

CARTOGRAPHIE ET DESCRIPTION PÉTROGRAPHIQUE DU DÉCAPAGE DEC-
PAU-14-10 D'ARIANNE PHOSPHATE

Par :

Patrice Rioux

Mémoire présenté dans le cadre du cours

Projet de fin d'études

(6GLG604)

Table des matières

Liste des figures	Error! Bookmark not defined.
Résumé	iv
Remerciements	v
Liste des abréviations et symboles	vi
1 - Introduction	1
2 - Problématique	1
3 - Localisation	1
4 - Géologie	2
4.1 Géologie régionale	2
4.2 Géologie de la propriété et du gisement	3
5 - Méthodologie	5
5.1 Décapage	5
5.2 Prise d'échantillons	5
5.3 Préparation des échantillons	5
5.4 Cartographie	5
5.5 Descriptions pétrographiques	5
5.6 Descriptions mégascopiques	5
5.7 Descriptions microscopiques	6
6 - Descriptions pétrographiques	6
6.1 Lithologie 1: Gabbro à amphibole et apatite	6
6.2 Lithologie 2 : Orthopyroxénite nelsonitique	9
6.3 Lithologie 3 : Domaine nelsonitique	11
6.3.1 Lithologie : Les péridotites nelsonitiques massives	11
6.3.2 Lithologie : Les péridotites nelsonitiques litées	13
6.3.4 : Grab-9	16
6.4 Lithologie 4 : Oxydes massifs	19
7 – Discussion	21
8 - Conclusions et recommandation	24
9 - Références	25

Annexe 1	26
<i>Synthèse pétrographique</i>	26
Descriptions mégascopiques	26
Description microscopique	29
Annexe 2	35
<i>Localisation des échantillons</i>	35
Annexe 3	39
<i>Classification des échantillons</i>	39

Liste des figures

FIGURE 1: LOCALISATION DE LA PROPRIÉTÉ DU LAC À PAUL DE ARIANNE PHOSPHATE. ACCESSIBILITÉ AU SITE À PARTIR DE SAINT-LUDGER-DE-MILOT PAR LE CHEMIN DES PASSES.	2
FIGURE 2: CARTE GÉOLOGIQUE DE LA PROPRIÉTÉ DU LAC À PAUL MONTRANT LES PRINCIPAUX DÉPÔTS DE FE-TI-P DONT CELUI DE LA ZONE PAUL.	3
FIGURE 3: CARTE GÉOLOGIQUE DE LA ZONE PAUL MONTRANT L'EXTENSION OUEST EN ÉVIDENCE. (TIRÉE DE ZONE PAUL ET SES ENCAISSANTS (PELLETIER, 2015)).....	4
FIGURE 4: MÉGA-03, ÉCHANTILLON MÉGASCOPIQUE DU GABBRO À AMPHIBOLE ET APATITE MONTRANT LA PRÉSENCE DE PHÉNOCRISTAUX DE PLAGIOCLASE ET LES HORIZONS RICHES EN MINÉRAUX FERROMAGNÉSIENS DÉCRIVANT DES BANDES ANASTOMOSÉES.	7
FIGURE 5: MICROPHOTOGRAPHIE EN LUMIÈRE NATURELLE (GRAB 3) : TEXTURE GRANOLÉPIDOBLASTIQUE	8
FIGURE 6: MICROPHOTOGRAPHIE EN LUMIÈRE NATURELLE (GRAB 3) : PORPHYROCLASTE DE PLAGIOCLASE	8
FIGURE 7: MICROPHOTOGRAPHIE EN LUMIÈRE NATURELLE (GRAB 3) : RELIQUE D'ORTHOPYROXÈNE.....	8
FIGURE 8 : ORTHOPYROXÉNITE NELSONITIQUE (MÉGA 4).....	10
FIGURE 9 : MICROPHOTOGRAPHIE EN LUMIÈRE NATURELLE (GRAB 4) : PRÉSENCE MAJEURE DES GRAINS D'OPX AVEC UN INTERCUMULAT D'OXYDES ET D'APATITE.....	10
FIGURE 10:PÉRIDOTITE NELSONITIQUE MASSIVE (MÉGA-05)	11
FIGURE 11: MICROPHOTOGRAPHIE EN LUMIÈRE NATURELLE ET POLARISÉE DE LA PÉRIDOTITE NELSONITIQUE MASSIVE	13
FIGURE 12: PÉRIDOTITE NELSONITIQUE LITÉE (MÉGA-07 ET MÉGA-08).	14
FIGURE 13: MICROPHOTOGRAPHIE DE LA PÉRIDOTITE NELSONITIQUE LITÉE (GRAB 7) : TEXTURE DE CUMULAT D'OLIVINE ET APATITE À INTERCUMULAT D'OXYDES.....	15
FIGURE 14: MICROPHOTOGRAPHIE DE LA PÉRIDOTITE NELSONITIQUE LITÉE (GRAB 7) : GLOMÉROPORPHYROBLASTES D'AMPHIBOLE ENTRECOURPÉS D'HORIZONS À APATITE ET OXYDES DE FE-TI.	16
FIGURE 15: GRAB 9 : ÉCHANTILLON MÉGASCOPIQUE PROVENANT DE LA SECTION NORD DU DOMAINE DES PÉRIDOTITIQUES NELSONITIQUES.	17
FIGURE 16: MICROPHOTOGRAPHIE EN LUMIÈRE POLARISÉE DE GRAB 9 MONTRANT LA PRÉSENCE D'OPX, OLIVINE, OXYDES ET APATITE DANS LE MÊME DOMAINE.	18
FIGURE 17: MICROPHOTOGRAPHIE EN LUMIÈRE NATURELLE. PORPHYROCLASTE DE PLAGIOCLASE BORDÉ D'HORIZONS RICHES EN AMPHIBOLE (VERTE) ET EN APATITE.	19

FIGURE 18: MICROPHOTOGRAPHIE EN LUMIÈRE POLARISÉE. ASSEMBLAGE MINÉRALOGIQUE COMPOSÉ DE PLAGIOCLASE, AMPHIBOLE ET APATITE.	19
FIGURE 19: OXYDES MASSIFS (MÉGA-10). ÉCHANTILLON PROVENANT DE LA PARTIE NORD DU DÉCAPAGE	19
FIGURE 21: MICROPHOTOGRAPHIE EN LUMIÈRE RÉFLÉCHIE (GRAB 10) : ASSEMBLAGE DE GRAINS POLYGONAUX DE MAGNÉTITE ET D'ILMÉNITE FORMANT DES JONCTIONS TRIPLES ET DES CONTACTS RECTILIGNES.....	20
FIGURE 20 : MICROPHOTOGRAPHIE EN LUMIÈRE RÉFLÉCHIE (GRAB 10) : SYMPLECTITE DE MAGNÉTITE À LA BORDURE D'UNE OLIVINE GROSSIÈRE ($\leq 8\text{MM}$).	20
FIGURE 22: CARTOGRAPHIE DU DÉCAPAGE, DEC-PAU-14-10.	21
FIGURE 23: COUPE STRATIGRAPHIQUE SCHÉMATISÉE DU DÉCAPAGE DEC-PAU-14-10 D'ARIANNE PHOSPHATE.....	22
FIGURE 25: ÉVOLUTION DU % DE P2O5 LE LONG DU DÉCAPAGE DU SUD VERS LE NORD.....	23
FIGURE 24: ÉVOLUTION DU % DE TIO2 LE LONG DU DÉCAPAGE DU SUD VERS LE NORD.	23
FIGURE 26: COUPE STRATIGRAPHIQUE IDÉALISÉE DU DÉCAPAGE, DEC-PAU-14-10.	24

Résumé

Ce projet de fin d'études a pour but la réalisation d'une cartographie de détail ainsi qu'une description pétrographique macroscopique et microscopique du décapage DEC-PAU-14-10 d'Arianne Phosphate situé dans l'extension OUEST de la Zone Paul, principale zone minéralisée du dépôt de Fe-Ti-P du Lac à Paul. Afin de représenter de façon précise le décapage, une cartographie de détail ainsi qu'une étude pétrographique visant à caractériser les échantillons et apporter une nomenclature précise permettant dans le cas échéant de modifier l'appellation des lithologies est présentée. Pour réaliser ce projet, 10 échantillons mégascopiques ont été prélevés et 10 lames minces polies ont été produites à partir de ces mêmes échantillons provenant du décapage DEC-PAU-14-10.

Le dépôt de Fe-Ti-P d'Arianne Phosphate se trouve à environ 200 kilomètres de la ville de Saguenay et à une trentaine de kilomètres de la centrale hydroélectrique de Chutes-des-Passes. La propriété d'Arianne Phosphate se trouve dans la partie centrale de la province du Grenville, plus précisément dans la partie NE de la suite anorthositique du Lac-Saint-Jean. La Zone Paul, majoritairement représentée par des horizons ultramafiques à mafiques, est souvent très riche en oxydes de Fe-Ti et en apatite ce qui lui confère un intérêt économique. Le tout est encaissé dans les massifs anorthositiques qui bordent la zone.

Afin de représenter de façon précise le décapage, la cartographie de détail combinée à l'étude pétrographique ont permis de classer les échantillons selon 5 faciès différents : 1) les gabbros à amphibole et apatite; 2) l'orthopyroxénite nelsonitique; 3) les péridotites nelsonitiques : litées et massives incluant un échantillon représentant possiblement un faciès de série marginal; 4) les oxydes massifs; et 5) le gabbro stérile. Les roches nelsonitiques ont été interprétées comme un seul domaine, celui des péridotites nelsonitiques afin de simplifier la carte vue l'absence de contact net entre les unités. On observe à la base du domaine nelsonitique, des péridotites nelsonitiques, près du contact avec les oxydes massifs, mais la roche contient non seulement les minéraux typiques des péridotites mais également du plagioclase et de l'orthopyroxène et constitue possiblement la base de la séquence et pourrait représenter un faciès de série marginale.

Remerciements

Je remercie premièrement les membres de la Chaire de recherche du Canada en Métallogénie magmatique, plus précisément mon superviseur de projet Monsieur Philippe Pagé et Madame Sarah-Jane Barnes. Philippe Pagé s'est montré très patient et disponible tout au long de mon projet et a amené divers arguments afin d'améliorer cette étude et l'application de mes connaissances.

Je remercie également la compagnie Arianne Phosphate d'avoir permis la réalisation du projet.

Je tiens grandement à remercier un géologue et ami Hugues Guérin Tremblay qui en connaissance de cause du projet m'a permis de profiter de son expertise et de son savoir.

J'aimerais remercier tout le corps professoral du département des Science de la Terre qui ont répondu à mes questions et qui ont partagé leurs connaissances tout au long de mes études.

En terminant, je remercie aussi ma famille et mes amis qui ont cru en moi ainsi que les futurs géologues que j'ai eu la chance de côtoyer durant les trois dernières années.

Liste des abréviations et symboles

% : Pourcent

± : Plus ou moins

< : Plus petit que...

> : Plus grand que...

≤ : Plus petit ou égal à...

≥ : Plus grand ou égal à...

Am: Amphibole

AMCG: Anorthosite-mangérite-charnockite-granite

Ap : Apatite

Aug : Augite

Bt : Biotite

cm : Centimètre

Cpx : Clinopyroxène

Cum : Cummingtonite

E : Est

Ech : Échantillon

Fe : Fer

Hbl : Hornblende

Ilm : Ilménite

km : Kilomètre

Mag : Magnétite

m : Mètre

mm : Millimètre

N : Nord

O: Ouest

Ol: Olivine

Opx: Orthopyroxène

Ox: Oxyde

P: Phosphore

Pl: Plagioclase

Pn: Pendlantite

Po: Pyrrhotite

Px: Pyroxène

S : Sud

SALSJ : Suite anorthositique du Lac Saint-Jean

Spl : Spinelle

SNRC : Système national de référence cartographique

Sp : Serpentine

Ti : Titane

UQAC : Université du Québec à Chicoutimi

µm : Micromètre

1 - Introduction

Cette étude comprend un volet "cartographie" et un volet "descriptions pétrographiques" qui visent à caractériser les échantillons du décapage DEC-PAU-14-10 effectué lors de la campagne de terrain à l'été 2014. Ce décapage se trouve à l'extrémité OUEST de la Zone Paul, principale zone d'intérêt économique du dépôt de Fe-Ti-P du Lac à Paul (Feuillet SNRC 22E15 et 22E10) appartenant à Ariane Phosphate.

La société a été fondée en 1997 sous le nom de Ressources d'Ariane inc. comme compagnie junior d'exploration. Depuis 2003, la compagnie déploie la grande majorité de son énergie sur le projet du Lac à Paul dans la région du Saguenay Lac-Saint-Jean. Cette zone riche en phosphore et titane a suscité un intérêt particulier en 2008 engendré par la croissance rapide du prix des minéraux et la demande grandissante en phosphore. Suite à de nombreux travaux de surface et de forages, la compagnie a sorti en 2012 une étude de faisabilité avec un potentiel minéral d'exploitation de 10 ans. En octobre 2013, Ariane Phosphate a publié son étude de faisabilité avec une espérance de vie de 25 ans pour la mine. Depuis ce temps, Ariane Phosphate se trouve avec un projet de mine à ciel ouvert sur plus de 25 ans d'espérance de vie avec une capacité de sortir le minerai estimée à 55 000 tonnes de minerai par jour.

Ce projet de fin d'études a été réalisé pour déterminer l'organisation et la distribution des différentes lithologies présentes, définir une nomenclature appropriée des roches prélevées sur le décapage DEC-PAU-14-10 et vérifier la présence de variations latérales (E-O) dans la zone économique.

2 - Problématique

Ce projet de fin d'études a pour but de cartographier et de caractériser une suite d'échantillons prélevés sur le décapage DEC-PAU-14-10. Ce décapage représente l'extension OUEST du gisement principal de la Zone Paul, principale zone minéralisée des dépôts en Fe-Ti-P du secteur Lac à Paul. La cartographie sera complétée par une description exhaustive de 10 échantillons mégascopiques ainsi que de 10 lames minces provenant des échantillons mégascopiques. Par la suite, ces observations seront reportées sur une coupe stratigraphique et comparées aux teneurs en P_2O_5 et TiO_2 provenant de la base de données d'Ariane Phosphate. Cette comparaison permettra de valider les observations tirées des descriptions pétrographiques.

3 - Localisation

Le projet du Lac à Paul d'Ariane Phosphate se situe à environ 200 km au nord de la ville de Saguenay, dans la région du Saguenay Lac-St-Jean, Québec, Canada, dans les feuillets SNRC 22E15 et 22E10. La propriété d'Ariane Phosphate comprend plus de 500 *claims* qui représentent une superficie évaluée à plus de 27 000 hectares, soit plus de 270 km². L'accès à la propriété se fait en empruntant les 166 km de chemins forestiers appelé le "Chemin des passes" à partir du parc industriel de Saint-Ludger-de-Milot. La route

permet aussi l'accès aux barrages Péribonka IV d'Hydro Québec et Chute-des-Passes de Rio Tinto Alcan.



Figure 1: Localisation de la propriété du Lac à Paul d'Arianne Phosphate. Accessibilité au site à partir de Saint-Ludger-de-Milot par le Chemin des passes, (tiré de WSP. 2014).

4 - Géologie

4.1 Géologie régionale

La suite anorthositique du Lac-Saint-Jean (SALSJ), se situe dans la partie centrale de la province du Grenville (Turcotte, 2001) avec une superficie d'environ 20 000 km² (Fredette, 2006). Elle regroupe une série de lobes coalescents caractérisés par l'anorthosite et une gamme variée de lithologie dans lesquelles on retrouve des gabbros, des norites, des troctolites, des anorthosites, des pyroxénites, des dunités et des péridotites (Cimon et Hébert, 1998; Turcotte, 2001). On y retrouve aussi d'autres types de roches associées à des intrusions qui caractérisent la séquence AMCG (anorthosite-mangérite-charnokite-granite) (Higgins et Van Breeman, 1996). Trois événements majeurs associés à la convergence tectonique de l'orogénie Grenvillienne ont entraîné une déformation de l'anorthosite précambrienne de la portion SUD (Hébert et al, 1998; Turcotte, 2001). La première déformation D1, représente la plus ancienne déformation associée au chevauchement Grenvillien, orientée pratiquement E-O dans laquelle une déformation D2 s'est superposée. Cette fabrique D1 a subi un raccourcissement et un décrochement D2, qui a formé un couloir de déformation important NE-SW à mouvement oblique et inverse dextre observé par la présence de linéaments NE-SW (Turcotte, 2001). Cette séquence isole d'immenses

blocs plurikilométriques qui ont conservé les traces de la fabrique E-O de D1. La déformation D3 correspond à un mouvement de décrochement en échelons qui a occasionné des failles ductiles-fragiles de directions N-S à NNE-SSW.

4.2 Géologie de la propriété et du gisement

Les roches de la propriété du Lac à Paul sont généralement d'âge Protérozoïque et font parties de la SASLJ. Ces roches appartiennent à une série de lobes coalescents caractérisés par l'anorthosite selon la cartographie du Ministère des Ressources Naturelles (Hébert et Beaumier, 2000). On retrouve au sein de ces lobes, une série de lithologies mafiques: anorthosite, leuconorite, norite, gabbronorite, gabbro à olivine ainsi qu'une séquence ultramafique avec les pyroxénites, les péridotites, les dunites et des roches à oxydes de Fe-Ti (Hébert et Beaumier, 2000). Pour plus de détails sur les épisodes de mise en place, le document RG 99-05 de Hébert et Beaumier, 2000 sera vous informer.

