

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

**THESE
PRÉSENTÉE À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU PhD EN SCIENCES DE LA TERRE**

**PAR
DANIELLE GIOVENAZZO
B.Sc. Sp.**

**GÉOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES GÉOCHIMIQUES DES
MINÉRALISATIONS Ni-Cu-EGP DE LA RÉGION DE DELTA, CEINTURE
DE CAPE-SMITH, NOUVEAU-QUÉBEC.**

Mai 1991



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

RÉSUMÉ

La région de Delta, située dans la partie centrale de la ceinture de Cape-Smith, contient plusieurs types de minéralisations de Ni-Cu riches en EGP.

Dans le filon couche différencié Delta 3, une minéralisation Ni-Cu et EGP pseudo-stratiforme est associée à un niveau de gabbro riche en pyroxène de granulométrie grossière à pegmatoïdale. Cet horizon se suit pendant 2 kilomètres et se retrouve quelques mètres au-dessus de l'apparition de litage magmatique rythmique dans les séquences de roches gabbroïques. Dans cet horizon, les silicates sont intensivement altérés, mais les textures primaires sont bien préservées. Le gabbro minéralisé contient entre 5 et 15% de sulfures qui occupent une position interstitielle aux silicates et les remplacent partiellement le long des bordure et des plans de clivage. Une altération plus intense (biotite et hornblende verte) dans l'horizon minéralisé est notée ainsi que la présence de veines de quartz-plagioclase et de veinules de chalcopryrite. Ces dernières impliquent une circulation de fluides hydrothermaux qui ont probablement redistribués et concentrés les éléments plus mobiles tels le Cu et le Pd.

Au sud de cette intrusion, les zones minéralisées D8 et D9, sont situées le long d'une zone de cisaillement qui recoupe partiellement la base du Delta 3 et le sommet de l'ensemble intrusif formé par les intrusions Delta 1C, qui est gabbroïque et les intrusions 2C et 2C', qui sont tardifs et de composition ultramafique. Ces zones minéralisées contiennent chacune une lentille de sulfures massifs, des veines et des disséminations de sulfures riches en Cu situées dans les roches encaissantes à ces lentilles et finalement des gouttelettes de sulfures de Ni et de Cu dans un granophyre.

Les lentilles de sulfures massifs possèdent une minéralogie simple et sont formées essentiellement de pyrrhotite, de pentlandite, de chalcopryrite et plus rarement de pyrite, de cubanite et de minéraux d'EGP. Les contacts des sulfures massifs avec les roches encaissantes sont très nets et marqués par un enrichissement en chalcopryrite. Les sulfures massifs contiennent des petites inclusions de granophyre partiellement digérées par les sulfures et parfois intensément altérées en biotite et en carbonates.

Ce granophyre se retrouve sous forme d'unité distincte dans l'extension latérale aux lentilles de sulfures massifs. Les observations pétrographiques et les résultats géochimiques de ce granophyre semblent indiquer qu'il s'est formé suite à la fusion partielle ou totale des sédiments que l'on retrouve dans la région immédiate.

L'unité de granophyre retrouvée dans la zone D8 contient des amas ovoïdes centimétriques constitués de sulfures riches en Ni, en Cu, en Pd et en Pt qui ressemblent à des gouttellettes d'immiscibilité d'un liquide sulfuré dans un liquide silicaté.

Les études géochimiques et minéragraphiques indiquent que les sulfures massifs semblent avoir comme origine un liquide sulfuré magmatique qui, lors de sa cristallisation, s'est fractionné en deux parties: une partie inférieure riche en éléments du groupe Ir (Ir, Os, Ru) et en Rh, et une partie supérieure pauvre de ces éléments. Le contact entre ces deux parties est très net et est caractérisé par une différence notable des teneurs en ces éléments de part et d'autre.

La situation des lentilles de sulfures massifs le long d'une zone de cisaillement et l'absence d'une intrusion ultramafique hôte invoquent une remobilisation de ces amas. Cette remobilisation s'est probablement effectuée avant la cristallisation finale du liquide sulfuré afin de permettre le fractionnement des EGP lors de sa cristallisation.

Dans les roches encaissantes aux lentilles de sulfures massifs, des veines enrichies en Cu, en Pd, en Pt et parfois en Au sont présentes. Le contenu parfois élevé en Pd et en Cu et leur position dans des veines de quartz-plagioclase préexistantes et dans des cisaillements, font intervenir la circulation d'un fluide hydrothermal capable de transporter ces éléments à une étape tardive dans l'histoire de cette minéralisation. La source de ces éléments semble être les sulfures massifs.

Remerciements

Je tiens à remercier d'abord mon comité de thèse, Dr. Jayanta Guha, Dr. Sarah-Jane Barnes, Dr. Don Francis et Dr. Gérard Woussen, pour leur encouragement et encadrement tout au long de cette étude. Je tiens à remercier aussi Dr. Christian Picard avec qui ce projet a été entrepris et façonné.

Ce travail n'aurait jamais été possible sans l'aide du Ministère Energie et Ressources qui ont fourni une grosse partie du support financier grâce à un contrat conjoint avec l'IREM-MERI/CERM, et Jean-Pierre Cloutier de la compagnie Falconbridge Nickel Ltd qui nous a fourni un support logistique et les forages qui ont servi à cette étude. Des bourses d'études émises par l'action structurante de MESS ont aussi aidé à financer cette étude.

J'aimerais aussi remercier tous ceux qui ont contribué indirectement à cette étude, lors des étés de terrain et des travaux analytiques.

TABLE DES MATIERES

a. Liste des figures.	ix
b. Liste des planches photographiques.	xiii
c. Liste des tableaux.	xvi
d. Liste des abréviations.	xiii
Chapitre 1. Introduction	1
1.1. Buts et objectifs.	4
1.2. Méthodologie.	5
Chapitre 2. Le contexte géologique.	7
2.1. La Ceinture de Cape-Smith.	7
2.1.1. Lithostratigraphie.	7
2.1.2. Géologie structurale.	12
2.1.3. Histoire géotectonique de la partie sud	13
2.1.4. Les minéralisations en Ni et en Cu.	13
2.2. La région de Delta, lac Kenty-est.	16
2.3. Les régions du Lac Cross, de Katiniq et du Lac Raglan	22
Chapitre 3. Le Delta 3: Pétrographie, géochimie et minéralisations..	29
3.1. Pétrographie et géochimie du Delta 3.	31
3.1.1. Pétrographie détaillée.	31
3.1.2. Lithogéochimie des éléments majeurs et traces.	42
3.1.2.1. Les éléments majeurs (oxydes).	42
3.1.2.2. Les éléments traces.	45

3.1.2.3. Les éléments du groupe des terres rares.	47
3.2. La minéralisation Ni, Cu et EGP.	51
3.2.1. Indice 3.1a.	51
3.2.2. Indice 3.1b.	57
3.2.3. Indice 3.2.	59
3.2.4. Sommaire des observations.	63
3.3. Origine de la minéralisation.	65
3.4. Conclusions.	71
Chapitre 4: Les intrusions Delta 1C, 2C et 2C' et les zones minéralisées D8 et D9.	74
4.1. Les intrusions Delta 1C et 2C.	75
4.1.1. Pétrographie détaillée.	75
4.1.1.1. Les roches encaissantes.	75
4.1.1.2. Le Delta 1C.	77
4.1.1.3. Le Delta 2C.	80
4.1.1.4. Le Delta 2C'.	84
4.1.2. Lithogéochimie des intrusions Delta 1C, 2C et 2C.	85
4.1.2.1. Les éléments majeurs.	85
4.1.2.2. Les éléments traces et économiques.	87
4.1.2.3. Les éléments du groupe des terres rares.	89
4.1.3. Les relations entre les différentes intrusions.	91
4.1.3.1. La composition des olivines.	91
4.1.3.2. Les spinelles chromifères.	92
4.2. Les minéralisations contenues dans les zones D8 et D9.	96
4.2.1. Contexte géologique des minéralisations.	97

4.2.1.1. La zone minéralisée D8.	97
4.2.1.2. La zone minéralisée D9.	99
4.2.2. Les types de minéralisations.	102
4.2.2.1. Les sulfures massifs.	102
4.2.2.2. Les disséminations et globules de sulfures dans le granophyre.	106
4.2.2.3. Les veines et disséminations de sulfures.	108
4.3. Minéralogie.	110
4.3.1. Les minéraux d'EGP.	110
4.3.2. Les sulfures.	113
4.3.3. Les biotites.	115
4.4. Synthèse et conclusions.	116
Chapitre 5: Caractéristiques géochimiques des amas sulfurés des zones D8 et D9.	121
5.1. Caractéristiques géochimiques..	122
5.1.1. La zone minéralisée D8.	122
5.1.1.1. Le forage 77-29.	123
5.1.1.2. Le forage 87-86.	126
5.1.2. La zone minéralisée D9.	128
5.1.2.1. Le forage 77-24.	128
5.1.2.2. Le forage 80-77.	131
5.1.3. Les matrices de corrélation pour les sulfures massifs...	131
5.1.4. Le système Fe-Ni-S.	136
5.2. Origine des minéralisations.	139
5.2.1. Le contenu en EGP des minéralisations.	140

5.2.1.1. Les teneurs normalisées au manteau.	141
5.2.1.2. Contenu en EGP normalisé à 100% sulfures.	146
5.2.2. Le comportement des EGP.	148
5.2.3. La mobilisation des EGP dans les roches encaissantes. ...	150
5.2.4. Les inclusions dans les sulfures massifs	152
5.3 Le rôle du granophyre dans la genèse des sulfures massifs.	154
5.4. Discussion et modèle de formation.	156
5.5. Conclusions.	163
Conclusions.	165
Références.	171
ANNEXE	
Tableaux des résultats analytiques.	189
Liste des descriptions microscopiques et mégascopiques des échantillons prélevés des carottes de forage.	220

Liste des figures

<i>Figure 2.1:</i> Carte géologique simplifiée de la Ceinture de Cape-Smith montrant la localisation des plus importants gîtes et gisements de Ni et de Cu.	8
<i>Figure 2.2:</i> Position stratigraphique schématique des unités ultramafiques (coulées et intrusions) et des filons-couches différenciés qui contiennent les minéralisations en Ni et en Cu: Horizons de Delta et de Raglan.	15
<i>Figure 2.3:</i> Carte géologique de la région de Delta, lac Kenty-est.	18
<i>Figure 2.4:</i> Colonnes stratigraphiques comparatives des diverses intrusions de la région de Delta, effectuées à partir de coupes nord-sud. Ces coupes sont localisées sur la carte de la figure 2.3.	21
<i>Figure 2.5:</i> Cartes géologiques des régions suivantes: A) Lac Cross; B) de Katiniq.	24
<i>Figure 2.6:</i> Carte géologique de la région du lac Raglan qui comprend les gisements de Donaldson-Ouest et Est.	27
<i>Figure 2.7:</i> Colonnes géologiques comparatives qui représentent: A) l'intrusion du Lac Cross (amas C1); B) Katiniq; C) une des coulées minéralisées de Donaldson-Est.	28
<i>Figure 3.1:</i> Carte géologique de la partie est de la région de Delta et localisation des indices minéralisés.	32
<i>Figure 3.2:</i> Colonnes géologiques effectuées à partir de coupes dans la partie sud du filon-couche différencié Delta 3 et une partie de l'intrusion ultramafique Delta 4: Coupes D1, D2 et D3.	34
<i>Figure 3.3:</i> Colonne géologique de l'intrusion Delta 3 (coupe D3) accompagnée des variations pour les éléments majeurs et du rapport MGv.	43
<i>Figure 3.4:</i> Diagrammes binaires: A) TiO_2/Al_2O_3 et B) TiO_2/MgO montrant la position des échantillons prélevés dans les diverses unités décrites dans l'intrusion différenciée Delta 3.	46

<i>Figure 3.5:</i> Colonne géologique de l'intrusion Delta 3 (coupe D3) accompagnée des variations pour certains éléments traces et économiques.	48
<i>Figure 3.6:</i> Diagrammes qui représentent les teneurs en terres rares normalisées aux chondrites pour les diverses unités de l'intrusion Delta 3: A) les roches ultramafiques inférieures; B) le gabbro-norite; C) la pegmatite minéralisée; D) le gabbro hétérogène et la rodingite.	49
<i>Figure 3.7:</i> Colonne géologique de l'indice minéralisé 3.1a (tranchée) accompagnée des variations en certains éléments traces en fonction de la stratigraphie.	56
<i>Figure 3.8:</i> Colonne géologique de l'indice minéralisé 3.1b accompagnée des variations en éléments économiques en fonction de la stratigraphie.	58
<i>Figure 3.9:</i> Colonne géologique de l'indice minéralisé 3.2 accompagnée des variations en éléments économiques en fonction de la stratigraphie.	62
<i>Figure 3.10:</i> Histogramme montrant la distribution moyenne des EGP aux différents indices situés le long de l'horizon minéralisé.	64
<i>Figure 3.11:</i> Teneurs en Ni, en Cu, en Au et en EGP normalisées au manteau pour les indices minéralisés décrits dans l'intrusion différenciée Delta 3: A) indice 3.1a (tranchée); B) indices 3.1a (sites 3 et 4); C) indice 3.1b; D) indice 3.2. Les teneurs pour le Merensky Reef sont obtenues de Steele et al. (1975) et le champ de Katiniq, de Barnes et al. (1982).	66
<i>Figure 3.12:</i> Diagramme des teneurs en EGP recalculées à 100% sulfures par site échantillonné le long de l'horizon minéralisé du Delta 3. Les EGP sont normalisés aux chondrites et les profils représentent la moyenne des valeurs par indice minéralisé.	68
<i>Figure 3.13:</i> Diagrammes discriminants: A) Cu/Ir versus Ni/Pd et B) Ni/Cu versus Pd/Ir pour les échantillons provenant de l'intrusion Delta 3. Les valeurs moyennes pour Katiniq (K) proviennent de Picard et Giovenazzo (sous presse).	70
<i>Figure 3.14:</i> Modèle schématique qui illustre le mode de formation de l'horizon minéralisé dans le filon-couche différencié Delta 3.	73

<i>Figure 4.1:</i> Carte géologique détaillée des zones minéralisées D8 et D9 avec la localisation des forages utilisés pour cette étude.	76
<i>Figure 4.2:</i> Colonne géologique des intrusions Delta 1C, 2C et 2C', tirée du forage 87-86, zone minéralisée D8, accompagnée des variations des éléments majeurs ..	86
<i>Figure 4.3:</i> Colonne géologique des intrusions Delta 1C, 2C et 2C' tirée du forage 87-86, accompagnée des variations en certains éléments traces.	88
<i>Figure 4.4:</i> Diagrammes qui représentent les teneurs en terres rares normalisées aux chondrites des unités de roches dans le forage 87-86, intrusions Delta 1C, 2C et 2C' et roches encaissantes: A) les gabbros; B) les dykes ultramafiques; C) le granophyre; D) les roches encaissantes.	90
<i>Figure 4.5:</i> Diagramme binaire MgO % versus NiO % pour les grains d'olivine appartenant aux cumulats à olivine des intrusions Delta 2B' et Delta 4.	93
<i>Figure 4.6:</i> Diagramme ternaire Cr-Fe-Al pour les spinelles chromifères provenant de plusieurs intrusions dans la ceinture de Cape-Smith.	95
<i>Figure 4.7.</i> Sections géologiques illustrant la trace des forages 77-29 et 87-86, zone minéralisée D8, coupes AA' et BB'.	98
<i>Figure 4.8.</i> Sections géologiques illustrant la trace des forages 77-24 et 80-77, zone minéralisée D9, coupes CC' et DD'.	101
<i>Figure 4.9,</i> Schémas qui illustrent la chronologie des intrusions retrouvées dans les zones minéralisées D8 et D9.	118
<i>Figure 5.1:</i> Colonne géologique partielle de la partie minéralisée du forage 77-29, accompagnée des variations pour certains éléments économiques.	125
<i>Figure 5.2:</i> Colonne géologique détaillée de la partie minéralisée du forage 87-86, accompagnée des variations en certains éléments économiques et traces.	127
<i>Figure 5.3:</i> Colonne géologique détaillée de la partie minéralisée du forage 77-24, accompagnée des variations en éléments économiques.	130

<i>Figure 5.4:</i> Colonne géologique de la partie minéralisée du forage 80-77, accompagnée des variations en éléments économiques.	132
<i>Figure 5.5:</i> Matrices de corrélation pour les lentilles de sulfures massifs: A) D8 et B) D9.	134
<i>Figure 5.6:</i> Diagramme binaire S% versus Se(ppm) pour les sulfures massifs et les autres roches minéralisées appartenant aux zones minéralisées D8 et D9.	136
<i>Figure 5.7:</i> Diagramme binaire de Pd+Pt (ppb) versus Ir+Os+Ru (ppb) pour les sulfures massifs et autres roches minéralisées des zones minéralisées D8 et D9.	136
<i>Figure 5.8:</i> Diagrammes ternaires Fe-Ni-S représentant la position: A) des sulfures massifs des zones D8 et D9; B) de certains échantillons provenant des gisements du Lac Cross, de Katiniq et de Donaldson-Est. Les teneurs en Fe, en Ni et en S ont été recalculées à 100% sulfures.	138
<i>Figure 5.9:</i> Diagrammes qui représentent les teneurs en Ni, en Cu et en EGP normalisées au manteau pour les sulfures massifs des zones D8 et D9: A) les sulfures massifs de la PS (D8); B) les sulfures massifs de la PI (D8); C) les sulfures massifs de la PS (D9); D) les sulfures massifs de la PI (D9). Le champ pour Katiniq est obtenu de Barnes et al. (1982).	142
<i>Figure 5.10:</i> Diagrammes des teneurs en Ni, en Cu et en EGP normalisées au manteau, pour: A) les sulfures au contact inférieur (Ci) des sulfures massifs; B) les veines (V) riches en Cu dans les gabbros (G) et le granophyre (Gr).	144
<i>Figure 5.11:</i> Diagrammes qui représentent les teneurs en Ni, en Cu et en EGP normalisées au manteau, pour: A) les roches encaissantes inférieures aux lentilles D8 et D9; B) les roches encaissantes supérieures aux lentilles D8 et D9; C) le granophyre avec des gouttelettes de sulfures, zone D8.	145
<i>Figure 5.12:</i> Diagrammes qui représentent les teneurs en EGP recalculées à 100% sulfures et normalisés aux valeurs chondritiques pour la moyenne des différentes parties des lentilles de sulfures massifs D8 (A) et D9 (B). Nous avons aussi inclu, à la figure C, la moyenne des valeurs obtenues pour les gisements du Lac Cross, de Katiniq et de Donaldson-Est (tableau 20), ainsi que la moyenne pour chaque lentille. ..	147

