

**ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET GÉOCHIMIQUE D'UNE
MINÉRALISATION DE NI-CU-EGP, PROJET CHUTE-DES-PASSES,
SAGUENAY-LAC-ST-JEAN**

par

François Labarre

Mémoire présenté dans le cadre du cours de

Projet de fin d'études

(6SCT604)

RÉSUMÉ

La minéralisation en Ni-Cu-EGP de Chute-des-Passes prend place à l'intérieur d'intrusions mafiques-ultramafiques. Ces intrusions sont situées dans la partie nord-est du complexe anorthositique du Lac Saint-Jean au sein de la province géologique du Grenville.

L'étude pétrologique de plusieurs échantillons a permis de définir trois grandes unités lithologiques dans lesquelles la minéralisation est présente, soit une unité ultramafique contenant moins de 10% relatifs de plagioclase, une unité mafique contenant plus de 10% et moins de 65% relatifs de plagioclase et une unité mafique contenant plus de 65% relatifs de plagioclase. La minéralisation est présente en un assemblage pyrrhotite-chalcopryrite-pentlandite où la pyrrhotite constitue la principale phase sulfurée. Cependant, certaines zones se caractérisent par la proportion élevée de chalcopryrite par rapport aux autres sulfures. Ces zones riches en cuivre proviendraient soit d'une remobilisation du cuivre ou d'une cristallisation fractionnée du liquide sulfuré.

L'étude géochimique a permis de déceler l'évidence d'une ségrégation antérieure des sulfures, ce qui a eu pour effet d'appauvrir ce gisement en EGP. Selon la modélisation de la composition des sulfures à l'aide du rapport Cu/Pd, le dépôt de Chute-des-Passes serait caractérisé par une séparation précoce de 0,01% de sulfure, un facteur d'enrichissement R d'environ 250 avec approximativement 50% de sulfures dans la roche.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	3
LISTE DES PLANCHES	4
LISTE DES TABLEAUX	5
CHAPITRE 1 - INTRODUCTION	6
CHAPITRE 2 - GÉOLOGIE RÉGIONALE ET LOCALE	9
2.1 GÉOLOGIE RÉGIONALE.....	9
2.1.1 <i>Province de Grenville</i>	9
2.1.2 <i>Région du Saguenay-Lac-St-Jean</i>	12
2.2 GÉOLOGIE LOCALE (SECTEUR CHUTE-DES-PASSES)	14
CHAPITRE 3 - PÉTROGRAPHIE	19
3.1 LOCALISATION DES ECHANTILLONS.....	19
3.2 CLASSIFICATION DES ECHANTILLONS.....	20
3.2.1 <i>Groupe 1: les roches ultramafiques (moins de 10% relatifs de plagioclase)</i>	23
3.2.2 <i>Groupe 2: les roches mafiques (plus de 10% et moins de 65% relatifs de plagioclase)</i>	31
3.2.3 <i>Groupe 3: les roches mafiques (plus de 65% relatifs de plagioclase)</i>	42
3.3 COMPOSITION DES SULFURES	48

CHAPITRE 4 - GÉOCHIMIE	53
4.1 RELATION ENTRE LE NICKEL, LE CUIVRE, LE PALLADIUM, LE PLATINE ET LE SOUFRE	53
4.1.1 <i>Corrélation entre le nickel et le soufre</i>	<i>54</i>
4.1.2 <i>Corrélation entre le cuivre et le soufre.....</i>	<i>56</i>
4.1.3 <i>Corrélation entre le palladium et le soufre.....</i>	<i>58</i>
4.1.4 <i>Corrélation entre le platine et le soufre.....</i>	<i>58</i>
4.1.5 <i>Corrélation entre le rapport Ni/Cu et le soufre.....</i>	<i>61</i>
4.2 ANALYSE DES RAPPORTS INTERELEMENTS	63
4.2.1 <i>Analyse entre le rapport Cu/Pd et le palladium</i>	<i>63</i>
4.2.2 <i>Analyse entre les rapports Ni/Pd et Cu/Pt.....</i>	<i>65</i>
4.3 MODELISATION DE LA COMPOSITION DES SULFURES A L'AIDE DU RAPPORT CU/PD ...	67
CHAPITRE 5 - DISCUSSION	70
CHAPITRE 6 - CONCLUSION.....	76
REMERCIEMENTS.....	78
REFERENCES	79
ANNEXE A - FICHES PÉTROGRAPHIQUES.....	83
ANNEXE B - MÉTHODE DE CALCUL DE LA COMPOSITION DE LA	
FRACTION SULFURÉE.....	127
ANNEXE C - ANALYSES GÉOCHIMIQUES	129
ANNEXE D - FICHES TECHNIQUES DES ANALYSES GÉOCHIMIQUES	130

Liste des figures

Figure 1: Localisation du projet Chute-des-Passes.....	8
Figure 2: Carte de la Province de Grenville, modifiée de Rivers et al., 1989.....	10
Figure 3: Carte de localisation des secteurs.....	15
Figure 4: Carte géologique des secteurs Nourriciers A et B.....	16
Figure 5: Classification modale des roches gabbroïques d'après Streckeisen, 1976...	22
Figure 6: Diagrammes ternaires S-Fe-Ni et S-Fe-Cu.....	50
Figure 7: Modèle de fractionnement du liquide sulfuré.....	52
Figure 8: Graphique du nickel en fonction du soufre.....	55
Figure 9: Graphique du cuivre en fonction du soufre.....	57
Figure 10: Graphique du palladium en fonction du soufre.....	59
Figure 11: Graphique du platine en fonction du soufre.....	60
Figure 12: Graphique du rapport Ni/Cu en fonction du soufre.....	62
Figure 13: Graphique du rapport Cu/Pd en fonction du Pd.....	64
Figure 14: Graphique du rapport Ni/Pd en fonction du rapport Cu/Pt.....	66
Figure 15: Graphique du Cu/Pd vs Pd pour la modélisation des sulfures de Chute- des-Passes.....	68

Liste des planches

Planche 1 : Photomicrographie en lumière naturelle (échantillon NRA-1)	24
Planche 2 : Photomicrographie en lumière naturelle (échantillon NRA-1)	25
Planche 3 : Photomicrographie en lumière naturelle (échantillon MAN-4-62)	27
Planche 4 : Photomicrographie en lumière naturelle (échantillon NB-3-51.1)	29
Planche 5 : Photomicrographie en lumière naturelle (échantillon NB-2-45.5)	32
Planche 6 : Photomicrographie en lumière polarisée (échantillon NB-3-54.7)	34
Planche 7 : Photomicrographie en lumière naturelle (échantillon NRA-3)	36
Planche 8 : Photomicrographie en lumière polarisée (échantillon PAU-1-89.4)	38
Planche 9 : Photomicrographie en lumière naturelle (échantillon PAU-1-90.7)	40
Planche 10 : Photomicrographie en lumière naturelle (échantillon NRB-1)	43
Planche 11 : Photomicrographie en lumière naturelle (échantillon NB-2-46)	45
Planche 12 : Photomicrographie en lumière naturelle (échantillon NB-2-46)	46

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition calculée de la fraction sulfurée des échantillons49

CHAPITRE 1

Introduction

L'étude qui suit se veut être une description pétrographique et géochimique d'une minéralisation de Ni-Cu-EGP à l'intérieur d'intrusions mafiques-ultramafiques de la région de Chute-des-Passes. Ces intrusions se situent dans la partie nord-est du complexe anorthositique du Lac-Saint-Jean (figure 1). Les caractéristiques minéralogiques permettront de déterminer et de classifier les différentes unités présentes et de caractériser la distribution et la composition des sulfures. L'étude des corrélations entre certains éléments ainsi que des rapports interéléments permettront de caractériser géochimiquement le dépôt.

Dans un premier temps, une étude pétrographique à partir de l'observation de 15 lames minces polies et de 10 échantillons mégascopiques permettra de définir les principales caractéristiques de la minéralisation et de la roche encaissante. Cette étude visera à décrire les associations minérales ainsi que les textures présentes. Ces observations permettront en premier lieu de classifier les échantillons et de définir les unités présentes au sein de l'intrusion. Suite à l'étude minéralogique des phases sulfurées, il sera possible d'établir la distribution et la nature des sulfures ainsi que leurs relations avec la roche encaissante.

Par la suite, la caractérisation des relations entre différents éléments ainsi que l'utilisation de rapports interéléments (Cu/Pd vs Pd et Ni/Pd vs Cu/Pt) permettront d'élucider, en partie, l'évolution pétrologique de ce dépôt et de déterminer s'il y a eu séparation antérieure des sulfures du magma silicaté. Une modélisation de la composition des sulfures à l'aide du rapport Cu/Pd sera tentée.

Figure 1 : Localisation du projet Chute-des-Passes

QUELQUES INDICES ET GÎTES MINÉRAUX DE LA RÉGION 02 (Saguenay-Lac-Saint-Jean)


0 25 50 km

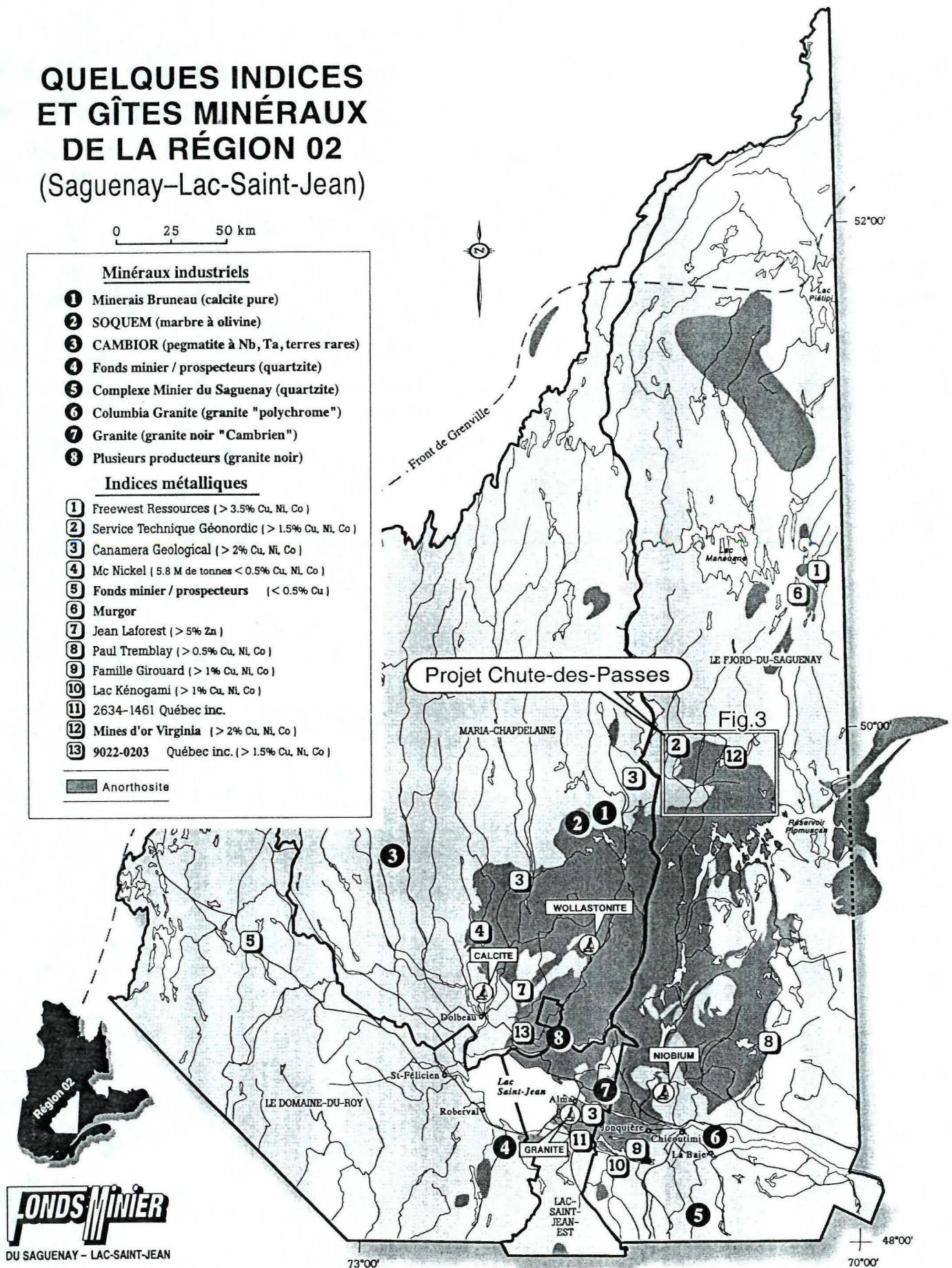
Minéraux industriels

- 1 Minerais Bruneau (calcite pure)
- 2 SOQUEM (marbre à olivine)
- 3 CAMBIOR (pegmatite à Nb, Ta, terres rares)
- 4 Fonds minier / prospecteurs (quartzite)
- 5 Complexe Minier du Saguenay (quartzite)
- 6 Columbia Granite (granite "polychrome")
- 7 Granite (granite noir "Cambrien")
- 8 Plusieurs producteurs (granite noir)

Indices métalliques

- 1 Freewest Ressources (> 3.5% Cu, Ni, Co)
- 2 Service Technique Géonordic (> 1.5% Cu, Ni, Co)
- 3 Canamera Geological (> 2% Cu, Ni, Co)
- 4 Mc Nickel (5.8 M de tonnes < 0.5% Cu, Ni, Co)
- 5 Fonds minier / prospecteurs (< 0.5% Cu)
- 6 Murgor
- 7 Jean Laforest (> 5% Zn)
- 8 Paul Tremblay (> 0.5% Cu, Ni, Co)
- 9 Famille Girouard (> 1% Cu, Ni, Co)
- 10 Lac Kénogami (> 1% Cu, Ni, Co)
- 11 2634-1461 Québec inc.
- 12 Mines d'or Virginia (> 2% Cu, Ni, Co)
- 13 9022-0203 Québec inc. (> 1.5% Cu, Ni, Co)

 Anorthosite



CHAPITRE 2

Géologie régionale et locale

2.1 GÉOLOGIE RÉGIONALE

2.1.1 Province de Grenville

La province de Grenville s'étend en une bande de roches gneissiques de 300 à 600 km de large sur près de 2000 km de long. Elle est limitée au NW et au N par le Front de Grenville qui la sépare des provinces géologiques plus anciennes (province de Southern, province du Supérieur, province de Churchill, fosse du Labrador, province de Rae et de Nain, province de Makkovik) d'âge archéen à protérozoïque inférieur à moyen. Au SE, la province de Grenville est recouverte en discordance d'érosion par les roches cambro-ordoviciennes de la plate-forme du Saint-Laurent. La province de Grenville se caractérise par un métamorphisme régional élevé d'un âge de refroidissement autour de 1 Ga. Selon Rivers et al. (1989), cette province se subdivise en trois zones, soit le parautochtone, l'allochtone polycyclique et l'allochtone monocyclique (figure 2).

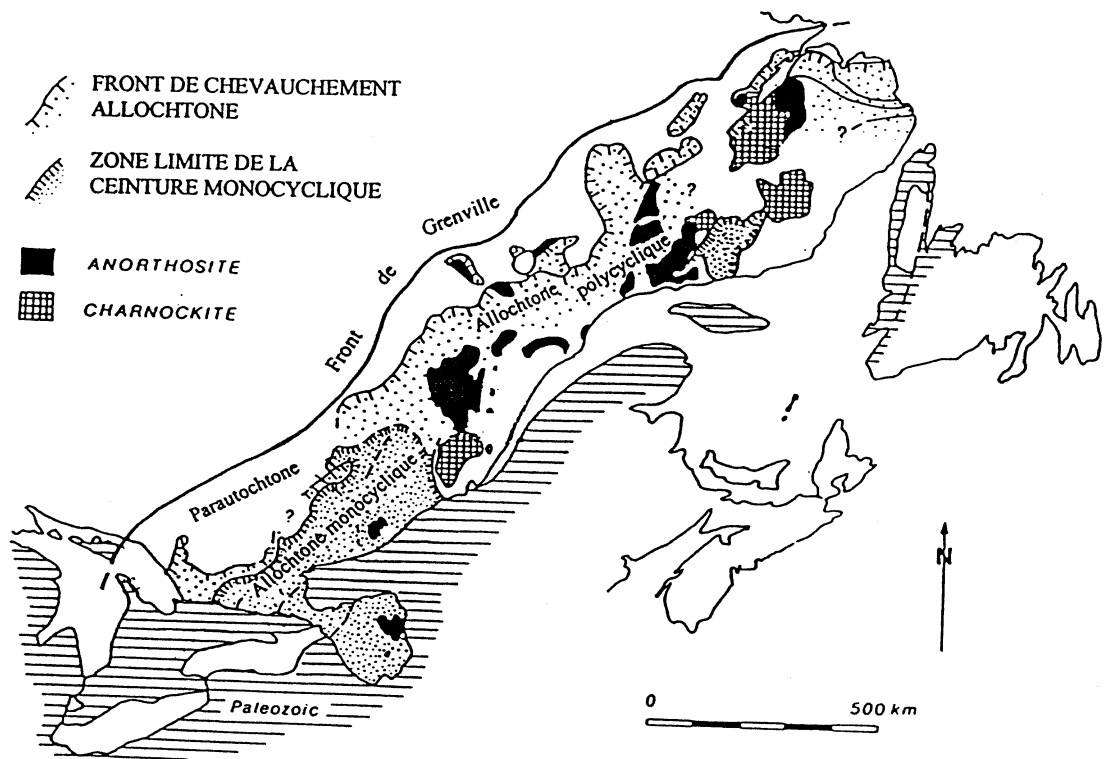


Figure 2 : Carte de la Province de Grenville. Modifiée de Rivers et al., 1989

Parautochtone

La ceinture parautochtone se localise entre le Front de Grenville (FG) et le Front de chevauchement allochtone (FCA). Le Parautochtone est caractérisé par un faible relief magnétique, des zones de cisaillement parallèles au FG et un grade métamorphique qui diminue du FG vers le sud. Les unités lithologiques constituant le Parautochtone sont à plusieurs endroits la continuité des provinces avoisinantes (zone autochtone de Wynne-Edwards, 1972).

Allochtone polycyclique

L'Allochtone polycyclique comprend provisoirement toute la partie du Grenville censée avoir été tectonisée et métamorphisée au cours d'un cycle orogénique antérieur au cycle grenvillien. Cette zone est composée, de façon sommaire, d'orthogneiss et de paragneiss métamorphisés au grade amphibolite supérieur à granulite. La présence de nombreuses intrusions caractérise aussi cette zone. Le complexe mafique-ultramafique de Chute-des-Passes est situé à l'intérieur de l'Allochtone polycyclique.

Allochtone monocyclique

L'allochtone monocyclique comprend tous les terrains qui ont été affectés seulement par l'orogénèse de Grenville. La majeure partie de l'Allochtone monocyclique de l'ouest du Québec est constituée de deux terrains principaux, soit le terrain de Mont-Laurier (MLT) et celui de Morin (MT), et à l'est on retrouve le terrain de Wakeham (WT). Les unités lithologiques composant l'Allochtone monocyclique sont très variables. Des sédiments carbonatés et détritiques de plate-forme caractérisent le MLT, des paragneiss, orthogneiss et amphibolites constituent le MT et le WT se compose de roches clastiques et felsiques effusives et hypabyssales. Plusieurs plutons sont présents dans ces séquences. Un métamorphisme au faciès schistes-verts à granulite caractérisent ces trois terrains.

2.1.2 Région du Saguenay-Lac-St-Jean

La région du Saguenay-Lac-St-Jean se situe dans la partie centrale de la province de Grenville, au sein de l'allochtone polycyclique définie par Rivers et al.(1989). La stratigraphie de la région du Saguenay-Lac-St-Jean se subdivise en quatre unités litho-structurales (Dimroth et al., 1981; Woussen et al., 1981).

La première unité consiste en un socle gneissique avec déformations et migmatisations polyphasées. Selon Dickin et Higgins (1992), l'âge maximal pour la formation de cette croûte est de 1,53 Ga.

La deuxième unité litho-structurale est constituée de la suite bimodale d'intrusifs « anorthosite-charnockite ». Le complexe anorthositique du Lac-St-Jean (CALSJ), qui couvre une superficie de plus de 20 000 km², constitue l'événement plutonique majeur de cette unité. Il représente une série d'intrusions multiples constituées de plusieurs lobes (Woussen et al., 1981; Dimroth, 1981) mis en place au niveau structural actuel dans des conditions de température et de pression décroissantes. Les intrusions mafiques-ultramafiques de la région de Chute-des-Passes se situent dans la partie NE de ce complexe. Higgins et VanBreemen (1992) et Hervet et al.(1994) ont daté le CALSJ entre 1157 +/-3 Ma et 1142 +/- 3 Ma.

La troisième unité litho-structurale consiste en des intrusions « granitiques » tardi ou post-tectonique. Parmi ces intrusions, notons la mangérite de Chicoutimi (1082 +/- 3 Ma; Hervet et al., 1994), la syénite de Chicoutimi (1082 +/- 4 Ma; Higgins et van Breemen, 1996) et le granite de La Baie (1067 +/- 4 Ma; Higgins et van Breemen 1996).

La quatrième unité litho-structurale est formée du magmatisme alcalin associé au graben du Saguenay. Ce magmatisme se manifeste sous forme de dykes de lamprophyre d'âge cambro-ordovicien qui sont associés à la carbonatite de St-Honoré.

2.2 GÉOLOGIE LOCALE (Secteur Chute-des-Passes)

(Tiré en grande partie du rapport géologique écrit par Guy Francoeur pour Mines d'Or Virginia)

Une cartographie des secteurs Nourricier A, Nourricier B, MHY, Manouane et Paul (figure 3) a été réalisée par Mines d'Or Virginia durant l'été 1997. Une séquence possible d'intrusion a pu être déduite.

- 1- Anorthosite : souvent foliée à gneissique, en enclave dans le no 2.
- 2- Gabbro : au moins deux pulsions à grains moyens à grossiers. Généralement massif, recoupé par des dykes du no 3. Des orthogneiss gabbroïques sont aussi observés, ils sont probablement plus vieux.
- 3- Gabbro-norite : à grains fins et massive. Présence en enclaves dans l'unité 4.
- 4- Troctolite (+/-dunite et péridotite) : au moins deux pulsions, massive et fraîche.