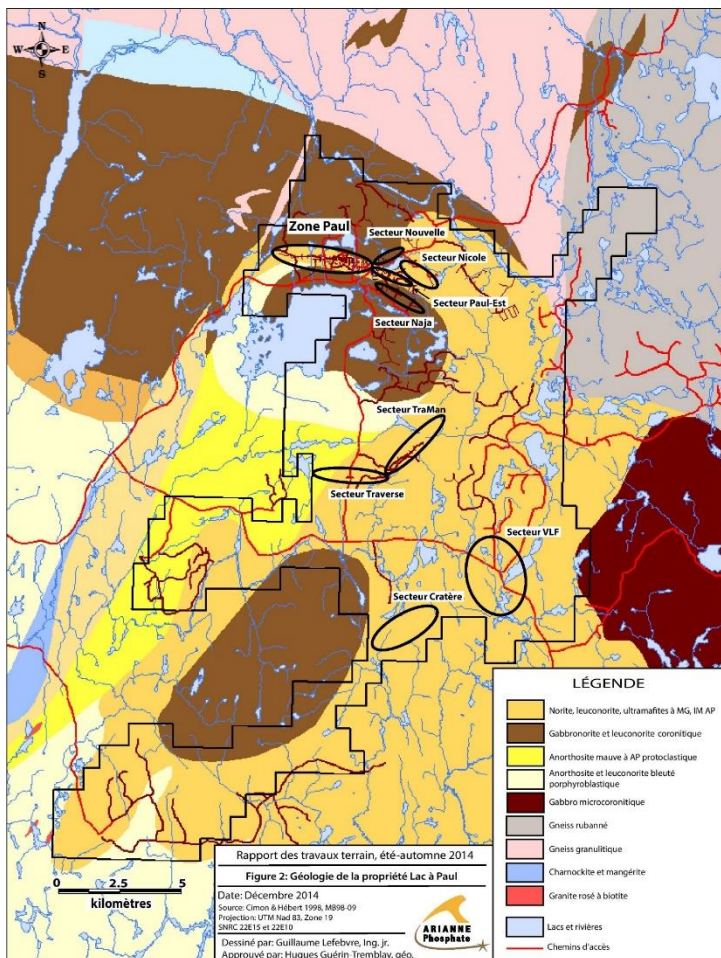


Figure 2: Carte géologique de la propriété du Lac à Paul montrant les principaux dépôts de Fe-Ti-P dont celui de la Zone Paul. (Tirée de www.arianne-inc.com/fr/projet-minier/geologie)

La propriété détenue par la compagnie Ariane Phosphate se trouve dans la partie NE de la SASLJ. La propriété du Lac à Paul est l'hôte de plusieurs secteurs qui ont montré une minéralisation en apatite. La zone Paul, qui se trouve au NORD de la propriété, constitue la principale zone d'intérêt économique pour la compagnie. Elle correspond à un assemblage intrusif de roches mafiques : leuconorite, norite, gabbronorite et d'ultramafites à ilménite, magnétite et apatite (Simon et Hébert, 1998). Le gisement se présente sous la forme d'une lentille stratiforme de direction plus ou moins EST-OUEST. Le gisement est bordé d'un contact au NORD par une zone à gabbro anorthositique avec une minéralisation en apatite et au SUD par un mélange de gabbro et de nelsonite. La nelsonite du gisement, qui se présente sous forme de lentilles, est orientée de façon EST-OUEST. Les lentilles sont

généralement à pendages abruptes (70-85°) dans la majeure partie du gisement et se soulèvent quelque peu dans la partie OUEST adoptant un pendage d'environ 45 degrés. La lentille minéralisée traverse le gisement sur toute la longueur et présente une variation dans

son épaisseur allant de 10 m à 300 m selon une coupe EST-OUEST. Les échantillons fournis par Ariane Phosphate proviennent de l'extension OUEST du gisement. Les échantillons ont pratiquement tous montré un enrichissement en apatite et en oxydes de Fe-Ti mis à part le gabbro situé au NORD du décapage DEC-PAU-14-10. La nelsonite est la roche recherchée pour ses hautes teneurs en phosphore, elle est composée de grains d'ilménite, de magnétite et d'apatite avec un maximum de 5 % de matériel silicaté comme les pyroxènes et l'olivine (Nabil, 2003).

D'après les échantillons fournis par Ariane Phosphate provenant du décapage DEC-PAU-14-10, aucun des échantillons ne correspond à la définition d'une nelsonite. On n'y observe dans les échantillons des compositions beaucoup trop élevées en matériel silicaté pour convenir adéquatement à la nelsonite typique. Les observations effectuées sur les échantillons ont permis de diviser le décapage en 5 grandes lithologies du SUD au NORD : les gabbros à amphibole et apatite, l'orthopyroxénite nelsonitique, les péridotites nelsonitiques litées et massives, les oxydes massifs et les gabbros stériles. À l'extrémité NORD de la péridotite nelsonitique on retrouve l'échantillon Grab 9 (voir annexe 2), qui semble correspondre aux caractéristiques d'une série marginale comme l'on retrouve dans les grandes intrusions litées (voir plus loin).

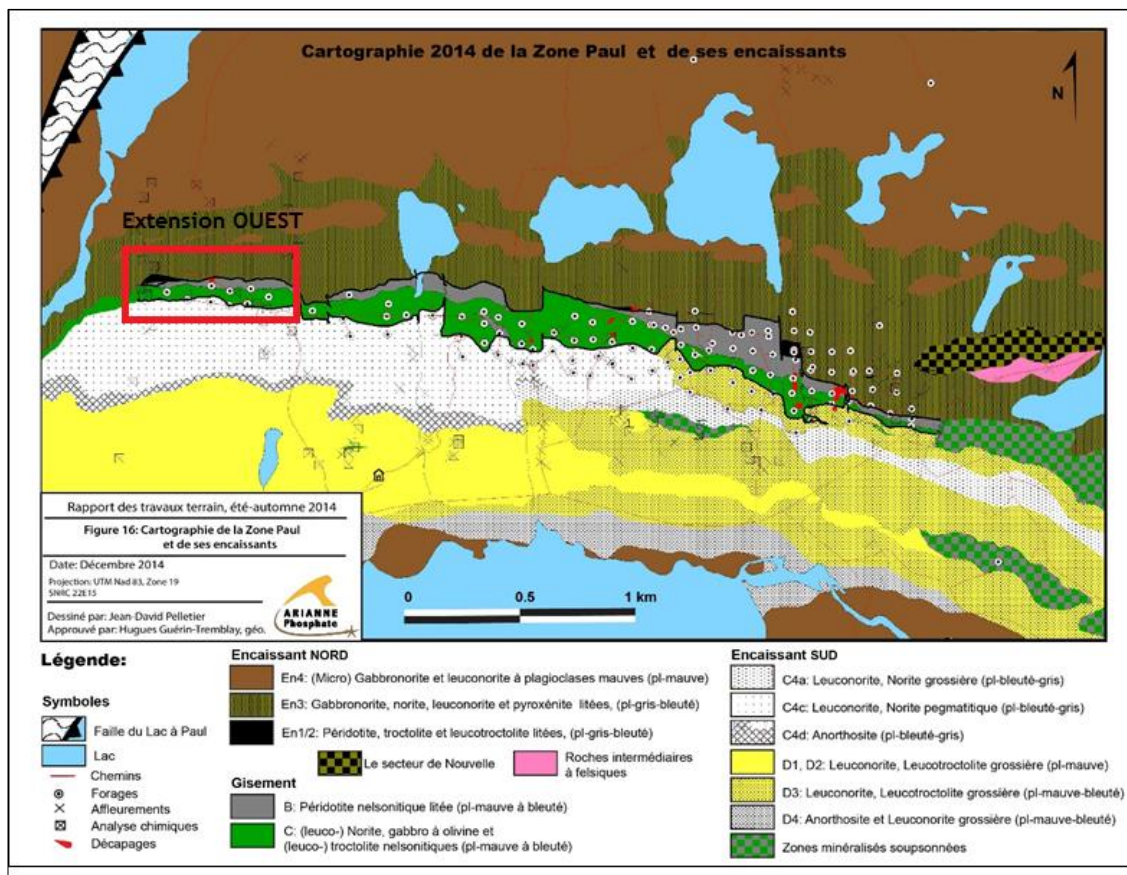


Figure 3: Carte géologique de la Zone Paul montrant l'extension OUEST en évidence. (Tirée de Zone Paul et ses encaissants (Pelletier, 2015)).

5 - Méthodologie

5.1 Décapage

Le décapage de DEC-PAU-14-10 a débuté la deuxième semaine d'août, le 8 août, avec l'agrandissement du décapage DEC-PAU-14-01 réalisé en début de campagne. Une équipe de 4 personnes a été affectée à la tâche avec de l'équipement mécanisé (pelle mécanique). La grande partie du travail s'est faite à la pelle mécanique durant 3 jours et la finition a nécessité 5 jours de travail intense à pelleter et à laver le décapage, le travail fut terminé le 16 août.

5.2 Prise d'échantillons

La prise d'échantillons s'est faite systématiquement à chaque fois qu'une nouvelle lithologie ou une variation texturale était observée sur l'affleurement. Pour ce faire, l'entièreté du décapage a été rainurée du NORD au SUD, ce qui a favorablement permis de visualiser de meilleure façon les roches présentes pour récolter les échantillons désirés.

5.3 Préparation des échantillons

La préparation des échantillons choisis s'est faite dans le laboratoire de l'Université du Québec à Chicoutimi. Les échantillons ont été coupés pour avoir une taille raisonnable et pour bien voir les endroits où prélever les lames minces. Les blocs finaux ont une taille moyenne d'environ 10 cm par 10 cm par 2 à 3 centimètres d'épaisseur. Un seul côté des échantillons a été poli afin de conserver une partie plus rugueuse, clair. La partie rugueuse favorise l'observation de certains minéraux comme l'apatite, l'olivine, les pyroxènes et les plagioclases. Les blocs conservés pour la confection des lames minces ont été envoyés chez Vancouver Petrographic pour la réalisation de 10 lames minces polies.

5.4 Cartographie

La cartographie a débuté le 16 août 2014. Pour conceptualiser la carte, une grille temporaire de deux mètres par deux mètres a été tracée avec de la peinture sur le décapage pour faciliter la représentation graphique sur des feuilles millimétriques. Les contours de la zone à cartographier, délimités par le mort-terrain et l'eau, ont été tracés préalablement aux contacts entre les différentes lithologies pour délimiter la cartographie.

5.5 Descriptions pétrographiques

Les descriptions pétrographiques ont été faites sur 10 échantillons prélevés sur le décapage DEC-PAU-14-10, qui représente l'extension OUEST de la zone minéralisée Paul. Il s'agit d'échantillons choisis par le géologue Hugues Guérin Tremblay. Les échantillons choisis représentent les différentes lithologies interceptées lors du rainurage de cette section. Les 10 échantillons mégascopiques prélevés (Méga-02 à Méga-11) ont été décrits et utilisés afin de produire 10 lames minces polies (Grab 2 à Grab 11), pour valider les observations de terrain et confirmer avec précision les lithologies présentes.

5.6 Descriptions mégascopiques

Les descriptions mégascopiques se sont faites en utilisant un patron de description régulier pour permettre une uniformisation des descriptions. Les critères utilisés pour la description des échantillons suivent cette séquence : la couleur, la distribution minéralogique, la granulométrie, la foliation et/ou fabrique et le magnétisme. À quelques

reprises, il a été possible à la loupe ou à l'œil nu de décrire certaines textures, mais ces descriptions ont été précisées lors de l'étude microscopique des lames minces polies.

5.7 Descriptions microscopiques

Les descriptions microscopiques ont été basées sur l'étude des lames minces polies de façon à représenter l'ensemble des lithologies du décapage DEC-PAU-14-10 et pour mettre en évidence les assemblages minéralogiques ainsi que les textures qui leur sont associées. Pour appuyer les descriptions microscopiques, plusieurs photos en lumière transmise et en lumière réfléchie ont été prises avec le microscope optique de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC). Des fiches de descriptions individuelles ont aussi été réalisées pour chaque échantillon, afin de donner le détail et les caractéristiques propres à chacun. Ces fiches descriptives se retrouvent en annexe (annexe 1).

6 - Descriptions pétrographiques

6.1 Lithologie 1: Gabbro à amphibole et apatite

Mégascopique

Cette lithologie est représentée par les échantillons mégascopiques Méga-02 et Méga-03 (figure 4). Les échantillons sont situés sur la portion SUD du décapage. Ils ont été prélevés sur la première rainure (R1) exécutée, entre 3,3 et 3,5 mètres pour Méga-02 et 3 m à l'ouest de R1 pour Méga-03. Ces gabbros à amphibole et apatite sont de couleur gris bleuté à blanchâtre en cassure fraîche et gris verdâtre à blanchâtre en patine altérée. La roche est hétérogène avec une légère foliation représentant S1 et est localement magnétique. La partie blanchâtre est composée de petits cristaux de plagioclase ($\leq 1,0$ mm) à texture granoblastique. On peut observer à quelques reprises la présence de phénocristaux de plagioclases ($> 3,0$ et < 18 mm) gris mauve quelques fois à texture ocellée. La partie gris bleuté est composée de bandes anastomosées de minéraux ferromagnésiens ($\leq 1,5$ mm), d'oxydes de Fe-Ti ($\leq 3,0$ mm) et de petits amas d'apatite ($\leq 2,0$ mm). La composition de ces gabbros à amphibole et apatite est d'environ de 40 – 50% de plagioclase, 15-25% d'amphibole, 5-15% d'oxydes de Fe-Ti, 7-10% de biotite, 3-5% d'apatite et des sulfures disséminés en traces. L'échantillon Méga-03 se différencie de l'échantillon Méga-02 par la présence de 2-3% de grenat et une plus grande proportion de plagioclases recristallisés.

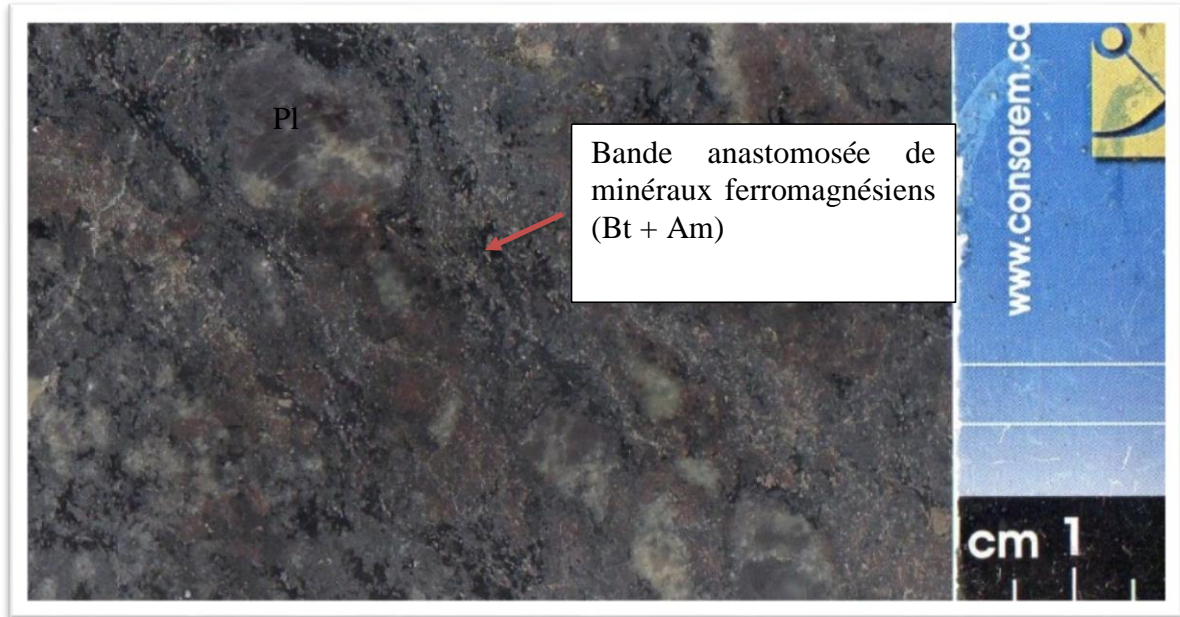


Figure 4: Méga-03, Échantillon mégascopique des gabbros à amphibole et apatite montrant la présence de phénocristaux de plagioclase et les horizons riches en minéraux ferromagnésiens décrivant des bandes anastomosées.

Microscopique

La minéralogie de ces gabbros à amphibole et apatite se compose principalement de 40-60% de plagioclase, de 15-20% d'amphibole, de 7-10% de biotite, de 4-7% d'apatite, de 5% d'oxyde de Fe-Ti, de 3% d'altération (séricite) et de traces de sulfures. Ces gabbros sont caractérisés par une texture générale granolépidoblastique (figure 5). Cette texture, associée aux rubans anastomosés d'amphibole, dans laquelle on retrouve des rubans de biotites, traduit la texture granolépidoblastique.

La texture associée au plagioclase de ces gabbros à amphibole et apatite est de type granoblastique avec la présence de phénocristaux (> 2 et < 7 mm) xénomorphes à hypidiomorphes. Leur composition varie entre An35, andésine et An20, oligoclase. Les phénocristaux de plagioclase montrent une extinction roulante et contiennent parfois des macles légèrement déformées à absentes (figure 6). Les grains de plagioclase blanchâtres qui composent la texture granoblastique présentent des évidences de recristallisation par la présence de jonctions triples et de macles en biseau qui soulignent leur déformation (métamorphisme de haute température). On observe la présence de séricite sur un bon nombre de plagioclases qui parfois représente une partie significative des grains. Quelques néoblastes de plagioclase sont aussi présents aux alentours des phénocristaux de plagioclase formant une couronne millimétrique (< 1 mm) (figure 6).