Figure 5.13: Diagrammes Cu/Ir versus Ni/Pd pour les échantillons provenant des zones minéralisées D8 et D9. La moyenne de chaque partie des deux lentilles de sulfures massifs ainsi que la moyenne des valeurs provenant du Lac Cross, de Katiniq et de Donaldson-Est sont aussi incluses. 149

Figure 5.14: Diagrammes qui représentent les teneurs en EGP et autres éléments, recalculées à 100% sulfures. Les échantillons provenant de chaque zone ont été normalisés: A) à la moyenne obtenue pour les sulfures massifs D8; B) à la moyenne des sulfures massifs D9. 151

Figure 5.15: Diagrammes des teneurs en éléments des terres rares normalisés aux chondrites pour les lentilles de sulfures massifs D8 (A) et D9 (B). Nous avons aussi incluses les profils pour les sédiments et l'intrusion 2C' en incluant le champ des granophyres avec gouttelettes de sulfures (zone D8) et les gabbros sous-jacents aux sulfures massifs (D) qui contiennent des sulfures disséminés. 152

Figure 5.16: Schémas illustrant les différentes étapes dans la formation des amas sulfurés appartenant aux zones minéralisées D8 et D9. 162

Listes des planches photographiques

Planche 1: Photographie avec vue vers l'est, de la partie inférieure du filon-couche différencié Delta 3 et de l'intrusion ultramafique Delta 4 qui la recoupe. 36

Planche 2: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) du mésocumulat à olivine appartenant à l'intrusion Delta 3 (éch. 3, coupe D3). Celui-ci est formé de cristaux d'olivine (Ol) automorphes et de cristaux de clinopyroxènes diopsidique poécilitiques (Cpx). 36

Planche 3: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5), du mésocumulat à clinopyroxène appartenant à l'intrusion Delta 3 (éch. 5, coupe D3). Il est constitué de cristaux automorphes de clinopyroxène (Cpx), de cristaux xénomorphes d'orthopyroxène (Opx) et de hornblende brune (Ho). 38

Planche 4: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) du gabbro-norite (éch. 7, coupe D3). Celui-ci est constitué de clinopyroxènes (Cpx) et de plagioclases (Pl) qui définissent une texture sub-ophitique. 38

<i>Planche 5</i> : Photographie d'un affleurement de gabbro hétérogène avec litage magmatique irrégulier (trait hachuré), Delta 3. Cet affleurement contient une mince zone de cisaillement hématisée.	39
<i>Planche 6</i> : Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) du gabbro hétérogène (éch. 16, coupe D3). Les clinopyroxènes (Cpx, augite) et les plagioclases (Pl) définissent une texture sub-ophitique.....	41
<i>Planche 7</i> : Photomicrographie en lumière naturelle (x2,5) de la rodingite (éch. 19, coupe D3) au contact avec l'intrusion Delta-4. Les grenats (Gr= hydrogrossulaire) sont partiellement transformés en un mélange microcristallin de chlorite et de zoïsite.	41
<i>Planche 8</i> : Photographie d'un affleurement (vue vers l'est) qui montre le contact entre l'intrusion différenciée Delta 3 (à droite de la photo) et l'intrusion ultramafique Delta 4. La bordure figée (à l'endroit de la main) est chloritisée.	50
<i>Planche 9</i> : Photographie de la tranchée de l'indice 3.1a avec vue vers le nord. ..	50
<i>Planche 10</i> : Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5), de l'échantillon D provenant de l'indice 3.1a (tranchée). Les plagioclases (Pl) sont intensément altérés en zoïsite, en albite et localement en biotite et en oxydes de fer. Les sulfures (en noir) occupent une position interstitielle aux silicates et les remplacent par endroit. ...	55
<i>Planche 11</i> : Photomicrographie en lumière réfléchie (x40), du gabbro minéralisé provenant de l'indice 3.1a (tranchée, éch. D). Un minéral d'EGP (Ko= kotulskite?) est en inclusion partielle dans de la pentlandite (Pn) au contact avec de la pyrrhotite (Po).	55
<i>Planche 12</i> : Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) de la pegmatite minéralisée de l'indice 3.1b (éch. 15, coupe D3). Les sulfures se retrouvent sous forme d'amas entre les cristaux de pyroxène (Cpx) et de plagioclase (Pl).	60
<i>Planche 13</i> : Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) de l'échantillon 4 appartenant à l'indice 3.2. Les sulfures occupent une position interstitielle aux cristaux de clinopyroxènes (Cpx) et d'orthopyroxènes (Opx).	60
<i>Planche 14</i> : Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) du basalte alcalin (éch. 87-86-1) à phénocristaux d'augite et de titanite (Ti).	78
<i>Planche 15</i> : Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) du gabbro-norite, Delta 1C (éch. 87-86-3), contenant une enclave de basanite (Bas) entourée de zoïsite prismatique.	78
<i>Planche 16</i> : Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) du granophyre (éch. 87-86-22). Dans cet échantillon, il contient des amas de quartz avec des phénocristaux de titanite (Ti).	81

<i>Planche 17:</i> Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) du contact entre le Delta 1C (à droite) et le Delta 2C (bordure figée à gauche, éch. 87-86-10).	81
<i>Planche 18:</i> Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5), du mésocumalat à olivine appartenant à l'intrusion Delta 2C (éch. 87-86-13). Il contient des cristaux d'olivine (Ol) et des phénocristaux poécilitiques de clinopyroxène (Cpx), et il est traversé par des microveinules de magnétite (en noir).	83
<i>Planche 19:</i> Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5), du méso/ adcumulat à olivine appartenant à l'intrusion Delta 2C' qui forme l'encaissant supérieur à la lentille de sulfures massifs de la zone minéralisée D8 (éch. 77-29-1).	83
<i>Planche 20:</i> Photomicrographie en lumière réfléchie (x2,5), des sulfures massifs de la partie inférieure de la lentille D8, (éch.77-29-16). Les sulfures forment une mosaïque équi-granulaire dans laquelle les grains de pyrrhotite (Po) sont entourés d'une guirlande de pentlandite (Pn).	103
<i>Planche 21:</i> Photomicrographie en lumière réfléchie (x2,5), des sulfures massifs de la partie inférieure de la lentille D9 (éch.77-24-13). La pentlandite (Pn) forme des amas granulaires grossiers.	103
<i>Planche 22:</i> Photomicrographie en lumière réfléchie (x2.5) d'une inclusion de granophyre dans les sulfures massifs de la lentille D9 (éch. 80-77-7). Celle-ci est entourée et en voie de remplacement par de la chalcopirite (Cp)	105
<i>Planche 23:</i> Inclusion de granophyre de la planche 22, vue en lumière polarisée (copie miroir). Les textures granophyriques sont visibles et les silicates sont peu altérés.	105
<i>Planche 24:</i> Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5), d'une gouttelette de sulfures (en noir) dans le granophyre du forage 87-86 (éch. 87-86-22). Le granophyre présente une texture granulaire à grains fins.	107
<i>Planche 25:</i> Même gouttelette de sulfures que celle de la planche 24, vue en lumière réfléchie. La chalcopirite (Cp) se retrouve en bordure et disséminée autour de cette gouttelette, tandis que le centre est surtout formé de pyrrhotite (Po).	107
<i>Planche 26:</i> Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) d'une veine de sulfures dans le granophyre du forage 87-86 (éch. 25). Celle-ci est bordée par du quartz (Qz) et du plagioclase (Pl) en texture de peigne.	109
<i>Planche 27:</i> Même veine de sulfures que celle de la planche 26. Les sulfures sont constitués surtout de chalcopirite (Cp) avec un peu de pyrrhotite (Po) et de pentlandite (Pn) et semblent recouper la bordure de quartz-plagioclase de la veine.	109
<i>Planche 28:</i> Photomicrographie en lumière réfléchie (x40) d'un grain hypidiomorphe de merenskyite (Mr) en inclusion partielle dans de la pyrrhotite (Po) en contact avec de la pentlandite (Pn) (éch. 77-24-3). Cet échantillon provient de la partie supérieure de la lentille de sulfures massifs D9.	112

<i>Planche 29</i> : Photomicrographie en lumière réfléchie (x40) d'une inclusion hypidiomorphe composée de testibiopalladinite (Tt) et de sperrylite (Sp) dans de la pentlandite (éch. 80-77-32) Cet échantillon provient d'une veine riche en sulfures dans un gabbro qui fait partie de l'encaissant inférieur à la lentille de sulfures massifs D9.	112
<i>Planche 30</i> : Photomicrographie en lumière réfléchie (x40) d'inclusions de kotulskite (Ko) et de sperrylite (Sp) dans de la chalcopryrite (éch. 77-24-16). Cet échantillon provient des sulfures appartenant au contact inférieur de la lentille de sulfures massifs D9.	114
<i>Planche 31</i> : Photomicrographie en lumière réfléchie (x2.5) d'inclusions de sudburyite (Sb) dans de la chalcopryrite (éch.77-29-3). Cet échantillon provient du contact supérieur de la lentille de sulfures massifs D8.	114

Listes des tableaux

<i>Tableau 1</i> : Résultats analytiques pour les échantillons prélevés le long de la coupe D3, filon-couche Delta 3, éléments majeurs (oxydes) et calculs normatifs CIPW.	190
<i>Tableau 2</i> : Résultats analytiques pour les éléments traces des échantillons provenant de la coupe D3, du filon-couche différencié Delta 3 (figure 3.4).	192
<i>Tableau 3</i> : Résultats analytiques pour éléments majeurs et traces des échantillons provenant de l'indice minéralisé 3.1a (figure 3.5) du filon-couche différencié Delta 3.	194
<i>Tableau 4</i> : Résultats analytiques des éléments traces pour les échantillons provenant de l'indice minéralisé 3.2 (figure 3.7), filon-couche différencié Delta 3.	195
<i>Tableau 5</i> : Résultats analytiques partiels des échantillons prélevés le long de l'horizon minéralisé stratiforme dans le Delta 3, par site échantillonné.	196
<i>Tableau 6</i> : Résultats analytiques recalculées à 100% sulfures pour la moyenne des échantillons provenant des indices minéralisés échantillonnés de l'horizon stratiforme du Delta 3.	197
<i>Tableau 7</i> : Résultats analytiques des éléments majeurs et les calculs normatifs CIPW, pour les échantillons provenant du forage 87-86, zone minéralisée D8.	198
<i>Tableau 8</i> : Résultats analytiques des éléments traces pour les échantillons de la coupe 87-86, zone minéralisée D8.	201
<i>Tableau 9</i> : Composition de grains d'olivine dans des cumulats à olivine provenant des intrusions ultramafiques Delta 2B' et Delta 4.	203

<i>Tableau 10:</i> Composition des spinelles chromifères provenant des cumulats à olivine dans diverses intrusions ultramafiques.	204
<i>Tableau 11:</i> Composition en % atomique des quelques minéraux d'EGP, localisés dans les sulfures massifs (sm) et les veines de sulfures appartenant aux zones minéralisées D8 et D9.	207
<i>Tableau 12:</i> Composition, en % atomique des principales phases sulfurées identifiées dans les lentilles de sulfures massifs (Sm) et les veines de sulfures (V) appartenant aux zones minéralisées D8 et D9.	208
<i>Tableau 13:</i> Composition de grains de biotite provenant d'inclusions de roches gabbroïques dans la lentilles de sulfures massifs D8.	209
<i>Tableau 14:</i> Résultats analytiques partiels pour les échantillons provenant de la lentille de sulfures massifs D8 et de ses encaissants, zone minéralisée D8 (forages 77-29 et 87-86).	210
<i>Tableau 15:</i> Résultats analytiques pour éléments économiques, des échantillons provenant de la lentille D8 et de ses encaissants (forages 77-29 et 87-86).	211
<i>Tableau 16:</i> Résultats analytiques des éléments traces, des échantillons provenant de la lentille de sulfures massifs D9 et de ses encaissants, zone minéralisée D9 (forages 77-24 et 80-77).	212
<i>Tableau 17:</i> Résultats analytiques partiels pour éléments économiques, des échantillons provenant de la lentille de sulfures massifs D9 et de ses encaissants, zone minéralisée D9 (forages 77-24 et 80-77).	213
<i>Tableau 18:</i> Résultats analytiques partiels pour les échantillons provenant du forage 80-77, zone minéralisée D9.	214
<i>Tableau 19:</i> Teneurs en métaux recalculées à 100% sulfures, pour les minéralisations des zones D8 et D9.	215
<i>Tableau 20:</i> Teneurs en EGP et autres éléments économiques pour les gisements du Lac Cross, de Katiniq et de Donaldson-Est.	217
<i>Tableau 21:</i> Résultats analytiques pour le standard AX-90, provenant des laboratoires d'analyses géochimiques utilisés pour cette étude et valeurs utilisées pour les normalisations.	219

Liste des abréviations

Ab	Albite	Bas	Basanite
Ac	Actinote	S	Sédiments
Ant	Antigorite	G	Gabbro
Ap	Apatite	CO	Cumulat à olivine
Ass	Arsénoxyrite	P	Pyroxénite
Ba	Bastite	Pegm	Pegmatite
Bi	Biotite	Gr	Granophyre
Ca	Calcite	sm	Sulfures massifs
Cb	Carbonate	sd	Sulfures disséminés
Ch	Chlorite	V	Veines
Cp	Chalcopyrite		
Cpx	Clinopyroxène	l	Longueur
Cu	Cubanite	ø	Dimension des minéraux
Ep	Epidote	é	épaisseur
Il	Ilménite	Ma	Millions d'années
Le	Leucoxène	TR	Terres rares
Mc	Malachite	EGP	Eléments du groupe des platinoïdes
Mt	Magnétite	MGP	Minéraux du Groupe des platinoïdes
Ol	Olivine	MSS	Mono Sulfide Solution
Op	Minéraux opaques		
Opx	Orthopyroxène		
Pl	Plagioclase		
Pn	Pentlandite		
Po	Pyrrhotite		
Py	Pyrite		
Qz	Quartz		
Sr	Séricite		
Sph	Sphalérite		
Ti	Titanite (Sphène)		
Tr	Trémolite		
Vi	Violarite		
Zo	Zoïsite		
inc	Inconnu		

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

La plupart des ressources mondiales en Éléments du Groupe des Platinoïdes (EGP) sont retrouvées en association avec des roches ultramafiques et mafiques (Naldrett et Cabri, 1976; Page et Carlston, 1980). Les minéralisations qui comportent des EGP ont été classifiées par plusieurs auteurs (Naldrett, 1981a, 1990; MacDonald, 1987; Lesher, 1990), par type d'intrusions ou de coulées ainsi que par contexte géotectonique. Les EGP sont sidérophiles et chalcophiles et leur distribution dans la croûte et le manteau supérieur est largement déterminée par la distribution de sulfures (Crocket, 1981). Du fait de cette association plusieurs chercheurs (Duke et Naldrett, 1978; Barnes S.-J. et al., 1985; Lightfoot et al., 1984; Barnes S. J. et al., 1988ab; Naldrett, 1998, 1990) ont mis l'accent sur des modèles magmatiques pour leur recherche et leur compréhension. Ceux-ci favorisent la concentration des EGP par fractionnement de ces éléments dans un liquide sulfuré immiscible qui se sépare d'un magma silicaté (Naldrett et al., 1979; Campbell et al., 1983; Irvine et al., 1983) suite à une saturation soudaine en soufre. Cette saturation peut être causée par les processus suivants: une réinjection de magma primitif dans une chambre magmatique stratifiée ("Merensky Reef"; Campbell et al., 1983), 2) une saturation soudaine dans le magma suite à des changements subits de pression et de température lors de la montée du magma (Groves et Hudson, 1981; Lesher et al., 1981), 3) une assimilation de roches crustales lors de l'ascension du magma ou lors de l'effusion en surface par érosion thermique (Groves et al., 1986; Lesher, 1990; Lesher et al., 1991).

Toutefois un modèle magmatique simple n'explique pas toutes les observations géologiques dans ces gîtes et maintenant plusieurs auteurs invoquent des enrichissements causés en partie, par des processus de nature post et tardi-magmatiques (Stumpfl, 1986). Le transport et la déposition des EGP semblent être influencés par certains fluides et phases volatiles et les EGP croissent en solubilité dans l'ordre suivant $Ir < Os < Ru < Rh < Pd < Pt$ (Cousins, 1973 ; Westland, 1981). La nature chimique et les données thermodynamiques pour les EGP suggèrent que le Pd et le Pt peuvent être mobiles et transportés sous forme de complexes chlorurés, hydroxides ou bisulfurés dépendant des conditions pH, fO_2 , T et de la concentration initiale. (Westland, 1981; Mountain et al., 1988; Crocket, 1990). Le transport des éléments Pd, Pt et Au par des fluides tardifs a été invoqué pour expliquer la nature discordante de certains types de gîtes à dominance EGP (Watkinson et Dunning, 1979; Schiffries et Rucklidge, 1982; Ballhaus et Stumpfl, 1986; Boudreau et al., 1986a et b) et le transport des EGP lors du métamorphisme a été suggéré afin d'expliquer les distributions variables de ces éléments dans certains gîtes (Keays et al., 1982; Lesher et Keays, 1984; Stumpfl, 1986; Cowden et Donaldson, 1986; Barnes S.-J. et Giovenazzo, 1990). Des minéralisations de type hydrothermal contenant du Pd et du Pt, ont été rapportées dans la littérature (MacCallum et al, 1976; Rowell et Edgar, 1986; Kucha, 1986) mais les processus de concentration pour les EGP individuels restent encore mal compris.

Dans la ceinture Protérozoïque de Cape-Smith, les gîtes Ni-Cu-EGP sont associés à des intrusions (conduits sub-volcaniques, coulées ou dykes; Coats, 1982; Barnes et al 1982; Dillon-Leitch et al, 1986; Barnes et Barnes, 1990; Lesher, 1990; Tremblay, 1990; Lesher et al., 1991; Picard et Giovenazzo, sous presse) de composition ultramafique et à des intrusions ultramafiques à mafiques différenciées (Giovenazzo et al., 1989; Thibert et al., 1989) dont la mise en place est reliée à la phase d'ouverture d'un proto-océan.

Cet épisode est marqué par l'injection dans la croûte, de liquide magmatique primitif de composition basalte magnésien (Francis et al., 1983; Picard et al., 1990; Barnes, S.-J. et al., 1991).