Secteur Nourricier A

Ce secteur est caractérisé par une variation des unités lithologiques de l'ouest vers l'est (figure 4). À l'ouest, une unité de leucotroctolite à enclaves décimétriques d'anorthosite et de paragneiss est présente. Au centre du secteur on retrouve une unité de gabbro à

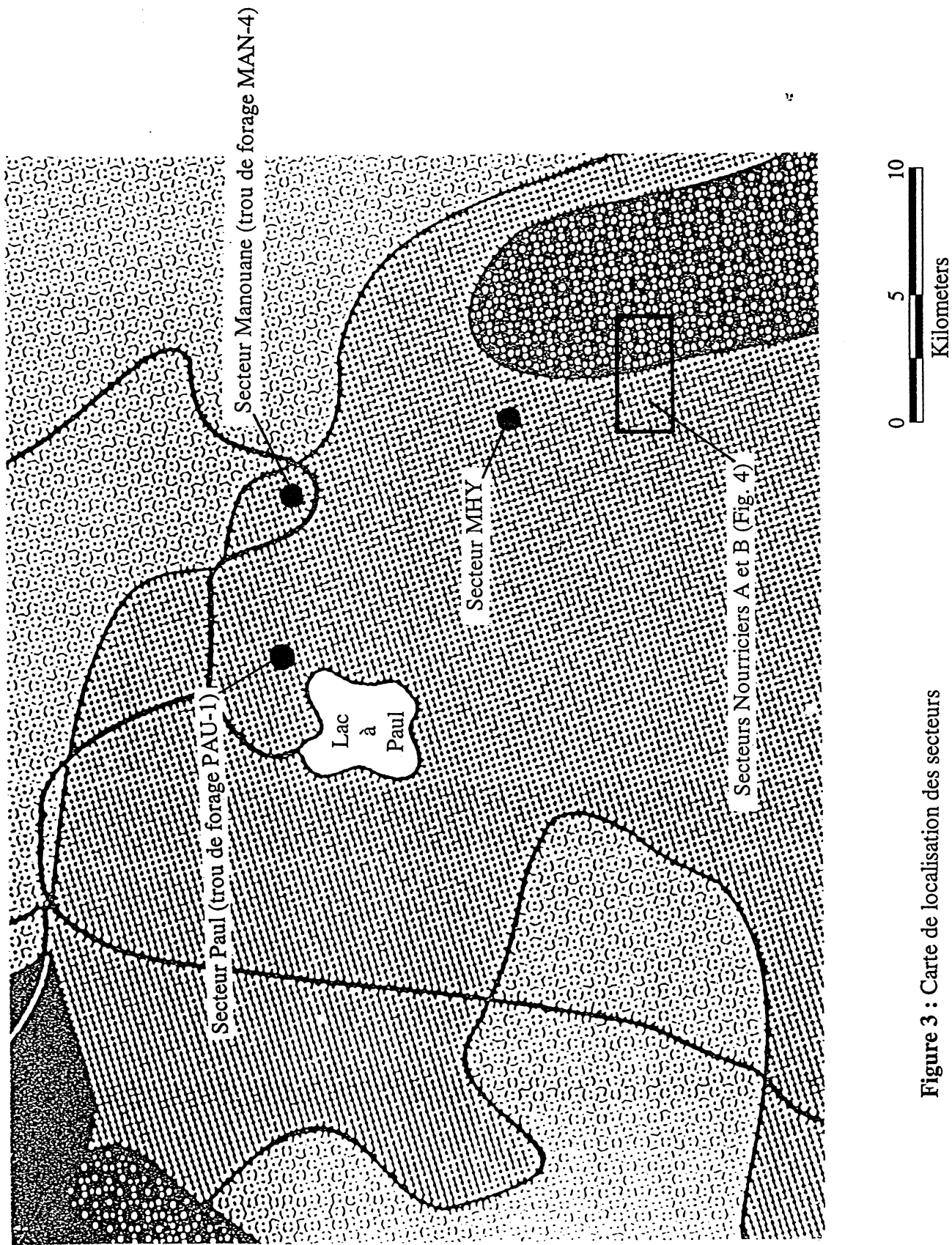
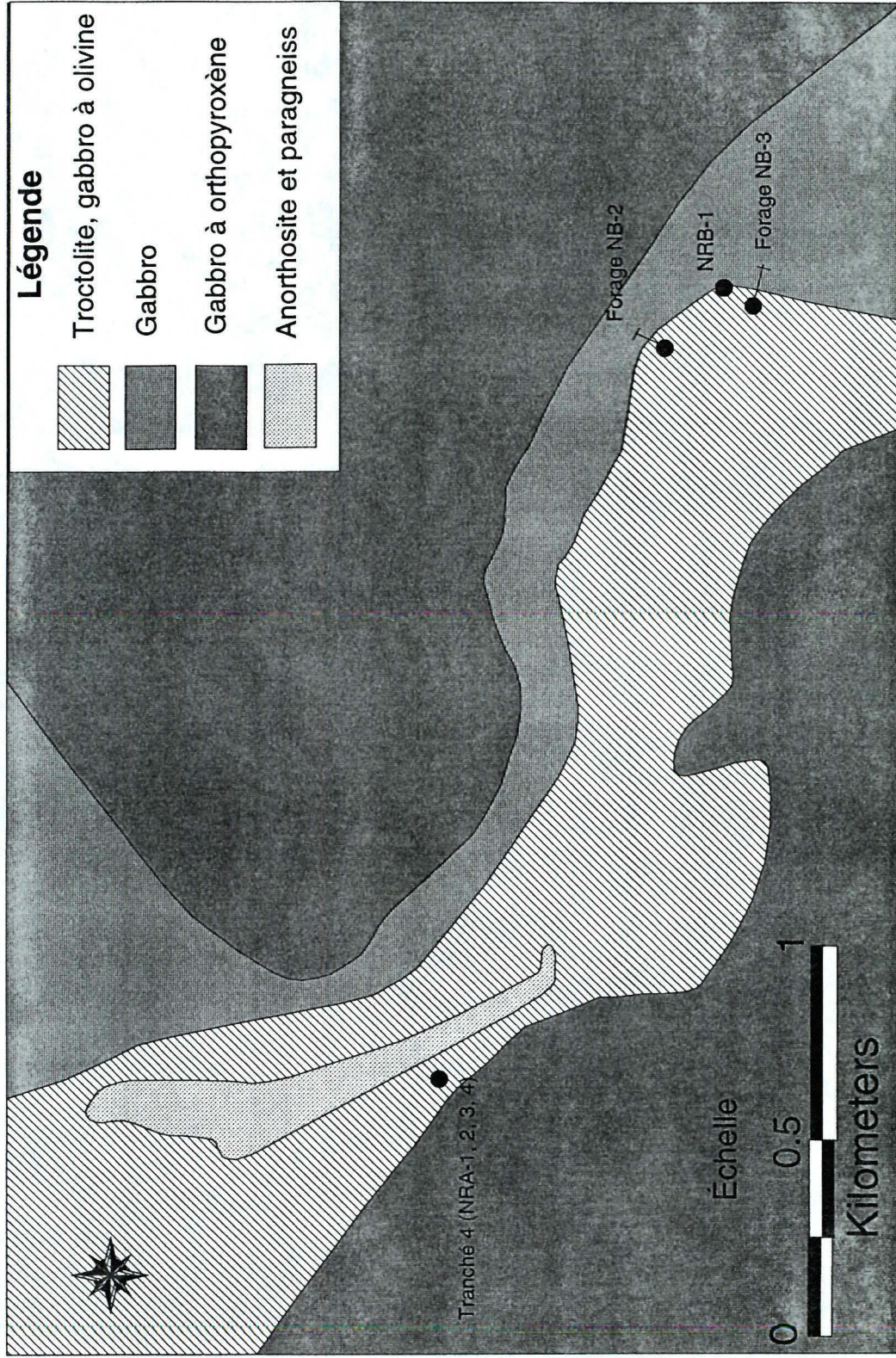


Figure 3 : Carte de localisation des secteurs

Fig. 4 - Carte géologique du secteur Nourricier A - Nourricier B



amphibole et biotite et, à l'est, une gabbronorite massive à grains fins. L'unité de leucotroctolite est porteuse de minéralisation. Cette minéralisation consiste à des injections de sulfures massifs et d'oxydes qui viennent bréchifier des horizons de péridotites à oxyde, de dunite et de troctolite. Les sulfures sont composés de pyrrhotite avec des quantités moindre de chalcopyrite et pentlandite.

Secteur Nourricier B

Ce secteur montre une géologie similaire à celle retrouvée dans le Nourricier A à l'exception du niveau à enclaves décimétriques d'anorthosite et de paragneiss qui ne se poursuit pas (figure 4). L'attitude des unités passe de NO-SE à l'ouest à N-S vers l'est. Neuf sites ont fait l'objet de dynamitage sans révéler de minéralisations exceptionnelles. Celles obtenues sont dans des gabbros souvent recristallisés en amphibole et biotite. Elle montrent moins de 50% de pyrrhotite avec jusqu'à 5 à 10% de chalcopyrite.

Secteur MHY

La lithologie dominante de ce secteur consiste en un leucogabbro à amphibole et biotite, souvent folié et granoblastique. La portion NO de la grille montre plutôt une intrusion granitique. Les minéralisations observées montrent généralement moins de 25% de pyrrhotite et sont associées à des gabbros ou des pyroxénites.

Secteur Manouane

La densité d'affleurement très faible de ce secteur rend les interprétations géologiques très ardues. Cependant, la présence de gabbros foliés et granoblastiques a été observée.

Secteur Paul

Ce secteur aussi affleure peu. Les lithologies observées sont des gabbros, souvent pegmatitiques, localement gneissiques et des dunites et péridotites à magnétite. Les minéralisations se résument à des veinules millimétriques de pyrrhotite avec plus ou moins de chalcopyrite.

CHAPITRE 3

Pétrographie

3.1 Localisation des échantillons

L'étude pétrographique suivante a été effectuée sur 10 échantillons mégascopiques, 14 lames minces polies et 1 lame mince non polie. Les lames minces polies NRA-1, 2, 3 et 4 proviennent de la tranchée 4, dans le secteur Nourricier A, et la lame mince polie NRB-1 vient du secteur Nourricier B (figure 4). Les échantillons mégascopiques et les lames minces polies NB-2-45.5, 46 et NB-3-51.1, 54.7 proviennent respectivement des trous de forage NB-2 et NB-3 (figure 4). À noter que le dernier chiffre des échantillons indique la profondeur dans le trou de forage où ils ont été recueillis. Finalement, les échantillons mégascopiques et les lames minces polies PAU-1-89.4, 90.7, 95.35 ainsi que MAN-4-60.4, 62, 63 sont issus respectivement des trous de forage PAU-1 et MAN-4 (figure 3).

3.2 Classification des échantillons

Pour de plus amples informations concernant l'étude pétrographique, le lecteur est invité à consulter les fiches pétrographiques complètes des échantillons placées en annexe A.

La classification des échantillons est basée sur le pourcentage relatif de certaines phases silicatées, à savoir le plagioclase, l'olivine et le pyroxène. Ces minéraux sont presque toujours présents et constituent, pour la plupart des échantillons, les principales phases silicatées. Étant donné que tous les échantillons, sauf un, contiennent des sulfures et qu'ils proviennent presque tous d'horizons minéralisés, la classification n'est pas du tout axée sur le pourcentage ou le type de sulfure présent. Cette classification met l'accent sur les types de roche dans lesquels la minéralisation a pris place. Il est à noter que pour la classification des divers échantillons, le pourcentage en amphibole, soit la hornblende et la trémolite, a été converti en pyroxène. Comme il sera mentionné plus loin, certaines évidences pétrographiques démontrent que les amphiboles proviennent en totalité ou en partie de l'ouraltisation des pyroxènes. De plus, certaines observations démontrent aussi que la trémolite est issue de la transformation des hornblendes vertes. On peut se questionner aussi sur la probabilité que l'amphibole soit d'origine ignée au sein du contexte géologique où cette intrusion a cristallisé. En effet, l'intrusion ayant pris place profondément dans la croûte terrestre, la présence d'eau nécessaire pour former des amphiboles est peu probable. Pour toutes ces raisons, il semble que la quantité originale de pyroxènes ait été modifiée lors de la formation de la hornblende et de la trémolite, et donc

ces minéraux doivent être convertis en pyroxène lors de la classification.

L'étude pétrographique de ces 15 échantillons a démontré une grande variabilité de composition entre eux. Selon la classification de Streckeisen pour les roches mafiques et ultramafiques, système de classification recommandée par la sous-commission de l'International Union of Geological Sciences, les 15 échantillons se distribuent à l'intérieur de 10 champs différents (figure 5). Cependant, il est possible de regrouper ces échantillons au sein de 3 grands groupes basés sur le pourcentage relatif de plagioclase. Un premier groupe est composé des roches ultramafiques contenant moins de 10% relatifs de plagioclase, soit les péridotites et les pyroxénites. Un deuxième groupe englobe les roches mafiques ayant plus de 10% et moins de 65% relatifs de plagioclase, soit les gabbros, les mélagabbros et les troctolites. Finalement il y a le troisième groupe qui est composé des roches mafiques ayant plus de 65% relatifs de plagioclase, soit les leucogabbros et les anorthosites.

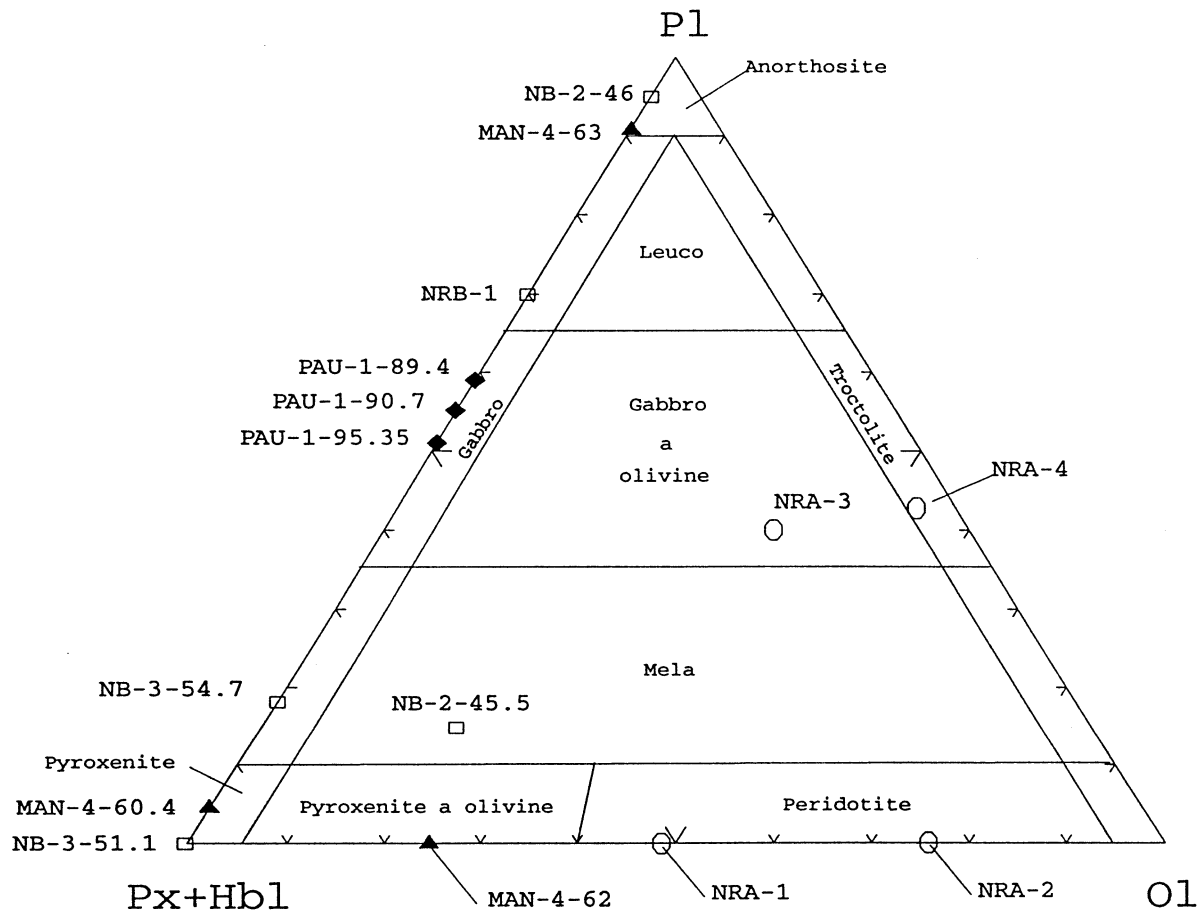


Figure 5 : Classification modale des roches gabbroïques d'après Streckeisen, 1976

3.2.1 Groupe 1: les roches ultramafiques (moins de 10% relatifs de plagioclase)

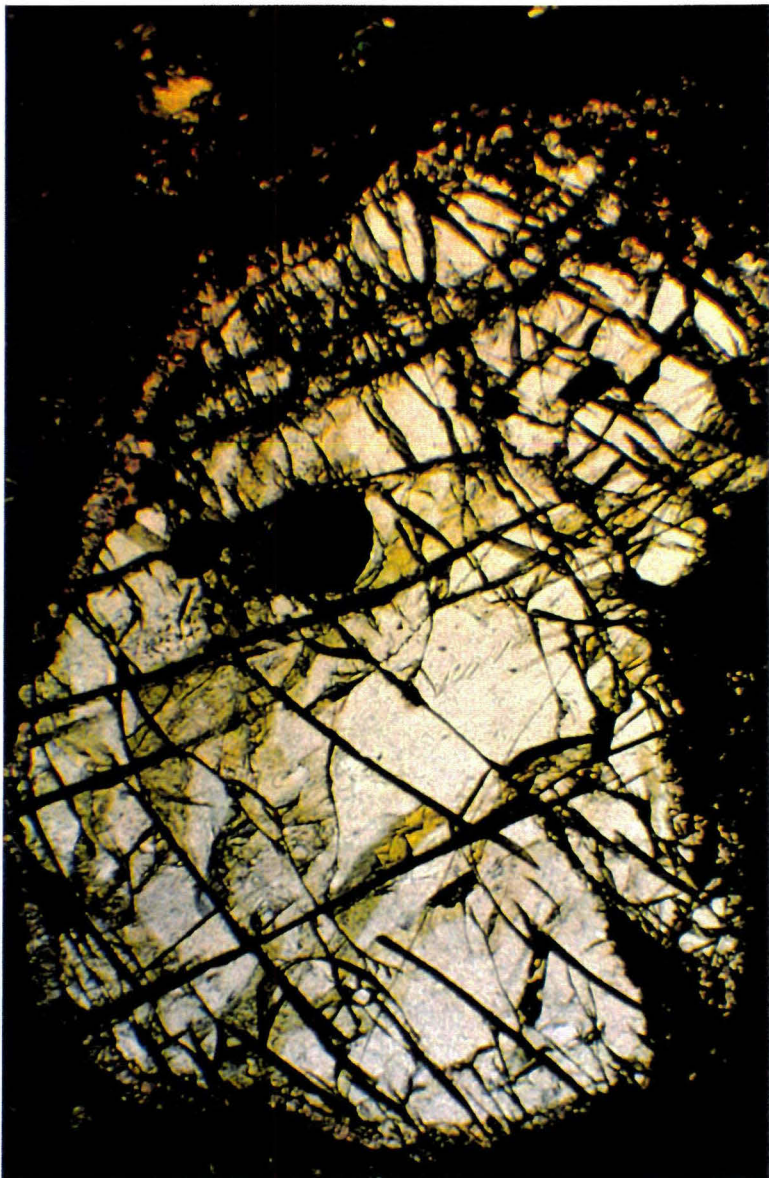
Ce groupe se compose de péridotites à pyroxène (échantillons NRA-1 et NRA-2), de pyroxénites à olivine (MAN-4-62) et de pyroxénites (NB-3-51.1 et MAN-4-60.4).

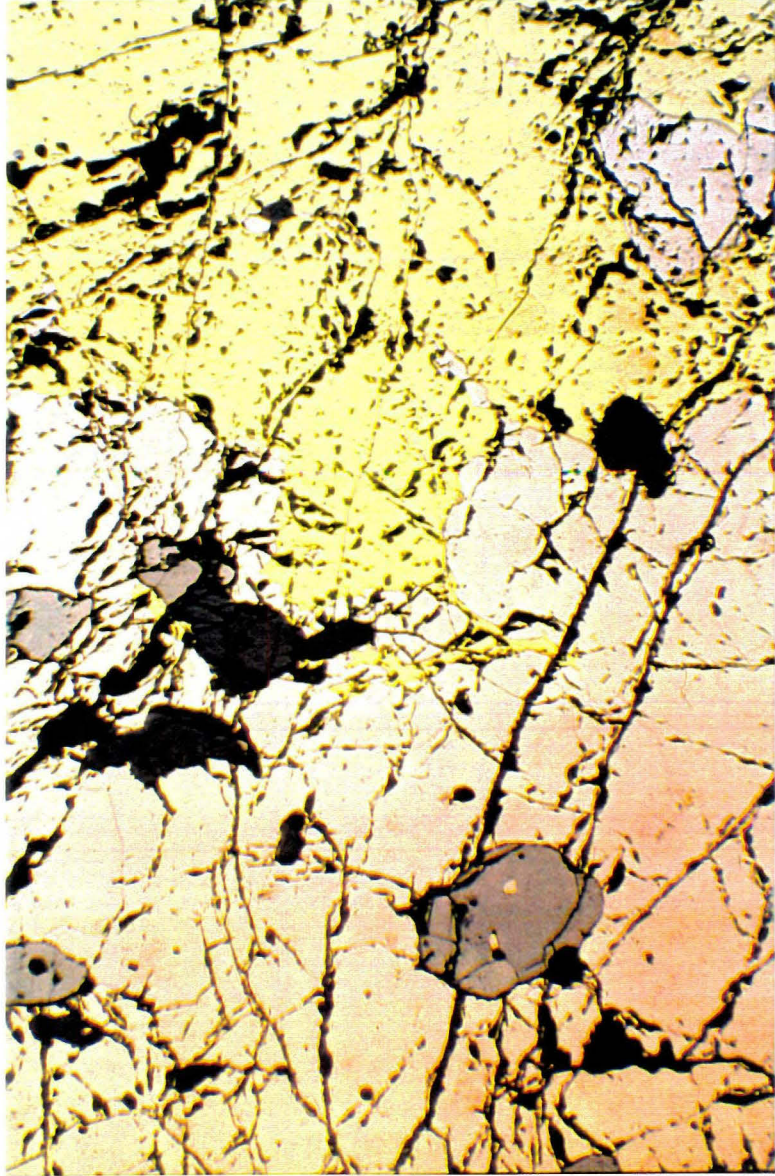
NRA-1

Cette péridotite à pyroxène contient de l'olivine, de l'orthopyroxène, de la hornblende verte et de la calcite. On y retrouve 15% d'oxydes et 10% de sulfures, principalement de la pyrrhotite et un peu de chalcopryrite et de pentlandite. On remarque la présence d'une couronne d'orthopyroxène (interne) et d'hornblende (externe) autour de l'olivine formant une texture coronitique (planche 1). L'orthopyroxène se présente sous forme de petits cristaux interstitiels à jonction triple et la hornblende verte est présente essentiellement dans les couronnes autour de l'olivine. Les oxydes composés d'ilménite et de magnétite sont associés aux sulfures qui, eux, sont interstitiels aux silicates. La chalcopryrite forme une zone massive centimétrique (planche 2). Il y a absence de remobilisation ou d'altération des sulfures.

Planche 1. Photomicrographie en lumière naturelle (éch. NRA-1). Cristal d'olivine coronitique (couronne d'opx et de hornblende verte). Largeur du champ = 5,5 x 3,5mm.

Planche 2. Photomicrographie en lumière naturelle (éch. NRA-1). Zone massive de chalcopryrite dans un sulfure dominé par la pyrrhotite. Largeur du champ = 5,5 x 3,5mm.