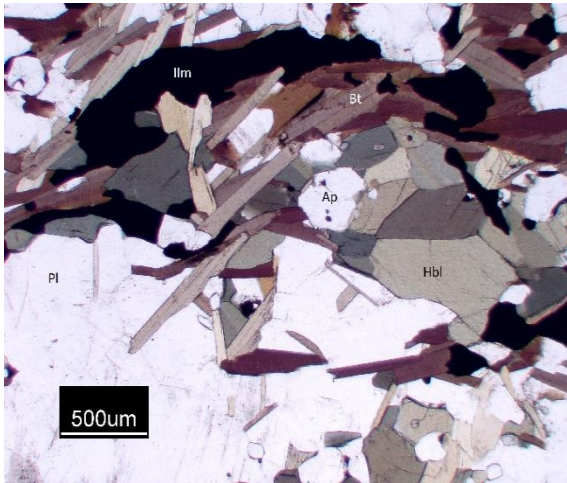


Figure 5: microphotographie en lumière naturelle (Grab 3) : texture granolépido-blastique montrée par l'alignement des biotites dans la lame mince polie. Texture granoblastique des plagioclases avec jonctions triples.

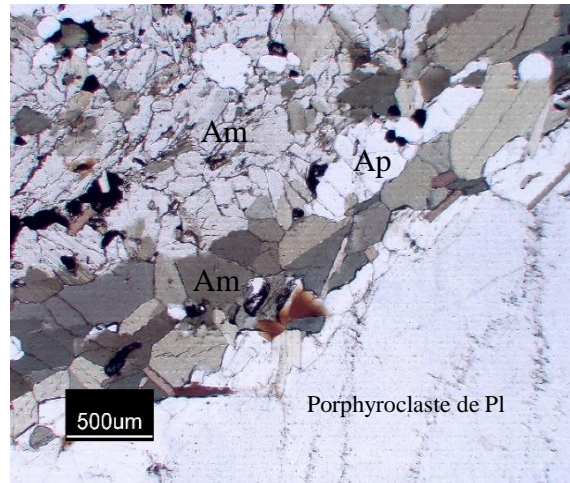


Figure 6: Microphotographie en lumière naturelle (Grab 3) : Porphyroclaste de plagioclase avec la présence de néoblastes en bordure du grain. Présence de deux types d'amphiboles.

Deux types d'amphiboles caractérisent cette lithologie (figure 7), le premier est la hornblende verte (0,4 à 1,0 mm) représentant environ 85 % des amphiboles présentes. Elle est xénomorphe à hypidiomorphe de forme sub-angulaire et allongée, présentant un bon clivage, des contacts nets entre les grains et à quelques reprises, des petites inclusions de sulfures, (pyrrhotite et pentlandite). Elle se retrouve généralement sous la forme d'amas allongés formés de cristaux polygonaux qui suggèrent une bonne recristallisation des grains. La cummingtonite est la deuxième amphibole présente dans cette lithologie. Les grains sont xénomorphes à hypidiomorphes ($\leq 1,0$ mm), quelques fois losangiques et

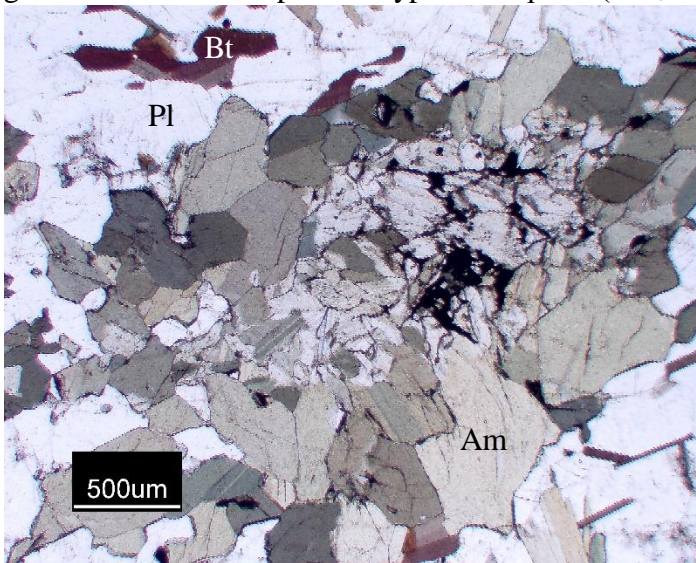


Figure 7: Microphotographie en lumière naturelle (Grab 3) : Relique d'orthopyroxène complètement amphibolitisé donnant une texture coronitique avec inclusion de sulfures.

systématiquement en contact avec les grains de hornblende verte. La hornblende forme une texture coronitique autour des amas de cummingtonite. Les grains de cummingtonite possèdent un clivage net avec peu d'inclusions de sulfures. Sa forte biréfringence en lumière polarisée croisée et sa teinte brunâtre très pâle en lumière naturelle permet facilement de la différencier de la hornblende verte. Des grains de biotite xénomorphes ($\leq 1,0$ mm) de formes allongées ou aciculaires accompagnent souvent les amphiboles. Tout comme les

amphiboles, les biotites soulignent un plan d'orientation préférentiel dans la roche qui définit la schistosité.

Les oxydes de Fe-Ti sont généralement formés de grains polygonaux et hypidiomorphes d'ilménite (90-95%) de la composante d'oxyde ($\leq 3,0$ mm), sub-anguleux à anguleux comportant de petites inclusions de magnétite. Le pléochroïsme de l'ilménite permet facilement de la distinguer de la magnétite qui est isotrope. La magnétite (1-5%) de la roche est xénomorphe à hypidiomorphe, de forme sub-angulaire à angulaire et se retrouve disséminée dans la roche. On la retrouve aussi localement en inclusion dans les grains d'ilménite. Des assemblages de sulfures magmatiques disséminés, composés de pyrrhotite, pentlandite et de chalcopyrite, tous xénomorphes, sont observés dans ces lames. La pyrrhotite domine la phase sulfurée et possède des inclusions de pentlandite et de chalcopyrite en faible proportion.

L'apatite (0,2 à 1,0 mm) est xénomorphe à hypidiomorphe de forme arrondie à sub-arrondie avec un fort relief en lumière naturelle. On l'observe généralement en amas suturé mais quelques grains individuels ($\leq 3,0$ mm) sont distribués aléatoirement dans la lame. La présence de jonctions triples entre les grains ainsi que la bordure suturée des grains plus grossiers (0,6 à 1,0 mm) suggère une texture de recristallisation des grains d'apatite. On observe aussi des trainées planaires d'inclusions qui traversent certains grains d'apatite.

6.2 Lithologie 2 : Orthopyroxénite nelsonitique

Mégascopique

Cette orthopyroxénite (figure 8) provient du deuxième mètre de la rainure (R2) située au SUD du décapage (voir annexe 2). La roche est de couleur gris verdâtre à gris bleuté en cassure fraîche et gris brunâtre à gris vert en patine altérée. La roche est homogène, massive et fortement magnétique. La composition apparente est estimée à environ 70-80% de pyroxène ($\leq 2,0$ mm), 7-10% d'oxydes de Fe-Ti, 7-10% d'apatite ($\leq 1,0$ mm) et de 3-5% biotite. Des traces de sulfures disséminés sont localement visibles sous forme de grains fins ($\leq 1,0$ mm).



Figure 8: Photo mégascopique (Méga-04) : Orthopyroxénite avec une granulométrie fine ($\leq 1,0$ mm). Provient de la rainure 2 (R2) (annexe 2).

Microscopique

La majeure partie de la lithologie est composée de pyroxènes orthorhombiques de la famille de l'hypersthène. On retrouve premièrement une série d'orthopyroxène (Opx) xénomorphe ($\leq 0,7$ mm) de forme sub-angulaire à sub-arrondie caractérisée par une texture poecilitique, la présence de jonctions triples ainsi qu'une extinction roulante (figure 9). Tous ces éléments suggèrent une recristallisation partielle des grains d'Opx. Cette série représente 70% des Opx présents dans la roche. Les porphyroclastes d'Opx (1,0 à 2,0 mm) xénomorphes représentent 16% de la roche totale. Ils sont caractérisés par une texture poecilitiques et une extinction roulante. On retrouve à l'intérieur des porphyroclastes d'Opx quatre types d'inclusion 1) inclusion composée d'ilménite, 2) de sulfures magmatiques (pyrrhotite, pentlandite et chalcopryrite), 3) d'apatite et 4) biotite.

L'apatite ($\leq 1,0$ mm) est xénomorphe à hypidiomorphe et elle est de forme sub-arrondie à arrondie. Elle forme de petits amas composés de quelques grains qui montrent à ses contacts des jonctions triples ainsi qu'une extinction roulante. Quelques grains individuels hypidiomorphes ($\leq 0,3$ mm) sont dispersés de façon aléatoire sur la lame. On la retrouve aussi en inclusion dans les grains d'ilménite et parfois en inclusion dans les Opx.

Les oxydes de Fe-Ti forment des amas de grains interstitiels aux Opx et à l'apatite et se composent de grains d'ilménite et de magnétite. Les amas se trouvent généralement près des grains d'apatite ou en contact avec ceux-ci (figure 9). L'ilménite ($\leq 1,5$ mm) représente 80 % de la phase d'oxydes de Fe-Ti. Elle est partiellement recristallisée, de forme polygonale, faiblement fracturée avec un bon pléochroïsme. On observe la présence de jonctions triples entre les grains ce qui suggèrent une recristallisation partielle des grains. Des bordures rectilignes marquent aussi les contacts nets qui séparent les grains d'ilménite

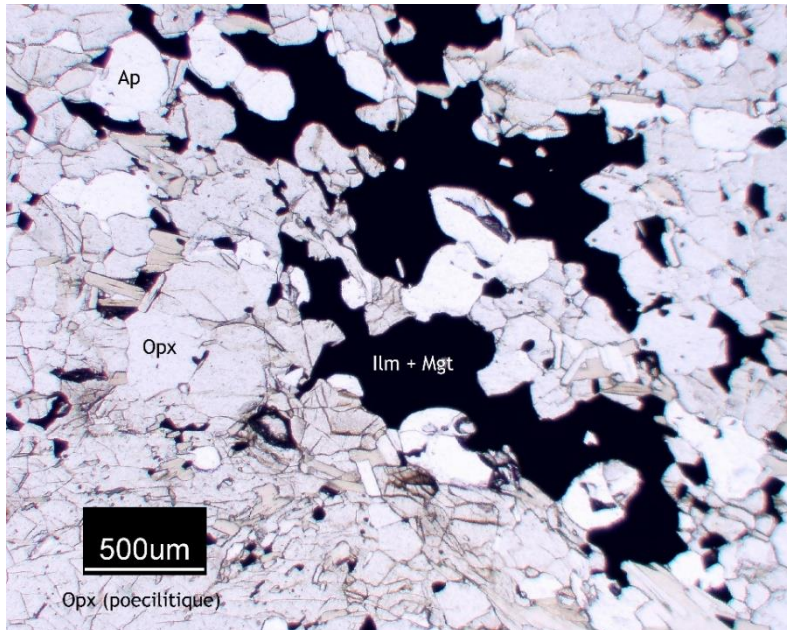


Figure 9: Microphotographie en lumière naturelle (Grab 4) : présence majeure des grains d'Opx avec un intercumulat d'oxydes et d'apatite.

des grains de magnétite. L'ilménite se retrouve à quelques reprises en exsolution dans les grains de magnétite. La magnétite ($\leq 1,0$ mm) est xénomorphe à hypidiomorphe montrant des jonctions triples entre ses grains mais aussi avec les grains d'ilménite. Des grains de pyrrhotite avec des inclusions de pentlandite et/ou chalcopryrite se trouvent généralement en bordure des grains associés aux microfractures des oxydes.

Les grains de biotite qui accompagnent les Opx

sont xénomorphes à hypidiomorphes ($\leq 1,0$ mm) sous la forme de plaquettes allongées. Bien que les amas ne soient pas continus, les grains de biotite définissent une orientation préférentielle dans la roche. Une série de grains de biotite ($\leq 0,2$ mm) xénomorphes se trouve également en inclusion dans les grains d'Opx.

6.3 Lithologie 3 : Domaine nelsonitique

6.3.1 Lithologie : Les péridotites nelsonitiques massives

Mégascopique

Ce domaine comprend les échantillons mégascopiques Méga-05 et Méga-06 et les lames minces Grab 5 et Grab 6. Les échantillons correspondent au domaine massif de la zone de péridotite nelsonitique. Ils ont été prélevés sur la rainure (R3) entre 1,2 et 1,4 mètre pour l'échantillon 5 et entre 10,7-11 mètre sur R3 pour l'échantillon 6 (voir annexe 2). La roche est de couleur vert foncé à gris verdâtre en patine altérée et gris bleuté à noirâtre métallique en cassure fraîche. Elle est homogène, massive et fortement magnétique avec une granulométrie fine ($\leq 1,0$ mm). Sa composition apparente est de 35-45% olivine, 15-20% apatite, 15-25 % oxyde de Fe-Ti, 7-15 % amphibole, environ 3-5 % pyroxène et des sulfures en trace. La granulométrie fine et la couleur sombre des minéraux formant ces roches rendent difficile l'estimation des proportions et leur distribution. L'analyse microscopique a donc permis une meilleure description de cette lithologie (figure 10).

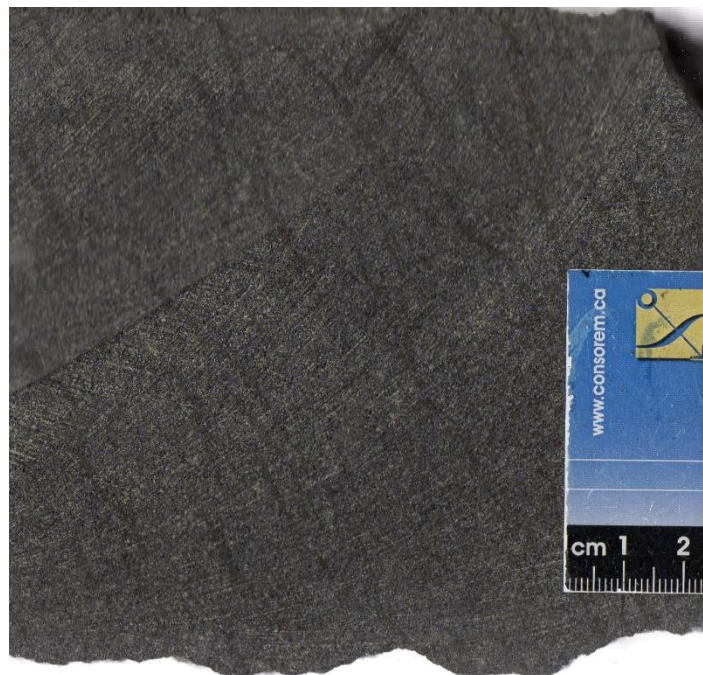


Figure 10: Péridotite nelsonitique massive (Méga-05) : prélevée sur la rainure 3 (R3) entre 3,0 m et 3,5 m.

Microscopique

La minéralogie de cette lithologie se caractérise par des proportions modales de 38-45 % olivine, 10-24 % oxyde, 15-20 % apatite, 7-20 % amphibole, 5 % serpentine, 5 % Cpx, 1 % hercynite et des sulfures en traces.

L'olivine est le minéral le plus abondant de la lithologie. Elle est xénomorphe (≤ 3 mm), de forme sub-arrondie à arrondie avec un fort niveau de fracturation et elle est serpentinisés en bordure des fractures. De façon générale, les grains montrent une extinction roulante. Elle caractérise la texture de cumulat de la roche et on observe une grande abondance de grains allongés dans un plan préférentiel. Des néoblastes d'olivines et d'amphiboles s'observent au pourtour des grains de pyroxènes ce qui lui confère une texture coronitique. Des grains d'apatites, de sulfures et d'oxydes apparaissent à quelques reprises en inclusion dans les grains d'olivine (figure 11 a, b).

L'apatite ($\leq 0,6$ mm) est xénomorphe à hypidiomorphe, de forme sub-angulaire à sub-arrondie et se trouve majoritairement en amas de sous-grains polygonaux ($\leq 1,5$ mm). À certaines reprises, on l'observe avec une forme allongée et un fort niveau de fracturation. Elle est caractérisée par une extinction roulante et un fort relief en lumière polarisée croisée. Les grains sont généralement en contact direct avec les oxydes de Fe-Ti ou en inclusion dans ceux-ci. Tel que mentionné plus haut, quelques grains individuels sont en inclusion dans les olivines. L'apatite semble suivre un plan de distribution linéaire qui lui confère un allongement dans ce même plan caractérisant une fabrique magmatique primaire.

Les grains d'oxyde de Fe-Ti (≤ 1 mm) sont xénomorphes, de formes polygonaux et légèrement fracturés. Ils sont interstitiels aux grains d'olivine et se composent essentiellement de grains d'ilménite (60 %) et de magnétite (40 %) partiellement recristallisés. Des contacts nets sont présents entre les grains d'oxydes et quelques petites inclusions de pyrrhotite et pentlandite ($\leq 0,1$ mm) s'observent. On retrouve également des veinules de magnétite dans les fractures perpendiculaires au litage plus ou moins E-O du décapage. On constate dans cette lame, l'apparition de grains d'hercynite, un spinelle de Fe et Al de couleur vert profond en lumière naturelle. Il est xénomorphe ($\leq 0,3$ mm), de forme sub-angulaire à arrondie. Il est observé à quelques reprises en inclusion dans les oxydes de Fe-Ti, ou à leur bordure.