La genèse des gisements du Lac Cross et de Katiniq, situés dans la partie centrale de la ceinture de Cape Smith, est reliée à des processus magmatiques classiques simples (Barnes et al., 1982), ils ont subi peu de modifications tardi-magmatiques et serviront d'exemples pour ce type de mécanisme. Les gisements de Donaldson (lac Raglan) plus à l'est, ont connu une histoire tectono-métamorphique plus complexe et les évidences de remobilisations tardi-magmatiques sont nombreuses (Dillon-Leitch et al., 1986; Giovenazzo et Guha, 1989; Picard et Giovenazzo, sous presse).

La région de Delta, lac Kenty-Est, fut sélectionnée pour cette étude suite à la découverte ou plutôt la "redécouverte" de teneurs en Pd et en Pt dans ce secteur lors d'un relevé géologique effectué par le Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (MERQ, Giovenazzo, 1985). Cette région contient plusieurs types de minéralisations Ni-Cu enrichis en EGP et de ce fait, représente une opportunité exceptionnelle pour étudier les divers processus à la source de ces minéralisations dans un secteur restreint. Une minéralisation de type stratiforme est associée à un horizon de gabbro pegmatitique dans une intrusion ultramafique à mafique différenciée, le Delta 3. Un peu plus au sud, les zones minéralisées D8 et D9, sont localisées dans un couloir de déformation qui tronque la base de cette intrusion différenciée. Ces zones sont constituées de lentilles de sulfures massifs qui contiennent des inclusions non-déformées de roches gabbroïques /granophyriques, et sont entourées d'une minéralisation riche en Cu et Pd sous forme de veines et de disséminations en sulfures dans les roches encaissantes. Un granophyre avec des gouttelettes de sulfures riches en Cu et en Pd est aussi considéré et possède un rôle important dans la genèse de minéralisations de ce secteur.

Les divers processus à la source de la déposition d'amas sulfurés de Ni et de Cu enrichis en EGP et de la mobilisation des éléments plus mobiles par des fluides hydrothermaux forment une partie importante de cette étude.

1.1. Buts et objectifs

Le but principal de cette étude était de caractériser les différentes minéralisations de Ni, Cu et EGP de la région de Delta. Cette étude est divisée en trois volets qui sont plus ou moins autonomes.

Le premier volet traite du filon-couche différencié de Delta 3. Le but de ce chapitre est d'établir l'origine de la minéralisation de type stratiforme que l'on y retrouve, et de la comparer avec les minéralisations de type "Reef" observées dans les grands complexes stratiformes. Cette étude utilise des études pétrographiques et géochimiques détaillées afin de pouvoir établir la raison de l'enrichissement en sulfures et en EGP observé dans cet horizon minéralisé.

Le deuxième volet traite des intrusions Delta 1C, 2C et 2C' contenues dans les zones minéralisées D8 et D9, et des amas sulfurés que l'on y retrouve. Les buts de ce chapitre étaient: 1) d'établir une chronologie entre les diverses intrusions et de situer la minéralisation dans ce contexte; 2) de décrire les divers types de minéralisations retrouvées dans les zones minéralisées D8 et D9 et; 3) d'identifier l'intrusion ou le conduit ultramafique qui a généré les lentilles de sulfures massifs.

Le troisième volet comprend une étude géochimique des minéralisations retrouvées dans les zones D8 et D9. Les buts de ce chapitre sont:

1) la détermination du mode de formation des lentilles de sulfures massifs des zones minéralisées D8 et D9 à l'aide des distributions du Ni, du Cu, des EGP et des autres éléments traces;

2) d'expliquer l'origine du granophyre qui se retrouve sous forme d'horizon irrégulier sous et latéralement aux sulfures massifs, et comme inclusions dans les sulfures massifs et de déterminer son rôle dans la genèse des amas sulfurés;

3) l'identification des processus géochimiques qui se produisent au cours des mécanismes magmatiques et hydrothermaux, afin de pouvoir établir la genèse des minéralisations de cette région.

Le dernier but était de comparer les minéralisations de la région de Delta avec les amas sulfurés retrouvés au Lac Cross, à Katiniq et au Lac Raglan qui sont mieux connus.

1.2. Méthodologie

En utilisant comme base les anciennes cartes géologiques de cette région (Samis, 1977, 1979 et 1980), des travaux de cartographie détaillée et d'échantillonnage systématique ont été entrepris dans les diverses intrusions (Giovenazzo, 1986 et 1987; Picard et Giovenazzo, sous presse) afin de mieux comprendre, d'une part les intrusions mafiques/ultramafiques de ce secteur, et d'autre part la nature et la composition des amas sulfurés. Au cours des étés 1986 et 1987, plusieurs cartes de détail ont été effectuées aux échelles 1/1000, 1/2000 et 1/10 000 des intrusions Delta 1 à 4. Les échantillonnages effectués ont permis de doser les éléments majeurs, les éléments traces et les EGP le long de plusieurs coupes géologiques et dans les indices minéralisés. Les analyses géochimiques des diverses unités pétrologiques furent effectuées afin d'étudier la variation et la distribution des divers éléments et finalement, de comprendre les mécanismes syn-magmatiques de ces intrusions.

L'analyse des éléments de groupe des platinoïdes (EGP) a été effectuée à l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) selon une méthode de préconcentration (Robert et al, 1971).

Les éléments du groupe des terres rares et certains éléments traces furent déterminés par INAA à l'UQAC (Bédard et Barnes, 1990.). Les éléments majeurs et traces furent déterminés dans plusieurs laboratoires indépendants selon les méthodes indiquées dans les tableaux des résultats analytiques situés en annexe.

La détermination à la micro-sonde électronique de la composition des divers minéraux de EGP, sulfures, silicates primaires et secondaires fut effectuée afin de comprendre la nature des divers sulfures et des MGP, du magma primaire (olivines et chromites) et des processus secondaires (biotite). Celles-ci furent effectuées sur la microsonde de l'Université McGill à Montréal (modèle Camebax, 15Kv).

La composition des sulfures nous permet de recalculer les teneurs en métaux de base et des EGP à 100% sulfures pour pouvoir isoler, de façon correcte, la fraction sulfurée. L'étude minéralogique et minéragraphique en lames-minces polies nous aide à déterminer les paragenèses, les associations et les conditions de mise en place des intrusions et des diverses minéralisations.

CHAPITRE 2

LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE

2.1. La ceinture de Cape-Smith

La ceinture de Cape-Smith s'étend approximativement d'est en ouest sur 350 kilomètres de longueur avec une largeur maximale de 90 kilomètres (figure 2.1; Taylor, 1982; Lamothe et al., 1983; Lamothe, 1986). Elle contient une suite volcano-sédimentaire et plutonique d'âge protérozoïque (1999 à 1910 Ma. [Nd/Sr] Zindler, 1982; 2000 à 1830 Ma [U/Pb], Parrish, 1989) qui repose structurellement sur des gneiss granodioritiques archéens de la Province du Supérieur au sud (2300 à 2800 Ma [U/Pb], Beall, 1977; 2780-2880 Ma, Parrish, 1989), et sur des gneiss et les granulites de l'antiforme Kovik, Province de Churchill au nord (3200 à 2600 Ma [Rb/Sr]; Doig, 1983, 1987). Cette ceinture de roche verte appartient à l'orogénèse Trans-Hudsonienne qui comprend la fosse du Labrador et la ceinture de Thompson (Dimroth et al., 1970; Baragar et Scoates, 1981; Gibbs, 1983; Hoffman, 1985).

2.1.1. Lithostratigraphie

Structurellement, elle se divise en deux domaines litho-stratigraphiques séparés par la faille Bergeron, un linéament majeur d'attitude est-ouest (Bergeron, 1957 et 1959; Hynes et Francis, 1982; Lamothe, 1986; St-Onge et al., 1986, 1987).

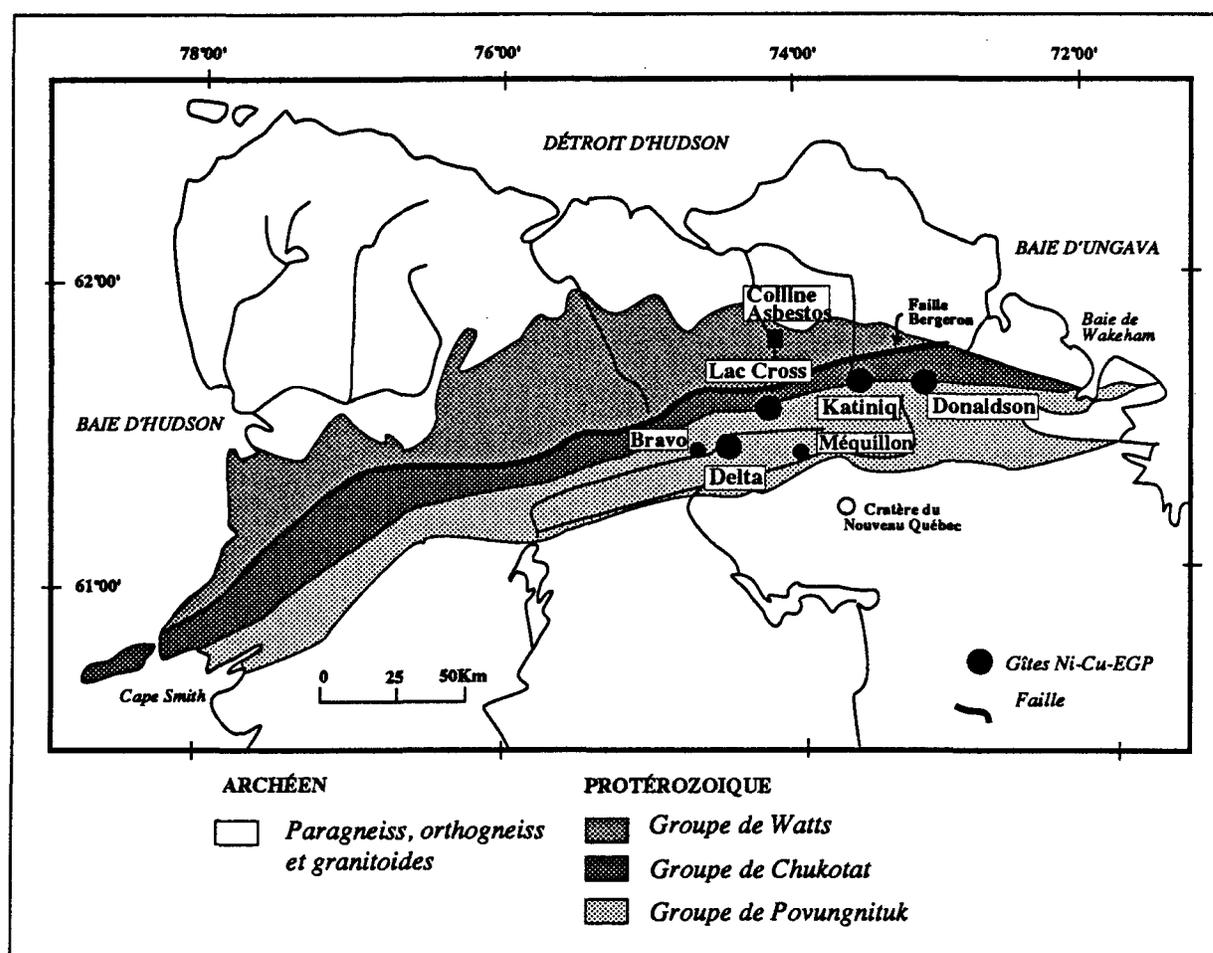


Figure 2.1: Carte géologique simplifiée de la Ceinture de Cape-Smith montrant la localisation des plus importants gîtes et gisements de Ni et de Cu (modifiée de Lamothe, 1986).

Le domaine sud: comprend les Groupes de Povungnituk (1958 ± 3.1 Ma [U/Pb], rhyolite, Parrish, 1989) et de Chukotat (1918 ± 9 Ma [U/Pb], intrusion différenciée, Parrish, 1989). Les roches de ce domaine sont métamorphisées ⁽¹⁾ au faciès des schistes verts à actinote- chlorite- épidote.

Le Groupe de Povungnituk au sud (Taylor, 1982; Hynes et Francis, 1982; Lamothe et al., 1983; Lamothe, 1986) contient globalement du sud au nord: un assemblage de grès, de conglomérats, de dolomies, de quartzites et de phyllades avec quelques formations de fer: (*le sous-groupe de Lamarche*) et un assemblage volcano-sédimentaire (*le sous-groupe de Beauparlant*). Ce dernier comprend tout d'abord des horizons de grès, de quartzite, de dolomies et de siltstone qui alternent avec des sills hypovolcaniques de diabase et quelques coulées massives de basalte tholéiitique, puis une séquence de basaltes à plagioclase d'affinité tholéiitique continentale ($MgO < 10\%$, $TiO_2 = 1,2$ à $3,6\%$; Picard, 1987b; Picard et al., 1990) coussinés ou massifs avec quelques horizons de roches volcanoclastiques. Il comprend également plusieurs séquences de grauwackes et de volcanoclastites, quelques dômes de rhyolites et des assemblages volcaniques alcalins, basanites, phonolites et trachyandésites riches en titane ($TiO_2 = 3,4$ à $7,8\%$; Hynes et Francis, 1982; Gaona'ch et al. 1989). Ces derniers surmontent localement les basaltes tholéiitiques dans plusieurs des blocs structuraux, notamment dans la région du Lac Kenty et les régions des lacs Nuvilik et Chukotat (Picard et al., 1990). Il se termine par des séquences de roches sédimentaires constituées essentiellement de siltstones, de quartzites et de phyllades graphiteuses parfois pyritifères. Il est important de noter que ce Groupe est formé de plusieurs blocs structuraux imbriqués amenant des répétitions dans l'ordre stratigraphique.

¹ Toutes les roches décrites dans le texte étant métamorphisées au faciès - note 1 des schistes verts, le préfixe "méta" est toujours sous-entendu.

Le Groupe de Chukotat (Taylor, 1982; Lamothe et al., 1983; Lamothe, 1986) repose structuralement sur le Groupe de Povungnituk tout le long de la ceinture. Il est aussi constitué de plusieurs blocs structuraux imbriqués à l'intérieur desquels les laves sont très peu déformées et forment, sauf exceptions, une série monoclinale orientée est-ouest avec un pendage vers le nord. Les laves forment de nombreuses coulées coussinées, intercalées par un nombre plus faible de coulées massives et localement par quelques coulées litées (Hynes et Francis, 1982; Baragar, 1984; Roy, 1989; Picard et al., 1990).

Hynes et Francis (1982) ont divisé les laves du Chukotat en trois groupes en utilisant comme base les phases liquidus: olivine, pyroxène et plagioclase. Les premiers blocs structuraux au sud se composent d'une alternance de séquences volcaniques qui évoluent à partir de basaltes komatiitiques à olivine ($MgO=19$ à 12% , $TiO_2<0,9\%$) vers des basaltes tholéiitiques à pyroxène ($MgO=12,5$ à 7% ; $TiO_2=0,8$ à $1,1\%$) représentant un fractionnement dans les conduits nourriciers à partir de pulsions successives de magma komatiitique (Francis et al., 1983; Picard et al., 1989). Dans la partie Ouest de la ceinture, nous retrouvons essentiellement des basaltes à plagioclase de type MORB ($MgO<8\%$; $TiO_2=1,3$ à $2,8\%$; Picard et al, 1990) avec quelques coulées locales de basalte à olivine ou pyroxène à la base des séquences.

L'assemblage volcano-sédimentaire du domaine sud est envahi de diverses intrusions qui forment deux grandes familles:

- 1) des dykes et/ou sills de diabase et des filons-couches différenciés de gabbro-ferrogabbro, comagmatiques des basaltes tholéiitiques du Groupe de Povungnituk (Picard, 1986).

2) des filons-couches différenciés de péridotite-gabbro-anorthosite et/ou ferrogabbro, et des conduits nourriciers (dykes et/ou sills) de composition ultramafique, interprétés comme des intrusions comagmatiques aux basaltes du Groupe de Chukotat (Hynes et Francis, 1982; Bédard et al., 1984; Nadeau, 1984; Tremblay, 1990).

Le domaine nord: comprend les Groupes de Gagné, de Watts et de Parent (Lamothe, 1986; Moorhead, 1986; Hervet, 1986). Les roches ont été affectées par un métamorphisme de moyenne pression (faciès amphibolite) puis par endroit, elles furent rétro-morphosées au faciès des schistes verts (St-Onge et al., 1988).

Plusieurs nappes de charriage superposées découpent cette séquence. Elles contiennent du nord au sud: a) un ensemble peu documenté de sédiments clastiques et de basaltes (*Groupe de Gagné*); b) un vaste complexe ophiolitique; *Groupe de Watts*, d'une extension de l'ordre de 100 km d'est en ouest et de 10 à 30 Km du nord au sud, dont seulement la partie supérieure fut identifiée (Scott et al., 1989); c) une épaisse séquence de phyllades, de siltstones et de quartzites associées dans la partie occidentale de la Fosse de l'Ungava à des séquences de volcanoclastites mafiques à felsiques et quelques massifs localisés de lave felsique (*Groupe de Parent*; Moorhead, 1986; Picard et al., 1990).

Plusieurs intrusions post-cinématiques de diorite, de tonalite, de granodiorite ou de granite sont intrusives dans les Groupes de Watts et de Parent (Feinneger, 1986). Des datations par la méthode U-Pb sur zircon réalisées sur ces derniers par la Commission Géologique du Canada, ont donné des âges de 1910 ± 5 Ma pour un massif de monzogranite folié anté à syn D1, de 1888 ± 5 Ma et 1860 ± 3 sur des plutons de tonalite syn-D2, et de 1840 ± 2 Ma pour une alaskite non foliée post D2 (Parrish, 1989).

2.1.2. Géologie structurale.

L'assemblage volcano-sédimentaire a été affectée par trois phases de déformation lors de l'orogénèse hudsonienne (Gibbs, 1983; Hoffman, 1985; St-Onge et al., 1986; Lucas et St-Onge, 1989). *Le premier épisode* s'est surtout traduit par le transport du nord vers le sud des matériaux volcano-sédimentaires et plutoniques sous forme d'écaillés tectoniques aujourd'hui séparées par des failles de chevauchement. Ces zones de cisaillements découpent le domaine sud (Groupes de Povungnituk et de Chukotat) en de nombreux blocs structuraux imbriqués, et définissent des nappes de charriage superposées dans le domaine nord.

