
Description pétrographique microscopique		
Minéraux	%	Texture(s)
Ilm	31	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1,5 mm
Ol	25	Cx hypidiomorphe arrondi, fortement craquelé, altéré en Srp (Idd en tr.), parfois coronitique (opx), inclusions d'Ox et d'Ap + Sul circulaires, ≤ 4 mm
Mag	22	Cx xénomorphe en amas intersticiel polygonal avec parfois des jonctions triples, Ø inclusion, ≤ 1,5 mm
Ap	13	Cx xénomorphe arrondi, craquelé, fractures altérées en Srp, inclusions d'Ox + Sul circulaire, ext. roulante, ≤ 1 mm
Spl	4	Cx xénomorphe, fracturé, associé aux Ox interstitiels, ≤ 2 mm
Opx	3	Coronitique : Cx xénomorphe, surtout autour des Ol (couronne réactionnelle), ≤ 0,1 mm
Sul	2	Cx xénomorphe de Po avec exsoln de Pn, associé à de la Ccp, en inclusion dans les Ol + Ap ou associé aux Ox interstitiels, ≤ 0,2 mm
Bt	tr.	Cx hypidiomorphes, clivages {001} courbés, couronnes autour des Ox, inclusions d'Ox, ≤ 0,3 mm