Le pyroxène présent est l'augite. Il se présente sous la forme de grains xénomorphes ($\leq 4,0$ mm), légèrement à fortement maclés. Plusieurs reliques de d'augite s'observent et montrent une forte ouralitisations, dans lequel le pyroxène change de composition afin de donner place à un mélange de petites amphiboles vertes pâles majoritairement composé de hornblende verte et de cummingtonite (figure 11 e, f). La texture granoblastique est la texture qui caractérise les amphiboles de remplacement. Beaucoup d'inclusions d'oxydes de Fe-Ti ainsi qu'une faible quantité de sulfures s'observent à l'intérieur des reliques de l'augite. Ces inclusions sont majoritairement parallèles au clivage (figure 11).

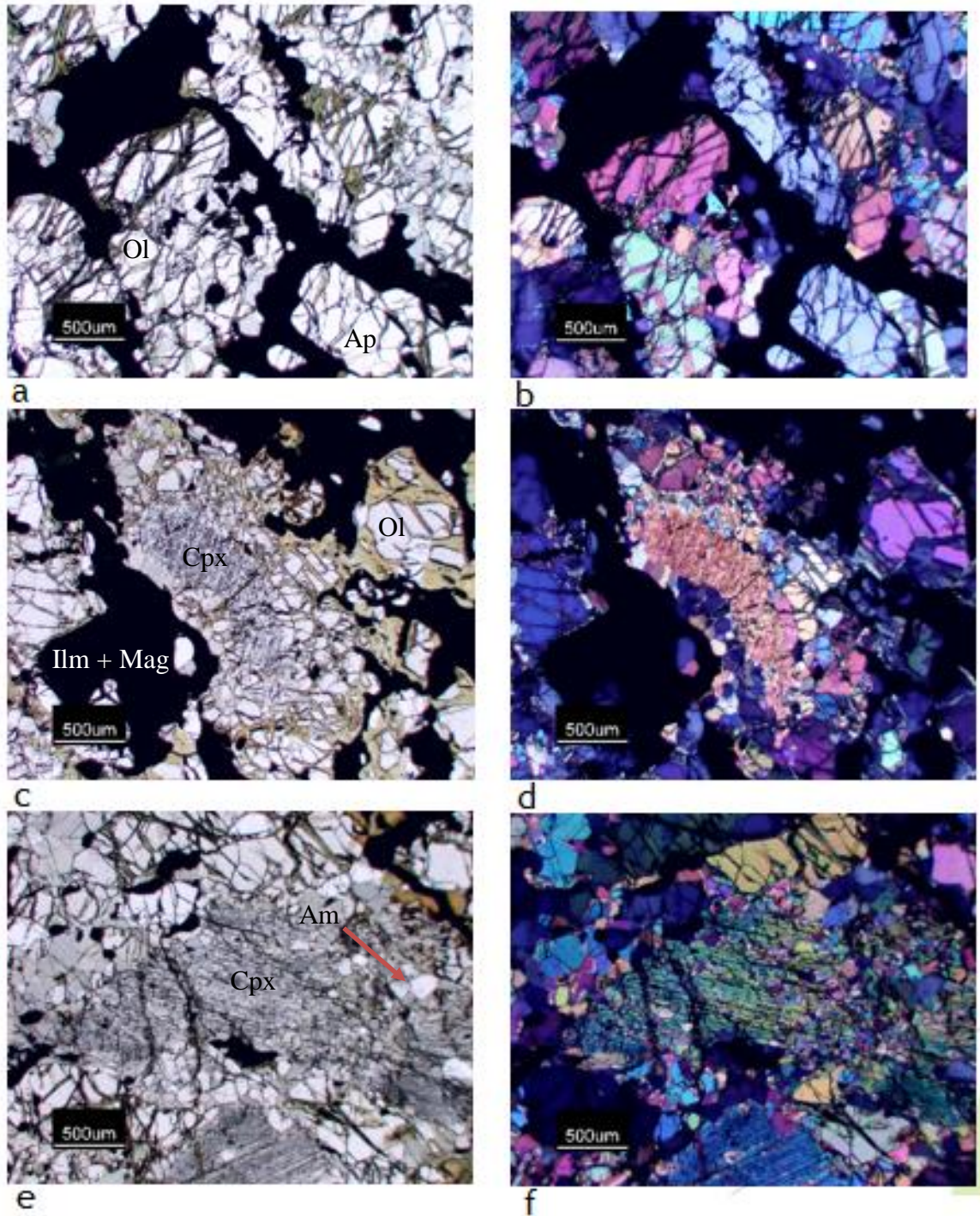


Figure 11: a) microphotographie en lumière naturelle et b) microphotographie en lumière polarisée de la péridotite nelsonitique massive montrant la texture de cumulat d'olivine et apatite et d'intercumulat d'oxydes. c) microphotographie en lumière et d) microphotographie en lumière polarisée d'une coronite d'amphibole autour d'un grain de Cpx. e) microphotographie en lumière naturelle et f) microphotographie en lumière polarisée montrant une ouralitisation d'un grain de Cpx remplacé par de l'amphiboles vertes.

6.3.2 Lithologie : Les péridotites nelsonitiques litées

Mégascopique

Les échantillons correspondant à cette lithologie sont les mégascopiques Méga-07 à Méga-08 (figure 12) ainsi que les lames minces Grab 7 et Grab 8 (figure 13 et 14). Ces échantillons sont situés sur les rainures R3 et R4 (voir annexe 2) dans la partie centrale du décapage. On y observe une alternance de lits verdâtres (olivine + apatite) et de lits gris bleu à gris métallique (amphibole + plagioclase). La roche est hétérogène, litée et fortement magnétique. Sa granulométrie est majoritairement fine ($\leq 1,0$ mm) à l'exception de quelques grains d'olivine plus grossiers ($\leq 1,5$ mm) et d'amas sigmoïdales d'amphibole ($\leq 2,0$ mm). Sa composition apparente est d'environ 25-30 % d'apatite ($\leq 0,5$ mm), 10-20 % d'olivine ($\leq 1,0$ mm), 15-25 % d'oxyde de Fe-Ti et 15-30 % d'amphibole. Il est difficile d'observer une orientation préférentielle ainsi qu'un allongement des minéraux qui souligne le litage dans la roche. La faible granulométrie et la similitude de la couleur des minéraux formant cette lithologie rendent difficile l'interprétation de celle-ci. L'analyse microscopique a donc permis une meilleure description de cette lithologie. Le rubanement des minéraux ferromagnésiens ainsi que les lits de plagioclases (plagioclase ≤ 15 mm) montrent le litage dominant. Ces lits se composent de cristaux de plagioclases (≤ 10 mm) et de glomérophyroblastes d'amphiboles (Cum + Hb).



Figure 12: Péridotite nelsonitique litée (Méga-07 et Méga-08).

Microscopique

Les lames minces qui caractérisent cette lithologie montrent des proportions modales de 30-35% apatite, 20-25% amphibole, 15-20% olivine, 15-20% oxyde de Fe-Ti, 2-7 % serpentine, 2-3% biotite et de l'hercynite en trace.

Deux domaines distincts sont présents dans ces échantillons. Il s'agit tout d'abord d'un domaine nelsonitique dominé par l'apatite, l'olivine et les oxydes de Fe-Ti, caractérisé par une texture de cumulat d'olivine et d'apatite à intercumulat d'oxyde (figure 13). Le deuxième domaine se caractérise par une texture gloméroporphyrique observable par l'alternance de lits d'amphiboles sigmoïdales (cummingtonite) et d'apatite.

Le premier domaine se caractérise par une abondance de grains d'apatite xénomorphe ($\leq 1,0$ mm) de forme sub-angulaire à sub-arrondie (figure 13). L'apatite présente un fort niveau de fractures et une orientation préférentielle qui semble définir une fabrique. Les oxydes qui accompagnent les grains d'apatite se composent en majorité de grains d'ilménite à 75% et de 25% de grains de magnétite. Il s'agit de grains fréquemment polygonaux avec des contacts rectilignes entre les grains. Cette fabrique se compose également de grains d'olivine xénomorphes ($\leq 1,0$ mm) de forme sub-angulaire à sub-arrondie avec un allongement dans le sens de la fabrique. On note des inclusions de sulfures magmatiques (pyrrhotite et pentlandite) et d'apatite dans les grains d'olivine. La serpentine est le principal minéral qui remplit les fractures des grains d'olivine, mais à quelques reprises, la magnétite se retrouve également dans les plans de fractures.

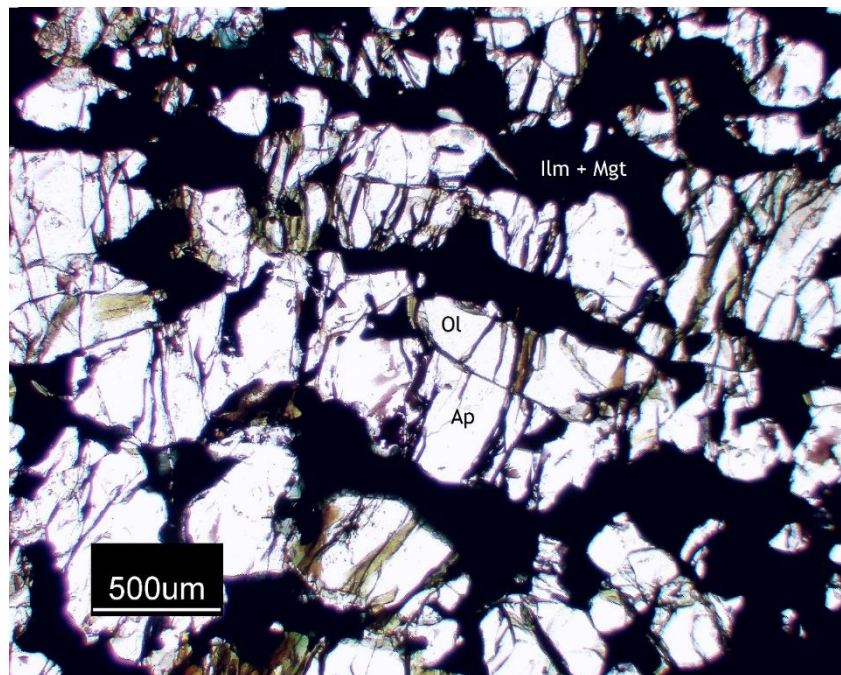


Figure 13: Péridotite nelsonitique litée (Grab 7) : Texture de cumulat d'olivine et apatite à intercumulat d'oxydes

Le deuxième domaine est essentiellement composé de grains d'apatite et d'amphiboles (figure 14). Ce domaine est caractérisé par une alternance de lits d'apatite et d'amphiboles qui définissent la même fabrique que dans le premier domaine en adoptant la même orientation préférentielle des grains. L'apatite montre pratiquement les mêmes caractéristiques que dans le premier domaine, mais son degré d'altération et de fracturation

est relativement moins élevé. La texture glomérophyrique définit l'assemblage granoblastique des amphiboles (figure 14). Les amas d'amphibole sont caractérisés par une fabrique CS ainsi que des "ombres de pression" aux extrémités des amas définis par la présence de biotite altérée en chlorite. On retrouve quelques petits grains xénomorphes à hypidiomorphes d'apatite en inclusion dans ces amas d'amphiboles.

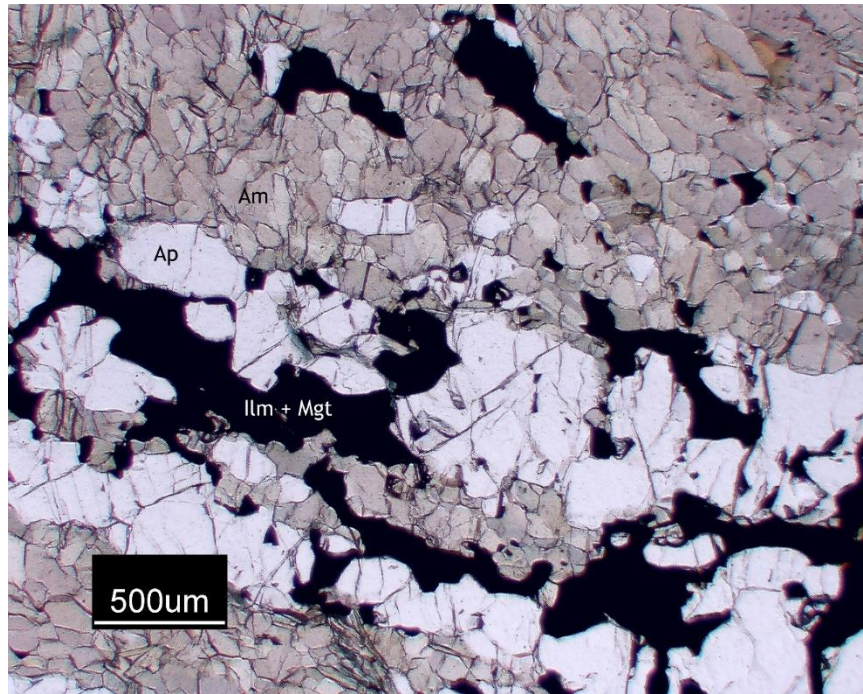


Figure 14: Péridotite nelsonitique litée (Grab 7) : glomérophyroblastes d'amphibole entrecoupés d'horizons à apatite et oxydes de Fe-Ti.

6.3.4 : Grab-9

Mégascopique

L'échantillon a été prélevé sur la rainure (R4) entre les mètres 9 et 10 de la partie NORD du décapage (voir annexe 2). Il s'agit d'un échantillon hétérogène, lité, fortement magnétique et de couleur gris bleuté à gris mauve en cassure fraîche et gris noir en patine altérée. On y observe localement la présence de phénocristaux de plagioclase (≤ 5 mm) et d'olivine ($\leq 2,0$ mm) ce qui lui confère une granulométrie variable et hétérogène allant de fine à grossière. Sa composition apparente est de 25-30 % d'apatite, 20-25 % d'olivine/OPX, 10-15 % d'oxydes de Fe-Ti, 10-15 % d'amphibole et 5 % de plagioclase (figure 15).

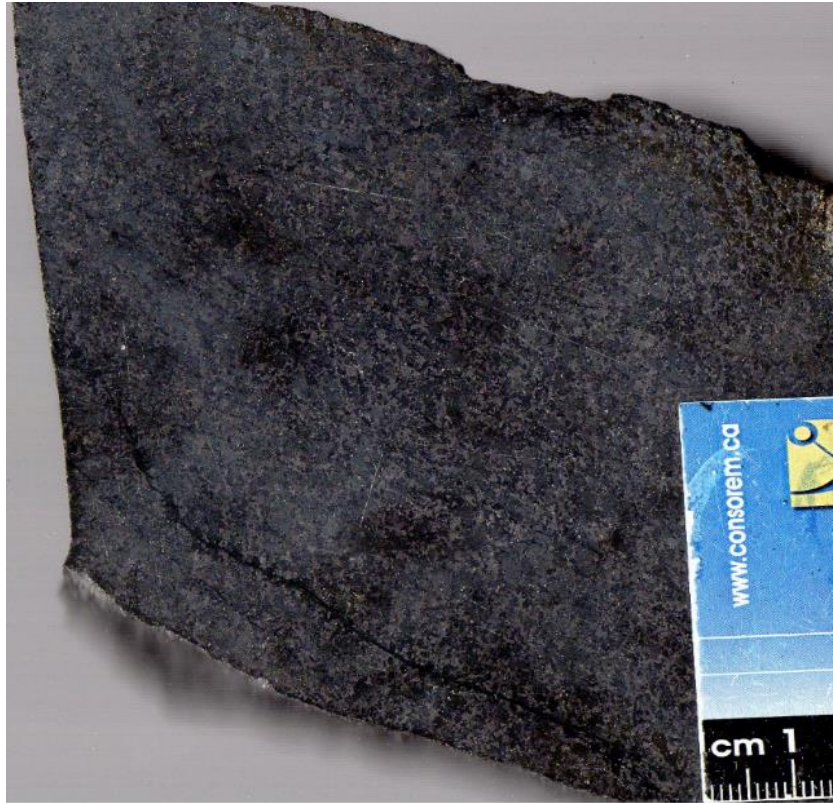


Figure 15: Grab 9 : Échantillon mégascopique provenant de la section NORD du domaine péridotitique nelsonitique.

Microscopique

L'observation en lame mince polie de Grab 9 a permis d'établir des proportions modales de 45 % apatite, 10-15 % d'oxydes de Fe-Ti, 15-20 % d'amphibole, 5-7 % de plagioclase, 5-7 % d'olivine, 2-3 % de biotite, 1-2 % d'Opx et de l'hercynite et de la serpentine en trace.

De façon similaire aux lames de la péridotite nelsonitiques litée, on peut distinguer deux domaines. Le premier domaine est à composition péridotitique nelsonitique dominé en grande partie d'apatite, d'oxydes de Fe-Ti et d'olivine. Le deuxième domaine ne présente pas ou pratiquement pas de trace d'olivine et contient la majorité des amphiboles. De façon générale, les minéraux sont xénomorphes et montrent des signes de déformation et un allongement préférentiel.

Le premier domaine (figure 16) est caractérisé par l'abondance de grains d'apatite ($\leq 1,0$ mm) xénomorphes et de forme sub-arrondie à arrondie généralement en amas discontinu avec un niveau de fracturation élevé. On retrouve également de l'olivine ($\leq 3,0$ mm) xénomorphe et de forme sub-arrondie à arrondie avec quelques grains de petite taille ($\leq 1,0$ mm) sub-angulaire à angulaire. L'olivine montre un fort niveau de fracturation avec un niveau moyennement élevé de serpentinisation dans les fractures. Ce domaine contient également des orthopyroxènes. Ils sont xénomorphes ($\leq 1,0$ mm) de forme sub-angulaire à angulaire avec un clivage peu net. On l'observe souvent en contact avec les grains d'olivine

ou à quelques reprises avec de petits grains d'amphibole. Des inclusions d'olivine sont parfois visibles à l'intérieur des grains d'Opx.