Le deuxième épisode, relié à une compression nord-sud, est à l'origine de plis d'axe est-nord est, à charnière faiblement pentée et d'amplitude métrique à pluri-kilométriques. Ces derniers développent localement une schistosité coaxiale S₂ à pendage abrupt vers le nord. Ils sont fréquents dans les roches volcano-sédimentaires du Groupe de Povungnituk et dans le domaine nord où ils plissent les nappes de charriage en un vaste synforme. Ils sont rares dans les basaltes du Groupe de Chukotat, lesquels forment dans la plus grande partie de la région une série monoclinale fortement pentée vers le nord. Ces derniers présentent toutefois quelques plis de grande amplitude P₂ dans les parties centrales et orientales de la Fosse.

Le troisième épisode, se limite à quelques plis ouverts d'axe N-NW, auquel est associé un clivage de fracture S₃. Il est responsable des larges ondulations soulignées par les intrusions mafiques/ultramafiques de la partie sud-est de la Fosse de l'Ungava (région du Lac Vaillant, Tremblay, 1990.; Picard et Giovenazzo, sous-presse). Quelques failles normales et/ou de décrochements sont associées à cet épisode et découpent les failles de chevauchement antérieures.

2.1.3. Histoire Géotectonique de la partie Sud

L'histoire géotectonique du domaine sud (Groupes de Povungnituk et Chukotat), peut se résumer selon les épisodes suivants (Francis et al., 1981 et 1983; Picard et al., 1989 et 1990; St-Onge et al., 1989);

a) La création d'un bassin d'effondrement du type graben, dans lequel les sédiments de la partie basale du Groupe de Povungnituk (sous-groupe de Lamarche) se sont accumulés;

b) La formation d'un proto-rift continental caractérisée par l'émission de basaltes à plagioclase tholéiitiques intracontinentaux du Groupe de Povungnituk (sous-groupe de Beauparlant), et en périphérie du rift, l'émission ponctuelle sur des îles volcaniques, de basanites, phonolites et de pyroclastites d'affinité alcaline.

c) L'ouverture d'un rift océanique caractérisée par l'émission des basaltes à olivine-pyroxène d'affinité komatiitique à tholéiitique du Groupe de Chukotat.

d) La formation d'un plancher océanique avec la mise en place des basaltes à plagioclase de type N MORB, Groupe de Chukotat supérieur.

2.1.4. Les minéralisations Ni et Cu

Les minéralisations de Ni et de Cu s'associent aux filons-couches différenciés, aux intrusions ultramafiques comagmatiques aux basaltes océaniques du Groupe de Chukotat formant une partie du système nourricier qui traverse les unités volcano-sédimentaires du Groupe de Povungnituk (Picard et Giovenazzo, sous presse) et aux conduits sub-volcaniques (Francis et al., 1983) ou premières coulées magnésiennes du Groupe de Chukotat (Leshner et al., 1991). Ces minéralisations sont nombreuses dans la partie est de la Fosse car leur présence est liée à l'abondance de roches ultramafiques, beaucoup plus rares dans la partie occidentale.

Dans la partie centrale et orientale de la Fosse de l'Ungava, les diverses minéralisations en Ni-Cu et EGP semblent groupées en deux horizons distincts, l'horizon de Raglan et l'horizon de Delta (figure 2.2; Giovenazzo et al., 1989).

L'horizon de Raglan

De direction Est-Ouest, il est constitué dans sa partie sud, par la partie sommitale du Groupe de Povungnituk et au nord, par les premières séquences de basaltes à olivine et à pyroxène du Groupe de Chukotat. La zone de transition entre ces deux groupes, est uniformément constituée de phyllades graphiteuses, de siltstone, de cherts et plus rarement de formations de fer sulfurés, intercalées par plusieurs intrusions: des filons-couches différenciés, des intrusions/chenaux sub-volcaniques ultramafiques formés de pyroxénites et de péridotites (Lac Cross) et de quelques coulées massives (Katiniq ? et Donaldson).

Les principales minéralisations appartenant à cet horizon (Lac Cross, Katiniq, Donaldson-Est et Ouest) sont toutes similaires au point de vue forme, composition, minéralogie et situation dans les intrusions/coulées ultramafiques. Les différences observées au niveau des textures et des teneurs peuvent être attribuées partiellement à des modifications post-magmatiques (Philpotts, 1961). Largement étudiées dans le passé par les géologues de la Compagnie Falconbridge Nickel, détenteur des droits miniers sur ce secteur, elles ont également fait l'objet de plusieurs travaux académiques (Naldrett, 1981; Barnes et al., 1982; Dillon-Leitch et al., 1986).

L'horizon de Delta: Il se situe dans la partie centrale du Groupe de Povungnituk à un niveau stratigraphique inférieur de l'horizon de Raglan. On y trouve des gîtes Ni-Cu-EGP associés à des filons-couches ultramafiques et mafiques différenciés (Delta 3, Giovenazzo, 1985, 1989; Picard et Giovenazzo, sous presse) ainsi qu'à des intrusions de composition ultramafique tel Méquillon (Tremblay, 1990) et Bravo (Barnes et Giovenazzo, 1990).

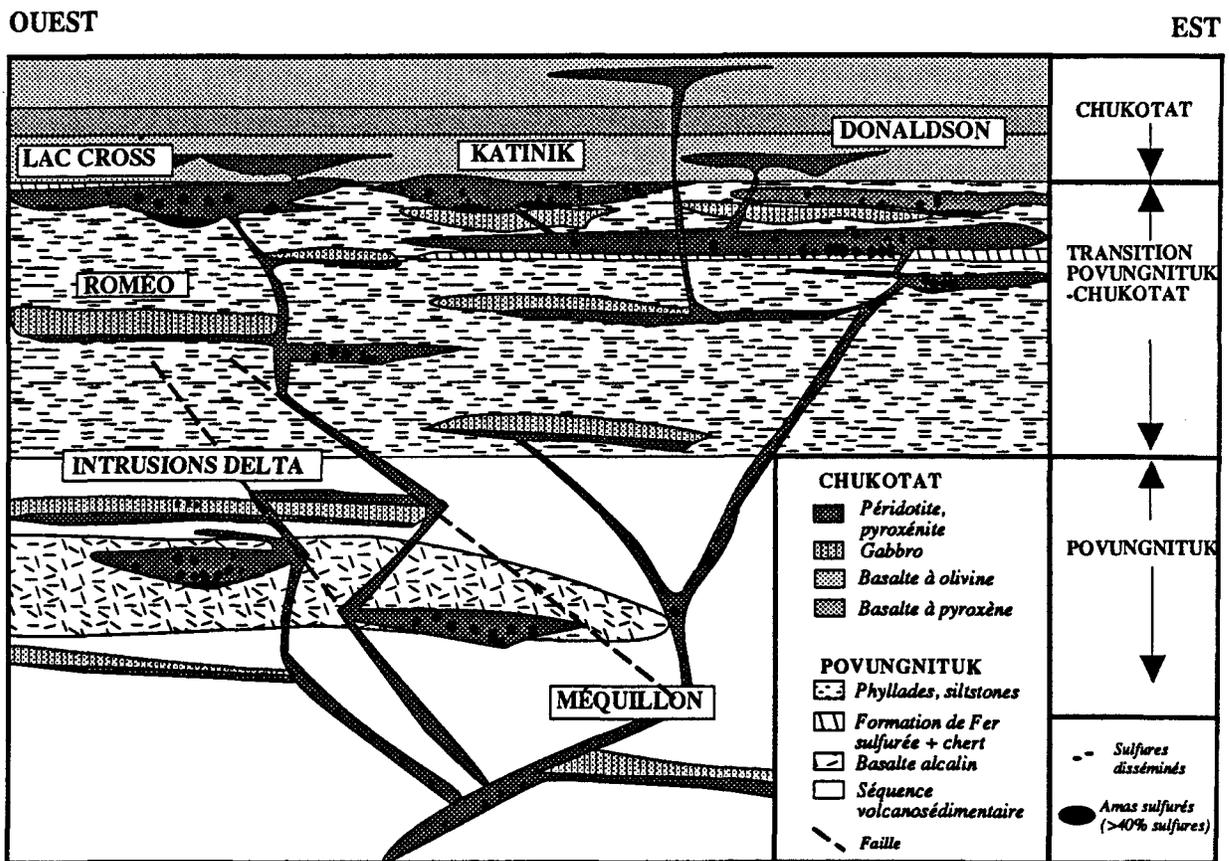


Figure 2.2: Position stratigraphique schématique des unités ultramafiques (coulées et intrusions) et des filons-couches différenciés, qui contiennent les minéralisations en Ni et Cu: Horizons de Raglan et de Delta (modifié de Giovenazzo et al., 1989).

2.2. La région de Delta

Dans la région de Delta, l'assemblage volcano-sédimentaire se situe dans la partie supérieure du Sous-Groupe de Beuparlant (Groupe de Povungnituk; Hynes et Francis (1982). Il est constitué au sud par un assemblage de basanites, de phonolites et de volcanoclastites d'affinité alcaline interdigité avec des bancs de dolomie. Cet ensemble est surmonté d'un assemblage essentiellement formé de roches sédimentaires clastiques tels des siltstones finement lités et des quartzites. Au nord de la région, nous avons identifié des roches felsiques, rhyolites et tufs rhyolitiques surmontés d'une séquence de basaltes tholéïtiques qui affleurent respectivement au sud et au nord de la rivière Petite Povungnituk (figure 2.3, Picard et Giovenazzo, sous presse).

Les diverses intrusions mafiques et ultramafiques et les roches volcano-sédimentaires sont réparties dans plusieurs blocs structuraux limités par des failles. La majorité des roches de ce secteur possèdent un pendage et un sommet vers le nord révélant une position structurale qui semble de plus en plus superficielle du sud vers le nord. En conséquence, ces intrusions ont été divisées suivant leur position stratigraphique et structurale, en quatre unités magmatiques notés Delta 1 à 4 (Picard et Giovenazzo, sous-presse), la notation A à D faisant référence au bloc structural dans lequel se situe les intrusions (figure 2.4).

Le bloc structural A: Il correspond au niveau structural le plus profond et est séparé du bloc B par une faille de chevauchement d'attitude est-ouest. Il contient un filon-couche différencié, le Delta 1A et une intrusion ultramafique, le Delta 2A. Le filon-couche différencié Delta 1A, possède une épaisseur maximum de 350 mètres et un pendage de 60° à 70° vers le sud. Il recoupe à angle faible les séquences sus-jacentes de basaltes titanifères et de volcanoclastites alcalines, ces dernières sont aussi recoupées par plusieurs petits dykes (é≤2m) de composition ultramafique qui sont probablement reliés aux intrusions.

Il présente localement une mince bordure figée et débute par un horizon de *pyroxénite* (é=35m) à granulométrie variable. Cet unité devient graduellement une péridotite (mésocumulat à olivine, é=65m) puis on passe subitement à une pyroxénite contenant 5 à 10% de reliques d'olivine (mésocumulat à pyroxène, é=1-5m). La séquence gabbroïque sus-jacente (é=210m) présente une augmentation graduelle de la quantité de plagioclase de la base au sommet. Les gabbros leucocrates en contact avec l'intrusion Delta 2A sont rodingitisés. L'intrusion ultramafique Delta 2A affleure très peu et recoupe la partie sommitale du filon-couche Delta 1A. Son contact inférieur n'a pas été observé et sa partie supérieure est tronquée par une faille de chevauchement. Essentiellement formée de péridotite, elle présente de nombreux cristaux d'olivine partiellement pseudomorphosés en antigorite (55-60%), en inclusions dans des plages poécilitiques d'augite diopsidique (30%) et d'orthopyroxène (10%).

Le bloc structural B: Il comprend le filon-couche différencié Delta 1B et les intrusions ultramafiques Delta 2B et 2B', ces intrusions présentent une direction générale est-ouest avec un pendage variant de 30° à 60° vers le nord. Le filon-couche différencié Delta 1B semble recouper à angle faible des basaltes titanifères et des volcanoclastites alcalines sous-jacents. Il comprend du sud vers le nord: un horizon de péridotite dont seule la partie supérieure est visible à l'affleurement, un mince horizon de pyroxénite (é=1 à 4m); une séquence gabbroïque (é≤130m) formée de mélanogabbro au sud, de gabbro-norite mésocrate dans sa partie médiane et de méso-leucogabbro puis de gabbro à leucoxène et quartz (é≤9m) dans sa partie sommitale.

Les intrusions Delta 2B et 2B' forment deux systèmes connectés l'un à l'autre par un mince dyke de pyroxénite (Picard et Giovenazzo, sous-presse). Elles possèdent toutes deux un sommet et des pendages variant de 30 à 70° vers le nord.

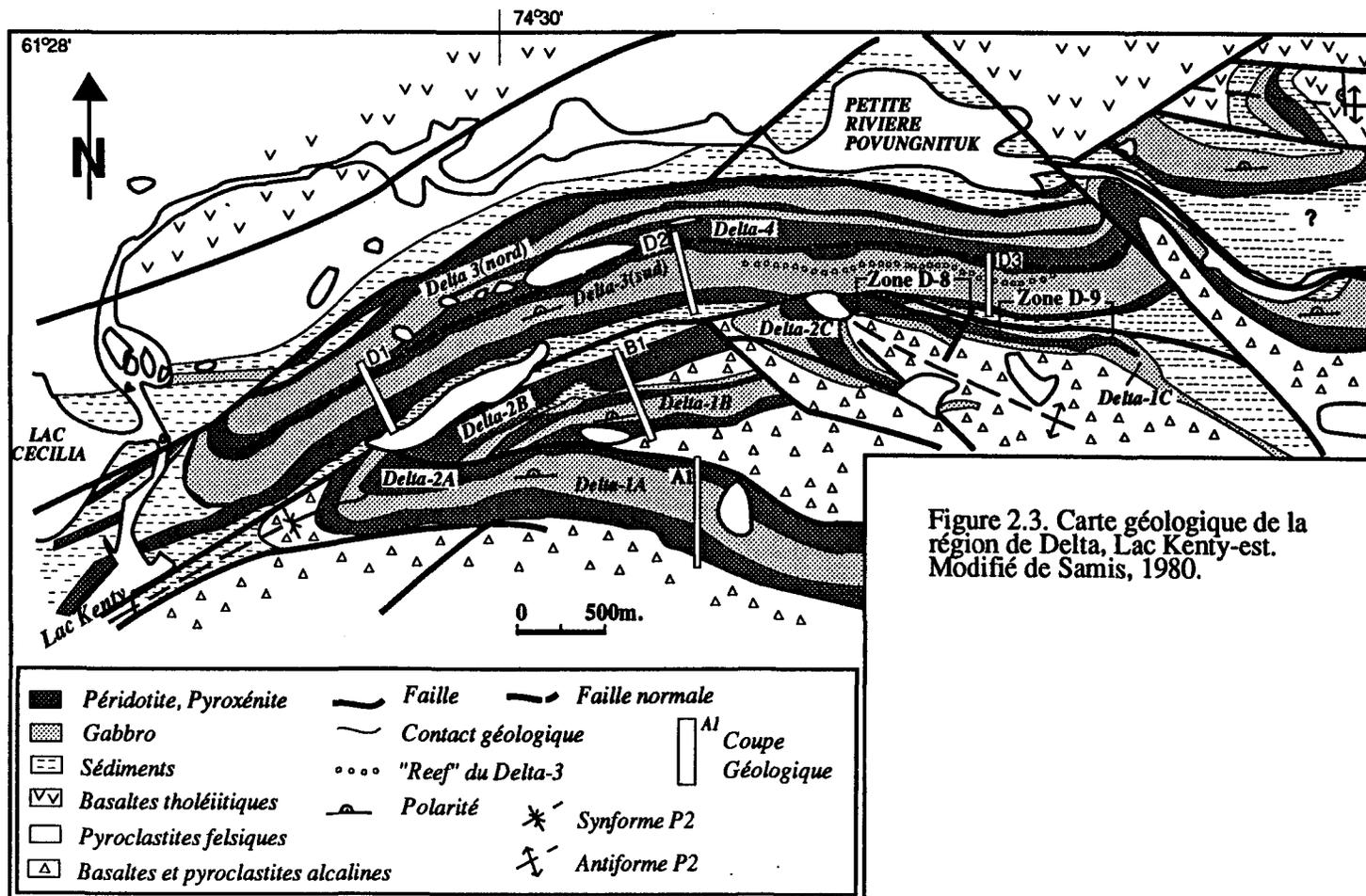


Figure 2.3. Carte géologique de la région de Delta, Lac Kenty-est. Modifié de Samis, 1980.

L'intrusion Delta 2B (é<100m.) recoupe à angle faible la partie sommitale du filon-couche Delta 1B ainsi que les basaltes titanifères puis les roches sédimentaires sus-jacentes. Les encaissants supérieurs sont des siltstones et des quartzites. Elle contient des sulfures disséminés un peu partout et est constituée d'une mince bordure pyroxénitique et d'un coeur péridotitique/dunitique (méso à adcumulat à olivine).

L'intrusion Delta 2B' est un dyke (é<40m.) qui présente une bordure sud sinueuse et recoupe, d'une part, les roches volcaniques alcalines et les siltstones (± minéralisés) et d'autre part la partie sud de l'intrusion Delta 1B. Elle est parfois minéralisée le long de son contact nord et est constituée d'une mince bordure pyroxénitique (picrite) et d'un coeur de cumulat à olivine.

Le bloc structural C: Il est situé au sud du bloc structural D dont il est séparé par une série de failles verticales, et à l'est du bloc structural B. Il comprend une intrusion gabbroïque, le Delta 1C, recoupée par une intrusion ultramafique, le Delta 2C. Ces intrusions n'affleurent que très localement et leurs caractéristiques ont surtout été établies à partir de carottes de forage disponibles. Elles sont plissées en un antiforme droit relié à la deuxième phase de déformation dont l'axe, orienté à 290°, est tronqué par une faille (faille D). Le flanc nord de cet antiforme recèle des minéralisations de Ni-Cu-EGP et a été une cible importante de forage par la compagnie Cominco puis, plus récemment, par la compagnie Falconbridge Nickel Ltd (1986-1987).

Le filon-couche Delta 1C est de composition gabbroïque et présente un pendage de 80° vers le nord sur le flanc nord de l'antiforme. Il recoupe ou longe des séquences de basalte titanifère à sa base et de siltstone laminé dans sa partie supérieure. Il est sectionné en deux parties par l'intrusion ultramafique Delta 2C.