NRA-2

Cet échantillon composé de 80% de sulfures forme un sulfure massif dans une péridotite à pyroxène. Les phases silicatées sont l'olivine, l'orthopyroxène et la hornblende. Comme l'échantillon précédent, les olivines sont coronitiques par la présence de couronnes d'orthopyroxènes et d'amphiboles. La présence de cristaux arrondis d'olivine suggère une cristallisation des silicates en présence du liquide sulfuré. L'orthopyroxène et la hornblende sont présents essentiellement au sein des couronnes autour de l'olivine. Comme phase secondaire, on retrouve aussi de l'apatite et de la biotite en trace. Les sulfures sont composés principalement de pyrrhotite avec un peu de pentlandite et de chalcopyrite. La pentlandite se retrouve surtout sous forme de grains fracturés et rarement en flamme d'exsolution dans la pyrrhotite, et la chalcopyrite est présente en grains à l'intérieur de la pyrrhotite.

MAN-4-62

L'orthopyroxène, l'olivine, la hornblende verte, la biotite et la chlorite composent cette pyroxénite à olivine. Les orthopyroxènes sont présents en cristaux pseudo-octogonaux à jonction triple, formant une texture granulaire (planche 3). L'olivine est intensément fracturée et une altération ferrugineuse (iddingsite?) est quelquefois présente dans les craquelures. La hornblende verte et la biotite sont intimement associées et se retrouvent principalement à l'intérieur des cristaux d'olivine. Ces minéraux sont peut être le produit

Planche 3. Photomicrographie en lumière naturelle (éch. MAN-4-62). Pyroxénite à olivine montrant des cristaux d'orthopyroxènes pseudo-octogonaux à jonctions triples formant une texture granulaire. Largeur du champ = 5,5 x 3,5mm.



de l'altération indirecte de l'olivine. La chlorite y est présente en trace et provient de l'altération de la hornblende verte et de la biotite. Cette roche contient 20% de sulfures principalement sous forme de pyrrhotite et de chalcopyrite avec un peu de pentlandite. La pyrrhotite est interstitielle aux silicates et la chalcopyrite se présente sous forme de veinules et d'amas dans la pyrrhotite. La pentlandite, quant à elle, se concentre surtout au contact de la chalcopyrite et dans les fissures de la pyrrhotite et est rarement sous forme d'exsolution. De l'ilménite est aussi présente et elle n'est pas associée au liquide sulfuré mais plutôt aux silicates et plus particulièrement aux orthopyroxènes.

NB-3-51.1

Cette roche est composée de 85% de sulfures, majoritairement de la pyrrhotite, un peu de chalcopyrite sous forme de veinules (planche 4) ou de grains xénomorphes et en faible quantité de la pentlandite en grain xénomorphes. La pentlandite se concentre dans les fractures de la pyrrhotite et au contact de la chalcopyrite. Les phases silicatées présentes sont la trémolite, la hornblende verte, la biotite et l'apatite. On remarque certains contacts progressifs entre la trémolite et la hornblende verte, ce qui suggère que la trémolite provient de la transformation de la hornblende verte. Ces deux phases, soit la trémolite et la hornblende commune, sont possiblement les produits de l'ouraltisation de pyroxènes qui sont maintenant complètement disparus dans cet échantillon. C'est donc pourquoi cet échantillon se définit comme une pyroxénite. Cependant, la faible proportion de silicates

Planche 4. Photomicrographie en lumière naturelle (éch. NB-3-51.1). Veinule de chalcopryrite dans un sulfure massif dominé par la pyrrhotite. Largeur du champ = 5,5 x 3,5mm.



rend la classification de cet échantillon peu viable et il serait préférable de le considérer comme étant simplement un sulfure massif. La biotite est associée avec la trémolite et la hornblende et provient de l'altération de ces deux minéraux. L'apatite se retrouve sous forme de petits cristaux automorphes associés aux sulfures. Il y a aussi présence de cristaux arrondis d'ilménite dans les sulfures.

MAN-60.4

Cette roche est composée de 30% de silicates, de 62% de sulfures et de 8% d'oxydes.

Comme phases silicatées, on retrouve de la trémolite, du grenat, de la hornblende verte, de la biotite, du plagioclase et de l'apatite en trace. La trémolite se retrouve sous forme d'amas centimétriques représentant probablement d'anciens cristaux de pyroxènes. Ces amas forment une texture relique de cumulat et comme phases interstitielles, on retrouve principalement de l'ilménite. Le grenat forme un amas centimétrique caractérisé par la présence de hornblende verte au pourtour. Les sulfures sont sous une forme massive et sont composés principalement de pyrrhotite avec un peu de chalcopyrite et de pentlandite.

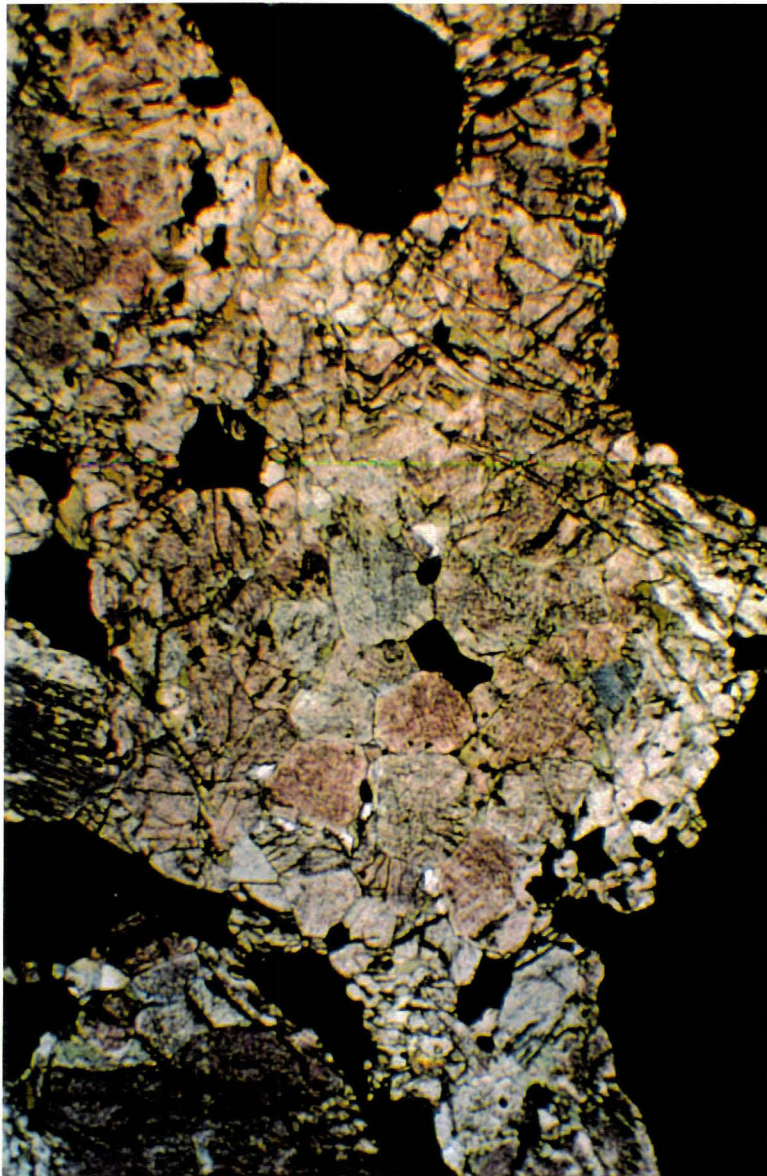
3.2.2 Groupe 2: les roches mafiques (plus de 10% et moins de 65% relatifs de plagioclase)

Ce groupe se compose de mélagabbro à olivine (échantillon NB-2-45.5), de mélagabbro (NB-3-54.7), de troctolite (NRA-4), de gabbro à olivine (NRA-3) et de gabbro (PAU-1-89.4, 90.7, et 95.35).

NB-2-45.5

Les silicates de cette mélagabbro à olivine sont l'orthopyroxène, l'olivine, le plagioclase, l'hornblende verte, la biotite et la chlorite. Les caractéristiques pétrographiques de cette roche sont similaires à l'échantillon MAN-4-62. Les cristaux d'orthopyroxène pseudo-octogonaux à jonction triple forment une texture générale granulaire (planche 5). Là aussi l'olivine est intensément fracturée et la hornblende verte se retrouve souvent associée avec l'olivine. Contrairement à l'échantillon MAN-4-62, cette roche contient des plagioclases qui se retrouvent en cristaux arrondis qui semblent baigner dans les sulfures. La biotite est concentrée en un amas et est caractérisée par des inclusions de zircon. La présence de pyrrhotite, majoritairement, un peu de pentlandite et de chalcopyrite forment un sulfure semi-massif. La pentlandite et la chalcopyrite se concentrent surtout à l'intérieur des fractures de la pyrrhotite. Quelques rares flammes d'exsolution de pentlandite sont aussi présentes. Les oxydes sont en quantité faible et sont

Planche 5. Photomicrographie en lumière naturelle (éch. MAN-4-62). Mélagabbronorite formée de cristaux d'orthopyroxènes pseudo-octogonaux à jonctions triples formant une texture granulaire. Largeur du champ = 5,5 x 3,5mm.



composés principalement de magnétite et d'un peu d'ilménite.

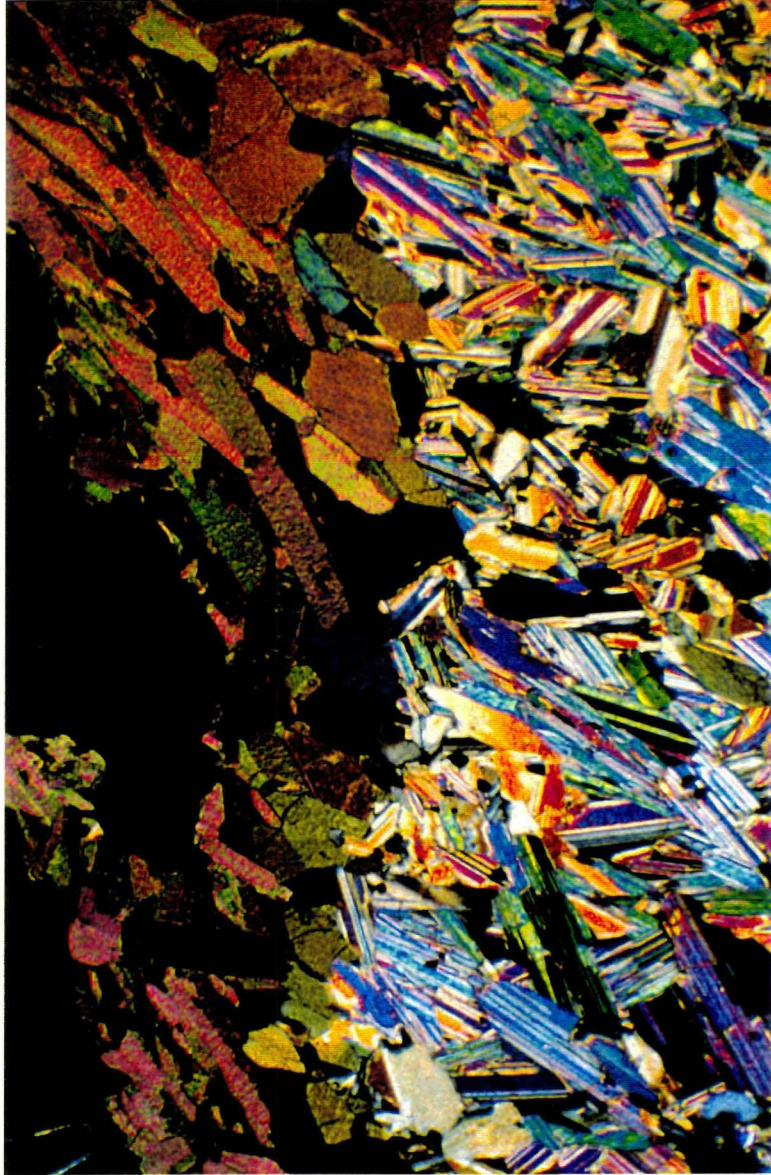
NB-3-54.7

Hornblende verte, trémolite, plagioclase, biotite et calcite composent cet échantillon. La hornblende verte y est majoritaire et forme une texture générale granulaire. La trémolite et la hornblende verte semblent former deux zones distinctes (planche 6) et la biotite se concentre au contact entre ces deux zones. Les plagioclases sont présents en gros cristaux fracturés et altérés en calcite et/ou damourite dans les fractures. Aucun sulfure n'est présent dans cet échantillon, les seuls minéraux opaques présents sont de l'ilménite.

NRA-4

Cette troctolite se compose d'olivine, de plagioclase, de grenat, d'un peu de pyroxène et d'apatite. De gros cristaux d'olivine de 2 à 6 cm possédant des couronnes de pyroxène et d'amphibole forment une texture coronitique. Le plagioclase est présent sous forme d'amas centimétriques fortement recristallisés. Le grenat se retrouve en amas et se concentre au contact entre les sulfures et les silicates. Il provient peut être du réajustement de composition entre les plagioclases et l'olivine. La hornblende et l'orthopyroxène forment des couronnes autour de l'olivine et un peu autour des plagioclases. Il y a

Planche 6. Photomicrographie en lumière polarisée (éch. NB-3-54.7). Contacts francs entre trémolite et hornblende verte + biotite. Largeur du champ = 5,5 x 3,5mm.



présence en trace d'apatite idiomorphe associée aux sulfures. 50% de l'échantillon est composé de sulfures, principalement de la pyrrhotite et, en quantité moindre, de la pentlandite et de la chalcopyrite. La pentlandite et la chalcopyrite sont essentiellement sous forme de grains à l'intérieur de la pyrrhotite.

NRA-3

Cette gabbro-norite à olivine est composée d'olivine, de plagioclase, d'orthopyroxène et de hornblende. L'olivine y est présente en gros cristaux coronitiques centimétriques. Le plagioclase aussi est présent en gros cristaux et ces cristaux sont recristallisés partiellement en bordure. La hornblende et l'orthopyroxène forment des couronnes autour de l'olivine et du plagioclase. On retrouve en trace du clinopyroxène, de l'apatite et de la biotite. Les sulfures constituent la moitié de l'échantillon et ils sont composés en grande majorité de pyrrhotite et en proportion moindre de pentlandite et chalcopyrite. La présence de gouttelettes de sulfure dans l'olivine (planche 7) implique que cette dernière s'est possiblement formée en présence du liquide sulfuré. Associés aux sulfures, on remarque la présence en faible quantité d'ilménite et de magnétite.

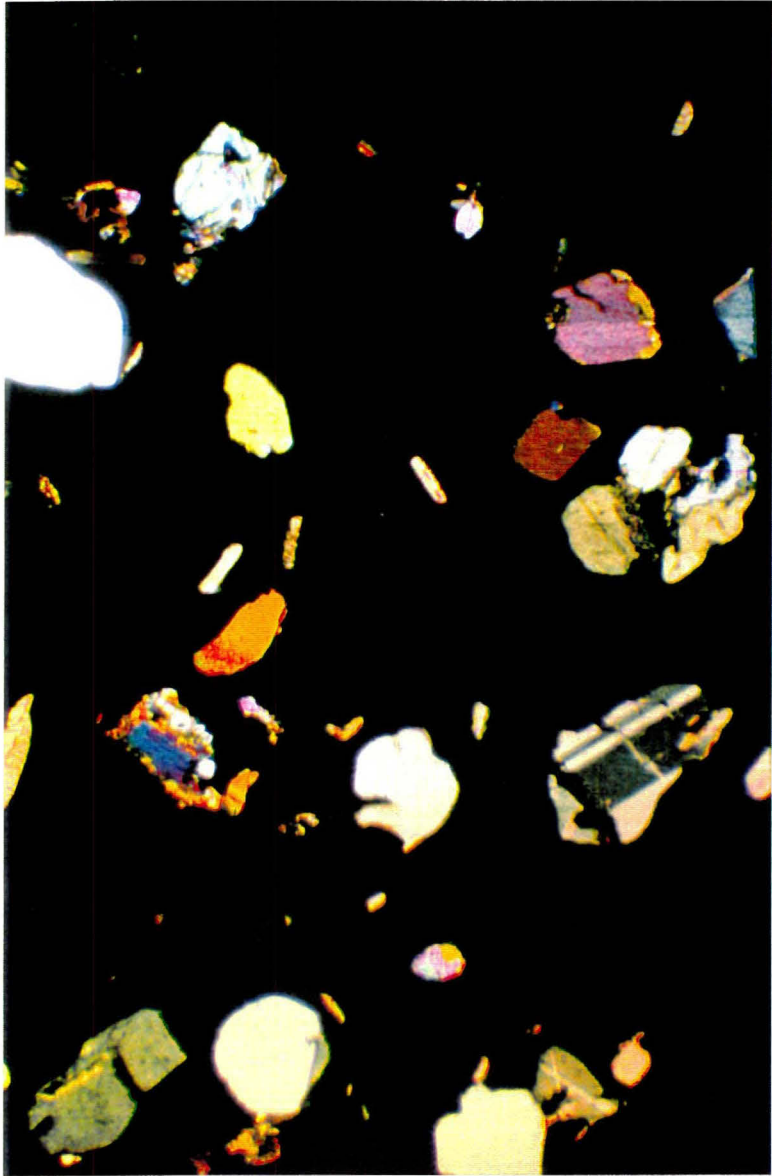
Planche 7. Photomicrographie en lumière naturelle (éch. NRA-3). Gouttelettes de pyrrhotite dans un cristal d'olivine. Largeur du champ = 5,5 x 3,5mm.



PAU-1-89.4

Ce gabbro composé de plagioclase, de hornblende verte, de biotite et de trémolite comporte 60% de sulfures. Le plagioclase est présent sous forme de gros cristaux centimétriques fracturés et aussi sous forme de petits cristaux à jonctions triples qui proviennent possiblement de la recristallisation des gros. Ces petits cristaux se retrouvent en périphérie des gros cristaux de plagioclase et aussi dans les sulfures sous forme de fragments. La hornblende verte et la biotite se concentrent surtout en bordure des sulfures et quelquefois de façon fragmentaire à l'intérieur des sulfures. La trémolite, elle, forme un amas. Environ 10% des silicates flottent dans les sulfures sous forme de fragments plus ou moins arrondis et qui semblent avoir été arrachés et partiellement digérés par le liquide sulfuré (planche 8). Les sulfures sont composés majoritairement de pyrrhotite et en faible proportion de pentlandite et chalcopyrite. La pentlandite se concentre dans les fractures de la pyrrhotite et la chalcopyrite est présente en amas, dans la pyrrhotite et principalement en bordure des silicates. On retrouve un peu d'oxide, soit de l'ilménite et de la magnétite.

Planche 8. Photomicrographie en lumière polarisée (éch. PAU-1-89.4). Gabbro à texture bréchique montrant des fragments de silicates partiellement digérés par les sulfures. Largeur du champ = 5,5 x 3,5mm.



PAU-1-90.7

Cet échantillon est très similaire au précédent. Il est composé de plagioclase, de hornblende verte, de trémolite et de biotite. Le plagioclase est là aussi sous forme de gros cristaux qui sont recristallisés partiellement en bordure. Cependant ces cristaux sont plus modestes et la recristallisation y est moins importante qu'au sein de l'échantillon PAU-1-89.4. La hornblende verte, la trémolite et la biotite sont associées spatialement. On remarque certains contacts graduels entre la trémolite et la hornblende (planche 9). La coloration rougeâtre de la biotite indique une composition plutôt titanifère. Comme au niveau 89.4, on retrouve certains silicates qui flottent dans les sulfures, mais en proportion beaucoup moins importante. Cet échantillon contient 25% de sulfures interstitiels, presque exclusivement de la pyrrhotite. Il y a un peu de chalcopyrite et de pentlandite sous forme de petits amas xénomorphes dans la pyrrhotite et de rares flammes d'exsolution de pentlandite sont aussi visibles. De l'ilménite est présente en trace dans les silicates et les sulfures.

Planche 9. Photomicrographie en lumière naturelle (éch. PAU-1-90.7). Contact graduel entre la trémolite et la hornblende verte. Largeur du champ = 1,3 x 0,8mm.



PAU-1-95.35

Cet échantillon se situe dans le champ des gabbros et possède une composition similaire aux deux échantillons précédents, soit PAU-1-89.4 et 90.7. On retrouve 20% de sulfures qui semblent former une veine. Ces sulfures sont composés de pyrrhotite de pentlandite et de la chalcopirite dans des proportions similaires aux deux autres échantillons. Les plagioclases, de composition moyenne oligoclase à andésine, sont sous forme de petits cristaux hypidiomorphes à xénomorphes. Certains de ces cristaux se retrouvent à l'intérieur des sulfures et ils sont arrondis. La hornblende verte et la biotite se concentrent dans une bande parallèle et en contact avec la pseudo-veine de sulfures. Les cristaux tabulaires de la biotite possèdent une orientation préférentielle parallèle à cette bande. De la calcite est présente aussi en trace.

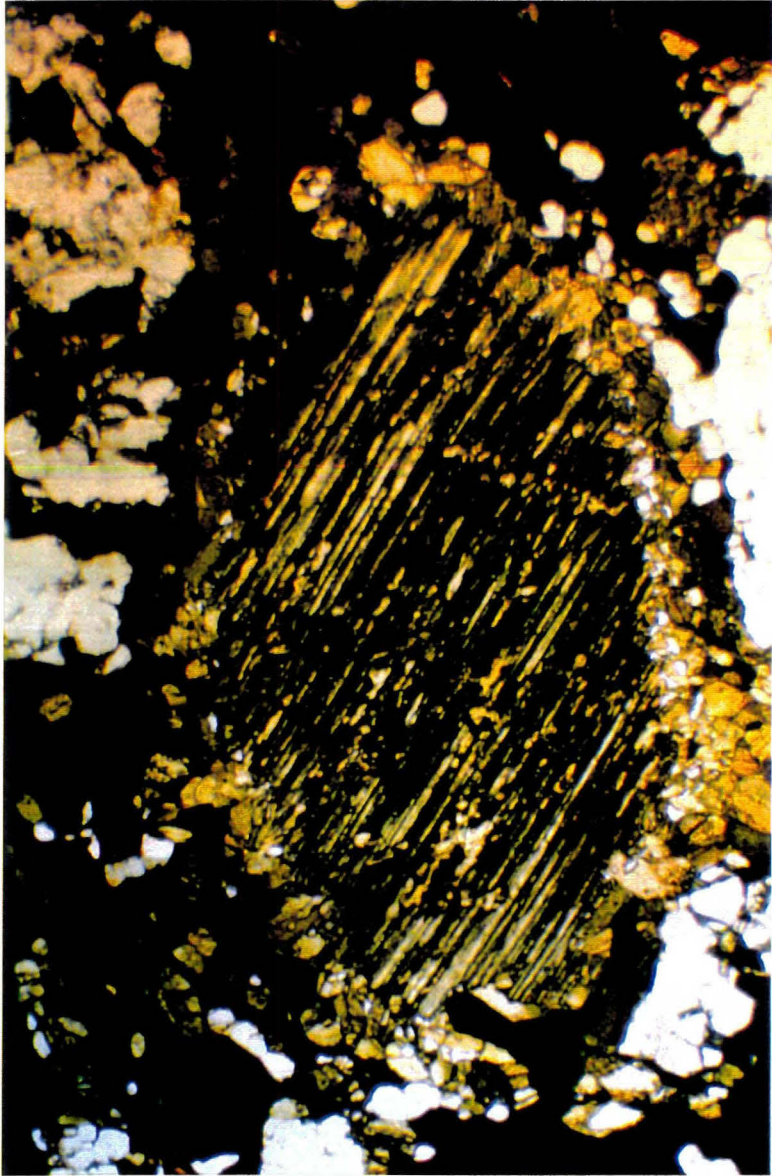
3.2.3 Groupe 3: les roches mafiques (plus de 65% relatifs de plagioclase)

Ce groupe se compose d'un leucogabbro (échantillons NRB-1) et d'anorthosites (NB-2-46 et MAN-4-63).