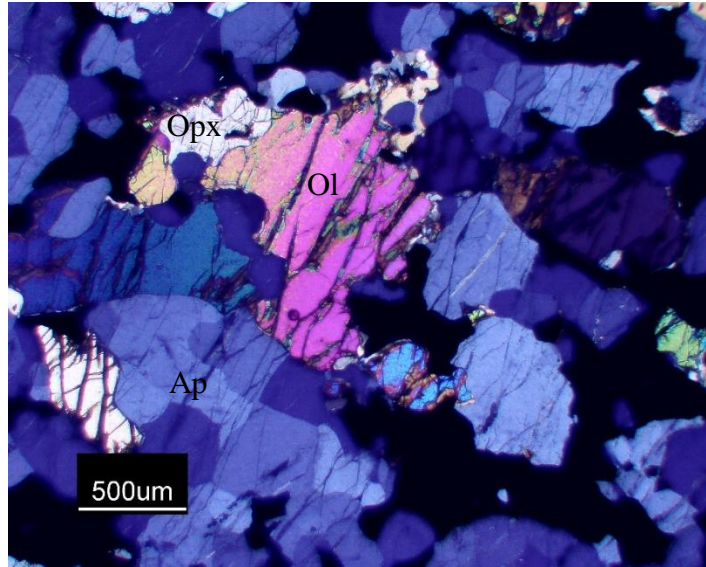


Figure 16: Microphotographie en lumière polarisée de Grab 9 montrant la présence d'Opx, olivine, oxydes et apatite dans le même domaine.

Le domaine 2 est composé majoritairement d'amphibole et d'apatite. Les amphiboles sont xénomorphes à hypidiomorphes ($\leq 0,5$ mm) et de forme polygonale (figure 17). On les retrouve sous forme d'amas irréguliers entrecoupés par des horizons d'apatite ($\leq 1,0$ mm) xénomorphe et de forme sub-angulaire à sub-arrondie et de phénocristaux de plagioclases ($\leq 5,0$ mm) xénomorphes à extinction roulante avec des macles en biseaux (figure 18). Ce domaine montre bien l'orientation préférentielle adoptée par les minéraux qui souligne la présence d'une fabrique (figure 17). La biotite ($\leq 1,0$ mm) est xénomorphe et systématiquement en contact avec les amphiboles. On observe quelque fois des apatites en inclusion dans les phénocristaux de plagioclase suggérant une co-cristallisation de ces deux phases.

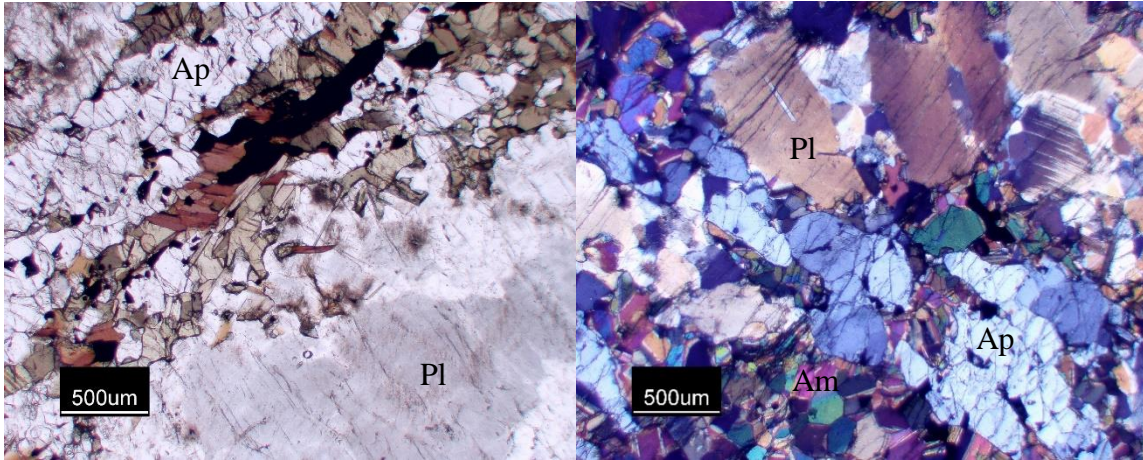


Figure 17: Microphotographie en lumière naturelle. Porphyroclaste de plagioclase bordé d'horizons riches en amphibole (verte) et en apatite.

Figure 18: Microphotographie en lumière polarisée. Assemblage minéralogique composé de plagioclase (macles en biseaux), amphibole et apatite.

6.4 Lithologie 4 : Oxydes massifs

Mégascopique

Cet échantillon d'oxydes massifs se trouve sur la rainure (R6) entre 2,6 et 2,8 mètres (voir annexe 2). L'échantillon est gris bleuté à gris métallique en patine altérée autant qu'en cassure fraîche. La roche est homogène et massive, fortement magnétique et très dense. La granulométrie varie de fine ($\leq 1,0$ mm) à grossière (> 5 mm et < 3 cm). Sa composition est d'environ 90% d'oxyde de Fe-Ti, de 7-10 % d'olivine avec des traces d'hercynite et d'apatite (figure 19).

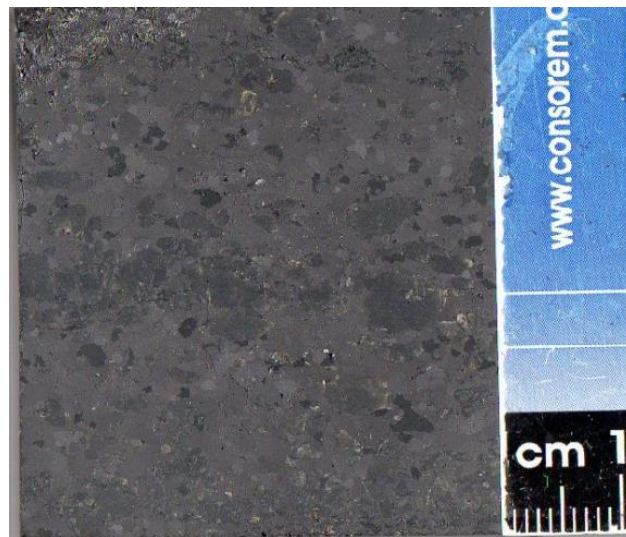


Figure 19: Oxydes massifs (Méga-10). Échantillon provenant de la partie NORD du décapage.

Microscopique

L'analyse microscopique de cet échantillon révèle une composition de 85% d'oxyde de Fe-Ti ($\leq 1,0$ mm), de 7-10% olivine ($\leq 8,0$ mm), 3-5% d'hercynite ($\leq 4,0$ mm) avec de la biotite, de l'apatite et de l'Opx en trace.

La phase d'oxyde de Fe-Ti se compose de gains polygonaux d'ilménite (55%) et de magnétite (45%) avec la présence de jonctions triples entre les grains (figure 21). Quelques grains arrondis, surtout de magnétite, se trouvent en inclusion dans les grains d'olivine présents ainsi que de petits grains de sulfures, principalement de pyrrhotite. L'hercynite xénomorphe ($\leq 4,0$ mm) se retrouve de façon sporadique dans la lame.

La partie silicatée qui représente 7-10% de la lame est dominée par l'olivine. Des symplectites sont associées aux bordures des grains d'olivine qui caractérisent une texture coronitique. Ces symplectites sont formées de néoblastes d'Opx avec des vermicules de magnétite (figure 20).

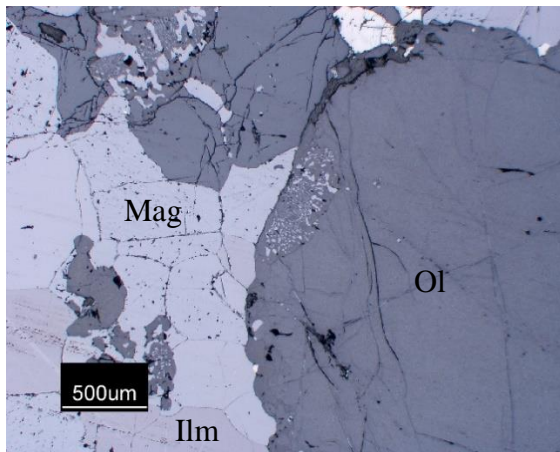


Figure 20 : Microphotographie en lumière réfléchie (Grab 10) : symplectite de magnétite à la bordure d'une olivine grossière (≤ 8 mm).

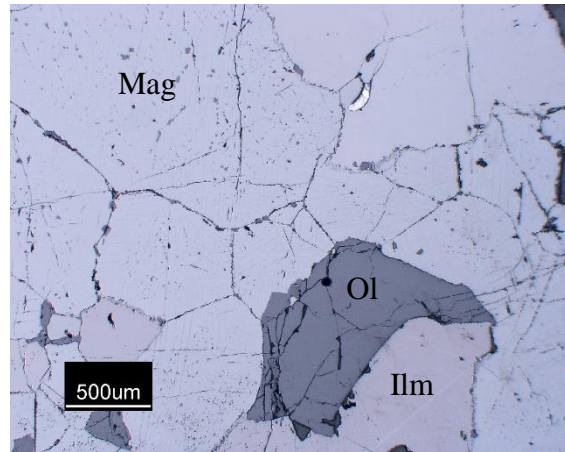


Figure 21 : Microphotographie en lumière réfléchie (Grab 10) : assemblage de grains polygonaux de magnétite et d'ilménite formant des jonctions triples et des contacts rectilignes.

7 - Discussion

Le résultat de ce projet de fin d'études propose une cartographie de détail du décapage DEC-PAU-14-10 qui comprend un assemblage des 5 lithologies principales décrites dans la section 6, (Descriptions pétrographiques).

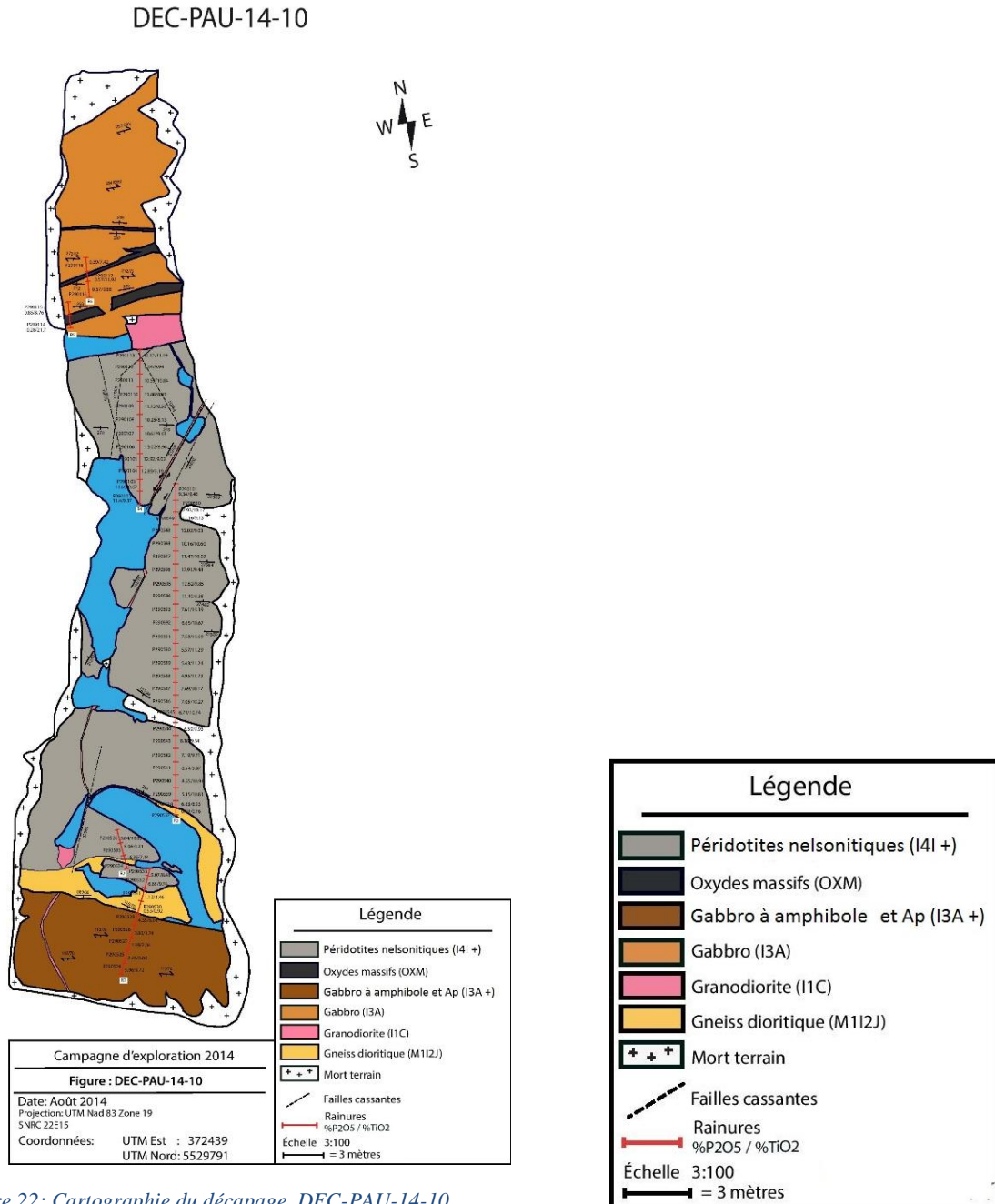


Figure 22: Cartographie du décapage, DEC-PAU-14-10.

La séquence lithologique montrée par les échantillons du décapage DEC-PAU-14-10 peut être interprétée comme le résultat d'une évolution par cristallisation fractionnée. En effet, nos observations montrent un groupe de lithologies ultramafiques qui pourrait représenter la base de la séquence et un groupe de lithologie plus mafique pouvant représenter le sommet de la séquence. En observant la colonne stratigraphique schématique

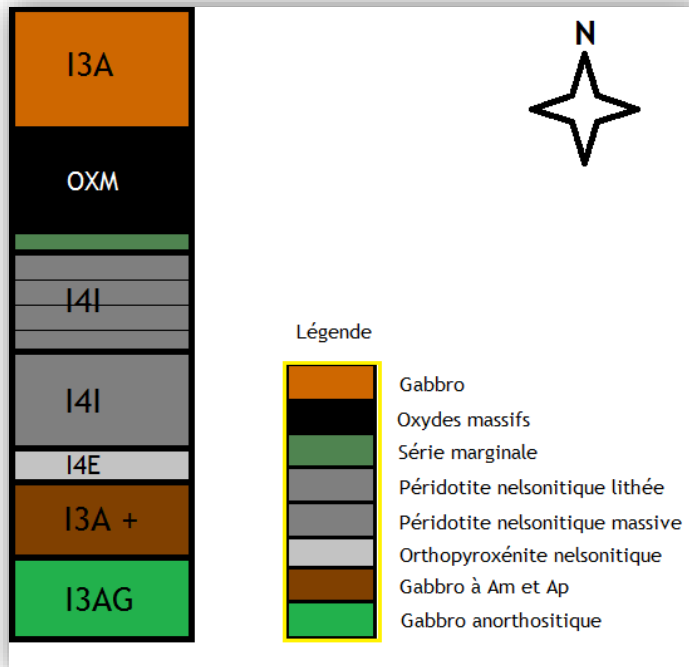


Figure 23: Coupe stratigraphique idéalisée du décapage, DEC-PAU-14-10 d'Arianne Phosphate.

du décapage établie suite à l'analyse pétrographique détaillée des échantillons, on remarque bien cette évolution des faciès. La séquence décrite ici se lit, du NORD vers le SUD. Tout d'abord, la série débute avec les roches ultramafiques qui sont représentées par les péridotites nelsonitiques : péridotites nelsonitiques litées et massives (olivine + apatite), puis on retrouve l'orthopyroxénite nelsonitique (Opx + apatite) et finalement on retrouve les roches mafiques représentées par les gabbros à amphibole et apatite (plagioclase + Opx + apatite) et finalement les gabbros anorthositiques. Dans cette séquence, les oxydes occupent une position interstitielle par rapport aux phases silicatées et à l'apatite. Avec cette séquence de cristallisation, il est possible de situer la base de la stratigraphie du décapage vers le NORD et le sommet stratigraphique vers le SUD. On observe tout fois que l'apatite cristallise à tous les niveaux de la séquence ce qui propose un liquide riche en phosphore. La zone d'intérêt économique d'Arianne Phosphate se trouve dans le domaine associé aux péridotites nelsonitiques. De plus, la stratigraphie du décapage permet de mettre en évidence la nature sub-verticale de la lentille dans l'extension OUEST du gisement du Lac à Paul par des pendages de 62° - 84° (figure 22). En comparant les résultats des analyses en laboratoire qui se retrouvent également sur la cartographie, on observe que l'information fournie des échantillons en P₂O₅ % et en TiO₂ % du décapage correspond aux observations faites lors de l'étude pétrographique et permettent d'établir un lien direct entre la composition de la roche et sa teneur en apatite. Tel qu'attendu, les roches riches en apatite et en titane sont les roches de composition ultramafique, les péridotites nelsonitiques (litées/massives) et l'orthopyroxénite. Il est à noter que certaines teneurs des gabbros à amphibole et apatite de la section SUD ont donné des valeurs de près de 7 % P₂O₅.