Celle-ci est constituée essentiellement de péridotite ($\epsilon < 100\text{m.}$, mésocumulat à olivine) et présente de nombreuses similitudes pétrographiques avec les intrusions Delta 2B et 2B', suggérant que ces intrusions correspondent à un même épisode magmatique. Elle recoupe les gabbros de la partie centrale du filon-couche Delta 1C et ses contacts avec le gabbro sont nets et marqués par un mince horizon de rodingite ($\epsilon = 5\text{cm}$) dans le gabbro. De nombreux dykes satellites de composition pyroxénitique lui sont rattachés.

Le bloc structural D: Il est situé au nord des blocs structuraux B et C. Il comprend le filon-couche différencié Delta 3, lui-même recoupé dans sa partie médiane par une intrusion ultramafique, le Delta 4, et dans sa partie nord, par d'autres minces dykes ultramafiques. Dans ce bloc structural, les intrusions Delta 3 et 4 constituent un système intrusif d'axe globalement est-ouest à pendage ($55\text{-}60^\circ$) vers le nord et de 600 mètres d'épaisseur environ. Un pli ouvert P3 d'axe nord-sud déforme l'ensemble Delta 3 et 4. Dans la partie ouest de ce système, un dyke de composition pyroxénitique peut constituer le conduit nourricier au filon-couche Delta 3 et les observations de terrain semblent indiquer que ce dyke relie les intrusions Delta 3 et Bravo, situé au sud-ouest (Barnes et Giovenazzo, 1990). Les roches encaissantes sont formées de séquences sédimentaires clastiques, des quartzites et des siltstone.

En raison de la qualité de son exposition et de la découverte en 1984 de teneurs intéressantes en platine et palladium dans sa partie gabbroïque inférieure (Giovenazzo, 1985, 1986), le filon-couche différencié Delta 3 est le plus étudié jusqu'à présent.

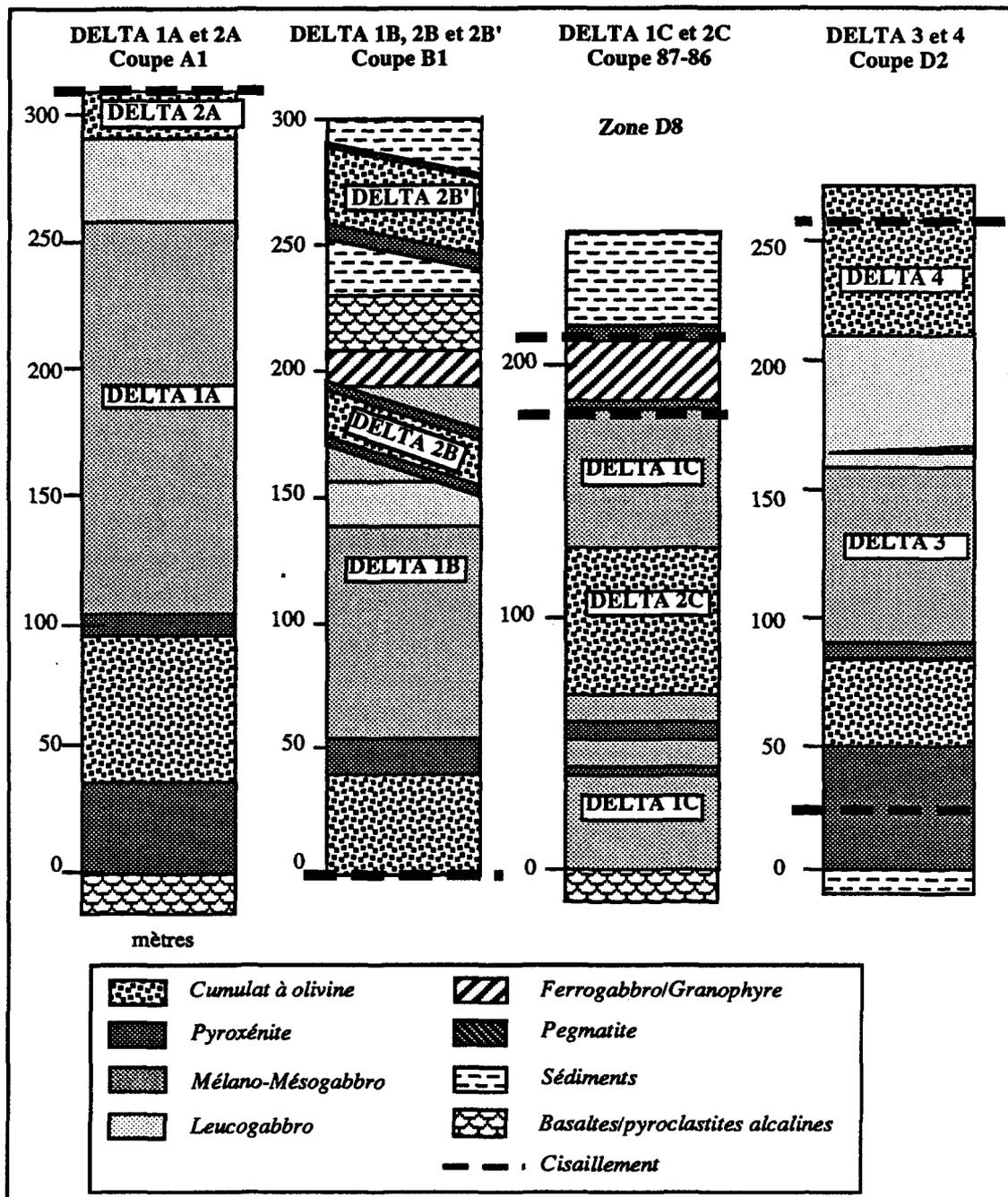


Figure 2.4: Colonnes stratigraphiques comparatives des diverses intrusions de la région de Delta, effectuées à partir de coupes nord-sud. Ces coupes sont localisées sur la carte de la figure 2.3 (modifié de Picard et Giovenazzo, sous-presse).

2.3. Les régions du Lac Cross, de Katiniq et du Lac Raglan

Les roches ultramafiques hôtes des gisements de Lac Cross, Katiniq, et Donaldson présentent de nombreuses analogies au point de vue pétrographique, géochimique et gîtologique et sont généralement d'épaisseur inférieure à 150 mètres et de quelques kilomètres d'amplitude (Coats, 1982; Barnes et Barnes, 1990; Picard et Giovenazzo, sous-*presse*). Elles contiennent les gîtes Ni-Cu les plus importants de la Fosse de l'Ungava; Lac Cross (10 Mt de réserves estimées avec 1,6% Ni et 0,8% Cu; Coats, 1982), de Katiniq (10,2 Mt de réserves estimées avec 2,4% Ni et 0,7% Cu; Coats, 1982) et de Raglan (2,6 Mt de réserves estimées avec 4,4% Ni et 1,0% Cu; Coats, 1982).

La plupart des gîtes Ni-Cu-EGP consistent en des sulfures massifs (souvent absents), en filet, disséminés, de type brèche ou foliés qui contiennent de la pyrrhotite, de la pentlandite, de la chalcopyrite avec parfois, de la magnétite, de la ferrochromite, de la pyrite et des minéraux d'EGP tels que la sudburyite, la merenskyite, la kotulskite, la testiobiopalladinite et la sperrylite (Dillon-Leitch, 1986; Picard et Giovenazzo, sous *presse*). Les sulfures furent modifiés à différents degrés par la déformation et le métamorphisme (Philpotts, 1971; Naldrett, 1981; Barnes et al., 1982, Dillon-Leitch et al., 1986, Picard et Giovenazzo, sous *presse*). Le contenu élevé en EGP dans les sulfures Ni-Cu (Naldrett, 1981; Barnes et al., 1982) impliquent que ces derniers ont dû s'équilibrer avec une grande quantité de magma, confirmant l'hypothèse que ce sont des conduits ou des chenaux.

Lac Cross

Cette intrusion/coulée est essentiellement de nature ultramafique et montre une épaisseur variant entre 10 et 100 mètres (figures 2.5 a et 2.7). Elle présente à sa base une bande de pyroxénite passant graduellement à une péridotite (cumulat à olivine), laquelle s'enrichit progressivement en olivine vers le coeur de l'intrusion.

Dans sa partie supérieure, elle possède une mince bordure pyroxénitique à grain fin, présentant localement un débit colonnaire plus ou moins bien marqué. Une mince bande de microgabbro (<2 m.) surmonte localement l'intrusion ultramafique. Le contact inférieur avec les métasédiments (quartzites et siltstones) est net et parfois discordant. Le contact supérieur avec les laves ultramafiques du Groupe de Chukotat est irrégulier et quelquefois graduel suggérant qu'il y avait localement un lac de lave affleurant en surface (Picard et Giovenazzo, sous-presse).

Les minéralisations en Ni-Cu se trouvent à deux endroits: a) dans la charnière du pli (amas Lac Cross) et b) les amas C1 et C2 situés sur le flanc sud. La minéralisation se présente typiquement sous forme d'amas sulfurés de forme lenticulaire localisés à la base du cumulat à olivine formés essentiellement de sulfures en filet (net-textured) surmontés par des sulfures disséminés. Localement on peut retrouver des sulfures massifs, ces derniers étant rares et très minces (max 3cm). Pour plus d'information sur cette intrusion, le lecteur doit se référer à Picard et Giovenazzo (sous presse) et Coats (1982).

Katiniq

Le complexe ultramafique de Katiniq (figure 2.5 b) est situé à mi-chemin entre le Lac Cross et le lac Raglan. Orienté globalement à N65°, il possède une forme lenticulaire et mesure environ 2.5km de longueur par 50 à 150 mètres d'épaisseur. Penté en moyenne à 45° vers le nord, il recoupe à angle faible au sud un assemblage de siltstone et de phyllades graphiteuses ainsi qu'un filon-couche de mésogabbro. Au nord il est recouvert en discordance de faille par des basaltes à olivine du Groupe du Chukotat.

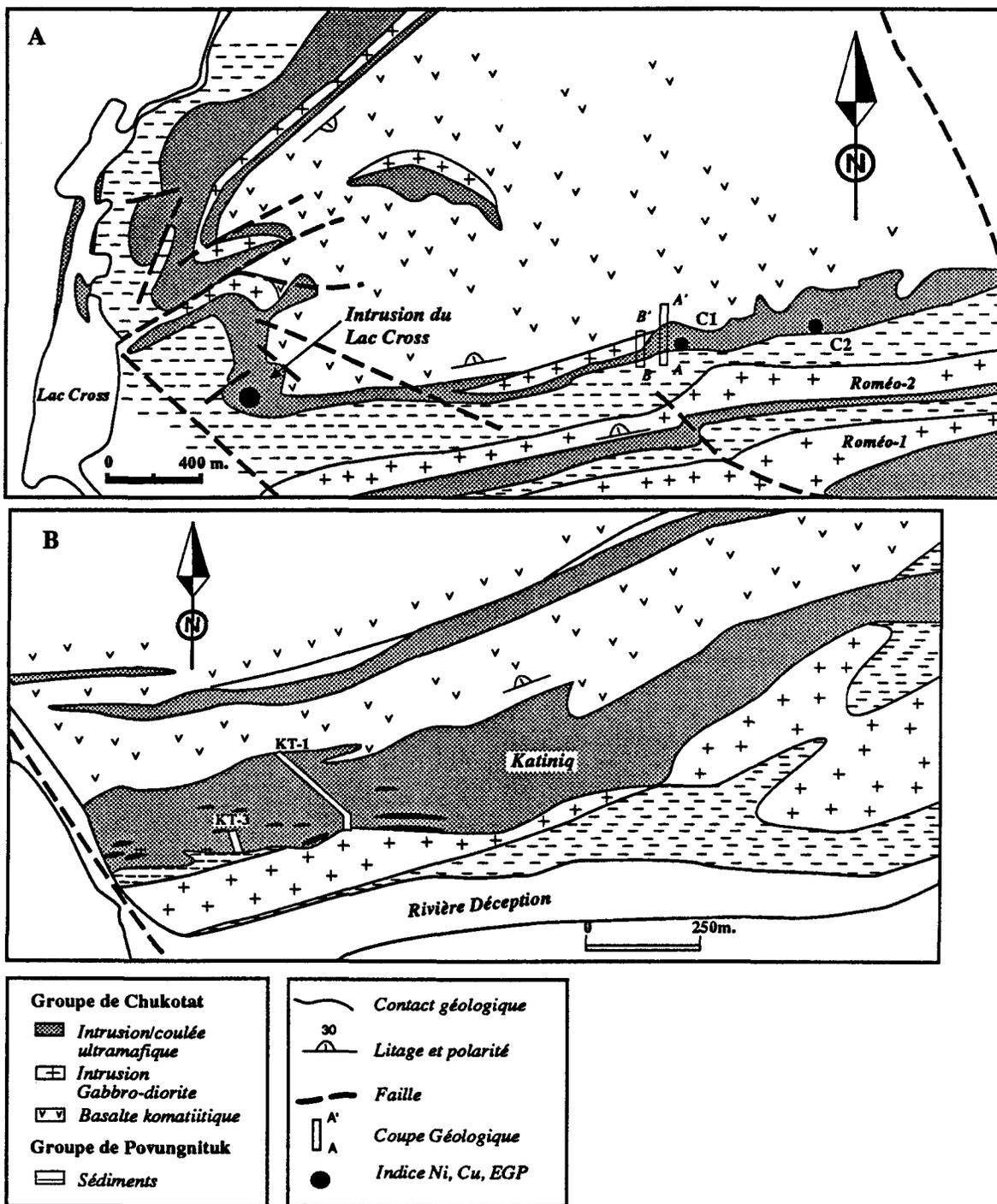


Figure 2.5: Cartes géologiques des régions suivantes: A) du lac Cross et B) de Katiniq. (modifiées de Coats, 1982 ; Picard et Giovenazzo, sous presse).

Les caractéristiques pétrographiques et gîtologiques ont été étudiées par Barnes et al. (1982) lesquels suggèrent qu'il résulterait d'une série d'injections ultramafiques (MgO=19%) constituant ainsi un conduit nourricier au volcanisme en surface, ou un lac de lave (Barnes et Barnes S.-J., 1990).

L'étude géochimique de la séquence ultramafique révèle que les liquides magmatiques qui l'ont constituée avaient une composition de basalte magnésien (MgO=18,4%; Picard et Giovenazzo, sous presse) et un contenu relativement élevé en nickel et en EGP (Barnes et al.,1982). La présence d'amas sulfurés dans la partie inférieure ainsi que les gouttelettes d'immiscibilité de sulfures dans la bordure figée inférieure et dans le reste de l'intrusion indique que les mécanismes d'immiscibilité entre phase silicaté et phase sulfurée se sont produits de manière très précoce. Les caractéristiques minéragraphiques et géochimiques révèlent que les dépôts de Ni, de Cu et d'EGP résultent essentiellement de mécanismes magmatiques avec des remobilisations locales lors de la serpentinitisation et de la déformation. Pour en connaître plus sur ce site, le lecteur est référé aux publications et documents suivants: Coats (1982); Barnes et al. (1982); Picard et Giovenazzo (sous presse); Barnes et Barnes S.-J. (1990). Les minéralisations sulfurées contenus dans cette coulée ultramafique fait présentement l'objet de travaux miniers. Une rampe est en cours de construction dans le but d'exploiter ce gisement dans un avenir proche (communication personnelle, Jean-Pierre Cloutier, Falconbridge Nickel).

Lac Raglan

Cette région a été la cible de nombreux travaux d'exploration et de développement par Falconbridge Nickel Ltd et comprend les gisements de Donaldson Est et Ouest (Coats, 1982; Dillon-Leich et al.,1986). Les unités ultramafiques de la région du lac Raglan constituent la partie orientale du système de Lac Cross-Katiniq (figures 2.6 et 2.7).

Les unités ultramafiques qui contiennent les amas sulfurés sont minces (<50 mètres) et les textures observées indiquent que ce sont tout probablement des coulées massives (Picard et Giovenazzo, sous presse).

Elles sont affectées par une forte altération en talc et en carbonates qui se superpose à la serpentinisation. Ce secteur présente des complexités structurales rendant difficiles les interprétations géologiques. En effet plusieurs failles de chevauchement d'attitude Est-Ouest à faible pendage vers le nord et plusieurs failles tardives d'attitude Nord-Est et à pendage sub-vertical recourent cette région.

Trois types de minéralisations Ni-Cu-EGP ont été identifiés dans la partie Est (Donaldson-Est): a) des amas sulfurés localisés dans la partie basale des intrusions ultramafiques, b) des sulfures massifs avec des fragments de roches ultramafiques déformées localisés dans des zones de cisaillements et c) des minéralisations de type veines riches en Cu, Pd et Au, situées dans les roches encaissantes aux divers amas sulfurés (Picard et Giovenazzo, sous presse).