NRB-1

Ce leucogabbro se compose majoritairement de plagioclase en cristaux xénomorphes de taille variable (millimétrique à centimétrique), partiellement recristallisés en bordure et à extinction roulante. Ces cristaux baignent dans une matrice de sulfures. Il y a présence aussi d'amphibole en petits cristaux à jonctions triples qui forment des couronnes autour du clinopyroxène et sont aussi présents dans les sulfures. Le clinopyroxène se présente en cristaux millimétriques à centimétriques fortement ouralitisés et possédant des couronnes de hornblende verte en périphérie (planche 10). On retrouve aussi de la biotite titanifère (coloration rougeâtre) en faible quantité. Cette roche comporte 40% de sulfures, presque totalement de la pyrrhotite avec un peu de pentlandite et de la chalcopyrite en trace. Ces deux dernières phases sulfurées se retrouvent en petits grains xénomorphes au sein de la pyrrhotite. De l'ilménite y est présente aussi en trace.

Planche 10. Photomicrographie en lumière naturelle (éch. NRB-1). Cristal de clinopyroxène
ouralitisé et coronitique. Largeur du champ = 5,5 x 3,5mm.

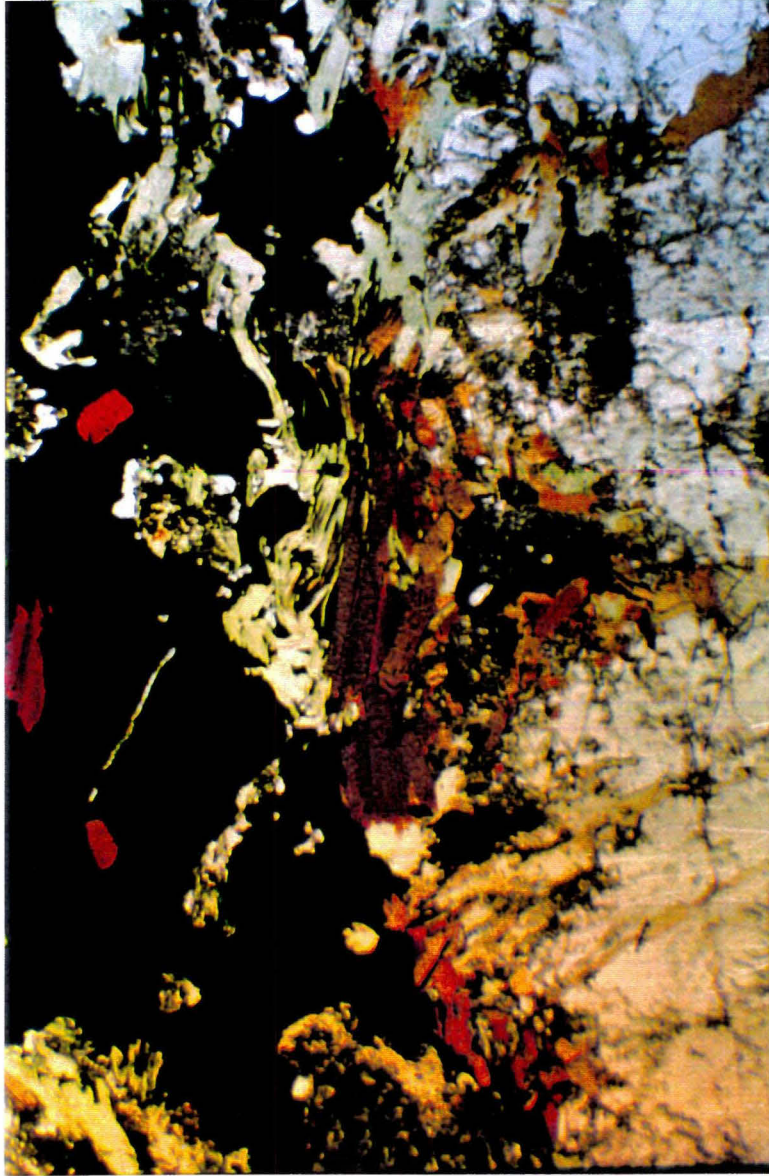


NB-2-46

Cet échantillon se compose majoritairement de plagioclase, un peu de biotite, d'apatite, de hornblende verte et de chlorite. Le plagioclase est principalement sous forme de gros cristaux centimétriques xénomorphes fracturés et recristallisés partiellement en bordure. Une partie du plagioclase se retrouve en fragments millimétriques baignant dans les sulfures. La biotite, la hornblende verte et la chlorite sont associées spatialement et sont localisées surtout en contact avec les sulfures (planche 11). La chlorite provient de l'altération de la biotite. On retrouve 5% d'apatite en petits cristaux à jonctions triples associés avec les sulfures (planche 12). Cette roche se compose de 27% de sulfures, principalement de la chalcopyrite avec un peu de pyrrhotite et de la pentlandite en trace. La chalcopyrite est présente en amas interstitiels aux silicates et en veinules. La pyrrhotite se retrouve à l'intérieur de la chalcopyrite et la pentlandite dans la pyrrhotite, principalement dans les fractures de celle-ci et en contact avec la chalcopyrite. Comme oxydes, il y a principalement de l'ilménite associée aux sulfures et un peu de magnétite.

Planche 11. Photomicrographie en lumière naturelle (éch. NB-2-46). Association spatiale de la biotite, la hornblende verte et la chlorite au contact avec les sulfures. Largeur du champ = 5,5 x 3,5mm.

Planche 12. Photomicrographie en lumière naturelle (éch. NB-2-46). Petits cristaux d'apatite à jonctions triples associés avec les sulfures. Largeur du champ = 5,5 x 3,5mm.





MAN-4-63

Cet échantillon se compose de plagioclase, de hornblende verte, de biotite et d'environ 39% de sulfures. Les plagioclases sont présents en gros cristaux presque centimétriques en contact avec de plus petits cristaux de plagioclase qui proviennent possiblement de la recristallisation des gros. La hornblende verte se concentre surtout au contact entre les plagioclases et les sulfures et la biotite semble associée à l'hornblende. Les sulfures sont composés principalement de pyrrhotite avec une quantité appréciable de chalcopyrite et de la pentlandite en faible proportion. La chalcopyrite est présente sous forme d'amas dans la pyrrhotite et la pentlandite se concentre surtout au contact de la chalcopyrite et dans les fissures de la pyrrhotite. On retrouve de l'ilménite en grains arrondis dans la pyrrhotite. Les sulfures et les oxides forment une veine centimétrique qui semble être injectée dans un cumulat de plagioclase.

3.3 Composition des sulfures

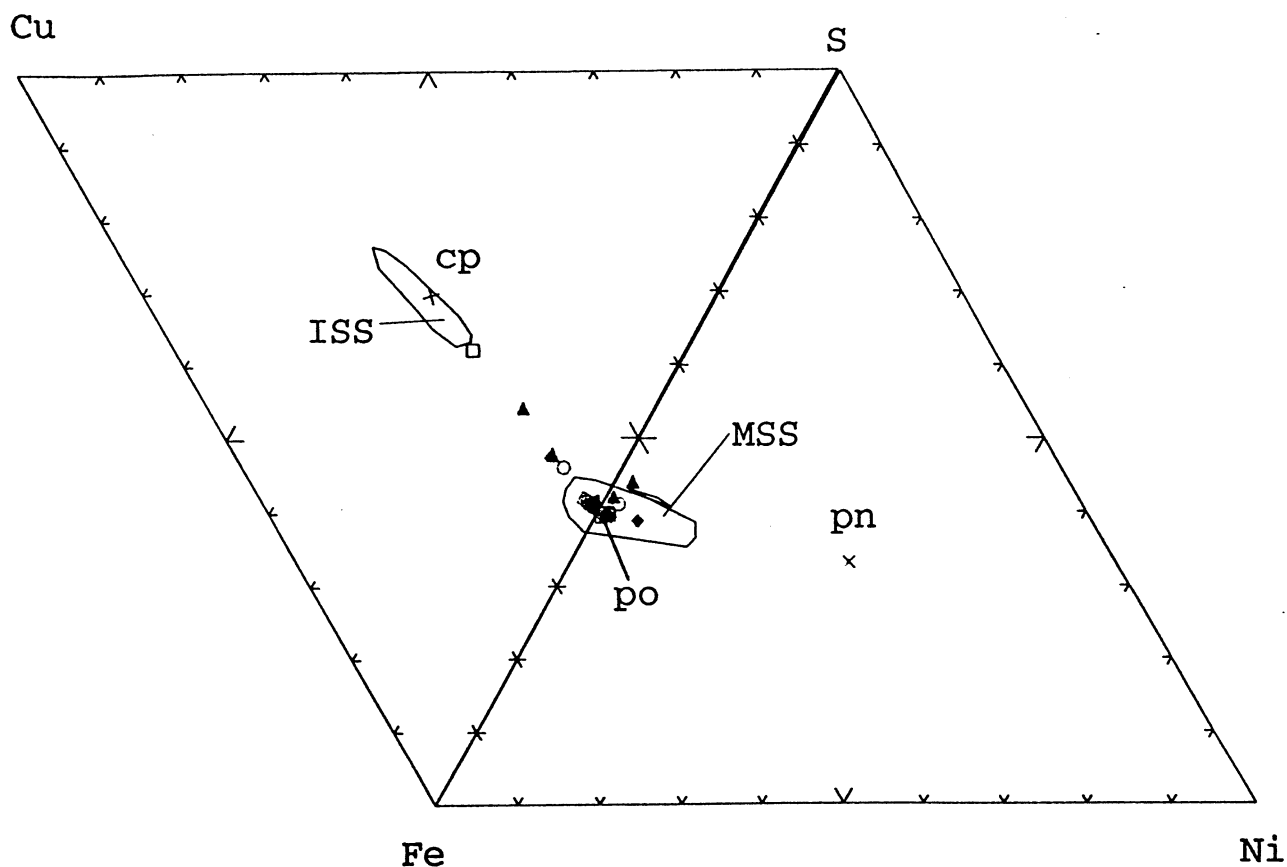
L'étude minéragraphique des échantillons a démontré un seul assemblage minéralogique pour les phases sulfurées, soit pyrrhotite-chalcopryrite-pentlandite. Dans presque tous les échantillons, la pyrrhotite y est le principal sulfure présent et forme une matrice pour les autres phases sulfurées. Elle est présente en grains xénomorphes de taille variant de 1 à 10mm formant un sulfure massif ou semi-massif, ou étant interstitielle aux silicates, ou formant des veines centimétriques. La chalcopryrite se retrouve soit sous forme d'amas ou de grains xénomorphes millimétriques, soit sous forme de veinules dans la pyrrhotite. La pentlandite s'observe principalement en grains xénomorphes de 0,1 à 2 mm concentrés au contact de la chalcopryrite et dans les fractures de la pyrrhotite et rarement sous forme de flammes d'exsolution dans la pyrrhotite.

La proportion de chaque sulfures au sein des échantillons a été utilisée pour calculer la composition de la fraction sulfurée pour chaque échantillons (tableau 1). Cette composition s'exprime en pourcentage de poids pour les éléments suivants: le soufre, le fer, le cuivre et le nickel. Pour de plus amples informations concernant le calcul de la composition de la fraction sulfurée, voir l'annexe B. La composition de la fraction sulfurée de chaque échantillon est illustrée au sein des diagrammes ternaires S-Fe-Ni et S-Fe-Cu (figure 6). D'après ce diagramme, on remarque que le liquide sulfuré de 10 échantillons sur 15 aurait cristallisé en solution solide monosulfuré entre 1 100° et 1 200°C (Kullerud et al., 1969). On voit que 5 échantillons se situent sur une droite reliant la composition de la

Tableau 1. Composition calculée de la fraction sulfurée des échantillons

Échantillon	% poids en S	% poids en Fe	% poids en Cu	% poids en Ni
NRA-1	38.4	53.4	6.6	1.6
NRA-2	39.1	57.9	1.3	1.7
NRA-3	39.3	58.7	0.7	1.4
NRA-4	39.3	58.7	0.7	1.4
NRB-1	39.4	59.7	0.0	0.9
NB-2-45.5	39.1	57.7	1.6	1.6
NB-2-46	36.1	38.2	25.6	0.0
NB-3-51.1	39.2	58.0	2.0	0.8
PAU-1-89.4	39.2	58.5	0.6	1.7
PAU-1-90.7	39.2	58.1	1.4	1.4
PAU-1-95.35	38.5	55.5	0.9	5.1
MAN-4-60.4	39.2	58.5	1.1	1.1
MAN-4-62	37.2	45.6	15.6	1.7
MAN-4-63	38.2	52.0	8.9	0.9

Figure 6 : Diagrammes ternaires S-Fe-Ni et S-Fe-Cu



Légende:

- Secteur Nourricier A
- Secteur Nourricier B
- ▲ Secteur Manouane
- ◆ Secteur Paul

- MSS = Solution solide monosulfuree
- ISS = Solution solide intermédiaire
- cp = chalcopirite
- pn = pentlandite
- po = pyrrhotite

chalcopyrite et la pyrrhotite. Ces échantillons semblent former un patron d'enrichissement graduel en cuivre qui passerait d'une composition originale riche en pyrrhotite en une composition finale de cristallisation riche en chalcopyrite. En refroidissant en dessous de 960° C, la chalcopyrite aurait commencé à cristalliser et il y aurait eu formation d'une solution solide de pyrrhotite et de chalcopyrite ainsi que un liquide riche en métal. Lorsque la température refroidit sous les 743° C, la pyrite devient stable et il y aurait eu formation d'un assemblage de pyrrhotite-chalcopyrite-pyrite (Kullerud et al., 1969). Étant donné que tous les échantillons riches en cuivre se retrouvent sur la ligne rejoignant la chalcopyrite et la pyrrhotite, il n'y aurait eu que cristallisation de ces deux minéraux. La présence de pyrite aurait pu être possible seulement s'il y avait eu plus de soufre dans le système. Donc, les zones riches en cuivre ont peut être cristallisé à des températures sous les 900° C et sont le produit du fractionnement de la solution solide monosulfurée originale. Si c'est le cas, le cumulat monosulfuré riche en fer devrait être enrichi en Os, Ir, Ru et Rh et la partie fractionnée riche en cuivre devrait être enrichie en Cu, Pt, Pd et Au (figure7).

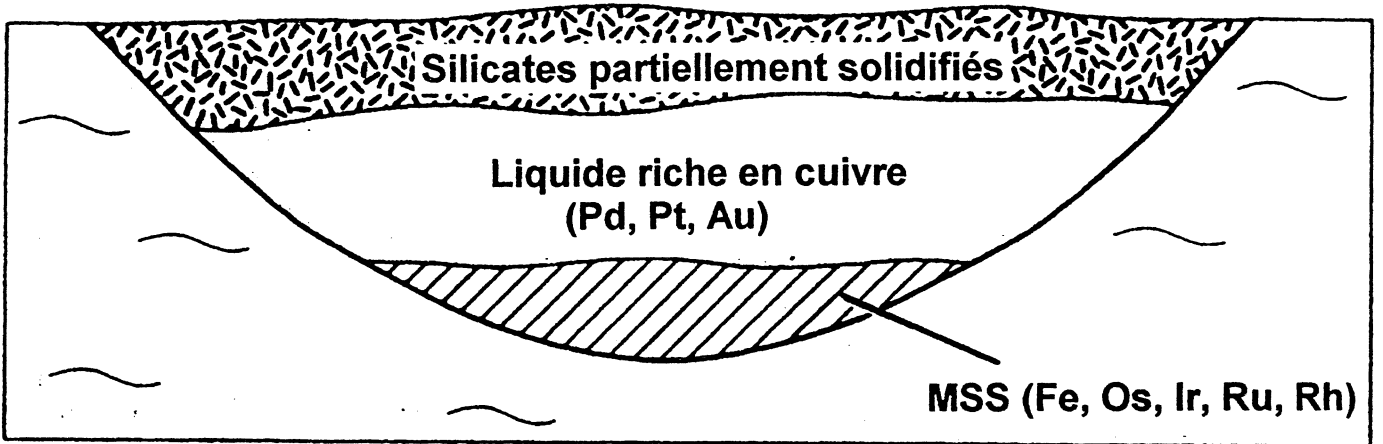
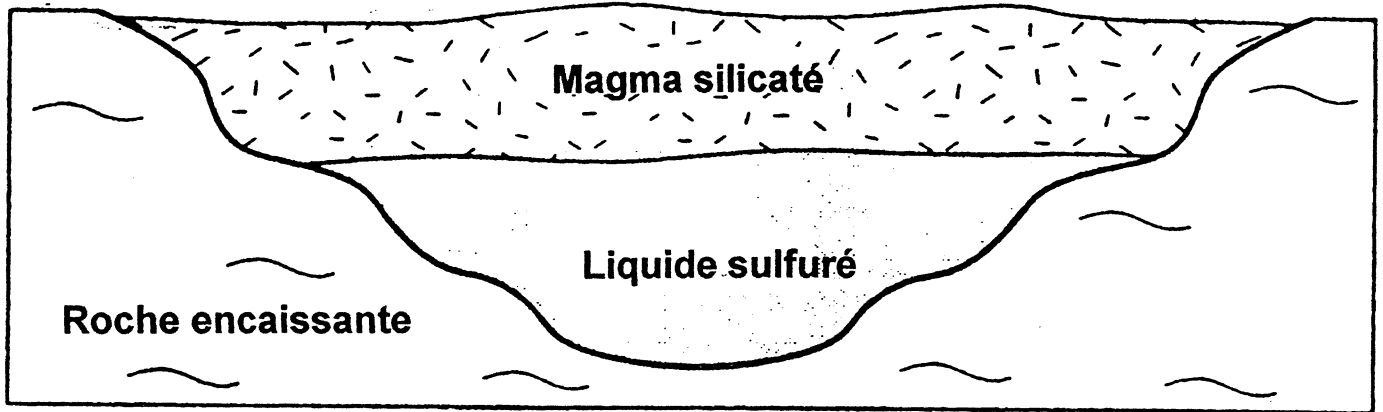


Figure 7 : Modèle de fractionnement du liquide sulfuré

CHAPITRE 4

Géochimie

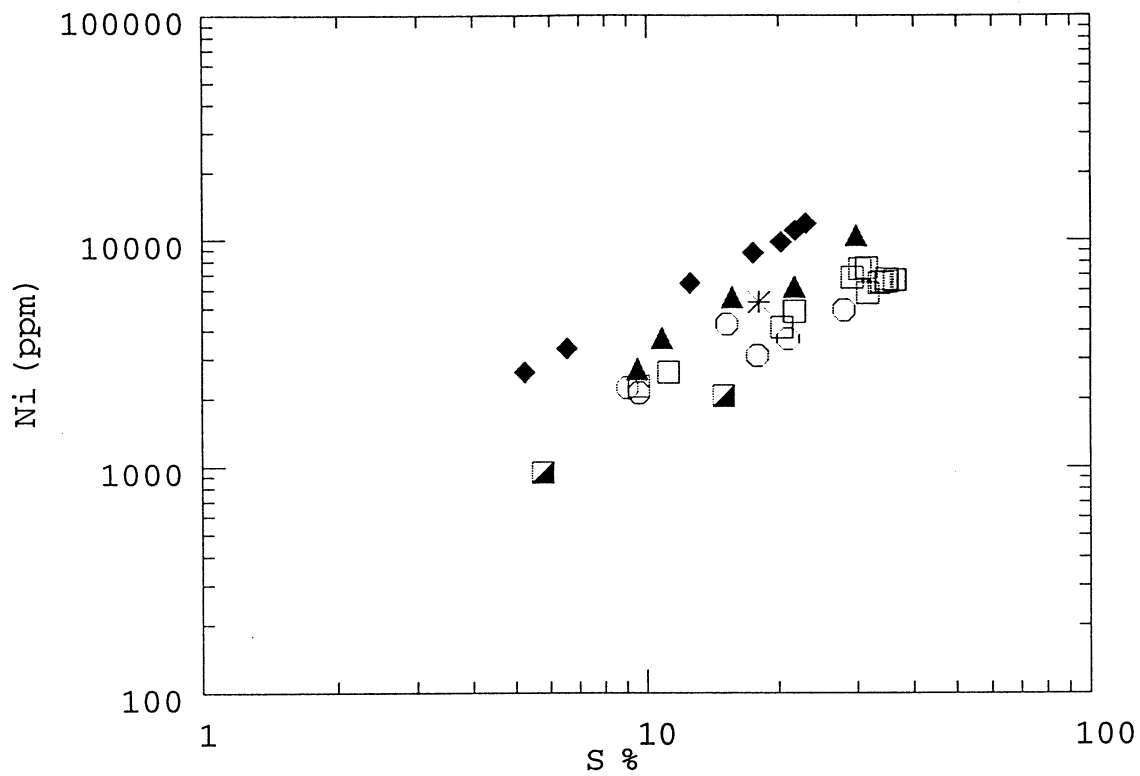
Les données utilisées pour cette étude géochimique sont celles retrouvées à l'annexe C. Ces analyses sont au nombre de 34, soit 6 provenant du secteur Nourricier A, 15 du secteur Nourricier B, 1 du secteur MHY, 5 du secteur Manouane et 7 du secteur Paul. Pour des informations sur les méthodes d'analyse ou les limites de détection, voir la fiche technique des analyses géochimiques à l'annexe D.

4.1 Relation entre le nickel, le cuivre, le palladium, le platine et le soufre

Les sulfures observés sont essentiellement composés de pyrrhotite, de chalcopyrite et de pentlandite. Ces phases métalliques contrôlent donc, en majorité, la distribution du Ni, Cu, Pd et Pt et il devrait normalement avoir une corrélation positive entre le soufre et ces éléments.