du décapage établie suite à l'analyse pétrographique détaillée des échantillons, on remarque bien cette évolution des faciès. La séquence décrite ici se lit, du NORD vers le SUD. Tout d'abord, la série débute avec les roches ultramafiques qui sont représentées par les péridotites nelsonitiques : péridotites nelsonitiques litées et massives (olivine + apatite), puis on retrouve l'orthopyroxénite nelsonitique (Opx + apatite) et finalement on retrouve les roches mafiques représentées par les gabbros à amphibole et apatite (plagioclase + Opx + apatite) et finalement les gabbros anorthositiques. Dans cette séquence, les oxydes occupent une

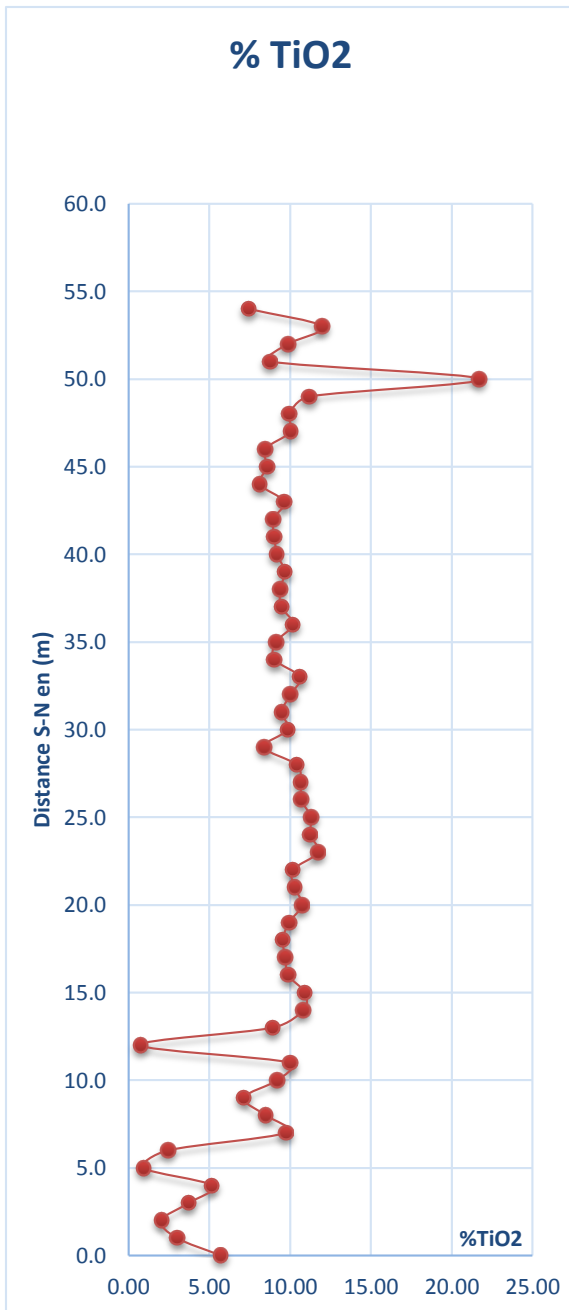


Figure 24: Évolution du % de TiO₂ le long du décapage du SUD (0m) vers le NORD (60m).

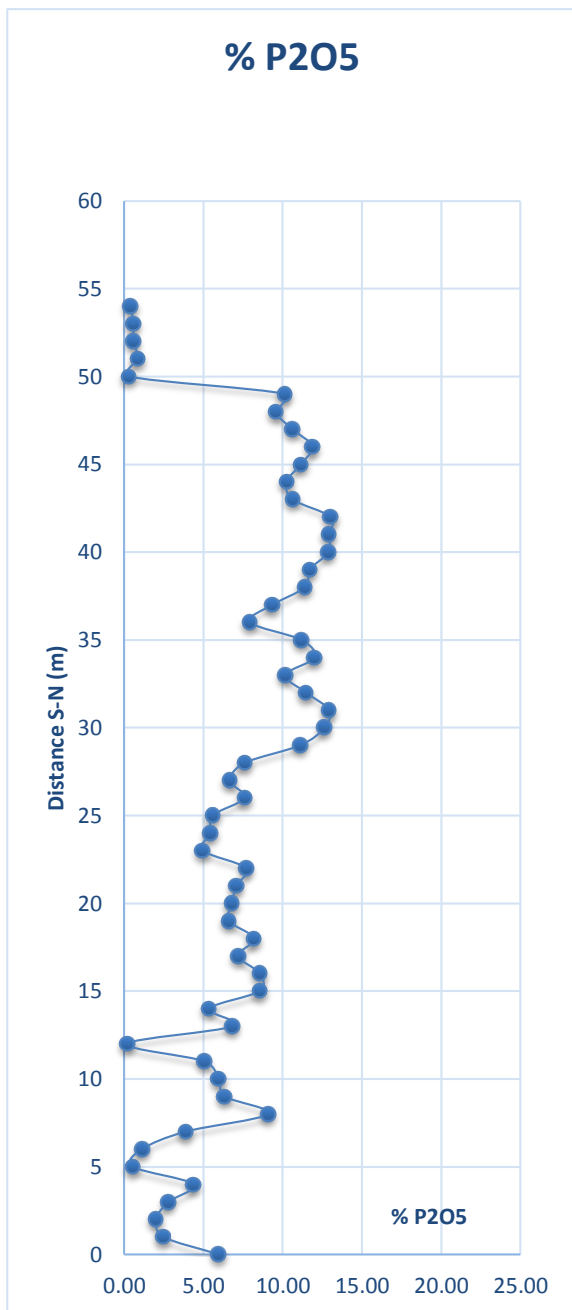


Figure 25: Évolution du % de P₂O₅ le long du décapage du SUD (0m) vers le NORD (60m).

Le Grab 9 est un échantillon différent qui contient pratiquement tous les minéraux présents sur le décapage. On retrouve effectivement l'olivine, l'orthopyroxène, les plagioclases et les amphiboles. On observe également la présence de phénocristaux de plagioclase généralement bordés par les grains amphiboles, biotites et d'apatites. D'autres caractéristiques comme la présence de macles en biseaux (déformation de haute température) et une apparence xénomorphe des minéraux comme l'olivine, les Opx et les plagioclases suggèrent une cristallisation en déséquilibre de cette portion du décapage

pouvant s'apparenter à une bordure figée, à un faciès de série marginale comme on en observe à la marge des grandes intrusions litée telle que le Muskox. En effet, l'intrusion lors de sa mise en place dans un massif anorthositique partiellement refroidi peut avoir favorisé une co-cristallisation des différentes phases avant leur ségrégation par densité comme lors de la cristallisation fractionnée.

8 - Conclusions et recommandation

Les lithologies observées sur le décapage, DEC-PAU-14-10 montrent une séquence de cristallisation fractionnée typique : olivine + apatite, Opx + apatite et plagioclase + Opx + apatite. On retrouve à la base de la séquence les roches ultramafiques composées de péridotites nelsonitiques, litées et massives surmontés d'un niveau d'orthopyroxénite lui-même surmonté par les faciès gabbroïques. La présence de Grab 9 à la base de la séquence

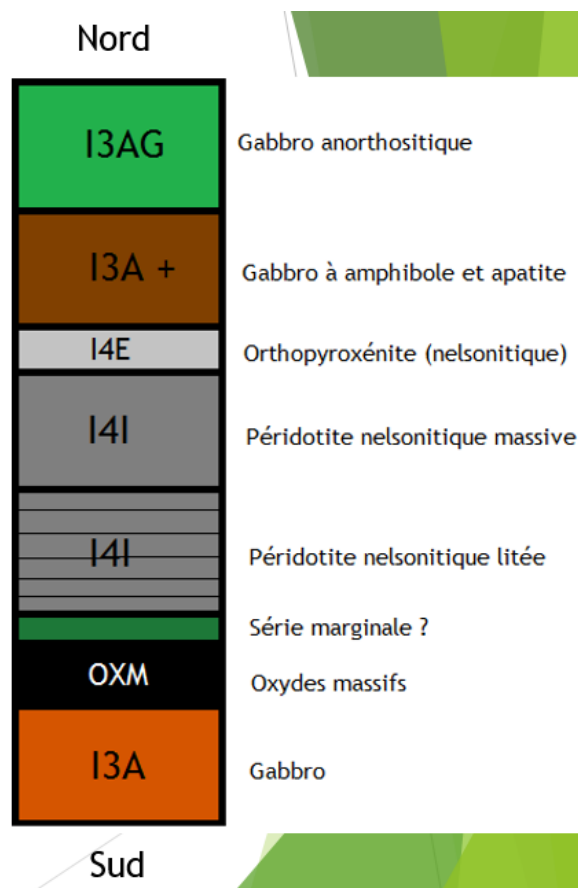


Figure 26: Coupe stratigraphique idéalisée du décapage, DEC-PAU-14-10.

stratigraphique amène cependant une autre question concernant la validité de la mise en place de la séquence par cristallisation fractionnée. La série marginale est observable dans les grandes intrusions litées comme l'exemple de l'intrusion litée de Muskox. Pour confirmer cette interprétation une étude plus détaillée des faciès marquant la transition entre les péridotites nelsonitiques et les oxydes massifs situés au NORD du corps minéralisé du Lac à Paul serait à considérer afin d'établir la présence réelle de la série marginale dans l'intrusion. De plus, la comparaison de la stratigraphie avec d'autres secteurs du gisement serait un outil intéressant dans la compréhension de la mise en place et de l'ordre de cristallisation des différentes lithologies observées. Finalement, il serait intéressant de situer les oxydes massifs par rapport à la séquence de cristallisation et de se demander s'ils appartiennent à la base de la séquence ou sont-ils tardifs et auraient percolés vers la base suite à l'immiscibilité d'un liquide riche en oxydes de Fe-Ti.

9 - Références

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., et BEAUMIER, M. 2000. Géologie de la région du Lac à Paul. Ministère des Ressources naturelles, RG 99.05, Québec, pp.1-31

HIGGINS, M.D., et VAN BREEMAN, O. 1996. Three generations of anorthosite-mangerite-charnockite-granite (AMCG) magmatism, contact metamorphism and tectonism in the Saguenay – Lac Saint-Jean region of the Grenville Province, Canada. *Precambrian Research*, 79: 327-346.

DAIGNEAULT, R., GOBEIL, A., et HÉBERT, C. 1999. Chevauchements et décrochements grenvilliens : comparaison des styles structuraux des secteurs Manitou, Manicouagan et Chicoutimi. Programme et résumés, Séminaire d'information sur la recherche géologique. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec, DV 99-03, p. 28.

CIMON J., 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.

HEBERT C., BEAUMIER M. 2000. Géologie de la région du Lac à Paul (22E/15) Ministère des Ressources naturelles. **RG 99-05**. 34 pages.

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. UQAC, Québec, Canada. 225 pages.

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.

PELLETIER J-D. 2015. Cartographie du gisement de la Zone Paul et ses encaissants, été 2014. 52 pages.

Annexe 1

Synthèse pétrographique

Descriptions mégascopiques

Méga-02 : Gabbro à amphibole et apatite

Cet échantillon provient de la lithologie située au sud du décapage de DEC-PAU-14-10. Il a été prélevé sur la rainure 1 (R1) entre 3,3 et 3,5 mètre. Ce gabbro à amphibole et apatite est de couleur gris bleuté à blanchâtre en cassure fraîche et gris verdâtre à blanchâtre en patine altérée. La roche est hétérogène avec une légère foliation et est localement magnétique. La partie blanchâtre est composée de petits cristaux de plagioclase ($\leq 1,0$ mm). On peut observer à quelques reprises la présence de phénocristaux de plagioclases ($\leq 4,0$ mm) gris mauve. La partie gris bleuté est composée de bandes anastomosées d'amphibole ($\leq 1,5$ mm), d'oxydes de Fe-Ti ($\leq 3,0$ mm), de biotite ($\leq 0,6$ mm) et de petits amas d'apatites ($\leq 2,0$ mm). La composition de ce gabbro à amphibole et apatite est d'environ de 40–45 % de plagioclase, 20-25 % amphibole, 10-15 % oxydes de Fe-Ti, 7-10 % biotite et 3-5 % apatite.

Méga-03 : Gabbro à amphibole

Cet échantillon a été prélevé à 3 m à l'ouest de la rainure 1 (R1) dans l'encaissant sud. Il s'agit d'un gabbro à amphibole de couleur gris vert à gris blanc en cassure fraîche et gris mauve à gris bleuté en patine altérée. La roche est hétérogène, légèrement foliée, faiblement et localement magnétique. Les plagioclases forment la partie gris mauve composée de phénocristaux (≤ 18 mm) et la partie blanchâtre composée de petits cristaux fins à moyen ($\leq 2,0$ mm). Certains plagioclases présentent une bordure de recristallisation composée de petits grains de plagioclase. La partie gris bleuté est caractérisée par un assemblage de grains d'amphibole ($\leq 1,0$ mm), d'oxyde de Fe-Ti ($\leq 1,0$ mm), de biotite ($\leq 0,5$ mm) et de grains d'apatite ($\leq 0,8$ mm). La composition de ce gabbro à amphibole et apatite ressemble grandement à celui de l'échantillon 2 avec 50-60 % plagioclases, 15-20 % amphibole, 5-8 % biotite, 3-5 % oxydes de Fe-Ti, 1-2 % apatite, 2-3 % grenat et 1-2 % de sulfure. Cet échantillon montre des couronnes de minéraux ferromagnésiens autour des phénocristaux de plagioclase ainsi qu'un changement de couleur des amas d'amphibole qui passent du vert sapin en bordure vers un vert brun au cœur. Contrairement à l'échantillon Méga-02, on retrouve des grains grenat ($\leq 1,0$ mm) et de sulfure (pyrrhotite $\leq 2,0$ mm) en quantité non négligeable.

Méga-04 : Orthopyroxénite nelsonitique

Cet orthopyroxénite provient du deuxième mètre de la rainure 2 (R2) située au sud du décapage. La roche est de couleur gris verdâtre à gris bleuté en cassure fraîche et gris brunâtre à gris vert en patine altérée. La roche est homogène, massive et fortement magnétique. Elle est composée d'environ 55-60 % d'orthopyroxène ($\leq 2,0$ mm), 10-15 % apatite ($\leq 1,0$ mm) et 15-20 % d'oxydes de Fe-Ti et de 3-5 % biotite. Des traces de sulfures disséminés sont localement visibles sous la forme de grains fins.

Méga-05 : Péridotite nelsonitique massive

Cet échantillon a été prélevé sur la rainure 3 (R3) entre 1,2 et 1,4 mètre. Elle est de couleur vert foncé à gris vert en patine altérée et gris bleuté à noirâtre en cassure fraîche. Cette roche est homogène massive et fortement magnétique avec une granulométrie fine ($\leq 1,0$ mm). La roche est homogène et massive est présente des veinules d'oxyde. Sa composition apparente est de 40-45 % olivine, 15-20 % apatite, 15-20 % oxydes de Fe-Ti de 10-15 % amphibole et des sulfures en traces. La faible granulométrie et la similitude de la couleur des minéraux formant cette lithologie rendent difficile une description détaillée de celle-ci. L'analyse microscopique a donc permis une meilleure description de cette lithologie.

Méga-06 : Péridotite nelsonitique massive

Cet échantillon a été prélevé entre 10,7-11 mètre sur la rainure 3 (R3) (figure 28). Cet échantillon est très similaire à méga-05. La roche est de couleur vert foncé à gris verdâtre en patine altérée et gris bleuté à noirâtre métallique en cassure fraîche. Elle est homogène, massive et fortement magnétique avec une granulométrie fine ($\leq 1,0$ mm). Sa composition apparente est de 35-40 % olivine, 15-20 apatites, 20-25 % oxyde de Fe-Ti, 7-10 % amphibole, environ 3-5 % pyroxène et des sulfures en trace. La faible granulométrie et la similitude de la couleur des minéraux formant cette lithologie rendent difficile l'interprétation de celle-ci. L'analyse microscopique a donc permis une meilleure description de cette lithologie.

Méga-07 : Péridotite nelsonitique litée

Cette péridotite nelsonitique litée a été prélevée sur la rainure 3 (R3) entre 16,7 et 17 mètre. L'échantillon méga-07 permet de bien voir le litage. On y observe une faible alternance de lits verdâtres (olivine + apatite) et des lits gris bleu à gris métallique (amphibole + plagioclase). La roche est hétérogène, litée et fortement magnétique. Sa granulométrie est majoritairement fine ($\leq 1,0$ mm) à l'exception de quelques grains d'olivine plus grossiers ($\leq 1,5$ mm) et des amas d'amphiboles ($\leq 2,0$ mm). Sa composition est d'environ 25-30 % apatite ($\leq 0,5$ mm), 15-20 % d'olivine ($\leq 1,0$ mm), 20-25 oxyde de Fer-Ti et 15-20 % d'amphibole. Il est difficile mais possible d'observer une orientation préférentielle ainsi qu'un allongement préférentiel des grains qui traduit une fabrique S1 dans la roche. La faible granulométrie et la similitude de la couleur des minéraux formant cette lithologie rendent difficile l'interprétation de celle-ci. L'analyse microscopique a donc permis une meilleure description de cette lithologie.