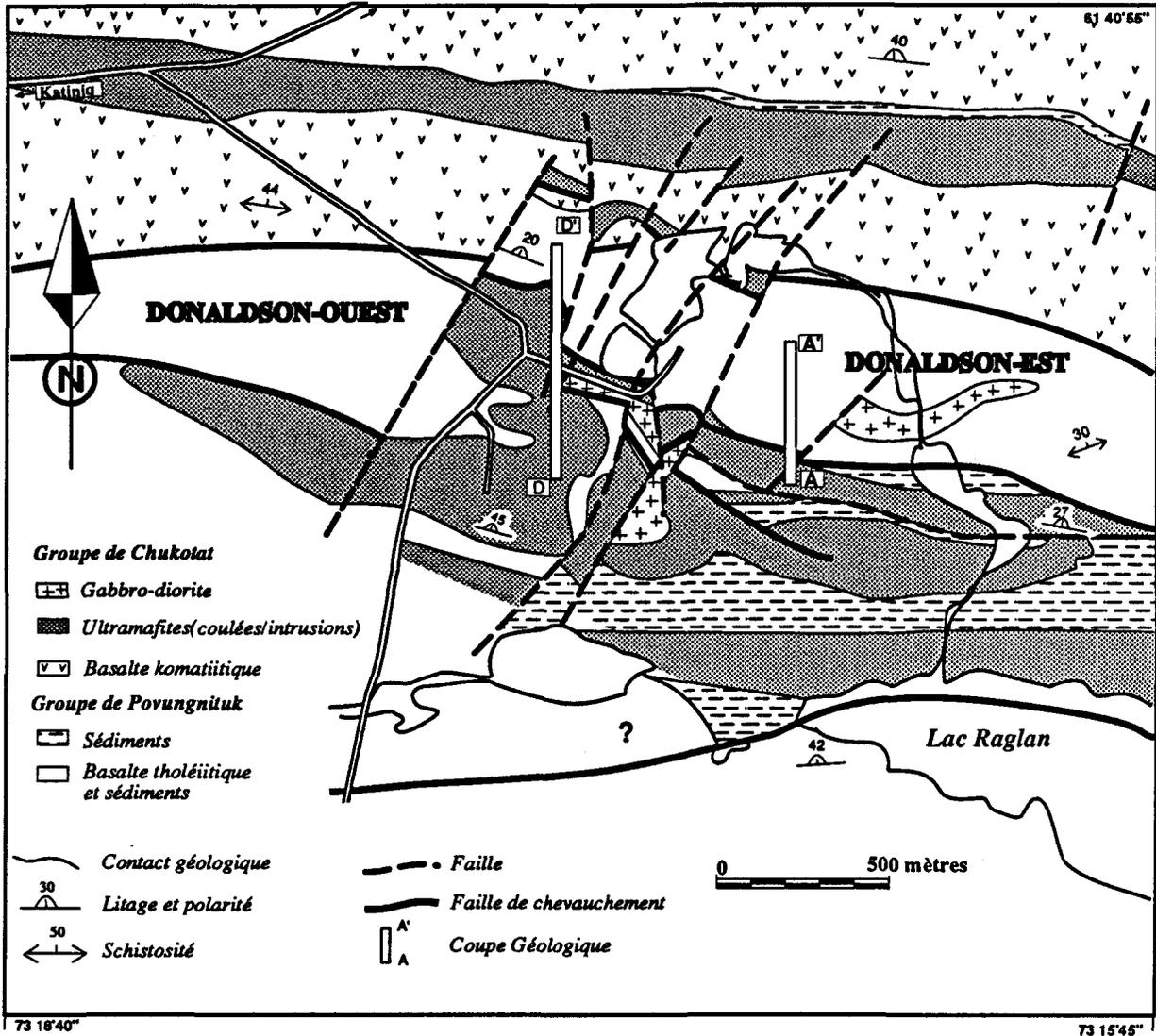


Figure 2.7: Carte géologique de la région du Lac Raglan qui comprend les gisements de Donaldson-Ouest et Est (modifiée de Picard et Giovenazzo, sous-presse)..

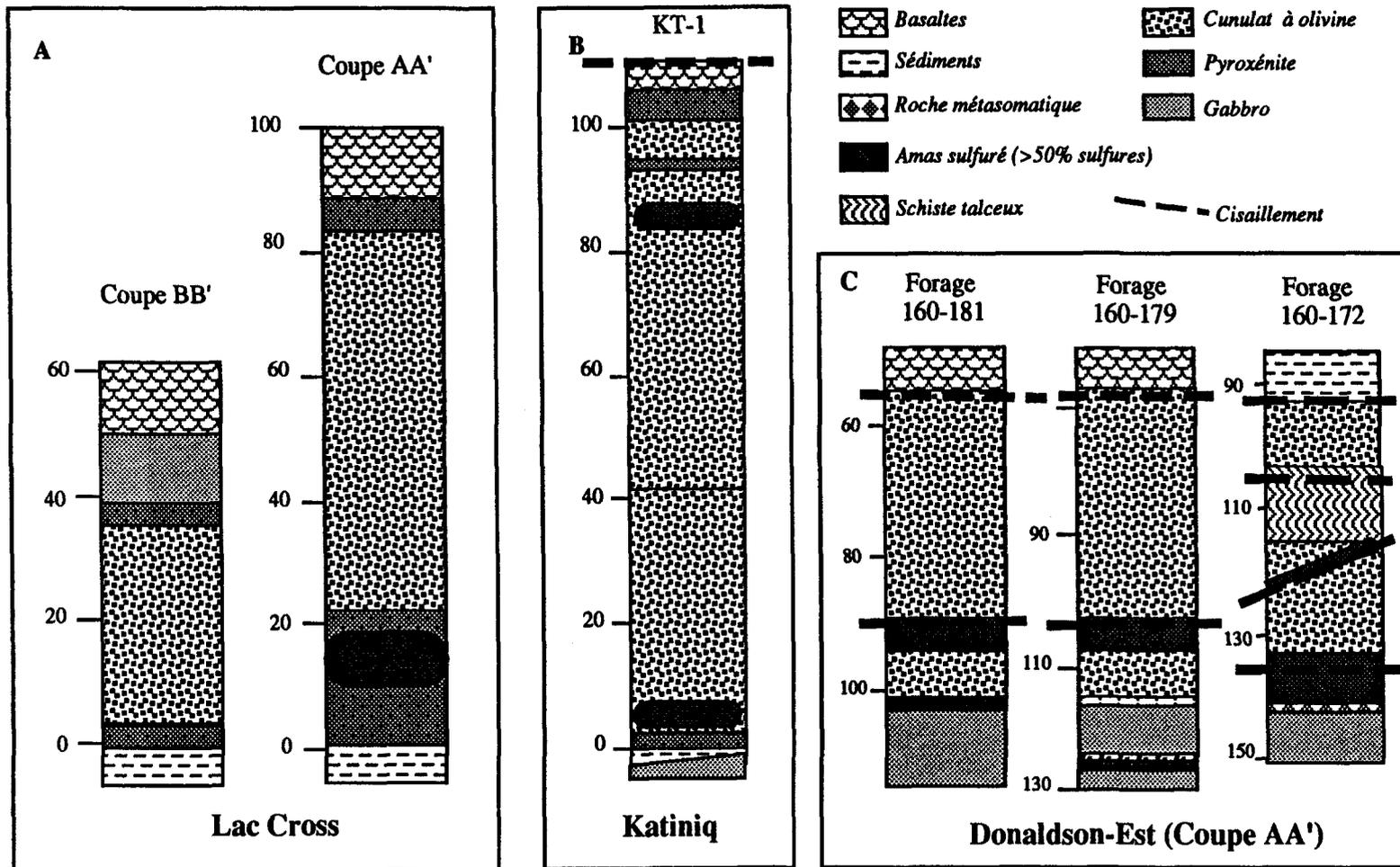


Figure 2.7: Colonnes géologiques comparatives qui représentent; A) l'intrusion du Lac Cross, B) Katiniq et C) une des coulées minéralisées de Donaldson-Est, section sud-nord).

CHAPITRE 3

LE DELTA 3: PÉTROGRAPHIE, GÉOCHIMIE ET MINÉRALISATIONS

Introduction

Lors d'un relevé géologique effectué dans le cadre d'un projet du MERQ, des teneurs élevées en platine et en palladium furent découvertes dans le filon-couche différencié Delta 3 (Giovenazzo, 1985). Ces teneurs étaient associées à un mince horizon pseudo-stratiforme contenant des sulfures qui se suit, de façon sporadique, pendant près de 2 kilomètres dans la partie gabbroïque de cette intrusion. Dans la ceinture de Cape-Smith, il existe de nombreux filons-couches différenciés dans lequel le litage est interprété comme résultant d'une cristallisation fractionnée causée par des processus d'accumulation de cristaux (Francis et Hynes, 1979; Bédard et al., 1984). Ces intrusions représentent une partie du système de plombage co-magmatique aux roches volcaniques du Groupe de Chukotat. Le filon-couche Delta 3 fait partie de ces systèmes et ressemble à toutes les autres intrusions de ce type étudiées dans la ceinture, à l'exception de la présence de cet horizon minéralisé. Les modèles génétiques suivants ont été proposés pour expliquer l'origine des horizons de sulfures disséminés riches en EGP dans des intrusions différenciées:

- 1) La minéralisation sulfurée est le résultat de l'accumulation d'un liquide sulfuré immiscible (Campbell et al., 1983; Naldrett, 1990). Les concentrations élevées en EGP sont largement attribuées à une combinaison de coefficients de partage élevés et d'équilibration avec des grandes quantités de magma (Campbell et al., 1983) suite à une réinjection de magma primitif et d'un mélange avec le liquide gabbroïque.

Les évidences pour une telle hypothèse sont les suivantes: a) l'association des horizons stratiformes avec la base d'unités cycliques et une concentration en chromite sous forme de minces horizons; et b) la grande persistance latérale des horizons minéralisés et des teneurs en EGP systématiquement élevées.

2) Les concentrations en EGP dans ces horizons sont reliées à la circulation d'un fluide hydrothermal. En effet, les données extrêmement variables pour les EGP dans les roches et les zones porteuses de disséminations très faibles en sulfures font penser que les concentrations en EGP dans les roches cumulus, qui forment la plus grande partie des intrusions différenciées, peuvent être susceptibles à des changements tardi-magmatiques (Ballhaus et al, 1986). Les processus responsables pour ce changement peuvent être causés soit par des liquides intercumulus ascendants expulsés de l'empilement cumulus lorsqu'il se refroidit (von Gruenewaldt, 1979; Mathez, 1990), soit par un échange avec les liquides deutériques qui circulent dans l'empilement de roches semi-consolidées (Ballhaus et Stumpfl, 1985; Boudreau, 1988). Les évidences pour ces hypothèses sont: a) la présence de pegmatites qui contiennent des phases hydreuses (phlogopite, hornblende) et des minéraux riches en Cl⁻ (Mathez et al., 1985; Boudreau et al., 1986a); b) la présence de graphite primaire qui peut résulter d'une phase vapeur magmatique (Mathez, 1990); c) les sulfures qui semblent être contemporains avec la phlogopite, les amphiboles et l'apatite.

3) La déposition de sulfures dans des intrusions différenciées peut être causée lors du refroidissement du magma (Keays et Campbell, 1981).

Le but de ce chapitre était d'établir, à l'aide d'études pétrographique et géochimique, l'origine de la minéralisation dans l'intrusion Delta 3 et de la comparer avec des gisements qui lui semblent similaires, notamment le Merensky Reef.

3.1. Pétrographie et lithogéochimie du Delta 3

Les descriptions pétrographiques sont effectuées à partir d'échantillons qui proviennent de coupes nord-sud (Coupe D2; partie centrale et Coupe D3; partie orientale; figures 2.3, 3.1 et 3.2) dans la partie inférieure du filon-couche différencié Delta 3. Les unités sont décrites du sud vers le nord, donc de la base vers le contact avec l'intrusion ultramafique Delta 4, la séquence au nord du Delta 4 est décrite dans Picard et Giovenazzo, sous presse. Les analyses géochimiques correspondant aux échantillons prélevés de la coupe D3, sont placées aux tableaux 1 (oxydes et normes) et 2 (traces) situés en annexe. Les analyses de la coupe D2 sont dans Picard et Giovenazzo, sous presse. A la planche 1, qui représente la partie sud et inférieure du filon-couche Delta 3, les diverses unités ignées se distinguent bien par des contrastes de couleurs, les péridotites sont de couleur plus claire et plus rougeâtre que les gabbros. Pour en connaître plus sur le filon-couche Delta 3 le lecteur est prié de se référer à Picard et Giovenazzo, sous presse.

3.1.1. Pétrographie détaillée

Les roches encaissantes inférieures sont constituées de sédiments clastiques finement lités contenant des bancs de quartzites et de siltstones.

La *bordure figée inférieure* (éch.1) est formée essentiellement de serpentine et de chlorite microcristalline dans lesquels on retrouve quelques phénocristaux de pyroxènes et d'olivine. Elle est intensément altérée en actinote et en carbonates.

L'horizon de *pyroxénite-mélanogabbro* à la base (éch.2, $\epsilon \leq 50\text{m.}$) est massif, homogène et augmente rapidement de granulométrie suite à la bordure figée. Les pyroxènes ($\phi \leq 2\text{mm}$) sont entièrement pseudomorphosés et présentent une forme effilochée en raison du remplacement par des amphiboles.

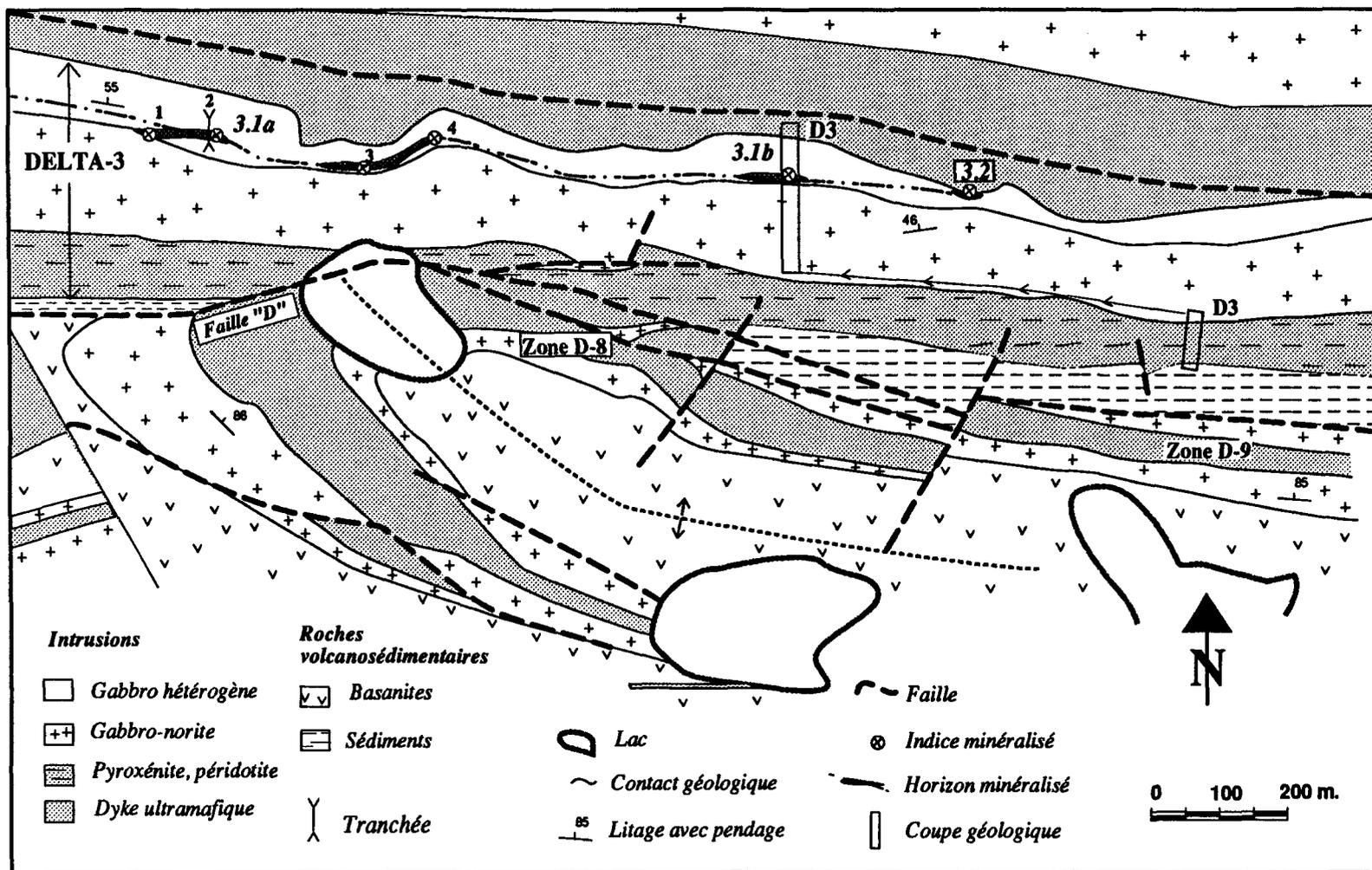


Figure 3.1: Carte géologique de la partie est de la région de Delta et localisation des indices minéralisés.

Ce sont des anciens clinopyroxènes (55-60%, plages de Tr + Ch) et orthopyroxènes (<10%, altération en Ba +Tr ± Ch ± Zo), nous notons aussi la présence de hornblende brune poécilitique et parfois de reliques de plagioclase (Zo + Ab). La matrice est formée de grandes plages de chlorite et de biotite cryptocristalline (20%) révélant l'existence de liquides interstitiels figés. Des sulfures (0-3%), quelques cristaux d'épidote et de titanite sont disséminés dans la pâte chloriteuse. Dans sa partie supérieure, la pyroxénite possède 70% de pyroxène ($\leq 8\text{mm}$) totalement recristallisé en trémolite (\pm Ch), 3 à 5% de hornblende brune poécilitique et interstitielle ($\leq 2\text{mm}$), et 1 à 2% de minéraux opaques en plaques polycristallines disséminées. Ces minéraux sont cimentés par des plages de chlorite cryptocristalline (15%) avec accessoirement du carbonate, de l'épidote et du quartz. A proximité de l'horizon de péridotite, cette pyroxénite s'enrichit rapidement en olivine ($\leq 50\%$ d'olivine) formant ainsi un contact graduel très rapide (zone de transition < 20 cm).

La *péridotite* (éch. 3 , 4 et 4.5, $\epsilon \leq 130\text{m}$, planche 2) est un mésocumulat poécilitique formé par de nombreux cristaux cumulats d'olivine (70-80%, $\phi \leq 2\text{mm}$, Ant+ Mt± Ch) régulièrement disposés dans une pâte interstitielle chloriteuse (2-3%, \pm Tr ± Op), ou en inclusions dans les cristaux poécilitiques de pyroxène. Ces derniers forment de grandes plages constituées de diopside (+ Tr avec des minéraux opaques et de lserpentine dans les fractures, 15-20%, $\phi \leq 2 \times 6\text{mm}$) et plus rarement des plages d'orthopyroxène (Ba + Tr). Quelques lamelles interstitielles de biotite (1-3%) et quelques cristaux poécilitiques de hornblende brune (2 à 4%) sont également disséminés où ils semblent avoir cristallisé au détriment du pyroxène.

Des cristaux de ferrochromite ($\phi \leq 0,2\text{mm}$) sont disséminés dans la roche et des petits amas polycristallins de magnétite pavent la paroi interne et traversent, sous forme de veinules, les reliques d'olivine.