4.1.1 Corrélation entre le nickel et le soufre

Le graphique du nickel en fonction du soufre (figure 8) montre une très bonne corrélation positive entre ces deux éléments. Il y a une augmentation graduelle des teneurs en nickel en fonction du soufre, ce qui semble indiquer que les sulfures disséminés ne sont pas plus enrichis en nickel que les sulfures massifs, comme il est observé dans les minéralisations de Noril'sk, Duluth, Cape Smith et Muskox (Barnes et al. 1996). Il semble exister aussi une certaine variabilité des teneurs en nickel dépendamment des secteurs. En effet, les échantillons provenant du secteur Paul possèdent un patron de distribution du nickel versus soufre plus élevé que ceux des autres secteurs. Le secteur Manouane se caractérise aussi par un patron Ni vs S plus élevé que la moyenne. Ceci est peut être causé par un facteur R (proportion des silicates par rapport au liquide sulfuré) plus élevé dans ces deux secteurs, et donc des sulfures plus riches en nickel. Une différence de lithologie entre les échantillons provenant des différents secteurs peut aussi en être la cause. En effet, les échantillons d'analyses des secteurs Paul et Manouane proviennent peut être d'unités plus mafiques que les échantillons des autres secteurs. Le nickel étant compatible avec certains minéraux comme l'olivine et le pyroxène, il en résulterait que ces minéraux eux aussi contrôleraient la distribution du nickel. Cependant, l'étude pétrographique démontre que les minéralisations dans le secteur Paul se retrouvent au sein d'une unité de gabbro et que les unités minéralisées du secteur Nourricier A semblent être en général plus mafiques, soit des péridotites, gabbronorites à olivine et des troctolites. Pourtant, les échantillons provenant du Nourricier A sont caractérisés par un patron Ni vs S inférieur aux autres secteurs. Les deux échantillons riches en cuivre provenant du secteur Nourricier B sont



Légende:

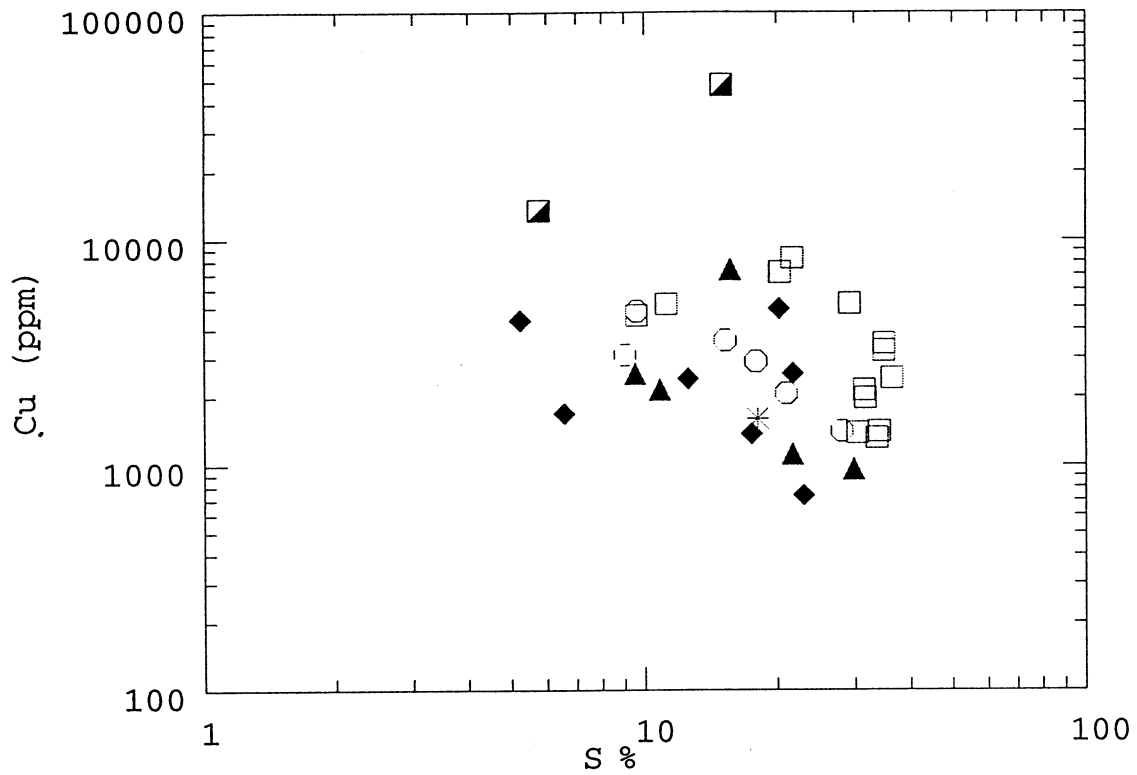
- Nourricier A
- Nourricier B
- Nourricier B (riche en Cu)
- * MHY
- ▲ Manouane
- ◆ Paul

Figure 8 : Graphique du nickel en fonction du soufre

relativement pauvres en nickel par rapport aux autres échantillons. Ceci s'explique peut être par le fait que ces zones riches en cuivre proviennent d'une remobilisation du cuivre. Le nickel n'étant pas mobile, le liquide minéralisé en cuivre contiendrait des teneurs en nickel plus faibles.

4.1.2 Corrélation entre le cuivre et le soufre

Le graphique du cuivre en fonction du soufre (figure 9) démontre une très mauvaise corrélation entre ces deux éléments. Les échantillons se distribuent selon un patron qui semble aléatoire ou qui possède une légère corrélation négative. L'absence d'une corrélation évidente est peut être causée par une mobilité possible du cuivre. Le cuivre étant un élément mobile, il a pu être transporté par une circulation de fluides lors d'un événement postérieur à la mise en place de la minéralisation. La très faible corrélation négative semble démontrer que plus il y a de sulfures, plus ceux-ci ont été lessivés. Il n'existe pas de relation précise entre les différents secteurs étudiés, sinon que les échantillons provenant du Nourricier B forment un patron Cu vs S en général supérieur aux autres secteurs. Les deux échantillons riches en cuivre possèdent évidemment les plus fortes teneurs en cuivre. Ils semblent démontrer une corrélation positive entre eux mais le manque d'échantillons empêche de définir clairement une certaine relation entre les échantillons riches en cuivre.



Légende:

- | | |
|------------------------------|------------|
| ○ Nourricier A | * MHY |
| □ Nourricier B | ▲ Manouane |
| ■ Nourricier B (riche en Cu) | ◆ Paul |

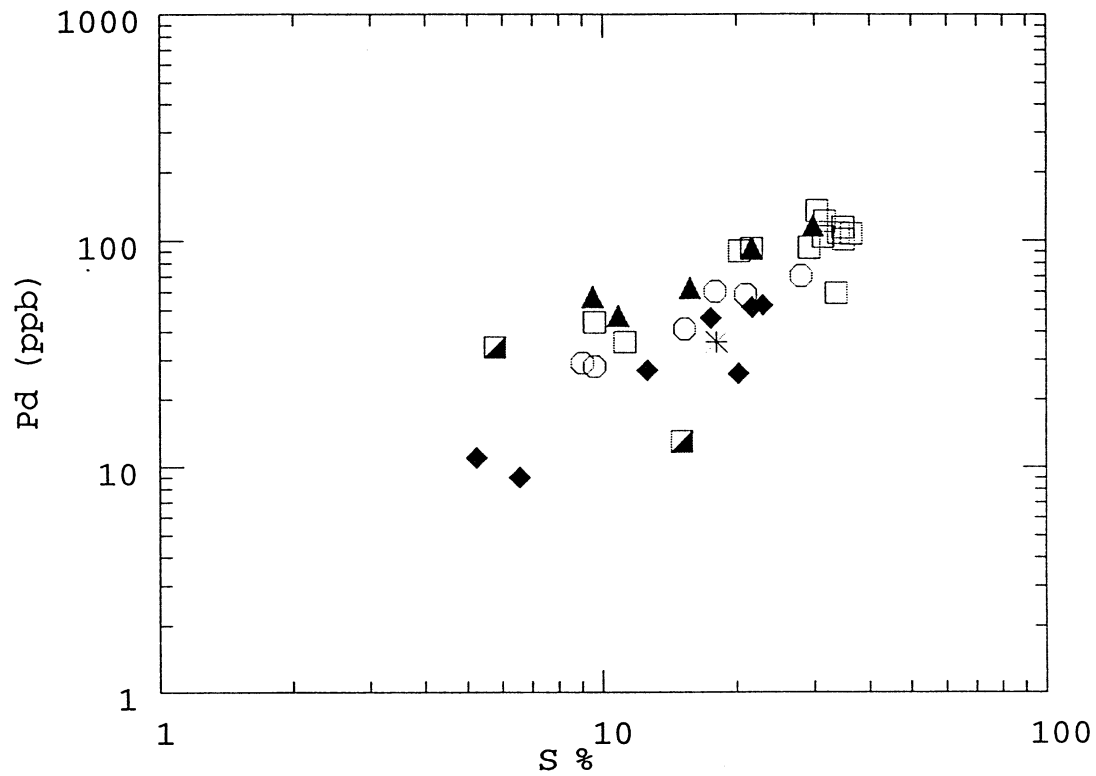
Figure 9 : Graphique du cuivre en fonction du soufre

4.1.3 Corrélation entre le palladium et le soufre

D'après le graphique du palladium en fonction du soufre (figure 10), on remarque une très bonne corrélation positive entre ces deux éléments. Les échantillons de tous les secteurs montrent des patrons Pd vs S similaires entre eux. Le liquide sulfuré semble, dans ce cas, avoir été la seule phase à contrôler la distribution du palladium. On remarque aussi au niveau des échantillons riches en cuivre qu'il ne semble y avoir aucune relation, sinon négative, entre eux. Si le cuivre provenait d'une remobilisation, le palladium, étant un élément assez mobile, il se retrouverait en quantité possiblement proportionnelle au cuivre et se distribuerait selon une corrélation positive au sein de ces zones riche en cuivre. Malheureusement, le manque d'analyse provenant de ces zones ne permet pas de définir de façon exacte le comportement du palladium en fonction du soufre dans ce cas.

4.1.4 Corrélation entre le platine et le soufre

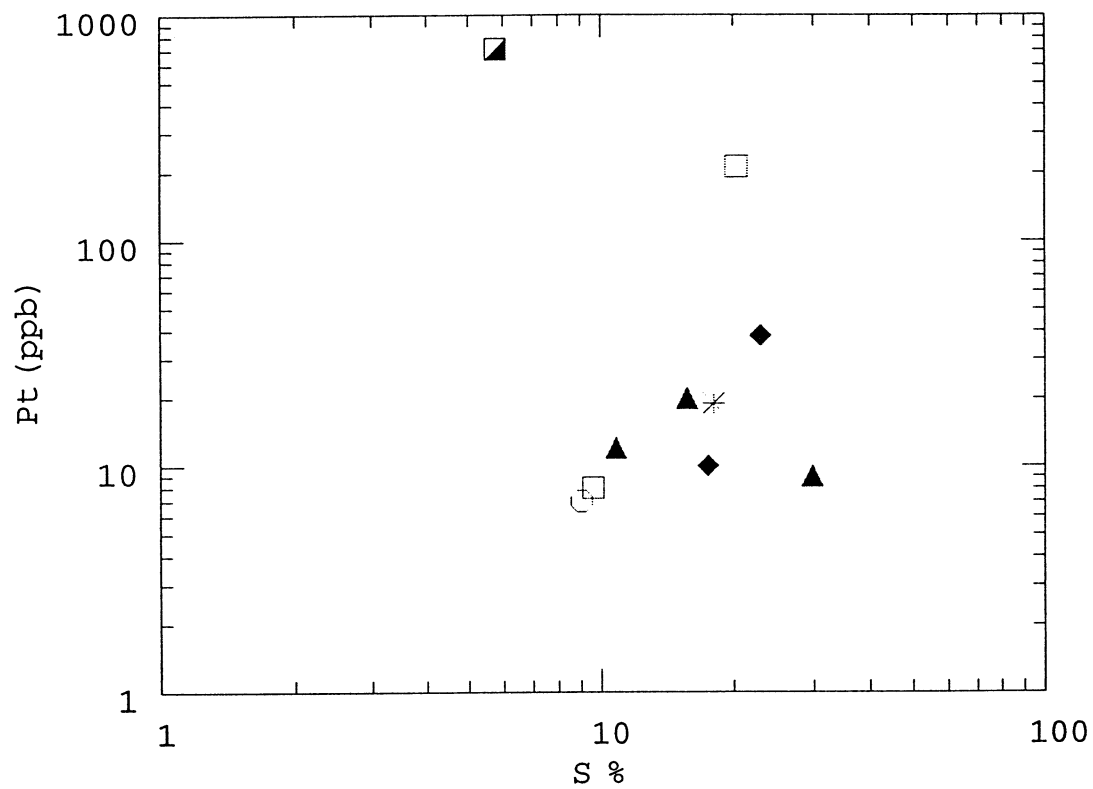
Le graphique du platine en fonction du soufre (figure 11) ne semble montrer aucune corrélation claire entre ces deux éléments. Il n'y a que dix échantillons qui possèdent des teneurs significatives en platine, toutes les autres analyses sont sous la limite de détection. Hormis l'échantillon riche en cuivre, une certaine corrélation positive semble exister pour les échantillons à faible pourcentage de soufre. Lorsque les teneurs en soufre augmentent, la distribution du platine devient plus ou moins aléatoire. Il ne semble pas y avoir de



Légende:

- Nourricier A
- Nourricier B
- Nourricier B (riche en Cu)
- * MHY
- ▲ Manouane
- ◆ Paul

Figure 10 : Graphique du palladium en fonction du soufre



Légende:

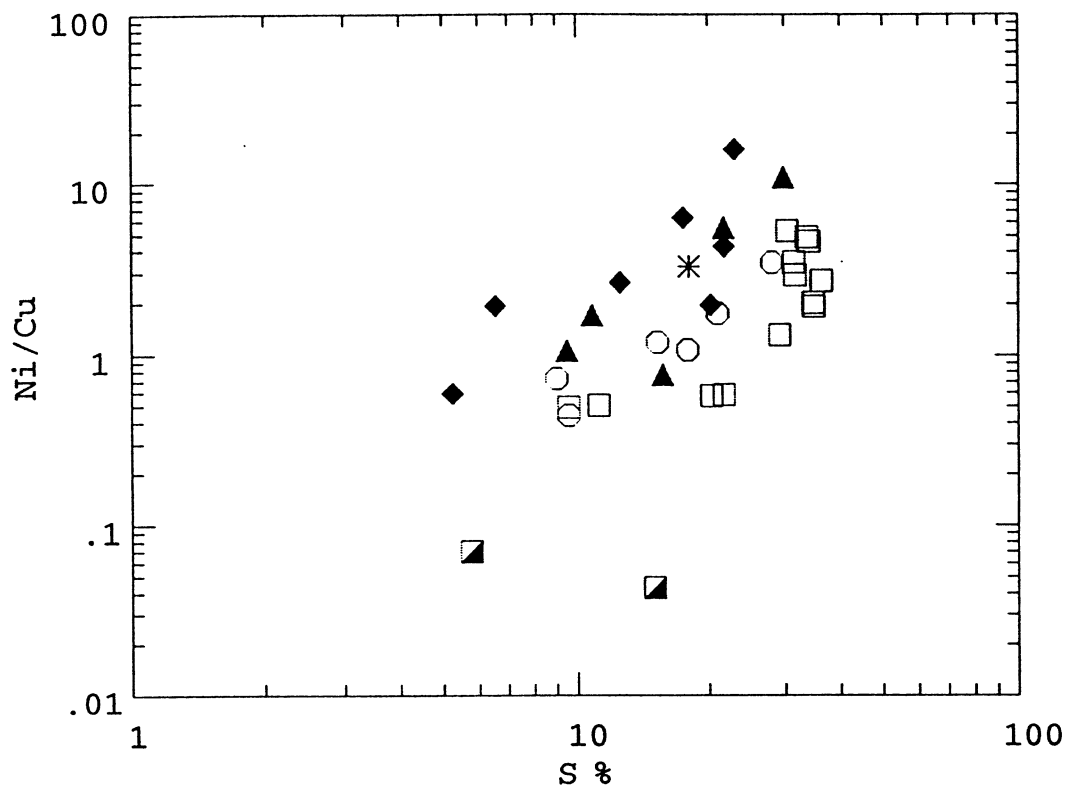
- Nourricier A
- Nourricier B
- Nourricier B (riche en Cu)
- * MHY
- ▲ Manouane
- ◆ Paul

Figure 11 : Graphique du platine en fonction du soufre

variabilité entre les différents secteurs étudiés, mais le manque de données rend les interprétations sur le comportement du platine peu viables. Les deux échantillons riches en cuivre possèdent des teneurs en platine très variables, soit 707 ppb et 0 ppb. Une teneur aussi élevée que 707 ppb est difficilement expliquable si on suppose que le cuivre ait été remobilisé. Le platine étant un élément peu mobile, sa teneur devrait être faible dans ces échantillons.

4.1.5 Corrélation entre le rapport Ni/Cu et le soufre

Le graphique du Ni/Cu vs S (figure 12) montre que le rapport Ni/Cu est supérieur dans les secteurs de Paul et Manouane que dans les secteurs du Nourricier A et B. Un rapport Ni/Cu élevé indique généralement un magma de nature plus primitif. La relation Ni/Cu vs S tout comme celle du Ni vs S tend à démontrer que le magma serait possiblement plus primitif dans les secteurs de Paul et Manouane que dans les Nourriciers A et B. De plus, la plus grande épaisseur des unités ultramafiques (dunite) dans les secteurs Paul et Manouane suggère aussi une nature peut être plus primitive du magma (communication personnelle avec M. Robert Thériault). Cependant, les observations tirées de l'étude pétrographique ne concluent pas dans ce sens. En effet, le secteur Nourricier A se caractérise par des unités plus mafiques (péridotites, gabbronorites à olivine et troctolites) que les unités du secteur Paul (gabbro).



Légende:

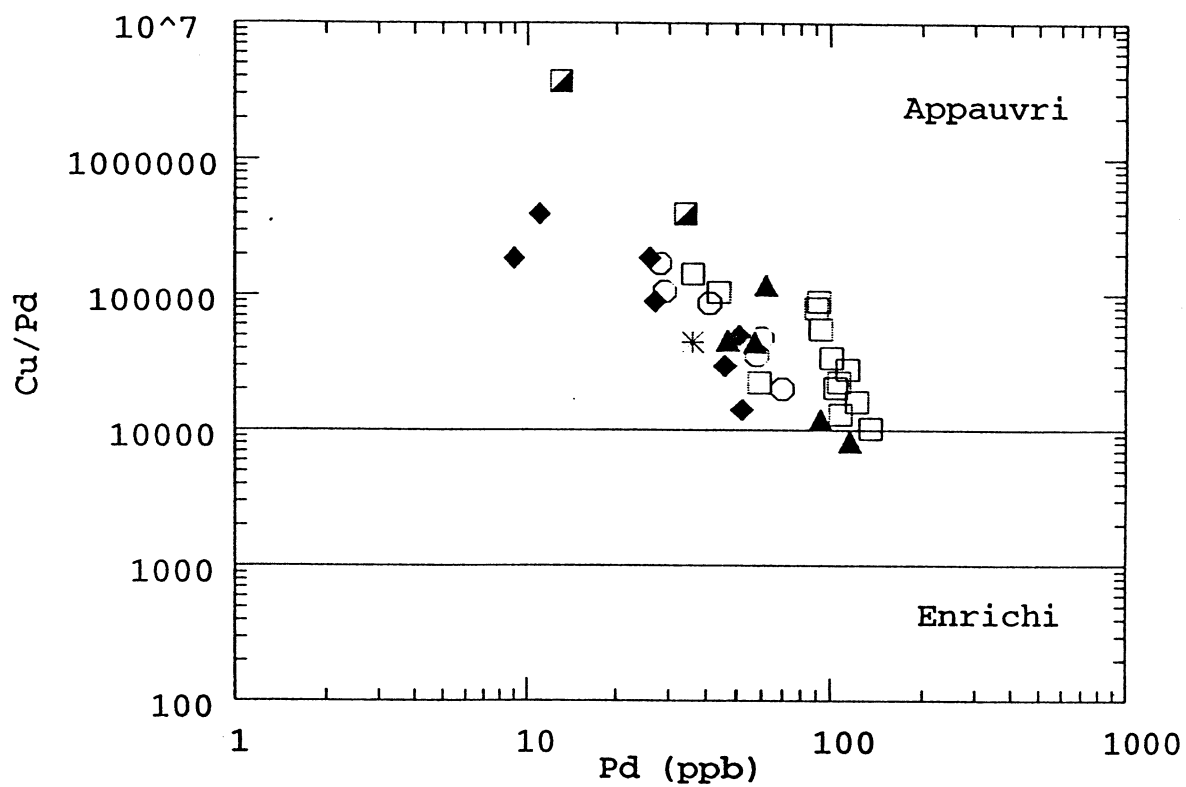
- Nourricier A
- Nourricier B
- Nourricier B (riche en Cu)
- * MHY
- ▲ Manouane
- ◆ Paul

Figure 12 : Graphique du rapport Ni/Cu en fonction du soufre

4.2 Analyse des rapports interéléments

4.2.1 Analyse entre le rapport Cu/Pd et le palladium

Le graphique de Cu/Pd vs Pd (figure 13) démontre que tous les échantillons se situent dans le champ appauvri. Ceci indique qu'il y a eu fort probablement une ségrégation antérieure des sulfures en profondeur, ce qui aurait eu pour effet d'appauvrir en éléments du groupe du platine les sulfures non déposés. Effectivement, le cuivre possède un coefficient de partage entre liquides sulfurés et silicatés de 200 à 2000 (Francis 1990; Peach et al. 1990), ce qui est de beaucoup inférieur à celui du palladium qui se situe entre 10 000 et 1 000 000 (Bezman et al. 1994; Peach et al. 1990; Stone et al. 1990). Une ségrégation même minime de sulfures est suffisante pour augmenter de façon substantielle le rapport Cu/Pd. Une ascension lente du magma est peut être une des causes de cette ségrégation antérieure de sulfures. La croûte grenvillienne offre souvent peu de conduits permettant au magma une ascension rapide au travers de la croûte et empêche de ce fait une ségrégation en profondeur des sulfures. D'après le graphique, on remarque aussi que tous les secteurs possèdent des rapports Cu/Pd similaires. Il est donc difficile d'identifier la provenance des sulfures à l'échelle régionale.