Méga-08 : Péridotite nelsonitique litée

Cette roche est pratiquement identique à Méga-07, seul le pourcentage modal varie un peu. Elle a été prélevée sur la rainure 4 (R4) entre 2,3 et 2,6 mètres. Sa composition apparente est de 25-30 % apatite ($\leq 1,0$ mm), 15-18 % olivine ($\leq 1,0$ mm), 15-20 % d'oxydes de Fe-Ti et de 20-25 % amphibole, 5-7 % plagioclase et des trace de sulfure. L'échantillon Méga-08 montre bien le litage défini par l'alternance d'horizon d'amphibole et de plagioclase (gris vert à gris mauve) avec des horizons riche en apatite et en oxydes de Fe-Ti. On observe un fort enrichissement en apatite prêt des lits de plagioclase et d'amphibole. Les lits de

plagioclase (≤ 10 mm) sont composés de phénocristaux de plagioclases ($\leq 5,0$ mm) faiblement recristallisés entourés de minéraux ferromagnésien et d'apatite.

Méga-09 : Péridotite nelsonitique litée

Cette péridotite nelsonitique provient de la rainure 4 (R4) entre 9,0 et 10 mètre. Sa composition ressemble aux autres péridotites nelsonitiques litées, soit Méga-07 et Méga-08 mais comprend une suite de minéraux que l'on observe dans les autres lithologies comme de l'orthopyroxène et du plagioclase en quantité non négligeable. L'échantillon est de couleur gris vert à gris brunâtre en patine altérée et de couleur gris bleuté à gris métallique en cassure fraîche. La roche est hétérogène litée, magnétique et à grain fin. La partie nelsonitique est entrecoupée par des lits de plagioclase moyens à grossiers avec un enrichissement en apatite en bordure des lits. Sa composition apparente est de 30-35 % apatite ($\leq 1,0$ mm), 25-30 % minéraux ferromagnésiens, 15-20 % oxyde de Fe-Ti, 5-10 % olivine/OPX ($\leq 1,0$ mm) et 3-5 % plagioclase (≤ 10 mm).

Méga-10 : Oxyde massif

Cet échantillon d'oxyde massif se trouve sur la rainure 6 (R6) entre 2,6 et 2,8 mètres. L'échantillon est de couleur gris bleuté à gris métallique et fortement magnétique. La roche est homogène massive à granulométrie variée, fine ($\leq 1,0$ mm) à grossière (> 5 mm et < 3 cm). Sa composition est d'environ 90% oxyde de Fe-Ti, de 7-10 % olivine et des traces de spinels et d'apatite.

Méga-11 : Gabbro

Cet échantillon provient de la partie nord du décapage qui correspond à la partie la plus au nord du décapage DEC-PAU-14-10. La couleur de l'échantillon est de gris bleuté à gris verdâtre. La roche est hétérogène, présente une schistosité S1 et elle est magnétique. Sa composition minéralogique estimée est de 45-55%, de plagioclase (75% phénocristaux (≤ 10 mm) et 15% de plagioclases recristallisés ($\leq 0,5$ mm)), 20-25% de minéraux ferromagnésiens, 15-20% d'oxyde de Fe-Ti, 2-3% grenat et des sulfures disséminés en traces.

Description microscopique

Description microscopique (Lame mince: Grab 2)

Nom: Gabbro à amphiboles et apatite

Texture: granoblastique à granolépido-blastique

La minéralogie de ce gabbro à amphibole et apatite se compose principalement de 60 % de plagioclase, de 15% d'amphibole, de 10% de biotite, de 7% d'apatite, de 5% d'oxyde de Fe-Ti, de 3% d'altération (séricite) et de traces de sulfures.

L'apatite (0,2 à 1,0 mm) xénomorphe à hypidiomorphe se présente sous forme arrondie à sub-arrondie avec un fort relief. On l'observe généralement en amas suturé mais quelques grains individuels sont distribués aléatoirement dans la lame. La présence de jonctions triple entre les grains ainsi qu'une bordure suturée des grains plus grossiers (2,0 à 3,0 mm) suggère une texture de recristallisation des grains d'apatite. Des trainées d'inclusions fluides traversent certains grains de façon linéaire et sporadique.

La texture associée au plagioclase (An₃₅, andésine) de ce gabbro à amphibole et apatite est de type granoblastique avec la présence de phénocristaux (≤ 3 mm) xénomorphes à hypidiomorphes. Les phénocristaux de plagioclase montrent des macles légèrement déformées à absentes et une extinction roulante. Les grains de plagioclases qui composent la texture granoblastique présentent des évidences de recristallisation par la présence de jonctions triple, une extinction roulante et de macles en biseaux (métamorphisme de haute température). On observe la présence de séricite sur un bon nombre de grains de plagioclase, qui parfois représente une partie significative du grain.

Les amphiboles présentes adoptent une forme prismatique, plus ou moins allongée avec un clivage généralement net. Deux types d'amphiboles sont présentes dans lesquelles on retrouve la hornblende verte (0,5 à 1,2 mm) xénomorphes à hypidiomorphes, caractérisée par une couleur vert olive à jaune claire avec une extinction droite et la trémolite ($\leq 0,5$ mm) qui est xénomorphe et reconnaissable par une réfringence incolore et une biréfringence assez élevée (début du deuxième ordre).

Description microscopique (Lame mince: Grabe 3)

Nom : Gabbro à amphibole et apatite

Texture : granolépido-blastique

La composition modale de ce gabbro à amphibole et apatite est de 60% de plagioclase, 20% amphibole, 10% biotite, 5% d'oxyde de Fer-Ti, 4% apatite, du grenat et des sulfures en trace disséminés.

L'apatite (0,2 à 0,6 mm) est xénomorphe à hypidiomorphe de forme arrondie à sub-arrondie et se trouve généralement en amas présentant des sutures aux bordures des contacts. Quelques grains individuels hypidiomorphes ($> 0,5$ mm) sont isolés dans les bandes anastomosées de minéraux ferromagnésiens. La présence de jonctions triples entre les

grains suggère une recristallisation de l'apatite. Contrairement à la lame mince Grab 2, le niveau de fracturation des grains d'apatite, quoi que faible et local, est plus important.

La texture des plagioclases (An₂₀, oligoclase) de ce gabbro à amphiboles et apatite est similaire à celle de la lame mince Grab 2, une texture granolépidoblastique avec la présence de phénocristaux (1 à 7 mm) xénomorphes à hypidiomorphes. La texture associée aux plagioclases propose une texture de recristallisation caractérisée par la présence de jonctions triples, une extinction roulante ainsi que l'absence totale ou partielle de macles sur une grande partie des grains. Une légère séricitation est présente.

Deux amphiboles caractérisent la lithologie de la lame mince. Premièrement, la hornblende verte (0,4 à 1,0 mm) qui représente environ 90% des amphiboles présentes. Elle est xénomorphe à hypidiomorphe de forme sub-angulaire à allongée, présentant un bon clivage ainsi que des inclusions de sulfures, (pentlandite et pyrrhotite). La tremolite est la deuxième amphibole présente de cette lithologie. Les grains de tremolite sont xénomorphes à hypidiomorphes ($\geq 1,0$ mm), quelque fois de forme losangiques et systématiquement en contact avec les grains de hornblende verte. Elle possède un bon clivage avec des inclusions de sulfures (pyrrhotite et pentlandite). Sa forte biréfringence permet facilement de la différencier de la hornblende verte. Les grains de biotite qui accompagnent les amphiboles sont xénomorphes ($\geq 1,0$ mm) de formes allongés ou aciculaires. Tout comme les amphiboles, elles traduisent un plan d'orientation préférentiel de la roche qui définit la schistosité.

Les oxydes Fe-Ti sont généralement formés de grains polygonaux et xénomorphes d'ilménite (99%) ($\geq 3,0$ mm), sub-arrondies à anguleux et de magnétites. La magnétite (1%) se retrouve aussi disséminée dans la lame et de forme xénomorphe et sub-angulaire. On retrouve également un assemblé de sulfures magmatiques composé de pyrrhotite, pentlandite et de chalcopyrite, tous xénomorphes.

Description microscopique (Lame mince : Grab 4)

Nom : orthopyroxénite nelsonitique

Texture : granoblastique à porphyroclaste d'orthopyroxène et à intercumulat d'oxydes.

La composition modale de cette orthopyroxénite est de 55% orthopyroxène, 15% apatite, 20% d'oxydes de Fe-Ti, 7% phlogopite et 3% de sulfures magmatiques, Pyrrhotite, pentlandite et chalcopyrite.

La majeure partie de la lithologie est composée de pyroxènes orthorombiques de la famille de l'hyperstène. On retrouve premièrement une série d'Opx ($\geq 0,7$ mm) qui sont xénomorphes de forme sub-angulaires à sub-arrondies caractérisées par une texture granoblastique, ainsi que la présence de jonctions triples et d'une extinction roulante. Tous ces éléments suggèrent une recristallisation partielle des grains d'Opx. Cette phase représente 70% des Opx présents dans la roche. Les porphyroclastes d'Opx (1,0 à 2,0 mm) sont xénomorphes et représentent 16% de la roche totale. Ils sont caractérisés par une texture poécilitique et une extinction roulante. On retrouve à l'intérieur des porphyroclastes d'Opx, une série d'inclusion d'ilménite et de sulfures magmatiques (pyrrhotite, pentlandite et chalcopyrite).

L'apatite ($\geq 1,0$ mm) xénomorphe à hypidiomorphe est de forme sub-arrondie à arrondie. Elle forme de petits amas composés de quelques grains, qui montrent des jonctions triples ainsi qu'une extinction roulante. Quelques grains individuels hypidiomorphes ($\geq 0,3$ mm) sont dispersés de façon aléatoire sur la lame. On les retrouve en inclusion dans les grains d'ilménite et à certaines reprises en inclusion dans les Opx.

Les oxydes de Fe-Ti forment des amas interstitiels composés d'ilménite et de magnétite. Les grains se trouvent généralement près des grains d'apatite ou en contact avec ceux-ci. L'ilménite ($\geq 1,5$ mm) représente 80 % de la phase d'oxydes de Fe-Ti. Elle est partiellement recristallisée, de forme polygonale, faiblement fracturée avec un bon pléochroïsme. On observe plusieurs contacts rectilignes entre les grains et la présence de jonctions triples qui suggère une recristallisation partielle des grains. Des contacts rectilignes définissent aussi le contact net qui sépare les grains d'ilménite des grains de magnétite. L'ilménite se retrouve à quelques reprises en exsolution dans les grains de magnétite. La magnétite ($\geq 1,0$ mm) xénomorphe à hypidiomorphe montre des jonctions triples entre ses grains mais aussi avec les grains d'ilménites qui l'entourent. Des grains de pyrrhotite avec des inclusions de pentlandite et/ou chalcopyrite se trouvent généralement en bordure des grains associés aux micros fractures des oxydes.

Les grains de phlogopites qui accompagnent les Opx sont xénomorphes à hypidiomorphes ($\geq 1,0$ mm) sous la forme de plaquettes allongées. Bien que les amas ne soient pas continus, les grains de biotites suggèrent une orientation préférentielle dans la roche. Une série de grains de phlogopites ($\geq 0,2$ mm) xénomorphe se trouve également en inclusion dans les grains OPX.

Description microscopique (Lame mince: Grab 5)

Nom : Péridotite nelsonitique massive

Texture : cumulat d'olivine et apatite à intercumulat d'oxyde

La composition de cette péridotite nelsonitique est de 45% d'olivine, 20% amphibole, 15% apatite, 5% clinopyroxène, 10% oxyde de Fe-Ti, 5% serpentine et des traces de sulfures magmatiques tels que la pyrrhotite, pentlandite et chalcopyrite.

La texture de cumulat de l'échantillon est caractérisée par l'abondance d'olivine ($\geq 2,0$ mm) de forme xénomorphe, sub-arrondie avec un fort niveau de fracturations. La quasi-totalité des fractures observables sur les grains d'olivine sont serpentinisées, ainsi qu'une faible proportion liée aux apatites. L'olivine est relativement fraîche car elle possède une couleur vive en lumière polarisée croisée et elle ne montre pas d'extinction roulante. Quelques grains d'apatites hypidiomorphes ($\geq 0,5$ mm) se retrouvent en inclusions.

Le pyroxène présent est l'augite. L'augite se présente sous forme de grains xénomorphes ($\leq 4,0$ mm), légèrement à fortement maclés avec une forte altération (ouralitisations) dans laquelle elle change de composition afin de donner place à un mélange de petites amphiboles polygonales vertes pâle majoritairement composé de hornblende verte. La texture granoblastique est la texture qui caractérise les amphiboles présentes. Les reliques

d'augites sont encore reconnaissables mais montrent une ouralilitisation sur environ 30% de la surface des grains. Beaucoup d'inclusions d'oxydes de Fe-Ti (ilménite-magnétite) ainsi qu'une faible quantité de sulfures s'observent à l'intérieur des reliques de d'augite. Ces inclusions sont majoritairement parallèles au clivage.

L'apatite ($\geq 0,6$ mm) xénomorphe à hypidiomorphe de forme sub-angulaire à sub-arrondie se trouve majoritairement en amas de sous grains polygonaux ($\geq 1,5$ mm) et quelques fois de formes allongées et fortement fracturées. On y observe une extinction roulante et une couleur plus forte que les olivines en lumière naturelle. Les grains sont généralement en contact direct avec les oxydes de Fe-Ti ou en inclusion. Comme mentionné plus haut, quelques grains individuels sont en inclusion dans les olivines. Contrairement aux autres lames, l'apatite semble suivre un plan de distribution linéaire qui lui confère un allongement dans ce même plan caractérisant une fabrique.

Les grains d'oxyde de Fe-Ti (≥ 1 mm) sont xénomorphes, de formes polygonales et légèrement fracturés. Ces amas interstitiels aux grains d'olivines se composent essentiellement de grains d'ilménite et de magnétite partiellement recristallisés. Des contacts rectilignes sont présents entre les grains d'oxydes et quelques petites inclusions de sulfures, pyrrhotite et pentlandite ($\geq 0,1$ mm), s'observent également. L'hercynite est xénomorphe ($\geq 0,3$ mm) de forme sub-angulaire à arrondie et se retrouve présent en inclusion dans les oxydes. Ce spinel de Fe et Al est caractérisé par un vert profond en lumière naturelle.

On remarque trois types de sulfures magmatiques. Il s'agit de la pyrrhotite, la pentlandite et la chalcopyrite. La pyrrhotite représente la portion la plus importante des sulfures. Les grains de pyrrhotite sont xénomorphes ($\geq 0,6$ mm), et sub-arrondis à arrondis.

Les fractures sont remplies de magnétites et à quelque reprise de petit grain d'ilménite qui montre qu'une partie des oxydes de Fer-Ti sont tardifs dans l'évolution de ce système.

Description microscopique (lame mince : Grab 6)

Nom : Péridotite nelsonitique massive

Texture : cumulat d'olivine et d'apatite à intercumulat d'oxyde

La minéralogie de cette lithologie se caractérise par des proportions modale de 38 % olivine, 24 % oxyde, 20% apatite, 7% amphibole, 5% serpentine, 5% CPX, 1% hercynite avec des sulfures en trace.

L'olivine est le minéral le plus abondant de la lithologie. Il représente 38% des minéraux présents. Il est xénomorphe (≥ 3 mm), de forme sub-arrondie à arrondie avec un fort niveau de fracturation. Il caractérise la texture de cumulat de la roche. On observe une grande abondance de grains allongés dans plan préférentiel qui suggère une déformation de haute température. Des néoblastes d'olivines et d'amphiboles s'observent au pourtour des grains de pyroxènes, ce qui lui confère une texture coronitique. Des grains d'apatites, de sulfure et d'oxydes apparaissent quelque fois en inclusion dans les grains d'olivines suggérant une cristallisation plus tardive de ces derniers. La serpentine remplit en quasi-totalité les fractures des grains d'olivine et quelques fois les fractures de l'apatite.

Les oxydes de Fe-Ti montrent une texture en filet. Ils se composent de grains généralement polygonaux d'ilménite et de magnétite xénomorphes ($\leq 1,0$ mm) sub-anguleux à sub-arrondis. Ces amas interstitiels sont fréquemment accompagnés d'un assemblage de sulfures magmatiques de pyrrhotite, pentlandite et chalcopyrite. On observe couramment des exsolutions de pentlandite et chalcopyrite dans la pyrrhotite. La magnétite apparaît aussi à quelque reprise dans les plans de fractures des grains d'apatite. Similaire à la lame mince Grab 5, l'hercynite est xénomorphe ($\leq 1,0$ mm) et se trouve en association avec les oxydes de Fe-Ti.

Les clinopyroxènes sont xénomorphes ($\geq 2,0$ mm). Ils montrent un fort clivage et une forte concentration de rutile en inclusion parallèle au clivage. On les retrouve généralement entourés par une couronne de petites amphiboles et olivines xénomorphes ($\geq 0,2$ mm) à texture granoblastique qui les séparent d'un contact direct avec les cristaux olivines présent.

Description microscopique (lame mince : Grab 7)

Nom : Nelsonite péridotitique litée

Texture : gloméroporphyrique

30% apatite, 20% olivine, 20% d'oxydes, 20% amphibole, 7% serpentine, 2% phlogopite et 1% hercynite.

Cette nelsonite péridotitique litée se compose de 50% de la phase nelsonitique soit 30% apatite et 20% oxyde de Fer-Ti ainsi que de 20% d'olivine, 20% amphibole, 5% serpentine, 2% phlogopite et du spinel en trace.