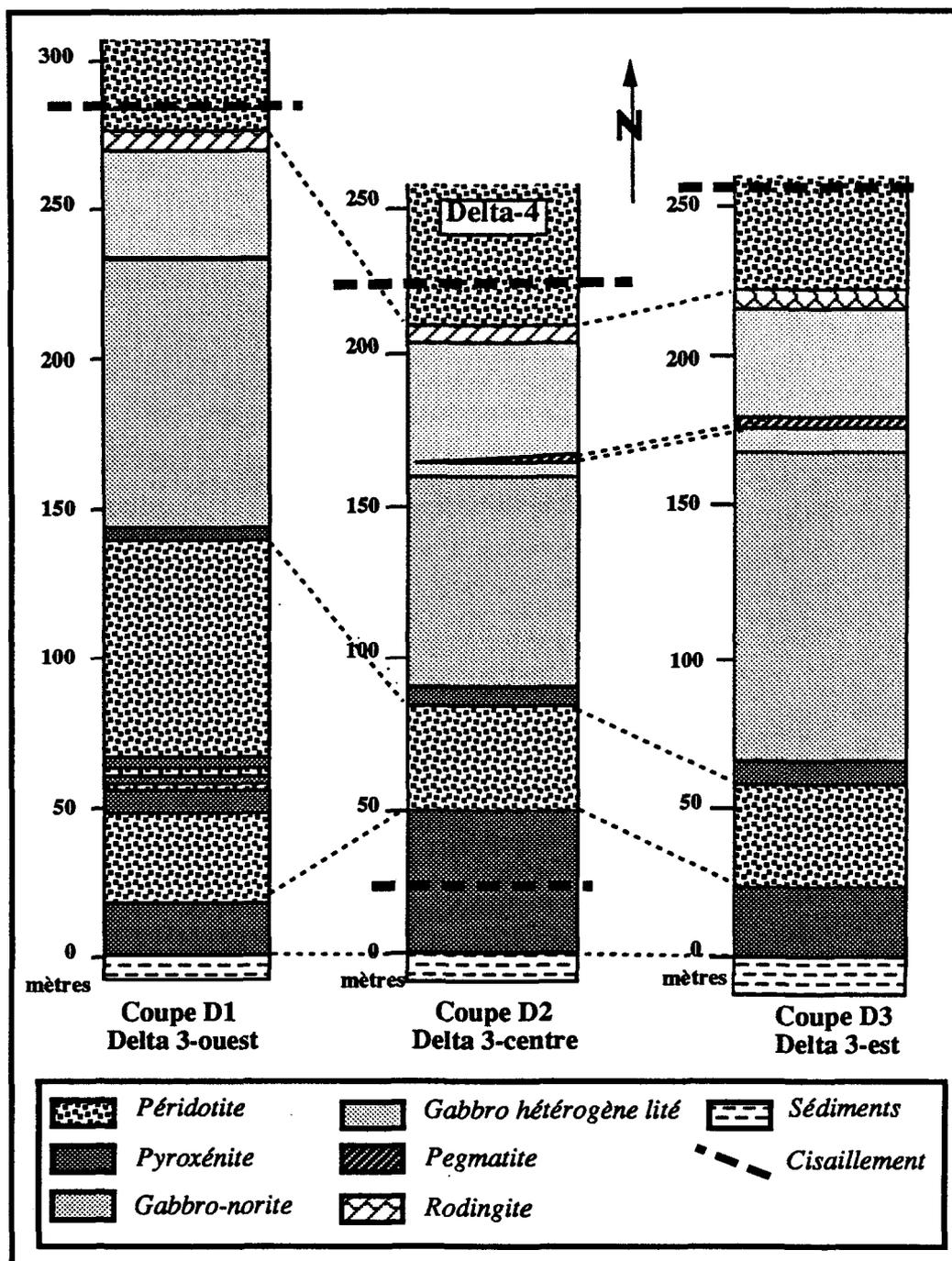


Figure 3.2: Colonnes géologiques effectuées à partir de coupes (figure 2.3), dans la partie sud du filon couche différencié Delta 3 et une partie de l'intrusion ultramafique Delta 4: Coupes D1, D2 et D3. (modifié de Picard et Giovenazzo, sous presse).

Après un contact marqué par l'augmentation rapide du pourcentage de pyroxène, la péridotite fait place à un horizon de pyroxénite à olivine massive à grain fin (éch.5, $\leq 6m$, planche 3). Celle-ci est un orthocumulat à clinopyroxène (augite diopsidique \pm Tr, 40-45%, $\phi \leq 1,5mm$) et olivine (Ant + Tr \pm Ch, 1-10%, $\phi \leq 1,0mm$), avec de l'orthopyroxène (8-25%, $\phi \leq 1,5mm$), de la hornblende brune ($\leq 2,0\%$, $\phi \leq 2,0mm$) et de la biotite ($\leq 1,0\%$). Quelques cristaux de plagioclase interstitiel ($\leq 5\%$, Zo+Ab) peuvent être observés. Ces minéraux sont cimentés par un amalgame cryptocristallin de chlorite et d'épidote (15-20%). Enfin 1 à 3% de grains de ferrochromite sont dispersés dans la roche.

En quelque mètres, le pourcentage de plagioclase augmente rapidement et ce dernier devient la phase cumulus principale. Ainsi, la pyroxénite à olivine passe rapidement à un gabbro ($\leq 120m$) lequel se subdivise en 3 parties: un horizon de gabbro-norite, un horizon de méso-leucogabbro hétérogène lité marqué à sa base localement par un horizon pegmatitique, et un horizon de gabbro-anorthosite ($\leq 6m$) rodingitisé au contact avec l'intrusion ultramafique Delta 4. Ces différentes parties se distinguent les unes des autres d'une part par l'abondance du plagioclase, et d'autre part par la présence de litage magmatique.

L'horizon de *gabbro-norite* (éch. 6 à 11, $\leq 62m$, planche 4) est composé de 25 à 55% de cristaux de plagioclase partiellement pseudomorphosés ($\phi \leq 0,5 \times 2mm$, Zo \pm Ab) sous forme de lattes trapues entre et dans les cristaux de pyroxène. La texture est sub-ophitique à ophitique. Les clinopyroxènes (30-40%, Tr \pm Ch \pm Ep, $\phi \leq 1mm$) et les orthopyroxènes (10-20%, $\phi < 10mm$, Ba + Tr + Op) constituent de grandes plages poécilitiques englobant totalement ou partiellement les reliques de plagioclase. Quelques cristaux d'olivine (1 à 5%, $\phi < 3mm$, Tr \pm Ant \pm Ch \pm Ep), des cristaux poécilitiques de hornblende brune ($\leq 1\%$) et des cristaux interstitiels d'illménite-leucoxène (1%) complètent la paragenèse magmatique.

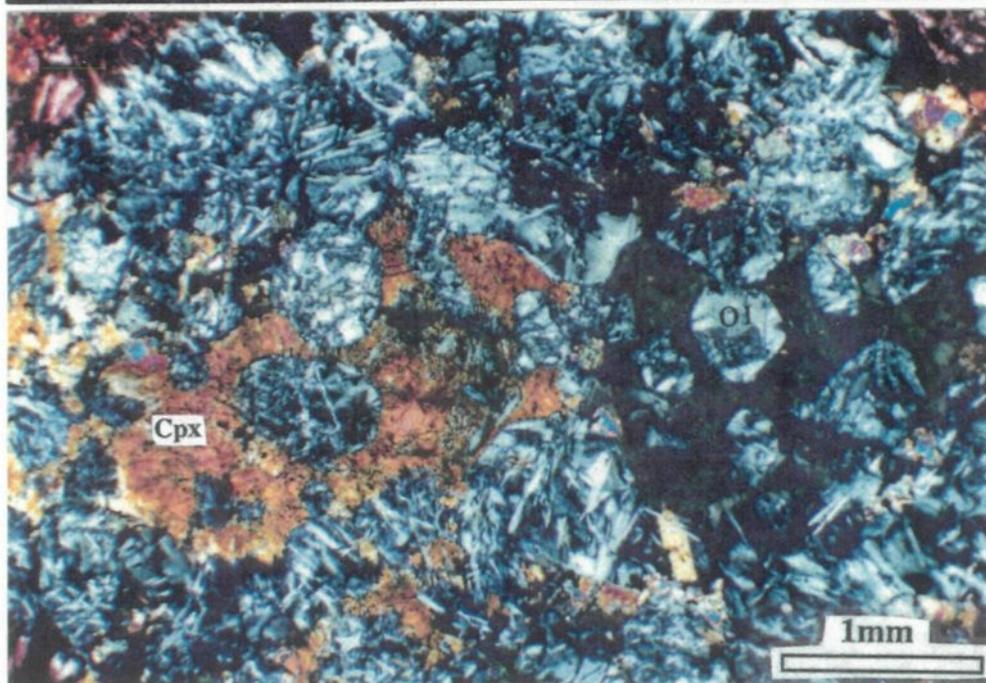
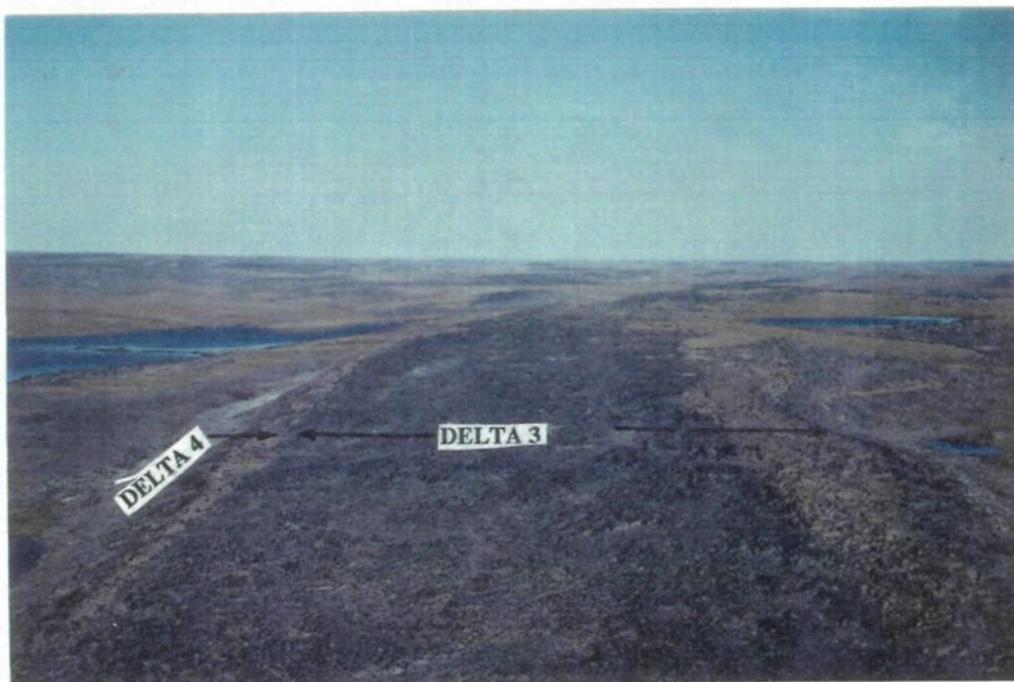


Planche 1: Photographie avec vue vers l'est, de la partie inférieure du filon-couche différencié Delta 3 et de l'intrusion ultramafique Delta 4 qui la recoupe.

Planche 2: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) du mésocumulat à olivine appartenant à l'intrusion Delta 3 (éch.3, coupe D3). Celui-ci est formé de cristaux d'olivine (Ol) automorphes et de cristaux de clinopyroxène diopsidique poécilitiques (Cpx).

On observe localement des petits cristaux de biotite et de chlorite en veinules ou en remplacement des pyroxènes. Des petits grains de sulfures (Cp + Po) sont concentrés en plus ou moins grande quantité dans les clivages des reliques d'orthopyroxène, surtout dans la partie supérieure de l'horizon de gabbro-norite où le pourcentage de minéraux opaques est le plus élevé. Ils se retrouvent aussi comme des disséminations dans la roche (Po + Pn + Cp) et sous forme de microveinules (Cp). La présence de petits globules polycristallins contenant de la trémolite, de la chlorite, et de la serpentine suggèrent un mode de formation lié soit à des mécanismes d'immiscibilité dans le magma ou soit à des phénomènes hydrothermaux. Ces globules sont localement abondants à la base du gabbro hétérogène où ils peuvent atteindre l'ordre du centimètre.

L'horizon sus-jacent de *gabbro hétérogène* (éch. 12 à 19, $\epsilon \leq 32\text{m}$, planches 5 et 6) est caractérisé par la présence d'un litage magmatique irrégulier caractérisé par des horizons centimétriques plagioclasiques ou riches en pyroxène. Ces derniers sont de plus petite taille ($\phi \leq 0,5 \times 1\text{mm}$) et deviennent de plus en plus amalgamés dans le haut de la séquence. Comme dans le gabbro-norite, les cristaux de clinopyroxène (25-40%, $\phi \leq 1,5\text{mm}$, Di + Tr \pm Ch) définissent, avec les lattes de plagioclase, une texture sub-ophitique, et $\leq 5\%$ de reliques d'olivine (Tr \pm Ant) sont disséminés dans la roche. Par contre les orthopyroxènes sont beaucoup moins nombreux (3-4%, $\phi \leq 5\text{mm}$, Ba + Tr).

Ce gabbro hétérogène contient près de sa base un *horizon à grains grossiers localement pegmatitique* (éch. 14 et 15) qui se présente sous forme de poches ou de lentilles discontinues ($\epsilon \leq 1\text{m}$). Il contient des cristaux de clinopyroxène ferrifère (30-60%, $\phi \leq 2\text{cm}$, Di + Ac \pm Tr), des orthopyroxènes (5-30%, Ba + Tr), entre 15 et 40% de plagioclase ($\phi \leq 4\text{mm}$, Ab + Ep), de 0 à 2% de quartz interstitiel et de 5 à 10% de sulfures disséminés. Ces derniers se situent dans les clivages des pyroxènes, en amas entre les divers silicates (Po + Pn + Cp + Hm \pm MGP) ou sous forme de microveinules (OxFer et Cp).

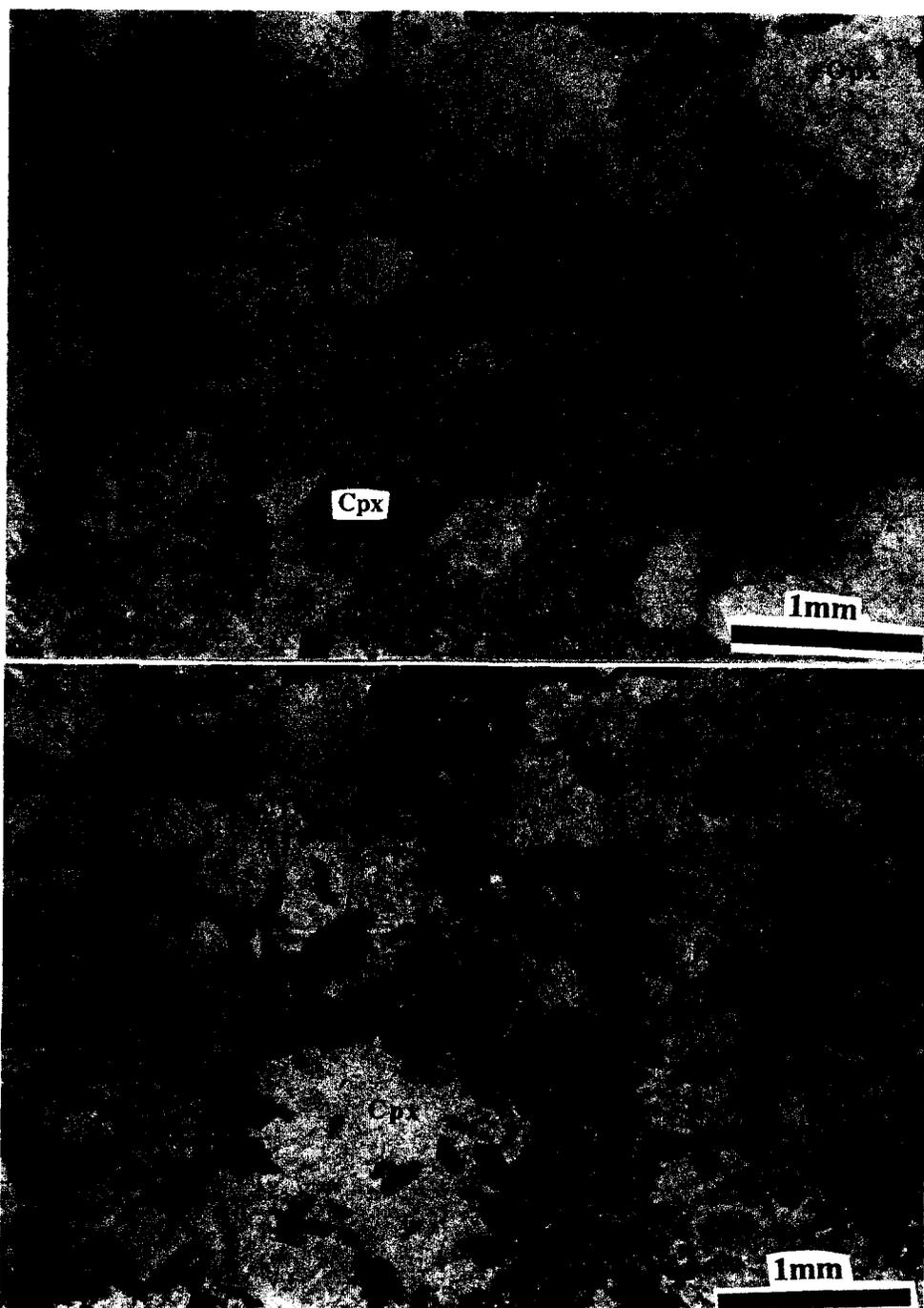


Planche 3: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5), du mésocumulat à clinopyroxène appartenant à l'intrusion Delta-3 (éch. 5, coupe D3). Il est constitué de cristaux automorphes de clinopyroxènes (Cpx), de cristaux xénomorphes d'orthopyroxènes (Opx) et de hornblende brune (Ho).

Planche 4: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5), du gabbro-norite (éch.7, coupe D3). Celui-ci est constitué de clinopyroxènes (Cpx) et de plagioclases (Pl) qui définissent une texture sub-ophitique.