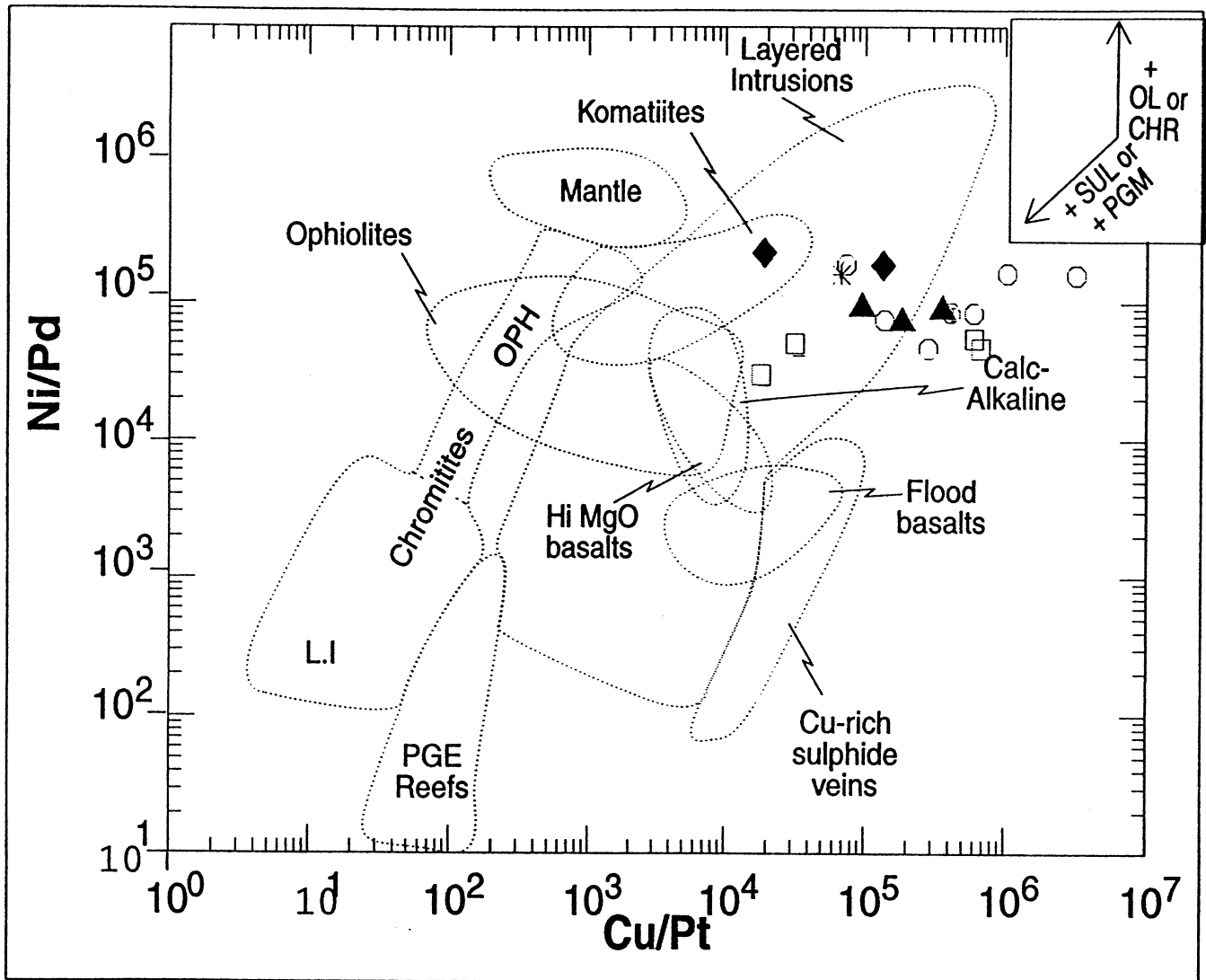
Légende:

- Nourricier A
- Nourricier B
- Nourricier B (riche en Cu)
- * MHY
- ▲ Manouane
- ◆ Paul

Figure 13 : Graphique du rapport Cu/Pd en fonction du Pd

4.2.2 Analyse entre les rapports Ni/Pd et Cu/Pt

Le graphique du Ni/Pd vs Cu/Pt (figure 14) peut servir à comprendre l'histoire pétrogénétique de la roche. Tous les échantillons se trouvent à droite du champ délimité par les basaltes riches en MgO, les basaltes calco-alcalins et les basaltes de plateau. Les échantillons montrent donc des rapports élevés de Ni et Cu sur EGP, ce qui indique aussi que le magma est pauvre en EGP et qu'il aurait perdu ses EGP lors d'une phase antérieure de séparation des sulfures. Pour connaître la composition originale du magma, il suffit de déplacer les échantillons vers des rapports plus bas de Ni et Cu sur EGP. Dans ce cas, le magma original sera de composition similaire à celles des basaltes riches en MgO ou des basaltes calco-alcalins. Cependant, les séries calco-alcalines sont totalement restreintes à une occurrence d'environnement tectonique de subduction (Wilson, 1989), ce qui n'est probablement pas le cas pour l'intrusion de Chute-des-Passes. Le magma original a une composition possiblement similaire à celle d'un basalte riche en MgO.



Légende:

- | | |
|------------------------------|------------|
| ○ Nourricier A | * MHY |
| □ Nourricier B | ▲ Manouane |
| ▣ Nourricier B (riche en Cu) | ◆ Paul |

Figure 14 : Graphique du rapport Ni/Pd en fonction du rapport Cu/Pt

4.3 Modélisation de la composition des sulfures à l'aide du rapport Cu/Pd

La teneur en EGP d'un dépôt est déterminée premièrement par la quantité de sulfures présents dans la roche, et deuxièmement par la quantité de métaux dans les sulfures. La quantité de métaux dans les sulfures est contrôlée par la composition du liquide silicaté dans lequel il y a eu ségrégation des métaux ainsi que le facteur R, soit le rapport entre le liquide silicaté et le liquide sulfuré. Ne connaissant pas la composition originale précise du magma, nous pouvons tout de même l'évaluer approximativement. Un magma mafique primitif contient normalement de 100 à 150 ppm de cuivre et de 10 à 20 ppb de palladium. L'étoile sur la figure 15 indique une composition supposée du liquide silicaté originel, soit environ 10 ppb de paladium et 100 ppm de cuivre. On peut supposer que ces teneurs sont plausibles pour le type de magma d'où originent les minéralisations étudiées. La moyenne des échantillons analysés est représentée par la lettre C sur la figure 15. Le dépôt de Chute-des-Passes possède un rapport Cu/Pd très élevé, causé possiblement par une séparation précoce de sulfures et par le fait même, par un appauvrissement en Pd. Le changement du rapport Cu/Pd et du contenu en Pd du magma silicaté suite à une ségrégation de sulfures est représenté par la ligne pointillée sur la figure 15 (Barnes et al. 1993). Chaque point sur cette ligne indique le pourcentage de sulfures qui s'est séparée antérieurement, et on observe que la quantité minimum de sulfures qui a été retirée du magma à Chute-des-Passes est de 0.01%. Le contenu en métaux des sulfures formés en équilibre avec ce magma appauvri dépend du facteur R. À partir du point représentant la composition probable du magma suite à la séparation précoce de sulfures, soit à 0.01%, on peut tirer une série de courbes montrant l'évolution du magma à différents facteurs R. Les lignes pleines

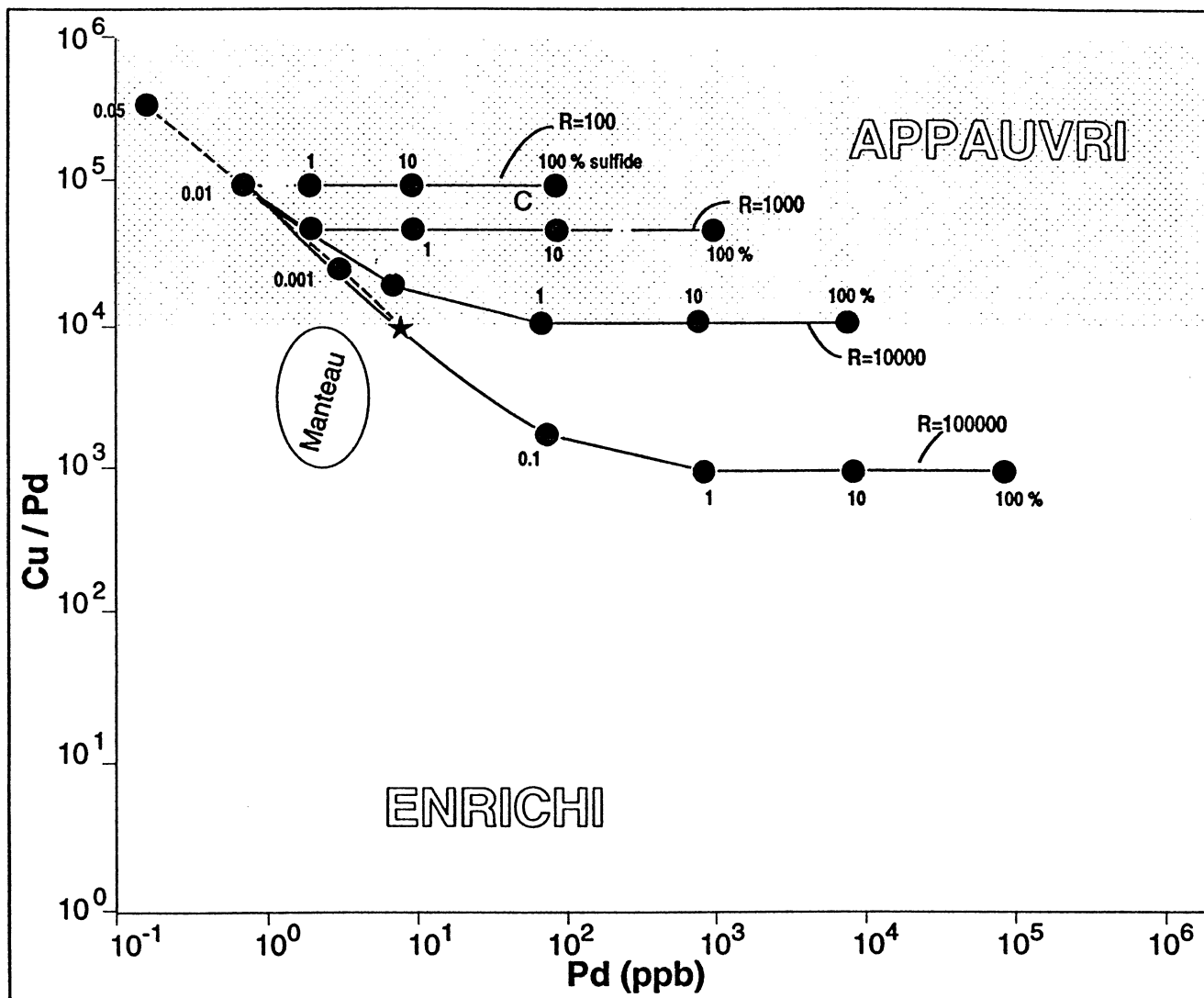


Figure 15 : Graphique du rapport Cu/Pd vs Pd pour la modélisation des sulfures de Chute-des-Passes

relient le liquide silicaté et les sulfures en équilibre avec ce liquide pour différents facteurs R, et les points le long de chaque ligne indiquent la composition de la roche contenant 0.1, 1, 10 et 100% de sulfures (Barnes et al., 1993). D'après cette série de courbes, on remarque que le dépôt de Chute-des-Passes se situe à un facteur R d'environ 250 avec approximativement 50% de sulfures dans la roche. Il est à noter que cette solution n'est pas unique. En effet, une ségrégation antérieure plus importante couplée avec un facteur R et un pourcentage de sulfure dans la roche plus élevés pourraient caractériser aussi la minéralisation présente à Chute-des-Passes. Cependant, la quantité moyenne de sulfures dans la roche observée lors de l'étude pétrographique est de 44%, ce qui se rapproche des 50% obtenus par la modélisation, ce pourquoi ce modèle a été retenu.

CHAPITRE 5

Discussion

Cette étude pétrographique a permis de définir une classification pour les différents échantillons. Comme il est mentionné précédemment, cette classification est basée sur une supposition, soit que les amphiboles présentes dérivent en totalité de l'altération des pyroxènes. Cette supposition est appuyée par plusieurs observations pétrographiques, cependant il se peut qu'elle soit en partie erronée. Si c'était le cas, la classification des échantillons ne serait que légèrement altérée. Les résultats de l'étude pétrographique démontrent trois grands regroupements d'échantillons basés sur le pourcentage relatif de plagioclase, soit les roches ultramafiques contenant moins de 10% de plagioclase, les roches mafiques contenant plus de 10% et moins de 65% de plagioclase et, finalement, les roches mafiques avec plus de 65% de plagioclase. La définition de ces groupes aurait pu être différente et les échantillons auraient pu se classer selon les roches ultramafiques (moins de 10% de plagioclase), les roches gabbroïques (entre 10% et 90% de plagioclase) et les anorthosites (plus de 90% de plagioclase). Selon cette dernière classification, les différentes classes indiquent des processus génétiques différents. Effectivement, la notion d'anorthosite implique généralement une origine du magma qui n'est pas la même que celle d'une intrusion mafique ou ultramafique. Les anorthosites proviendraient probablement de la fusion de la croûte inférieure (communication personnelle avec M. Robert Thériault) tandis que les intrusions mafiques ou ultramafiques proviendraient d'un

magma riche en MgO s'étant formé par fusion partielle du manteau. Or, tous les échantillons proviennent probablement de la même intrusion, donc la notion d'anorthosite, puisqu'elle implique un processus magmatique différent, n'a donc pas été retenue.

D'après la composition minéralogique des échantillons (figure 5), il ne semble pas y avoir de corrélation entre le type de roche définie et les secteurs d'où sont issus les échantillons. Cependant, les échantillons les plus riches en olivine proviennent tous du secteur Nourricier A. Le contenu en olivine est nul dans presque tous les autres échantillons. La présence d'hyperstène à jonctions triples et de grenat indique un faciès métamorphique amphibolite supérieur à granulite tandis que la trémolite provient probablement d'un métamorphisme rétrograde. Il est important de noter la présence d'apatite dans certains échantillons, dont 5% au sein de l'échantillon NB-2-46. Ce minéral accessoire est commun dans les roches magmatiques alcalines mais rarement associé à des roches magmatiques mafiques à ultramafiques. Le Complexe de Septs-Îles, composé de gabbro à olivine et de troctolite, renferme une importante unité d'apatite. Selon Jules Cimon du MRN (Cimon, 1996), cette unité correspondrait à de nouvelles venues de magma dans la chambre dont l'évènement se serait produit alors qu'il ne subsistait dans la chambre qu'une faible quantité de magma très évolué et considérablement enrichi en éléments incompatibles dont le phosphore. Comme l'avait déjà observé Von Gruenewaldt (1993) dans le Bushveld, la présence d'apatite à des teneurs aussi élevées dans des complexes différenciés semble coïncider avec du mélange de magma, ce qui provoque l'apparition d'un liquide de Fe-Ti-apatite immiscible qui va se séparer des silicates. Donc, l'apatite présente à Chute-des-

Passes découle peut-être d'un mélange d'un magma injecté tardivement avec une restite très évoluée.

Pour ce qui est des sulfures, ils sont présents dans les trois types de roches. Le pourcentage moyen de sulfures au sein des échantillons minéralisés est de 51,4% pour les roches ultramafiques, 41,3% pour les roches mafiques du groupe 2 et 35,3% pour les roches mafiques du groupe 3. Il semble donc que la minéralisation soit plus importante dans les unités plus mafiques. L'intrusion minéralisée de Chute-des-Passes se distingue du Complexe mafique-ultramafique du Lac Kénogami par la présence de minéralisation significative au sein des unités ultramafiques. Pour ce qui est du Complexe mafique-ultramafique du Lac Kénogami, les sulfures sont présents surtout au sein des roches gabbroïques d'épanchement et très peu dans les roches harzburgitiques (communication personnelle avec Mme. Christine Vaillancourt). Cette caractéristique de l'intrusion de Chute-des-Passes implique que la contamination du magma primitif menant à la ségrégation des sulfures aurait été plus précoce, relativement à la mise en place de l'intrusion, que dans le cas du Complexe du Lac Kénogami.

La composition des sulfures tend à démontrer que ces derniers proviennent de la cristallisation fractionnée d'une solution solide monosulfurée et que les sulfures riches en cuivre représentent le liquide fractionné, les sulfures riches en fer représentant le cumulat. Cependant, l'absence de corrélation entre le soufre et le cuivre suggère que ce dernier ait été remobilisé. Une remobilisation du cuivre expliquerait aussi pourquoi les deux

échantillons riches en cuivre possèdent des teneurs en nickel inférieures aux autres échantillons. Le nickel étant un élément peu mobile, le liquide minéralisé en cuivre contiendrait des teneurs en nickel plus faibles. Si il y avait eu fractionnement, la distribution du nickel serait similaire entre la zone de cumulat riche en fer et la zone fractionnée riche en cuivre. De plus, les zones riches en cuivre s'observent de façon isolées, principalement sous forme de veinules millimétriques à centimétriques, ce qui laisse suggérer une remobilisation de la chalcopryrite plutôt qu'une mise en place par fractionnement du liquide sulfuré. Dans le modèle de fractionnement du liquide sulfuré, la présence de veines riches en cuivre peut par contre s'expliquer par le fait que le liquide riche en cuivre ne se solidifie qu'à une température de 850° C et la roche encaissante devient solide généralement à 1000° C (Barnes et al., 1996). Le contraste de compétence entre le liquide riche en cuivre et son encaissant peut provoquer, suite à des changements locaux de pression engendrés par des nouvelles injections de magma, des fractures dans l'encaissant ou dans les sulfures massifs cristallisés. Le liquide riche en cuivre peut par la suite s'injecter dans ces structures dilatantes et former des veines riches en cuivre. Il serait important de déterminer de façon plus formelle si il y avait eu ou non fractionnement de la solution solide monosulfurée pour former les minéralisations riches en cuivre. Si c'était le cas, les zones riches en cuivre possèderaient un excellent potentiel pour des minéralisations en palladium, platine et or.

Le graphique de Cu/Pd vs Pd (figure 10) démontre que tous les échantillons se situent dans le champ appauvri, ce qui suggère fortement qu'il y a eu ségrégation antérieure des

sulfures. Cette ségrégation serait de l'ordre de 0,01% de sulfures retirés du magma original. Si ce magma avait produit un gisement d'EGP, il devrait se retrouver stratigraphiquement plus bas. L'ascension lente du magma au travers de la croûte grenvillienne pourrait expliquer cette perte de sulfures antérieure. Les types de roches les plus importants dans les intrusions du Grenville sont les anorthosites et leucotroctolites (Hock, 1977; Woussen et al., 1988). Ce type de roche ne représente généralement pas un magma primaire mais résulte d'un fractionnement élevé. Pour cette raison, le contexte tectonique supposé pour sa mise en place est plutôt dans une croûte épaissie que dans un rift. Par conséquent, il est peu probable que les sulfures primaires soient demeurés dans le magma.

Les minéralisations observées sur le terrain sont sous forme de lentilles et possèdent des teneurs relativement faibles en nickel (généralement inférieure à 1%) et en cuivre par rapport à des gisements de sulfures massifs de classe mondiale (e.g. Voisey's Bay, Sudbury, Noril'sk). Il est important de mentionner que de telles lentilles à faibles teneurs en Ni et en Cu sont observées également à Voisey's Bay. Ces lentilles se retrouvent à des niveaux stratigraphiques plus élevés que l'Ovoid et l'Eastern Deeps qui, eux, se situent à la base de l'intrusion. La différence des teneurs en métaux entre les sulfures massifs situés à la base du gisement de Voisey's Bay et les lentilles minéralisées situées à des niveaux supérieurs découle peut être de variations dans les processus d'enrichissement. Selon Robert Thériault (communication personnelle), les plus récents modèles impliquent un processus d'enrichissement en deux étapes du contenu en métaux des sulfures. Le premier

(faible facteur R) proviendrait de la création de gouttelettes de sulfure lors de la contamination du magma par des sédiments sulfurés. Le second (facteur N ou facteur R élevé) proviendrait du « raffinage » des sulfures déposés à la base d'un lopolite par l'écoulement continu de magma provenant du conduit nourricier. Les sulfures constituant le gîte de Chute-des-Passes n'ont peut-être subi que la première étape d'enrichissement, ce qui expliquerait les teneurs relativement faibles en Ni et en Cu que l'on y retrouve. Ce modèle impliquerait aussi la présence possible d'une minéralisation riche en métaux située à un niveau stratigraphique inférieur à ceux observés actuellement en surface et en forage.

CHAPITRE 6

Conclusion

L'étude pétrographique a permis de définir trois grands types de roches, soit : groupe 1 (roches ultramafiques contenant moins de 10% de plagioclase), groupe 2 (roches mafique contenant plus de 10% et moins de 65% de plagioclase) et groupe 3 (roches mafiques contenant plus de 65% de plagioclase). La minéralisation est présente au sein des trois unités mais son abondance décroît des unités ultramafiques (groupe 1) aux unités du groupe 3. Les minéralisations observées témoignent souvent d'une mise en place violente des sulfures, soit sous forme de veines (échantillons PAU-1-95.35 et MAN-4-63) ou de brèches (échantillons PAU-1-89.4 et 90.7) plutôt que d'un milieu tranquille où les sulfures sédimenteraient. La minéralisation est présente en un assemblage pyrrhotite-chalcopryrite-pentlandite où la pyrrhotite constitue la principale phase sulfurée. Cependant, certaines zones se caractérisent par la proportion élevée de chalcopryrite par rapport aux autres sulfures. Ces zones riches en cuivre proviendraient soit d'une remobilisation du cuivre ou d'une cristallisation fractionnée du liquide sulfuré.

L'étude géochimique a permis de déceler l'évidence d'une ségrégation antérieure des sulfures, ce qui a eu pour effet d'appauvrir ce gisement en EGP. Selon la modélisation de la composition des sulfures à l'aide du rapport Cu/Pd, le dépôt de Chute-des-Passes serait caractérisé par une séparation précoce de 0,01% de sulfure, un facteur d'enrichissement R

d'environ 250 avec approximativement 50% de sulfures dans la roche. Un facteur d'enrichissement aussi bas que 250 expliquerait les teneurs relativement faibles en Ni et Cu observées au sein des minéralisations de l'intrusion de Chute-des-Passes.

Remerciements

Je tiens à remercier particulièrement Sarah Janes Barnes, professeure à l'UQAC, pour m'avoir donné de son temps ainsi que pour ses conseils judicieux. Je remercie aussi M. Paul Archer et M. Guy Francoeur de Mines d'Or Virginia pour leur support technique lors de la réalisation de ce projet ainsi que MM. Robert Thériault et Hassan Nabil pour les communications très intéressantes que j'ai eu avec eux.

Références

- BARNES, S.J., COUTURE, J.F., SAWYER, E.W. et BOUCHAIB, C., 1993. Nickel-copper occurrences in the Belleterre-Angliers belt of the Pontiac subprovince and the use of Cu-Pd ratios in interpreting platinum-group element distributions. *Economic Geology*, vol. 88 : 1402-1418.
- BARNES, S.J., ZIENTEK, M.L. et SEVERSON, M.J., 1996. Factors effecting the composition of sulphides associated with intraplate magmatism. Actes du colloque tenu à l'Université du Québec à Chicoutimi le 17 avril 1996 dans le cadre du 9^e Congrès annuel de l'Association Professionnelle des Géologues et des Géophysiciens du Québec.
- BEZMEN, N.S., ASIF, M., BRUGMANN, G.E., ROMANEKNO, I.M. et NALDRETT, A.J., 1994. Experimental determinations of sulfide-silicate partitioning of PGE and Au. *Geochimica et Cosmochim Acta*, 58 : 1251-1260.
- CIMON, J., 1996. Unité à apatite dans le complexe de Sept-Îles: position stratigraphique, profil et origine. Séminaire d'information sur la recherche géologique, programme et résumés 1996 : 33

DICKIN, A.P. and HIGGINS, M.D., 1992. Sm/Nd evidence for a major 1.5 Ga crust-forming event in the central Grenville Province. *Geology*, 20 : 473-485.

DIMROTH, E., WOUSSEN, G., and ROY, D.W., 1981. Geologic history of the Saguenay region, Québec (Central granulite terrain of the Grenville Province) : a working hypothesis. *Canadian Journal of the Earth Sciences*, v. 18 : 1506-1522.

FRANCIS, R.D., 1990. Sulfide globules in mid-ocean ridge basalts (MORB) and the effect of oxygen abundance in Fe-S-O liquids on the ability of those liquids to partition metals from MORB and komatiitic magmas. *Chemical Geology*, 85 : 199-213.

HERVET, M., VAN BREEMEN, O. and HIGGINS, M.D., 1994. U-Pb igneous crystallisation ages of intrusive rocks near the southeastern margin of the Lac-St-Jean Anorthosite Complexe, Grenville Province, Quebec. *Radiogenic Age and Isotopic Studies, Report 8, Geological Survey of Canada Current Research 1994-F* : 115-124.

HIGGINS, M.D. and VAN BREEMEN, O., 1996. Three generations of anorthosite-mangerite-charnockite-granite (AMCG) magmatism, contact metamorphism and tectonism in the Saguenay-Lac-St-Jean region of the Grenville Province, Canada. *Precambrian Research*, sous-presse.

HIGGINS, M.D. and VAN BREEMEN, O., 1992. The age of the Lac-St-Jean anorthosite complexe and associated mafic rocks, Grenville Province, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29 : 1412-1423.