La lame mince, Grab 7, montre deux domaines distincts. Le premier domaine se caractérise par une abondance de grains d'apatite xénomorphes ($\leq 1,0$ mm) de forme sub-angulaire à sub-arrondie. Elle présente un fort niveau de fracturation et une orientation préférentielle qui semble définir une fabrique. Les oxydes qui accompagnent les grains d'apatite se composent en majorité de grains d'ilménite à 75% et de 25% de grains de magnétite. Il s'agit de grains fréquemment polygonaux avec des contacts rectilignes entre les grains. Cette fabrique se compose également de grains d'olivine xénomorphe ($\leq 1,0$ mm) sub-angulaire à sub-arrondie avec un allongement dans le sens de la fabrique. On note des inclusions de sulfures magmatiques de pyrrhotite, pentlandite et d'apatite dans les grains d'olivines. La serpentine est l'élément majeur qui remplit les fractures de l'olivine mais à quelque reprise, la magnétite se retrouve aussi dans les plans de fractures.

Le deuxième domaine que l'on retrouve sur la lame mince Grab 7 est essentiellement composé d'apatite et d'amphibole. Ce domaine se caractérise par une alternance d'horizon d'apatite et d'amphibole qui définissent une fabrique. L'apatite montre pratiquement les mêmes caractéristiques que le premier domaine mais son degré d'altération et de fracturation est relativement moins élevé. La texture gloméroporphyrique définit l'assemblage granoblastique des amphiboles. Les amas sigmoïdales d'amphibole sont caractérisés par une fabrique CS ainsi que des "ombres de pressions" aux extrémités des amas observable par la présence de phlogopite moyennement altéré en chlorite. On retrouve quelques petits grains xénomorphes à hypidiomorphes d'apatite en inclusion dans

ces amas d'amphiboles. Les oxydes qui accompagnent cette zone sont similaires à ceux du domaine 1, mais se retrouve en moins grand nombre.

Description microscopique (lame mince : Grab 8)

Nom : Nelsonite péridotitique litée

Texture : gloméroporphyrique

La composition de cette nelsonite péridotitique litée est de 30% apatite, 23% amphibole, 20% d'oxydes, 20% olivine, 3% phlogopite, 2% serpentine avec sulfure et hercynite en trace. Elle montre une alternance d'horizon à composition péridotitique et d'horizon à composition nelsonitique riche en amphibole.

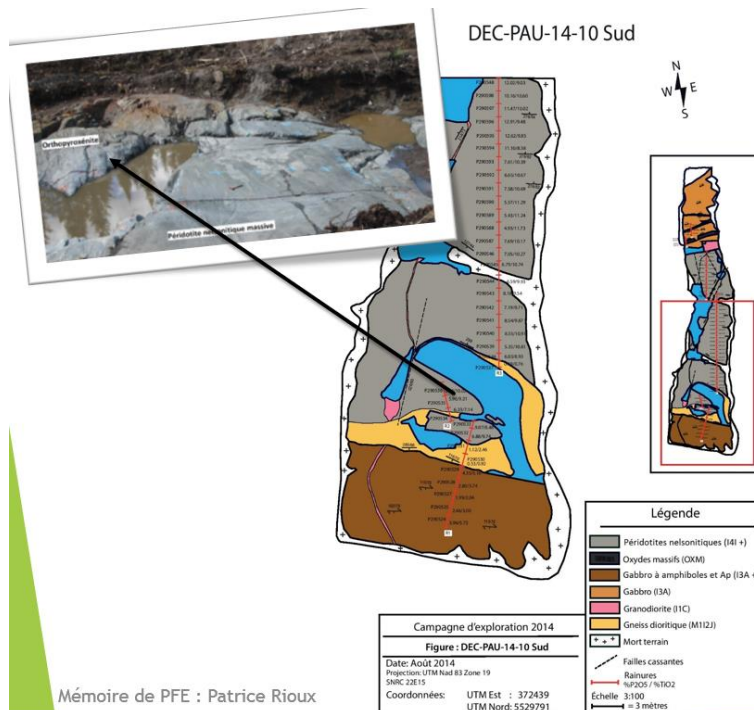
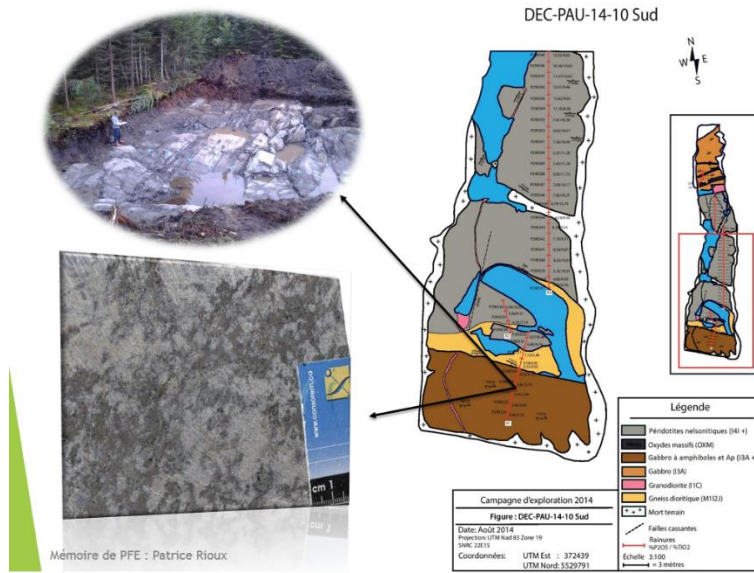
La lame mince Grab 8 est similaire à la lame mince Grab 7. Elle se présente sous deux domaines distincts. Premièrement un domaine nelsonitique composé à 42% de grains d'apatite xénomorphes à hypidiomorphes (≥ 1 mm) sub-angulaire à sub-arrondie en amas allongé. Les grains d'oxyde sont répartis selon des proportions de 70% d'ilménite et 30% de grains de magnétite majoritairement polygonaux avec des contacts rectilignes entre les grains. L'olivine xénomorphe (≥ 2 mm) montre un niveau de fracturation assez élevé et elle représente 29% du domaine. Ce domaine est caractérisé par la texture de (cumulat) par les grains d'apatites et d'olivines granoblastiques ainsi qu'une texture d'intercumulat par la présence des grains d'oxydes entre les grains d'apatites et d'olivine.

Le deuxième domaine représente environ 1/3 de la lame mince et il se compose en grande partie de petits grains d'amphibole ($\geq 0,8$ mm) gloméroporphyrique. Les grains sont xénomorphes de taille variée de l'ordre de (0,1 mm à 0,4 mm) formant des amas sigmoïdales avec les extrémités en phlogopite. De nombreuses inclusions d'oxydes et de sulfures se trouvent à l'intérieur de ces amas. On observe une diminution de la taille des grains, du cœur vers les bordures ce qui suggère une texture de recristallisation des amphiboles. On dénombre un grand nombre d'inclusion d'hercynite xénomorphe ($\geq 0,1$ mm) souvent arrondie mais quelquefois allongée selon le clivage.

Les grains de phlogopite sont xénomorphe ($\geq 0,4$ mm) et majoritairement positionnés aux extrémités des amas d'amphiboles. Quelques grains d'apatite sont entourés par la phlogopite qui forme une couronne autour.

Annexe 2

Localisation des échantillons



Péridotites nelsonitiques massives



R3 = 10,7 - 11,0 m



R3 = 1,2 - 1,4 m

7,05% P_2O_5
10,27% TiO_2

6,83% P_2O_5
8,93% TiO_2

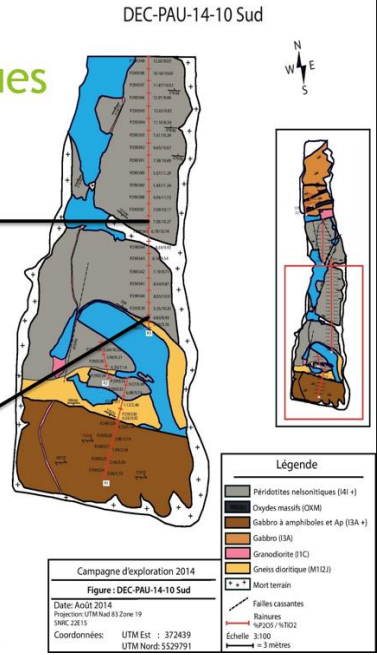
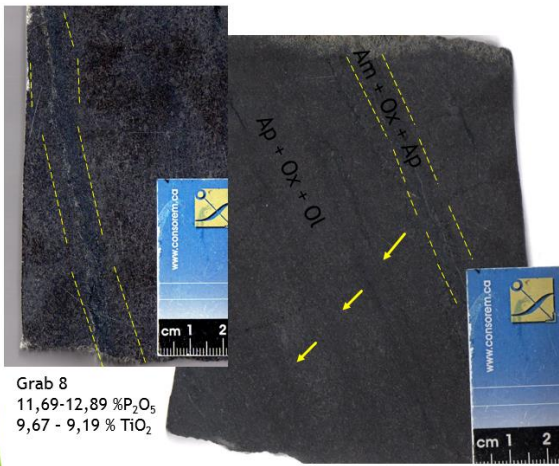


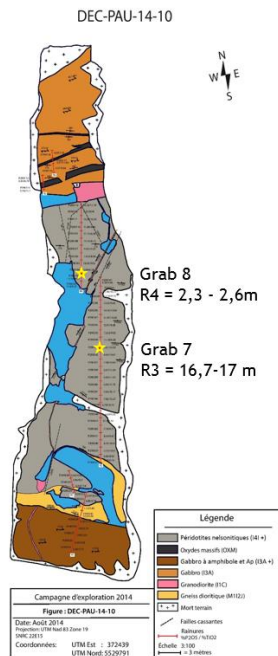
Figure 5: Carte de localisation de la péridotite nelsonitique massive (Grab 5 et Grab 6)

Péridotites nelsonites litées



Grab 8
11,69-12,89 % P_2O_5
9,67 - 9,19 % TiO_2

Grab 7
7,61 - 11,10 % P_2O_5
10,39 - 8,38% TiO_2

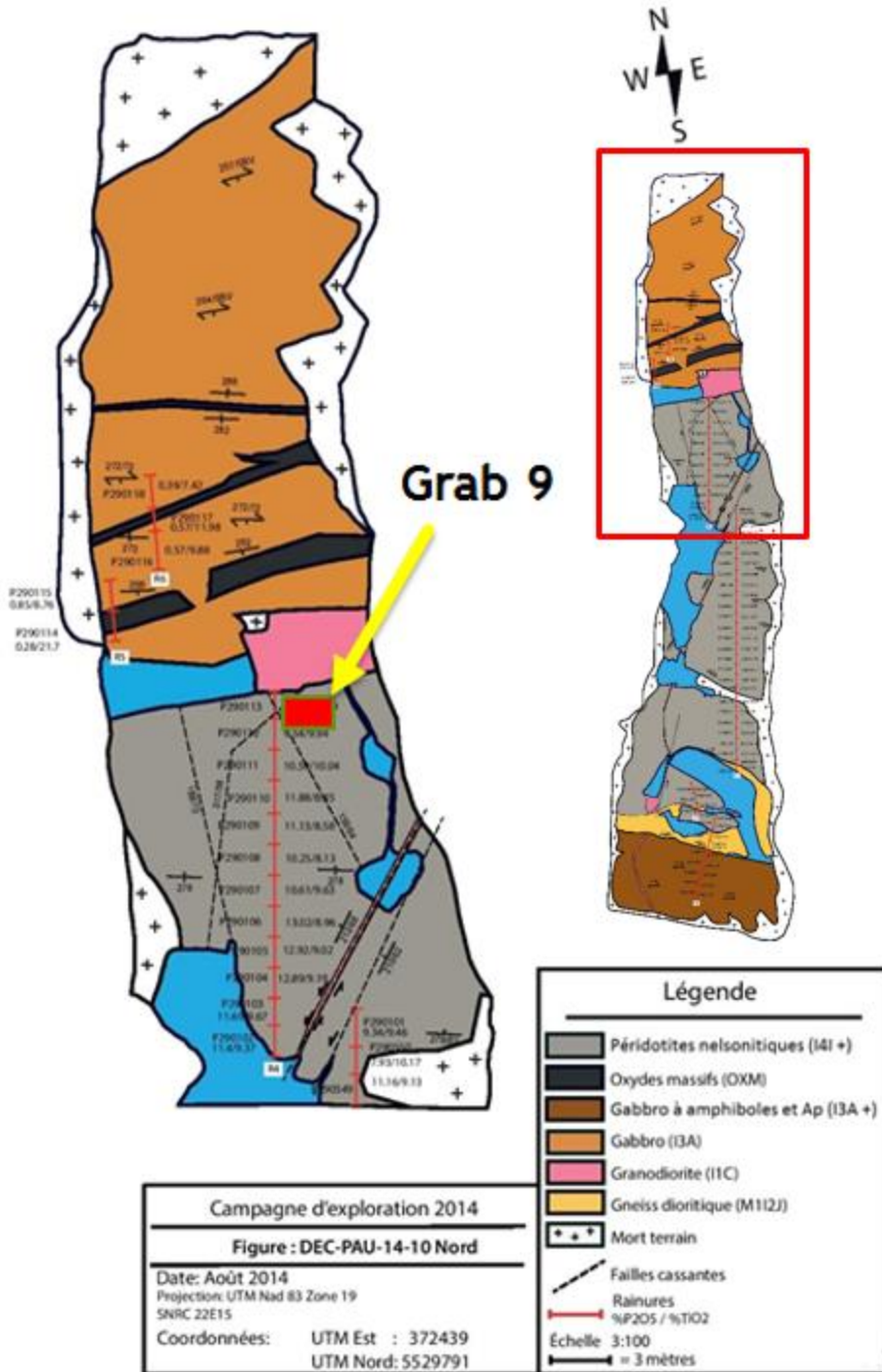


Grab 8
R4 = 2,3 - 2,6m

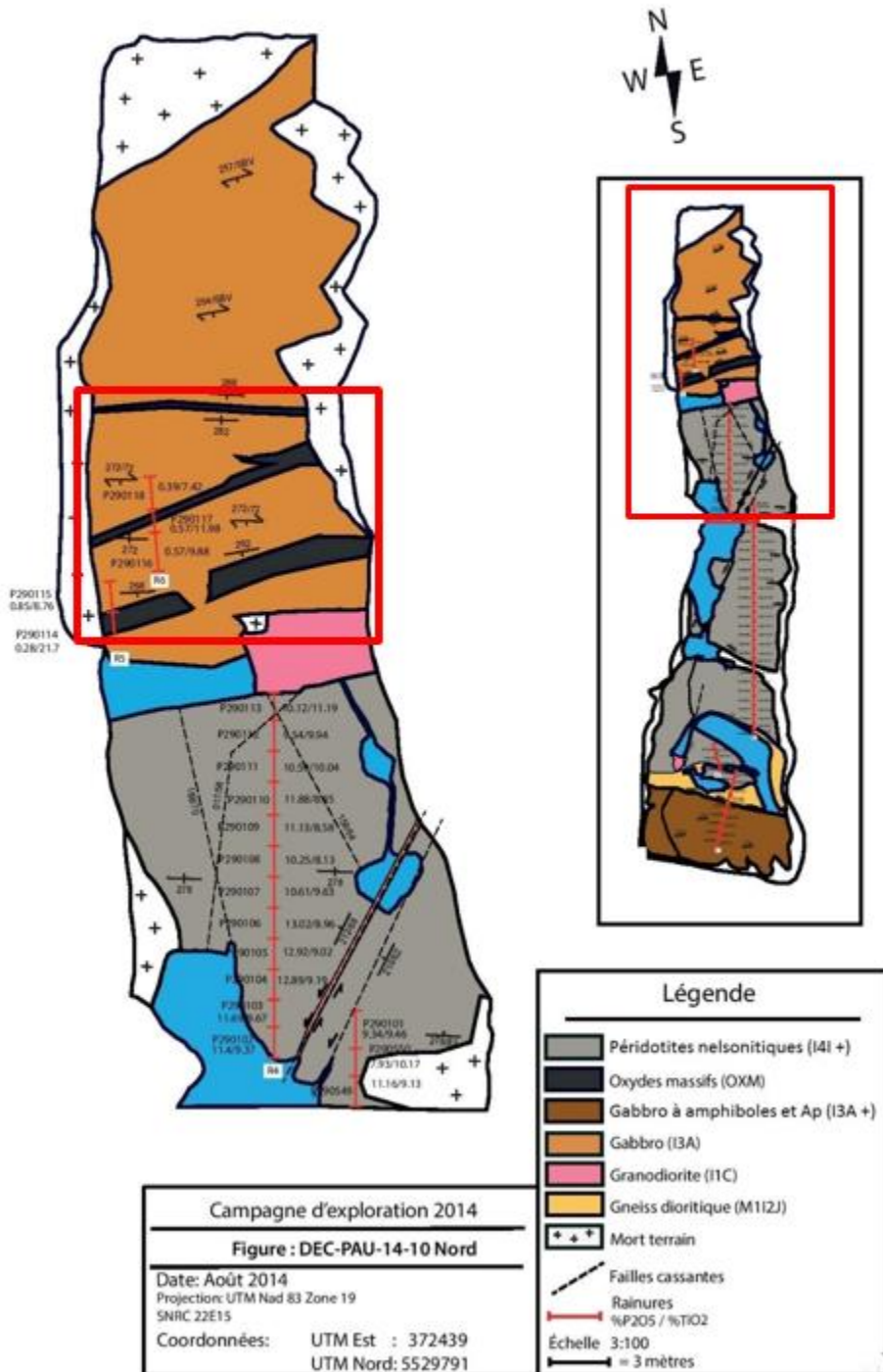
Grab 7
R3 = 16,7-17 m

Mémoire de PFE : Patrice Rioux

DEC-PAU-14-10 Nord



DEC-PAU-14-10 Nord



Annexe 3

Classification des échantillons

Synthèse pétrographique (diagrammes streckeisens)