HOCK, M., 1977. Contribution à la reconnaissance pétrostructurale et minéralogique des massifs anorthositiques et mangéritiques de la région du réservoir Pipmuacan. Thèse Ph.D., Université de Montréal, Montréal, Québec.

KULLERUD, G., YUND, R.A., et MOH, G.H., 1969. Phase relations in the Cu-Fe-S, Cu-Ni-S, and Fe-Ni-S systems. *Economic Geology Monograph* 4 : 323-343.

PEACH, C.L., MATHEZ, E.A. et KEAYS, R.R. 1990. Sulfide melt-silicate melt distribution coefficients for the noble metals and other chalcophile elements as deduced from MORB: Implications for partial melting. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 54 : 3379-3389.

RIVERS, T., MARTIGNOLE, J., GOWER, C.F. and DAVIDSON, A., 1989. New tectonic divisions of the Grenville Province, southeast Canadian shield. *Tectonics*, 8 : 63-84.

VON GRUENEWALDT, G., 1993. Ilmenite-apatite enrichments in the upper zone of the Bushveld Complex, a major titanium-rock phosphate resource. *International Geology Review*, vol. 35; no 11 : 987-1000.

WILSON, M. 1989. Igneous petrogenesis: a global tectonic approach. London, Chapman & Hall, p. 466.

WOUSSEN, G., DIMROTH, E., CORRIVEAU, L. and ARCHER, P., 1981. Crystallisation and emplacement of the Lac-St-Jean anorthosite massif (Québec, Canada). *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 76 : 343-350.

WYNNE-EDWARD, H.R., 1972. The Grenville Province. Dans : Price, R.A. and Douglas, R.J.W., 1972. *Variations in Tectonic Styles in Canada*. Geological Association of Canada, Special Paper 11 : 263-334.

ANNEXE A

Fiches pétrographiques

Cette annexe comprend la description pétrographique complète des échantillons NRA-1, 2, 3, 4 et NRB-1. Elle comprend aussi les descriptions pétrographiques et mégascopiques complètes des échantillons NB-2-45.5, 46; NB-3-51.1, 54.7; PAU-1-89.4, 90.7, 95.35; MAN-4-60.4, 62 et 63. À noter que la description pétrographique de l'échantillon NB-3-54.7 ne comprend pas l'étude des minéraux opaques.

NRA-1

Type de roche

- Roche holocristalline, texture générale porphyrique-coronitique
- Composée de 75% silicates; 15% oxydes; 10% sulfures
- Sulfures disséminés (portion riche en Cu) dans une péridotite à oxydes

Description pétrographique

Silicates

35% olivine : cristaux xénomorphes de 5-15 mm, faiblement serpentinisés. Présence de couronnes d'opx (interne) et de hornblende (externe) formant une texture coronitique. L'olivine n'est en contact qu'avec l'orthopyroxène et les sulfures, et les bordures de grains avec ceux-ci sont lisses et plus ou moins droites. Les gros cristaux d'olivine forment une texture porphyrique et coronitique.

30% opx : Petits cristaux hypidiomorphes interstitiels <1mm à jonctions triples. 5% des opx forment des couronnes autour de l'olivine. Les contacts sont lisses et droits avec la hornblende verte.

7% hornblende verte : cristaux hypidiomorphes à xénomorphes de 1 à 7 mm. Ces cristaux forment des couronnes autour de l'olivine. Les contacts avec l'opx et le quartz sont irréguliers à lisses.

2% calcite : grains xénomorphes interstitiels <1mm. Contacts flous avec l'olivine.

1% quartz : veinules dont les épontes sont formées de petits cristaux de hornblende verte. Il n'y a pas de contact avec l'opx et l'olivine.

Oxydes

10% ilménite : amas de cristaux de 0,5 mm xénomorphes interstitiels aux silicates; associés aux sulfures.

5% magnétite : grains de 0,5 mm xénomorphe. Associés à l'ilménite.

Sulfures

8% pyrrhotite : amas de grains xénomorphes de 2 à 5 mm, interstitiels aux silicates

2% chalcopryrite : grains xénomorphes de taille variable, associé à la po; zone massive (1 cm) en bordure de la lame mince. Présence de mâcles lamellaires, ce qui indique une déformation.

0.5% pentlandite : petits grains xénomorphes <0.5 mm au contact entre po et cp; rares flammes dans la po.

Commentaires

- Absence de remobilisation ou d'altération des sulfures.
- Présence de gouttelettes de pyrrhotite dans l'olivine.

NRA-2

Type de roche

- Roche holocristalline, texture générale coronitique
- Composée de 80% sulfures; 17% silicates; 3% oxydes
- Sulfure massif

Description pétrographique

Silicates

13% olivine : cristaux xénomorphes arrondis de 5-25 mm. Présence de couronnes d'opx autour des cristaux d'olivine. Les contacts avec l'opx et la hornblende sont droits à lisses. Très faible serpentinisation.

3% opx : petits cristaux xénomorphes < 1 mm. Forment une couronne autour de l'olivine.

1% hornblende : cristaux hypidiomorphes de 3-5 mm. Présents sur les parties externes des couronnes d'opx et ils sont orientés de façon radiale. Proviennent peut-être de l'altération du cpx et/ou opx?

tr. apatite : cristaux idiomorphes tabulaires 1-2 mm. Contact droit avec les oxydes.

tr. biotite : cristaux hypidiomorphes de 0,5 mm. Les cristaux « baignent » dans les sulfures et les contacts avec ces derniers sont lisses et droits à courbes.

Oxydes

2% magnétite : grains xénomorphes de 0,5 mm associé aux sulfures.

1% ilménite : grains xénomorphes de 0,5 mm associés aux sulfures et à la magnétite.

Sulfures

73% pyrrhotite : agrégat fracturés de grains xénomorphes de 5-10 mm formant un sulfure massif. Les contacts sont lisses avec les autres phases.

4% pentlandite : 90% sous forme de grains xénomorphes fracturés de 0.2-1.0 mm dans la pyrrhotite; 10% sous forme de flammes d'exsolution dans la pyrrhotite.

3% chalcopyrite : grains xénomorphes de 0.2 à 3.0 mm dans la pyrrhotite.

Commentaires

- La présence de cristaux arrondis d'olivine suggère une cristallisation des silicates en présence du liquide sulfuré.

NRA-3

Type de roche

- Roche holocristalline de texture générale porphyrique-coronitique
- Composée de 50% silicates; 50% sulfures; ~1% oxydes
- Sulfures semi-massifs dans une troctolite

Description pétrographique

Silicates

20% olivine : cristaux xénomorphes de 1.5-3.5 cm. Couronnes d'opx et amphibole et les contacts avec ces derniers sont droits et lisses à irréguliers. Faible serpentinisation, surtout en bordure des grains.

20% plagioclase : cristaux xénomorphes à hypidiomorphes de 3.5 cm. Recristallisation partielle en bordure. Présence d'une couronne d'amphibole. Les contacts avec la hornblende sont droits et lisses.

5% opx : petits cristaux xénomorphes de 1mm formant une couronne autour de l'olivine.

5% hornblende : cristaux hypidiomorphes de 1 à 5 mm formant des couronnes autour de l'olivine, le plagioclase et le cpx. La hornblende est orientée de façon radiale dans les couronnes.

- tr. cpx : cristal xénomorphe de 1 cm possédant une couronne d'amphibole. Les contacts avec les amphiboles qui l'entourent sont lisses à irréguliers.
- tr. apatite : cristal xénomorphe arrondi de 0,5 mm présent dans les sulfures.
- tr. biotite : petits cristaux hypidiomorphes de 1 mm. En contact droit et lisse avec les sulfures et l'opx.

Oxydes

- 1% ilménite : petits grains xénomorphes de 0,5 mm dans les sulfures.
- tr. magnétite : petits grains xénomorphes de 0,5 mm dans les sulfures.

Sulfures

- 47% pyrrhotite : agrégat de grains xénomorphes de 2 à 7 mm formant un sulfure massif. Également sous forme de petits grains arrondis (po +/- cp, pn, ilm) dans l'olivine.
- 2% pentlandite : 95% sous forme de grains de 0.2 à 2.0 mm dans la po; 5% sous forme de flammes d'exsolution dans la pyrrhotite.
- 1% chalcopyrite : grains xénomorphes de 0.2 à 3.0 mm dans la pyrrhotite.

Commentaires

- La présence de gouttelettes de sulfures dans l'olivine implique que cette dernière s'est formée en présence du liquide sulfuré.

NRA-4

Type de roche

- Roche holocristalline de texture générale coronitique
- Composée de 50% de silicates; 50% de sulfures; ~1% d'oxydes
- Sulfures semi-massifs dans une troctolite

Description pétrographique

Silicates

25% olivine: cristaux xénomorphes arrondis de 2 à 6 cm. Présence de couronnes d'orthopyroxène et d'amphibole. Faible serpentinisation. L'olivine n'est en contact qu'avec les sulfures et l'opx et les contacts avec l'orthopyroxène sont irréguliers.

20% plagioclase: amas de cristaux xénomorphes de 4 cm fortement recristallisé. Présence de couronnes d'amphibole. Les contacts avec la hornblende sont flous et irréguliers.

3% grenat: amas de cristaux xénomorphes fracturés de 1 à 1,5 cm au contact entre les silicates et les sulfures. Les contacts ne sont pas francs avec la hornblende, irréguliers avec les plagioclases et courbes avec les sulfures.

1% hornblende: cristaux hypidiomorphes à xénomorphes de 1 à 5 mm formant des couronnes autour de l'olivine et du plagioclase. Les contacts sont irréguliers avec ces derniers.

1% orthopyroxène: petits cristaux xénomorphes de 1 mm formant des couronnes autour de l'olivine.

tr. apatite: cristaux idiomorphes présents dans les sulfures. Les contacts sont droits avec les sulfures et avec l'ilménite.

Oxydes

1% ilménite: grains xénomorphes arrondis de 1 à 6 mm associés aux sulfures.

Sulfures

47% pyrrhotite: agrégat de grains xénomorphes de 2 à 10 mm formant un sulfure massif.

2% pentlandite: 95% sous forme de grains xénomorphes de 0,2 à 1 mm dans la pyrrhotite et 5% sous forme de flammes d'exsolution dans la pyrrhotite.

1% chalcopyrite: grains xénomorphes de 0,2 à 5 mm dans la pyrrhotite.

NRB-1

Type de roche

- Roche holocristalline
- Composée de 60% de silicates; 40% de sulfures; tr. d'oxydes
- Sulfure semi-massif dans un leucogabbro à hornblende

Description pétrographie

Silicates

40% plagioclase: cristaux xénomorphes arrondis de 1 à 5 mm, jusqu'à 5 cm, partiellement recristallisés et baignant dans une matrice de sulfures. Extinction roulante.

10% amphibole: petits cristaux hypidiomorphes à xénomorphes < 1mm à jonctions triples. Forment des couronnes autour du clinopyroxène et sont aussi présents dans les sulfures.

7% clinopyroxène: cristaux xénomorphes arrondis de 3 à 10 mm. Les cristaux sont fortement altérés en amphibole (ouralitisation). Il y a présence de couronnes de hornblende verte autour de ces cristaux.

3% biotite: cristaux hypidiomorphes tabulaires à aciculaires < 1mm. La coloration rougeâtre indique une composition titanifère. Les contacts sont flous avec les autres phases silicatées.

Oxydes

tr. ilménite: grains xénomorphes arrondis de 0,5 à 3 mm. Associés avec les sulfures.

Sulfures

39% pyrrhotite: agrégat de grains xénomorphes de 2 à 7 mm formant un sulfure semi-massif.

1% pentlandite: petits grains xénomorphes de 0,1 mm dans la pyrrhotite.

tr. chalcopyrite: petits grains xénomorphes de 0,1 à 0,3 mm dans la pyrrhotite.

NB-97-2-45,5

Type de roche

- Roche holocristalline
- Composée de 55% silicates, 43% sulfures, 2% oxydes
- Sulfures semi-massifs dans un mélagabbro à olivine

Description mégascopique

Roche hétérogène composée de 55% de silicates et de 45% de sulfures et d'oxydes. Les contacts sont lisses à irréguliers entre les silicates et les sulfures. Les sulfures forment un amas dans lequel on retrouve des silicates qui y sont englobés. Les silicates sont de couleur vert grisâtre en cassure fraîche et la granulométrie générale varie de fine à moyenne. Ils sont formés de 25% de pyroxène, 10% d'olivine, 8% d'amphibole et 5% de biotite. Les cristaux sont hypidiomorphes à xénomorphes et forment une texture générale granulaire. Les sulfures sont d'une couleur jaune bronzé en cassure fraîche et la granulométrie varie de moyenne à grossière. Ils sont formés en grande majorité de pyrrhotite (40%) et un peu de chalcopryrite (3%). Il y a présence aussi d'un peu de magnétite, environ 2%. La pyrrhotite est magnétique. Les grains sont xénomorphes et forment une texture granulaire. Cet échantillon se décrit comme un sulfure semi-massif dans un mélagabbro à olivine.

Description pétrographique

Silicates

25% orthopyroxène : cristaux hypidiomorphes pseudo-octogonaux de 0,1 à 0,5 mm à

jonction triple. Présence d'inclusion de magnétite. Les contacts sont irréguliers avec l'olivine et lisses avec l'hornblende.

10% olivine : cristaux xénomorphes de 1 à 5 mm, intensément fracturés et altérés en hornblende verte qui est légèrement chloritisée. De la pyrrhotite est présente dans les fractures de l'olivine. Les contacts avec la hornblende sont lisses.

7% plagioclase : cristaux hypidiomorphes à xénomorphes arrondis, de 1 à 3 mm. Ces cristaux « baignent » dans les sulfures et les contacts avec ces derniers sont lisses et courbes. Faible altération en hydromuscovite, probablement de la damourite, dans les plans de clivages et de mâcles.

7% hornblende verte : 4% en cristaux hypidiomorphes de 0,5 à 1 mm en association avec l'amas de biotite; 3% en cristaux hypidiomorphes à xénomorphes de 0,1 à 0,3 mm qui est le produit de l'altération des olivines et des pyroxènes. Les contacts sont irréguliers avec l'olivine et lisses avec la biotite.

5% biotite : petits cristaux allongés et hypidiomorphes de 0,5 à 1 mm. 4,5% forment un amas associé avec la hornblende verte; 0,5% dispersé dans les silicates. Les bordures des cristaux sont chloritisées. Présence d'inclusion de zircon. Les contacts sont lisses avec toutes les autres phases silicatées.

1% chlorite : petits cristaux hypidiomorphes à xénomorphes <0,1 mm. Présents en bordure des cristaux de biotite et de la hornblende verte et les contacts avec ceux-ci sont flous. Proviennent de l'altération de ces minéraux.

Tr. Zircon : inclusion à l'intérieur de la biotite.

Sulfures

39% pyrrhotite : agrégat de grains xénomorphes de 1 à 10 mm formant un sulfure semi-massif. Les cristaux sont fracturés et il y a présence de petits grains de 1mm dans les silicates.

2% chalcopyrite : grains xénomorphes de 0,1 à 0,5 mm formant des veinules remplissant les fractures de la pyrrhotite.

2% pentlandite : grains xénomorphes de 0,1 à 0,5 mm. Présents principalement dans les fractures de la pyrrhotite et en contact avec la chalcopyrite. Il y a aussi présence de petites « flammes » associées aux microfissures de la pyrrhotite. À noter un alignement préférentiel de ces flammes à l'intérieur des grains de pyrrhotite.

Oxydes

2% magnétite : petits grains xénomorphes de 0,2 mm, principalement présents à l'intérieur et interstitiels aux silicates. Présents aussi au contact entre les silicates et la pyrrhotite.

Tr. ilménite : petits grains xénomorphes arrondis de 0,3 mm dans la pyrrhotite et en contact avec les silicates.

NB-2-46

Type de roche

- Roche holocristalline de texture générale en mortier
- Composée de 70% de silicates; 27% de sulfures; 3% d'oxydes
- Sulfure disséminé dans une anorthosite

Description mégascopique

Roche hétérogène composée de 70% silicates et de 30% de sulfures et d'oxydes. Les sulfures forment de petites veinules millimétriques à centimétriques interstitielles aux silicates. Les contacts sont lisses à irréguliers entre les silicates et les sulfures. Les silicates sont de couleur gris moyen verdâtre en cassure fraîche. Il y a présence de deux populations de granulométrie, soit une granulométrie générale grossière (1 à 2 cm) et une granulométrie secondaire variant de fine à moyenne. La minéralogie des silicates se compose de 54% de plagioclase, 5% de biotite, 5% d'apatite, 3% d'amphibole et 3% de chlorite. La forme des cristaux varie de hypidiomorphe à xénomorphe et la texture générale est porphyrique ou en mortier. Les sulfures sont de couleurs jaune cuivré à bronzé en cassure fraîche et la granulométrie est fine (<1mm). Ils sont formés de 20% de chalcopryrite et de 7% de pyrrhotite faiblement magnétique. On retrouve aussi 3% d'oxydes non magnétiques associés avec les sulfures. Les cristaux sont xénomorphes et forment une texture

granoblastique. Cet échantillon représente un sulfure disséminé en veinules dans une anorthosite.

Description pétrographique

Silicates

54% plagioclase: 45% en gros cristaux xénomorphes fracturés de 1 à 2 cm avec recristallisation en bordure et 9% en fragments de 1 à 3 mm baignant dans le liquide sulfuré. Les contacts avec la biotite et la hornblende verte sont francs mais quelques fois flous.

5% biotite: cristaux hypidiomorphes en fines baguettes de 1 à 4 mm. Localisés surtout en contact avec les sulfures, contact qui est lisse et droit.

5% apatite: cristaux xénomorphes de 0,5 mm en amas dans le liquide sulfuré. Jonctions triples.

3% hornblende verte: petits cristaux hypidiomorphes de 0,5 à 2 mm associés avec la biotite et la chlorite.

3% chlorite: fines baguettes hypidiomorphes de 1 à 2 mm associées intimement avec la biotite (altération de la biotite). Les contacts sont flous avec les autres phases silicatées.

Sulfures

20% chalcopyrite: amas de grains xénomorphes de 0,5 mm interstitiels aux silicates.

Présence aussi de petites veinules dans le plagioclase. Certains grains possèdent des mâcles lamellaires.

7% pyrrhotite: grains xénomorphes de 0,5 mm à l'intérieur de la chalcopyrite.

Présence en trace de petits grains xénomorphes de 0,2 mm dans le plagioclase.

tr. pentlandite: grains xénomorphes de 0,2 à 1 mm dans la pyrrhotite, principalement en bordure des fractures et un peu au contact de la chalcopyrite.

Oxydes

3% ilménite: grains xénomorphes arrondis de 0,5 à 3 mm associés avec les sulfures.

tr. magnétite: grains xénomorphes arrondis de 0,5 mm. Présents dans les silicates (gros cristaux de plagioclase).

NB-3-51.1

Type de roche

- Roche holocristalline
- Composée de 85% de sulfures; 8% d'oxydes; 7% de silicates
- Sulfure massif

Description mégascopique

Roche homogène composée de 85% de sulfures, 8% d'oxydes et 7% de silicates. La couleur générale est jaune bronzé en cassure fraîche et la granulométrie varie de fin à grossier. Les sulfures sont composés de 80% de pyrrhotite et 5% de chalcopyrite (à noter que la pyrrhotite n'est pas magnétique). Les cristaux sont xénomorphes. Les silicates se composent de 5% d'amphibole, de 1% de biotite et 1% d'apatite. Les cristaux sont hypidiomorphes et de granulométrie fine (<1mm). On retrouve aussi 8% d'oxydes (ilménite) sous forme de grains arrondis de 5 mm. Ces grains sont présents dans la pyrrhotite et ne sont pas magnétiques. Cet échantillon représente un sulfure massif.

Description pétrographique

Silicates

3% trémolite: cristaux hypidiomorphes aciculaires (< 1mm). Contacts progressifs avec la hornblende verte.

2% hornblende verte: petits cristaux hypidiomorphes (< 1mm).

1% biotite: cristaux hypidiomorphes de 0,5 à 3,5 mm. Contact flou avec la trémolite et la hornblende verte.

1% apatite: petits cristaux automorphes de 1 mm dans les sulfures.

Oxydes

8% ilménite: 100% en amas de grains xénomorphes arrondis de 0,5 à 4,0 cm. Présence en trace de petits grains xénomorphes arrondis de 0,05 mm dans la pyrrhotite.

Sulfures

- 78% pyrrhotite: agrégat de grains xénomorphes de 2 à 9 mm formant un sulfure massif. Également sous forme de petits grains xénomorphes arrondis dans les silicates et dans l'ilménite. On retrouve de la chalcopryrite et de la pentlandite dans ces petits grains.
- 5% chalcopryrite: 60% présents sous forme d'une veinule de 1 mm de large à l'intérieur d'un grain de pyrrhotite et 40% sous forme de petits grains xénomorphes ronds ou allongés de 0,5 à 1 mm, concentrés principalement en bordure des grains de pyrrhotite.
- 2% pentlandite: grains xénomorphes de 0,2 à 1 mm dans la pyrrhotite. Se concentrent principalement en bordure de fractures et un peu au contact de la chalcopryrite. À noter un alignement préférentiel de la pentlandite \pm constant sur la lame.

NB-97-3-54,7

Type de roche

- Roche holocristalline de texture générale hypidiomorphe granulaire
- Composée de 90% de silicates, 10% d'opakes
- Anorthosite?

Description mégascopique

Roche homogène composée de 90% de silicates et de 10% d'opakes. La couleur en cassure fraîche est vert grisâtre sombre et la granulométrie générale varie de moyenne à grossière. Les silicates se composent de 40% de hornblende verte, de 25% de trémolite, de 15% de plagioclase et de 10% de biotite. Les cristaux sont hypidiomorphes et forment une texture générale hypidiomorphe granulaire. Il y a présence de 10% d'oxydes non magnétiques (ilménite) qui semblent se concentrer préférentiellement dans la trémolite. Cet échantillon provient d'un mélagabbro à hornblende.

Description pétrographique

Silicates

43% hornblende verte : cristaux hypidiomorphes granulaires de 0,5 à 1 mm. Présence d'une zone où les cristaux sont plus allongés et sont alignés. Les contacts sont francs avec le plagioclase et la biotite et sont flous à franc avec la trémolite.

25% trémolite : cristaux hypidiomorphes aciculaires à tabulaires de 1 mm.

15% plagioclase : cristaux hypidiomorphes à xénomorphes de 3 à 7 mm avec recristallisation partielle en bordure. Extinction roulante et légère altération en calcite et/ou damourite dans les fractures.

10% biotite : cristaux hypidiomorphes tabulaires de 0,5 à 2 mm concentrés au contact de la hornblende verte et la trémolite.

Tr. calcite : petits cristaux xénomorphes <0,1 mm, présents dans les fractures des plagioclases.

Opaques

7% phase non magnétique, probablement de l'ilménite. Présente dans la trémolite sous forme de grains interstitiels et aussi dans les autres silicates.

Commentaires

- La hornblende verte et la trémolite forment 2 zones distinctes. Les opaques sont présents dans la trémolite.

PAU-97-1-89,4

Type de roche

- Roche holocristalline
- Composée de 60% de sulfures, 39% de silicates, 1% d'oxydes
- Sulfures semi-massif dans une anorthosite

Description mégascopique

Roche hétérogène composée de 60% de sulfures, 39% de silicates et 1% d'oxydes. Les contacts entre les sulfures et les silicates sont lisses et courbes. Il y a présence de fragments de silicates arrondis à anguleux qui « flottent » dans les sulfures, ce qui semble suggérer que ces silicates ont été arrachés et partiellement digérés par les sulfures. Les sulfures sont de couleur jaune bronzé en cassure fraîche et sont composés d'environ 55% de pyrrhotite magnétique, de 3 à 5% de pentlandite et de moins de 1% de chalcopyrite. La granulométrie est moyenne (1 à 2 mm) et les grains de sulfures sont xénomorphes. Les silicates sont de couleur noir verdâtre en cassure fraîche et sont composés de 20% de plagioclase, de 10% d'hornblende verte, de 5% de biotite et de 4% de trémolite. La granulométrie est fine (<1 mm) et les cristaux sont hypidiomorphes. Il y a aussi présence de 1% d'ilménite sous forme de petits grains xénomorphes <1 mm. La texture générale est bréchique et cet échantillon représente un sulfure semi-massif dans un leucogabbro à

hornblende.

Description pétrographique

Silicates

20% plagioclase : 17% sous forme de petits cristaux hypidiomorphes à xénomorphes de 0,2 mm à jonctions triples. Certains petits cristaux baignent dans les sulfures. 3% sous forme de cristaux xénomorphes de 1 à 3 cm fracturés et altérés en damourite. Les gros cristaux sont entourés par les petits, indiquant peut-être une recristallisation partielle des gros.

10% hornblende verte : cristaux hypidiomorphes de 1 mm présents dans le liquide sulfuré et en bordure de celui-ci. Les contacts sont irrégulier avec le plagioclase et la biotite.

5% biotite : cristaux hypidiomorphes de 0,5 à 1 mm présent dans le liquide sulfuré et en bordure de celui-ci.. La biotite est associée à la hornblende verte. Les contacts avec les cristaux de plagioclase sont plutôt flous. La coloration rougeâtre indique une composition titanifère.

4% trémolite : cristaux hypidiomorphes aciculaires de 1 mm formant un amas. Les contacts avec la hornblende verte et la biotite sont irréguliers.

Sulfures

56% pyrrhotite : agrégat de grains xénomorphes de 2 mm formant un sulfure semi-massif.

3% pentlandite : grains xénomorphes de 0,1 à 0,3 mm présents dans les fractures de la pyrrhotite.

1% chalcopyrite : amas xénomorphes de 0,2 à 0,3 mm. Présents dans la pyrrhotite, principalement en bordure des silicates et remplissant les fractures de ces derniers.

Oxydes

1% ilménite : grains xénomorphes arrondis de 0,5 mm présents dans la pyrrhotite et les silicates.

Tr. magnétite : grains xénomorphes de 0,3 mm associés à l'ilménite.

Commentaires

- 10% des silicates flottent dans les sulfures
- La présence de fragments de cristaux arrondis de plagioclase, de hornblende verte et de biotite qui flottent dans les sulfures semble suggérer que ces silicates ont été arrachés et partiellement digérés par les sulfures.

PAU-97-1-90,7

Type de roche

- Roche holocristalline, texture générale en mortier
- Composée de 75% silicates, 25% sulfures, tr oxydes
- Sulfures disséminés dans un gabbro à hornblende

Description mégascopique

Roche hétérogène composée de 75% de silicates et de 25% de sulfures. Les sulfures sont présents sous forme de petites veinules interstitielles aux silicates. Les contacts entre ces derniers sont lisses et courbes. Les silicates sont de couleur vert grisâtre foncé et sont composés de 37% de plagioclase, 20% d'hornblende verte, de 10% de trémolite et de 8% de biotite. Il y a présence de deux populations de granulométrie, soit des cristaux de plagioclase hypidiomorphes à xénomorphes de 5 à 8 mm formant une granulométrie grossière et les autres silicates qui sont sous forme de petits cristaux hypidiomorphes <1 mm donnant une granulométrie fine. La texture des silicates est porphyrique ou en mortier. Les sulfures sont de couleur jaune bronzé en cassure fraîche et la granulométrie varie de fine à grossière. Ils sont formés de 24% de pyrrhotite et de 1% de chalcopyrite. La pyrrhotite est fortement magnétique et les cristaux de sulfures sont xénomorphes. La texture générale est bréchique. Cet échantillon représente un sulfure disséminé dans un gabbro à hornblende.

Description pétrographique

Silicates

37% plagioclase : 25% sous forme de cristaux d'andésine hypidiomorphes à xénomorphes de 5 à 8 mm qui sont recristallisés partiellement en bordure. 12% sous forme de petits cristaux xénomorphes de 0,5 mm à jonction triple. Ces petits cristaux proviennent probablement de la recristallisation des gros. Les contacts sont francs et droits avec la hornblende et quelquefois flous avec la biotite.

20% hornblende verte : cristaux hypidiomorphes de 0,5 à 1 mm concentrés au contact des sulfures et autour des plagioclases. Les cristaux de hornblende verte se transforment quelquefois en trémolite.

8% biotite : sous forme de baguettes hypidiomorphes de 1 mm associés spatialement à la hornblende verte. La biotite possède une coloration rougeâtre indiquant une composition plutôt titanifère. Les contacts avec les autres phases varient de francs à flous.

10% trémolite : cristaux hypidiomorphes aciculaires de 0,5 mm associés à la hornblende verte. La relation avec cette dernière est graduelle.

Sulfures

23% pyrrhotite : amas de grains xénomorphes de 2 à 7 mm. La pyrrhotite est interstitielle aux silicates et elle est magnétique. Les contacts sont lisses avec les autres phases.

1% chalcopryrite : petits grains xénomorphes de 0,5 à 2 mm présents dans la pyrrhotite.

1% pentlandite : présent en petits amas xénomorphes de 0,1 mm dans les fissures de la pyrrhotite. Il y a aussi présence de « flammes » associées aux microfissures et ayant un alignement +/- constant à l'intérieur des cristaux de pyrrhotite.

Oxydes

Tr ilménite : petits grains xénomorphes de 0,1 mm présents dans les silicates mais surtout dans la pyrrhotite.

Commentaires

- Stratigraphiquement, cette lame se situe à 1,3 mètres sous l'échantillon PAU-97-1-89,4 et on peut remarquer certains changements d'une lame mince à l'autre. Les sulfures sont interstitiels au niveau 90,7 m et deviennent semi-massifs au niveau 89,4 m. Les gros cristaux de plagioclase deviennent beaucoup plus fracturés et recristallisés et les silicates qui « flottent » dans les sulfures sont beaucoup plus nombreux au niveau 89,4m.

PAU-97-1-95,35

Type de roche

- Roche holocristalline, texture générale hypidiomorphe granulaire
- Composée de 80% de silicates et 20% de sulfures
- Sulfures disséminés dans une anorthosite

Description mégascopique

Roche hétérogène composée de 80% de silicates et de 20% sulfures. Les sulfures sont majoritairement concentrés dans une bande, mais se retrouvent aussi disséminés dans les silicates. Les contacts entre les sulfures et les silicates sont lisses. Les silicates sont de couleur vert grisâtre sombre en cassure fraîche et la granulométrie varie de fine à grossière mais elle est en général moyenne. On y retrouve 35% de plagioclase, 35% de hornblende verte et 10% de biotite. Les cristaux sont hypidiomorphes et la texture générale est hypidiomorphe granulaire. Les sulfures sont de couleur jaune bronzé en cassure fraîche et sont composés de 17% de pyrrhotite magnétique, de 3% de pentlandite et de la chalcopryrite en trace. Les grains sont xénomorphes et la granulométrie est fine. Cette roche se décrit comme un sulfure disséminé dans un gabbro à hornblende.

Description pétrographique

Silicates

35% plagioclase : Cristaux hypidiomorphes à xénomorphes de 0,5 à 1,5 mm. La calcicité varie de 20% à 50% An avec une moyenne de 33% An, soit oligoclase à andésine. Les contacts sont droits entre les autres cristaux de plagioclases et ils sont plutôt courbes avec la biotite, la hornblende verte et les sulfures. Présence d'altération en calcite et/ou damourite le long des clivages et des bordures de cristaux. À noter que les cristaux de plagioclases présents dans les sulfures sont arrondis.

34% hornblende verte : cristaux hypidiomorphes de 1 à 6 mm, légèrement poecilitiques (renferment des cristaux de plagioclase et de biotite). Les contacts varient de droite à courbe avec les autres phases présentes.

10% biotite : cristaux hypidiomorphes tabulaires de 0,3 à 1mm. Orientation préférentielle parallèlement à la « veine » de sulfures. Les contacts sont droits et lisses avec les autres phases.

1% calcite : cristaux hypidiomorphes de 0,5 mm.

Sulfures

16,5% pyrrhotite : agrégat de grains xénomorphes granulaires de 1 mm. Concentrés dans une « veine » mais présents aussi en petits grains interstitiels aux silicates. Les contacts sont lisses avec les autres phases.

3% pentlandite : présents dans la pyrrhotite sous forme de grains xénomorphes pouvant atteindre la taille de 1 mm, et aussi sous forme de veinules dans la pyrrhotite. Les veinules sont concentrées surtout au contact des grains de pyrrhotite et des silicates.

0,5% chalcopyrite : présent sous forme d'amas xénomorphes <1mm. Concentré aux contacts avec les grains de pentlandite.

Commentaires

- Les sulfures semblent former une veine. Au contact de cette veine, il y a une bande de hornblende verte qui est suivie d'un mélange de plagioclase et de biotite. La biotite se concentre dans cette zone et elle est orientée parallèlement à la bande de hornblende verte et à la veine de sulfures.

MAN-97-4-60.4

Type de roche

- Roche holocristalline
- Composée de 30% de silicates, 62% de sulfures et 8% d'oxydes
- Sulfure semi-massif dans une hornblendite

Description mégascopique

Roche hétérogène composée de 30% de silicates, de 62% de sulfures et de 8% d'oxydes. Les contacts sont lisses à irréguliers entre les silicates et les oxydes. Les sulfures sont sous une forme massive. Les silicates sont de couleur vert grisâtre en cassure fraîche et la granulométrie générale varie de fine à moyenne. Ils sont formés de 17% de trémolite, 5% de grenat, 4% d'hornblende verte, 3% de biotite et 1% de plagioclase. Les cristaux sont hypidiomorphes à xénomorphes et forment une texture générale de cumulat. Les sulfures sont d'une couleur jaune bronzé en cassure fraîche et la granulométrie est fine. Les sulfures sont composés principalement de pyrrhotite, environ 60%, avec un peu de chalcopyrite et de pentlandite. Il y a aussi présence de 8% d'oxyde non magnétique (probablement de l'ilménite) interstitiel aux amas de trémolite. Cet échantillon se décrit comme un sulfure semi-massif dans une hornblendite.

Description pétrographique

Silicates

17% trémolite: cristaux hypidiomorphes aciculaires de 0,5mm à 2mm. Présents en amas centimétriques. La trémolite provient possiblement de la recristallisation d'anciens pyroxènes. Semble former une texture relique de cumulat.

4% hornblende verte : cristaux hypidiomorphes à xénomorphes de 0,5 à 1mm. Concentrés autour de l'amas de grenat.

5% grenat : amas de cristaux xénomorphes fracturés de 1 à 1,5 cm au contact entre les silicates et les sulfures. Les contacts ne sont pas francs avec la hornblende.

3% biotite : cristaux hypidiomorphes à xénomorphes de 0,5 à 1 mm. Associés spatialement avec la hornblende verte.

Tr. apatite : petits cristaux xénomorphes à idiomorphes de 0,3mm. Ces cristaux "baignent" dans les sulfures.

Sulfures

58% pyrrhotite : agrégat de grains xénomorphes de 1 à 5 mm formant un sulfure massif. Présents aussi en petits grains dans les silicates.

2% chalcopyrite : présents sous forme d'amas xénomorphes de 1 à 5 mm dans la pyrrhotite.

2% pentlandite : Présents sous forme de petits grains xénomorphes de 0,5 mm. Se concentre surtout au contact de la chalcopryrite et dans les fissures de la pyrrhotite. Présence de rares flammes d'exsolution.

Oxydes

8% ilménite : grains hypidiomorphes à xénomorphes granulaires de 0,5 mm. Ne se retrouvent pas dans les sulfures mais plutôt associés à l'amas de trémolite. Ils semblent former la phase interstitielle de la texture relique de cumulat.

MAN-97-4-62

Type de roche

- Roche holocristalline de texture générale hypidiomorphe granulaire
- Composée de 70% de silicates, 20% de sulfures et 10% d'oxydes
- Sulfure disséminé dans une orthopyroxénite à olivine

Description mégascopique

Roche hétérogène composée de 70% de silicates, de 20% de sulfures et de 10% d'oxydes. Les contacts sont lisses à irréguliers entre les silicates et les oxydes. Les sulfures forment des veinules interstitielles aux silicates. Les silicates sont de couleur vert grisâtre en cassure fraîche et la granulométrie générale varie de fine à moyenne. Ils sont formés de 40% de pyroxène, 15% d'olivine, 8% de hornblende verte et 7% de biotite. Les cristaux sont hypidiomorphes à xénomorphes et forment une texture générale granulaire. Les sulfures sont d'une couleur variant du jaune bronzé à jaune cuivré en cassure fraîche et la granulométrie est fine. Les sulfures sont composés de chalcopyrite et de pyrrhotite en proportion égale, soit 10% pour les deux phases. Il y a aussi présence de 10% d'oxyde non magnétique (probablement de l'ilménite) interstitiels aux silicates. Cet échantillon se décrit comme une pyroxénite à olivine-hornblende.

Description pétrographique

Silicates

40% Hyperstène : cristaux pseudo-octogonaux de 0,1 à 4 mm à jonction triple. Texture hypidiomorphe granulaire. Présence de chlorite en bordure des grains.

15% olivine : cristaux xénomorphes de 1 à 5 mm, intensément fracturés et altérés en hornblende verte et biotite. Altération ferrugineuse (iddingsite?) présente dans les craquelures.

8% hornblende verte : cristaux hypidiomorphes à xénomorphes de 0,5 à 1 mm. Présents surtout à l'intérieur des cristaux d'olivine. Proviennent peut-être de l'altération de ces derniers.

7% biotite : cristaux hypidiomorphes à xénomorphes de 0,5 à 1 mm. Présents surtout à l'intérieur des cristaux d'olivine. Proviennent peut-être de l'altération de ces derniers.

Tr chlorite : petits cristaux hypidiomorphes lamellaires <0,1 mm. Présents dans les cristaux d'orthopyroxène et un peu en bordure des cristaux de hornblende verte et de biotite.

Sulfures

10% pyrrhotite : agrégat de grains xénomorphes de 1 à 5 mm formant des petites veinules interstitielles aux silicates. Présents aussi en petits grains dans les silicates.

9% chalcopyrite : présents sous forme de veinules et d'amas xénomorphes de 1 à 5 mm dans la pyrrhotite.

1% pentlandite : Présent sous forme de petits grains xénomorphes de 0,5 mm. Se concentre surtout au contact de la chalcopyrite et dans les fissures de la pyrrhotite. Présence de rares flammes d'exsolution.

Oxydes

10% ilménite : grains hypidiomorphes à xénomorphes granulaires de 0,5 mm. Ne se retrouvent pas dans les sulfures mais ils sont plutôt interstitiels aux silicates (surtout les orthopyroxènes).

MAN-97-4-63

Type de roche

- Roche holocristalline de texture générale porphyrique
- Composée de 60% de silicates, 39% de sulfures et 1% d'oxydes.
- Sulfures semi-massifs dans une anorthosite

Description mégascopique

Roche hétérogène composée de 60% de silicates, 39% de sulfures et 1% d'oxydes. Les sulfures et oxydes forment une veine centimétrique injectée dans les silicates. Les contacts sont lisses et courbes entre les sulfures et les silicates. Les silicates sont de couleur gris moyen verdâtre en cassure fraîche. Il y a présence de deux populations de granulométrie, soit une granulométrie générale grossière (7 à 10 mm) et une granulométrie secondaire variant de fine à moyenne (0,5 à 5 mm). La minéralogie des silicates se compose de 52% de plagioclase, 5% de hornblende verte et 3% de biotite. Les cristaux sont hypidiomorphes et la texture générale est en mortier. Les sulfures sont de couleur jaune bronzé en cassure fraîche et la granulométrie est moyenne. Ils sont formés de 29% de pyrrhotite et 10% de chalcopyrite. On retrouve aussi 1% d'oxyde non magnétique (possiblement de l'ilménite) associé aux sulfures sous forme de grains arrondis. Cet échantillon représente un sulfure semi-massif dans une anorthosite.

Description pétrographique

Silicates

52% plagioclase : cristaux hypidiomorphes de 1 à 10 mm. Présence de gros cristaux de 7 à 10 mm en contact avec des petits cristaux de 1 à 3 mm. Ces derniers constituent peut-être une recristallisation partielle des gros. Présence d'inclusion de sulfures sous forme de grains arrondis. Les contacts sont irréguliers avec la hornblende et la biotite, lisses et courbes avec les sulfures.

5% hornblende verte : cristaux hypidiomorphes de 0,5 à 5 mm. Se concentrent au contact plagioclase/sulfures. Les contacts sont irréguliers avec les plagioclases et varient de lisses à irréguliers avec la biotite.

3% biotite : cristaux hypidiomorphes de 0,5 à 3 mm associés à la hornblende verte.

Sulfures

28% pyrrhotite : agrégat de grains xénomorphes granulaires de 3 à 5 mm formant une veine de 1 cm d'épaisseur. Aussi présents en petits grains de 0,1 mm dans les silicates. Les contacts sont lisses avec toutes les autres phases.

10% chalcopryrite : présent en amas irréguliers de 1 à 8 mm dans la pyrrhotite.

1% pentlandite : présent sous forme de petits grains xénomorphes de 0,5 mm. Se concentre surtout au contact de la chalcopryrite et dans les fissures de la pyrrhotite.

Oxydes

1% ilménite : présent sous forme de grains arrondis de 2 mm dans la pyrrhotite.

Commentaires

- Les sulfures et oxydes forment une veine centimétrique injectée dans les silicates.

ANNEXE B

Méthode de calcul de la composition de la fraction sulfurée

Pour calculer la composition de la fraction sulfurée d'un échantillon en % de poids en S, Fe, Cu et Ni, on détermine tout d'abord la proportion relative de pyrrhotite, chalcopyrite et pentlandite pour cet échantillon. En assumant que les formules chimiques pour ces trois phases sulfurées sont respectivement Fe_7S_8 (pyrrhotite), CuFeS_2 (chalcopyrite) et $\text{Fe}_{4,5}\text{Ni}_{4,5}\text{S}_8$ (pentlandite) et en sachant que la masse atomique est de 32.02 pour le soufre, 55.85 pour le fer, 63.54 pour le cuivre et 58.69 pour le nickel, on peut aisément calculer le pourcentage de poids de ces éléments dans les sulfures. Donc, la pyrrhotite se compose de 39.6% poids de S et 60.4% poids de Fe; la chalcopyrite se compose de 34.9% poids de S, 30.5% poids de Fe et 34.6% poids de Cu; la pentlandite se compose de 33.2% poids de S, 32.6% poids de Fe et 34.2% poids de Ni. Finalement pour calculer le % poids de chaque élément au sein de l'échantillon, il suffit de multiplier la proportion de chaque sulfure par le % poids des éléments qui le composent. La sommation du % poids en S pour la pyrrhotite, la chalcopyrite et la pentlandite nous donne le % poids total en S pour l'échantillon. Il en est de même pour le Fe, Cu et Ni.

Exemple de calcul pour l'échantillon NRA-1

La fraction sulfurée de cet échantillon se compose de 76.2% de pyrrhotite, 19% de chalcopyrite et 4.8% de pentlandite. La proportion total du S, Fe, Cu et Ni en poids est:

$$\% \text{ poids en S} = (76.2\% \times 0.396) + (19\% \times 0.349) + (4.8\% \times 0.332) = 38.4\%$$

pyrrhotite chalcopyrite pentlandite

$$\% \text{ poids en Fe} = (76.2\% \times 0.604) + (19\% \times 0.305) + (4.8\% \times 0.326) = 53.4\%$$

pyrrhotite chalcopyrite pentlandite

$$\% \text{ poids en Cu} = (76.2\% \times 0.000) + (19\% \times 0.346) + (4.8\% \times 0.000) = 6.6\%$$

pyrrhotite chalcopyrite pentlandite

$$\% \text{ poids en Ni} = (76.2\% \times 0.000) + (19\% \times 0.000) + (4.8\% \times 0.342) = 1.6\%$$

pyrrhotite chalcopyrite pentlandite

ANNEXE C

Analyses géochimiques

No géochimique	Secteur	S (%)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Pt (ppb)	Pd (ppb)	Ni/Cu
689576	NA	28.00	4917	1410	0	70	3.49
689578	NA	17.93	3086	2872	0	60	1.07
689584	NA	20.99	3663	2076	0	58	1.76
689719	NA	9.59	2127	4804	0	28	0.44
689721	NA	9.02	2234	3075	7	29	0.73
689776	NA	15.30	4250	3560	0	41	1.19
689790	NB	33.64	6445	1318	0	59	4.89
689797	NB	11.21	2609	5159	0	36	0.51
689837	NB	30.44	7418	1387	0	135	5.35
689841	NB	20.34	4130	7157	213	90	0.58
689842	NB (Cu)	15.06	2059	48000	0	13	0.04
689847	NB	31.48	7510	2148	0	104	3.50
689849	NB	29.19	6827	5192	0	93	1.31
689850	NB	9.60	2274	4607	8	44	0.49
690951	NB	21.68	4839	8254	0	92	0.59
690958	NB	34.00	6500	1410	0	108	4.61
690960	NB	31.65	5842	1980	0	122	2.95
690963	NB (Cu)	5.77	944	13458	707	34	0.07
690964	NB	36.34	6641	2429	0	107	2.73
690965	NB	34.94	6704	3464	0	101	1.94
690967	NB	34.88	6522	3214	0	114	2.03
690702	MHY	18.06	5319	1605	19	36	3.31
690729	MAN	10.85	3699	2159	12	47	1.71
690739	MAN	29.82	10470	959	9	116	10.92
690741	MAN	15.74	5598	7306	20	62	0.77
690768	MAN	9.52	2699	2540	0	57	1.06
690777	MAN	21.70	6213	1114	0	93	5.58
690800	PAU	17.52	8765	1375	10	46	6.37
690851	PAU	6.56	3317	1692	0	9	1.96
690857	PAU	21.74	11025	2544	0	51	4.33
690860	PAU	5.24	2614	4372	0	11	0.60
690861	PAU	20.26	9749	4923	0	26	1.98
690864	PAU	12.57	6433	2407	0	27	2.67
690867	PAU	22.96	11855	736	38	52	16.11

ANNEXE D

Fiches techniques des analyses géochimiques

Élément	Limite inférieure de détection	Extraction	Méthode
Platine (Pt)	5 ppb	Pyro analyse	Pyroanalyse-DCP
Palladium (Pd)	1 ppb	Pyro analyse	Pyroanalyse-DCP
Cuivre (Cu)	1 ppm	Hcl : HNO3 (3:1)	Absorption atomique
Nickel (Ni)	2 ppm	Hcl : HNO3 (3:1)	Absorption atomique