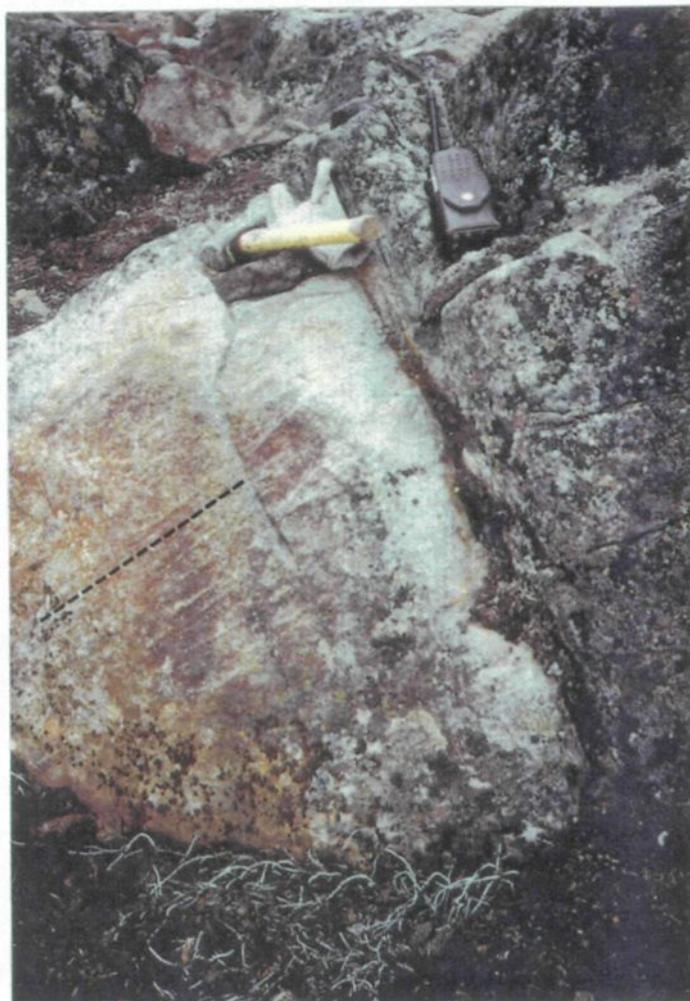


Planche 5: Photographie en affleurement du gabbro hétérogène avec litage magmatique irrégulier. Cet affleurement contient une zone de cisaillement hématisée (sous le marteau).

Quelques grains de titanite et de leucoxène sont également disséminés. Les plagioclases sont transformés en un amalgame polycristallin formé de cristaux de zoisite cimenté par de l'albite. Lorsqu'il y a des sulfures, l'altération des silicates est plus poussée et il y a présence de phases hydreuses tardives, telle la chlorite et la hornblende verte. Dans cette séquence, le litage est cryptique et des minces horizons pegmatitiques sont communs. Seul celui près de la base semble être enrichi en sulfures.

L'horizon de *gabbro-anorthosite* ($\epsilon \leq 6\text{m}$, planche 7) est constitué de cristaux de plagioclase sous forme de lattes jointives à texture d'adcumulat (80-95%, $\phi \leq 0,5\text{mm}$: Ep \pm Ab) avec en quantité mineure, des petits cristaux de pyroxène (augite). Il montre un bon litage magmatique marqué ici par de minces lamines plus riches en pyroxènes. Celui-ci est localement *rodingitisé* (éch. 19, planche 8) sur une épaisseur variable qui peut atteindre 10 centimètres. Il présente alors une couleur blanche-rosée, un contact diffus avec le gabbro et contient un assemblage microblastique d'épidote, d'albite, de chlorite, d'actinote, de muscovite et de sulfures (Po + Pn + Cp) disséminés ou en veinules, avec localement quelques plages xénomorphes et corrodées de plagioclase pseudomorphosé. Près du contact avec l'intrusion ultramafique Delta 4, elle forme une véritable rodingite ($\epsilon < 5\text{ cm}$, planche 7) composée surtout d'hydrogrossulaire massif. Le contact avec l'intrusion Delta-4 est très net (planche 9) et parfois marqué par une chlorite.

A l'ouest de la séquence décrite ci-dessus, le filon-couche Delta 3 présente peu de variations lithologiques, si ce n'est l'augmentation de son épaisseur (de 215 à 275 m., figure 3.2), l'apparition de lits magmatiques pyroxénitiques au sein de l'horizon péridotitique et l'absence d'horizon pegmatitique minéralisé. Toutefois, les deux premières variations sont surtout attribuables à l'épaississement de l'horizon péridotitique, alors que l'horizon gabbroïque demeure d'épaisseur à peu près constante.

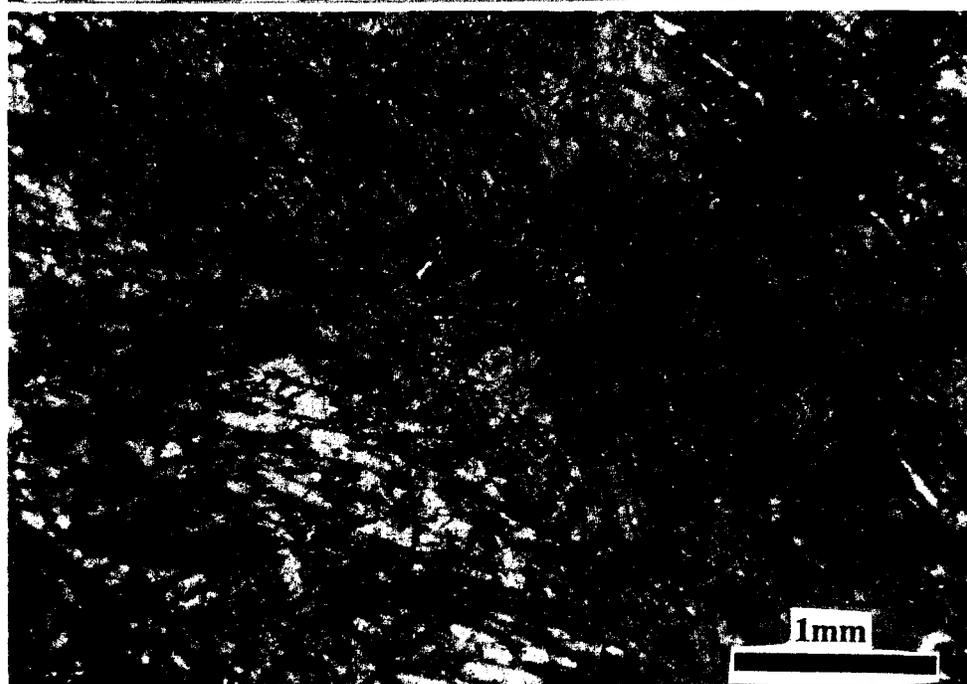
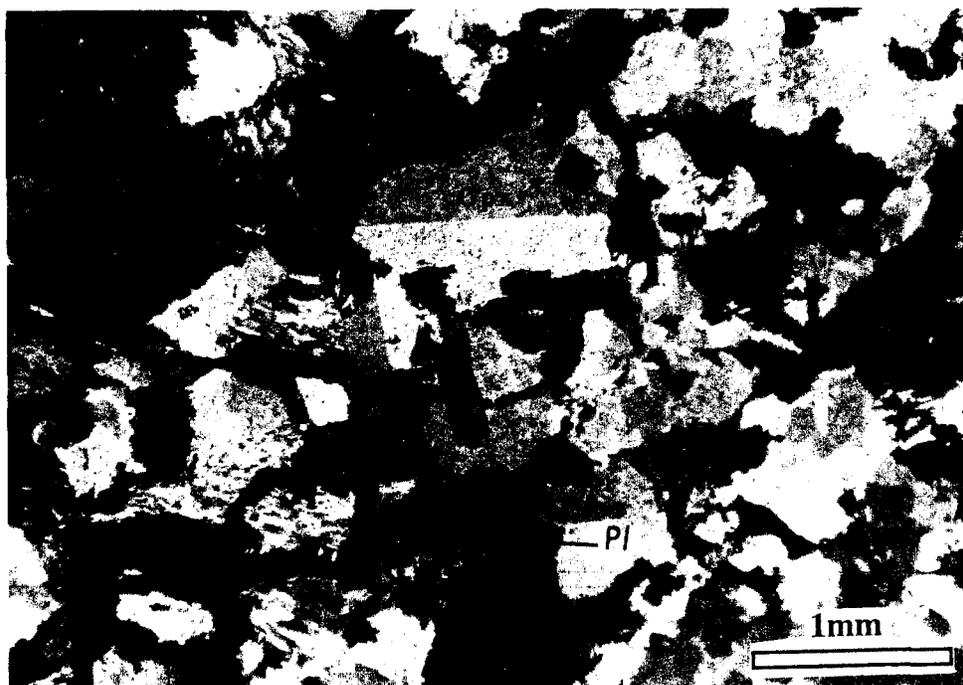


Planche 6: Photomicrographie en lumière polarisée (x2,5) du gabbro hétérogène avec litage magmatique (éch. 16, coupe D3). Les clinopyroxènes (Cpx, augite) et les plagioclases (Pl) définissent une texture sub-ophitique.

Planche 7: Photomicrographie en lumière naturelle (x2,5) de la rodingite (éch. 19, coupe D3) au contact avec l'intrusion Delta-4. Les grenats (Gr= hydrogrossulaire) sont partiellement transformés en un mélange microcristallin de chlorite et de zoïsite.

3.1.2. Lithogéochimie des éléments majeurs et traces

Les figures 3.3 et 3.4 (tableaux 1 et 2, en annexe) représentent la distribution des éléments majeurs (oxydes) et économiques en fonction de leur position stratigraphique dans l'intrusion Delta 3 et la partie inférieure du Delta-4, le long de la coupe D3 (figures 2.3, 3.1 et 3.2).

3.1.2.1. Les éléments majeurs (oxydes)

Tout d'abord, la bordure figée inférieure du filon-couche (éch. 1; Picard et Giovenazzo, sous presse) possède des teneurs en Al_2O_3 (10,5%), MgO (14,7%) et TiO_2 (0,71%) similaires à celles obtenues pour les basaltes à olivine évolués du Groupe de Chukotat, ce qui suggère que le liquide parent du filon-couche Delta 3 est comagmatique aux basaltes à olivine du Groupe de Chukotat (Francis et al., 1983; Picard et al., 1990; Picard et Giovenazzo, sous presse).

En ce qui concerne les oxydes Al_2O_3 et MgO , ces profils révèlent le comportement antagoniste de ces deux éléments. Le MgO est abondant dans les péridotites (>25%) et se corrèle directement au pourcentage d'olivine normative, alors que le Al_2O_3 est au contraire peu abondant (<5%) dans de tels faciès.

Les différences de teneurs entre Al_2O_3 et MgO sont moins spectaculaires dans les pyroxénites où l'abondance plus ou moins grande des clinopyroxènes explique les plus faibles teneurs en MgO (15 à 27%) et la remontée des teneurs en Al_2O_3 (5-10%). Dans la séquence gabbroïque, les teneurs s'inversent et deviennent directement proportionnels à l'abondance du plagioclase normatif versus le pyroxène. A l'opposé, les gabbros plus leucocrates de la partie sommitale du filon-couche Delta 3 montrent une augmentation des teneurs en Al_2O_3 (17 à 20%) tandis que les teneurs en MgO baissent. Ces teneurs se corrèlent à l'augmentation du pourcentage de plagioclase.

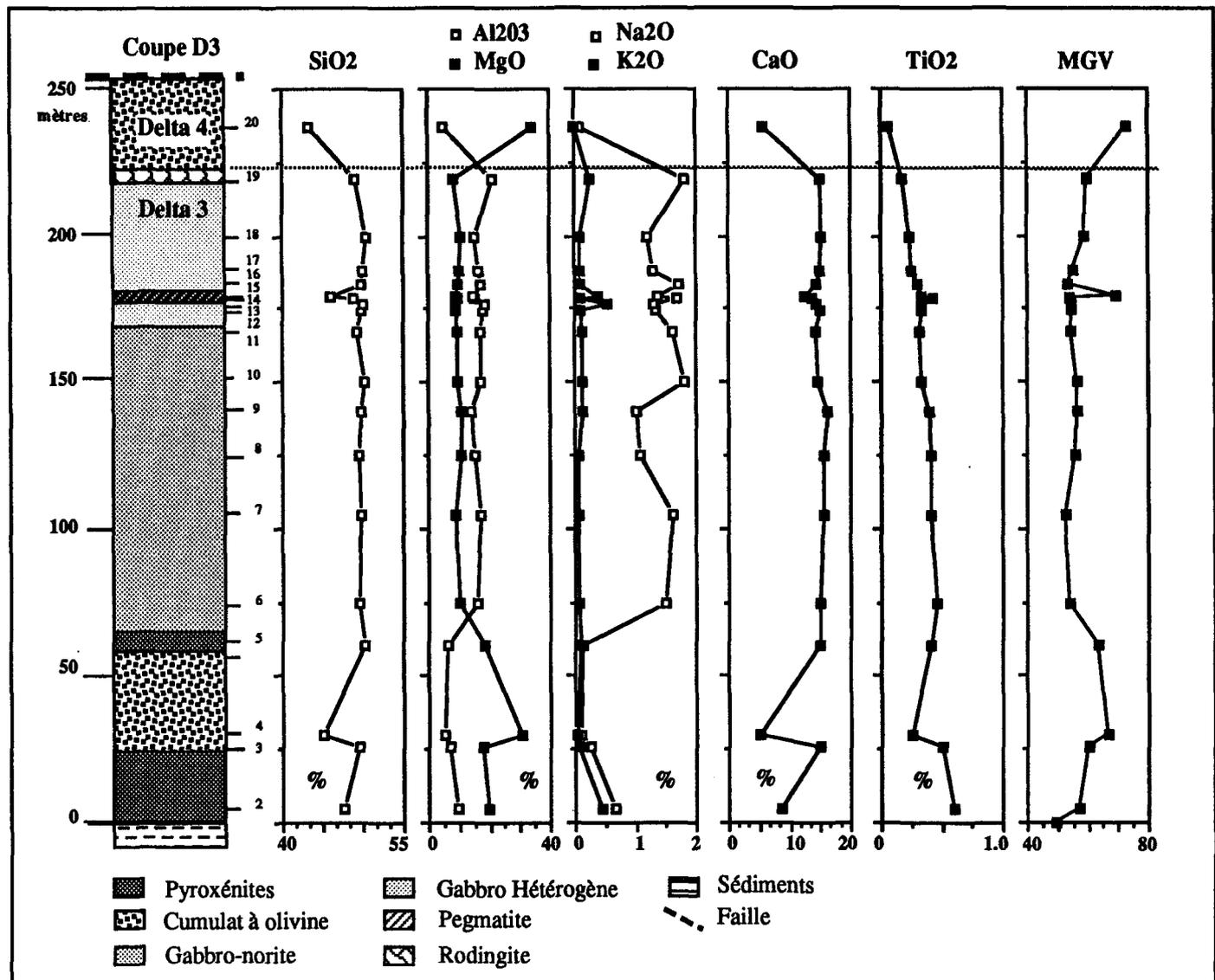


Figure 3.3: Colonne géologique de l'intrusion Delta-3 (coupe D3) accompagnée des variations pour éléments majeurs et du rapport MG/V, en fonction de la stratigraphie.

Les teneurs en Al_2O_3 et MgO apparaissent donc le reflet direct des processus de cristallisation de la séquence silicatée, et témoignent de l'abondance relative de l'olivine (et dans une moindre mesure le pyroxène) versus le plagioclase. Les autres éléments majeurs ont des profils moins caractéristiques. Le SiO_2 varie dans un intervalle limité avec des teneurs de l'ordre de 43 à 44% dans les péridotites et des teneurs de 47 à 50% dans les autres faciès.

Les éléments alcalins Na_2O et K_2O sont en quantités négligeables dans les cumulats ultramafiques et deviennent plus abondants dans les gabbros, ce qui est surtout vrai pour le Na_2O . Le CaO , qui rentre dans la composition du pyroxène et dans une moindre mesure dans le plagioclase, montre un comportement opposé au MgO et comparable, bien que plus marqué, au comportement de Al_2O_3 . Les teneurs en Fe_2O_3 (non-représenté, tableau 1) et TiO_2 diminuent de la base au sommet des gabbros, sauf pour la pegmatite où les teneurs augmentent. Toutefois le TiO_2 et le Fe_2O_3 montrent un comportement opposé dans la péridotite où les teneurs en Fe augmentent à cause de l'abondance des olivines, alors que le Ti strictement incompatible, décroît fortement en présence d'olivine et de pyroxène ou lorsqu'il y a fractionnement de l'illménite.

L'horizon de gabbro pegmatitique présente une légère baisse du contenu en Al_2O_3 et une légère augmentation des teneurs en MgO dues à la plus grande proportion de pyroxène dans cette horizon. Il est aussi caractérisé par une nette augmentation des teneurs en Fe_2O_3 et en TiO_2 , laquelle est attribuée à la présence de titanite et de sulfures. Il est aussi caractérisé par une baisse du SiO_2 et du CaO .

Le gabbro rodingitisé de la partie sommitale du filon-couche Delta 3 montre une baisse des teneurs en Fe_2O_3 , en MgO , en SiO_2 et en TiO_2 et une augmentation des teneurs en Na_2O et en K_2O . Ces variations résultent des échanges chimiques à l'interface entre le gabbro anorthositique et la péridotite sus-jacente lors de la serpentinitisation.

Les rapports MGV ($Mg^{+}/(Mg^{+} + Fe^{+})$) cationique dans lesquels le contenu en Fe de la phase sulfurée a été soustrait à la quantité de Fe totale dans les roches (tableau 1 en annexe), montrent les variations suivantes: ils sont plus élevés dans les roches ultramafiques (56,9 à 66,6), entre 52,93 et 54,74 pour les gabbros norites et entre 54,33 et 54,93 pour les gabbros hétérogènes. Ce rapport est variable pour la pegmatite minéralisée (éch. 14= 53,87, éch. 15= 69,5) reflétant peut-être une quantité plus importante de pyroxènes dans l'échantillon 15.

Le diagramme binaire de TiO_2 versus Al_2O_3 , présenté à la figure 3.4a, implique de façon schématique, une accumulation de l'olivine pour les unités ultramafiques basales et du plagioclase et pyroxène pour les unités gabbroïques. Dans le diagramme binaire TiO_2 versus MgO (figure 3.4b) on observe aussi ce phénomène. Les champs pour les roches ultramafiques et gabbroïques sont bien séparés et les échantillons provenant des gabbros sont regroupés. Encore un fois, les gabbros semblent être contrôlés par la cristallisation du plagioclase et du pyroxène et les roches ultramafique, par l'olivine et la chromite.

3.1.2.2. Les éléments traces

Nous pouvons immédiatement constater, sur la coupe D3 (figure 3.5) un enrichissement en Ni, en Cu, en Co, en Au, et en EGP à l'endroit de la pegmatite. Ces pics correspondent aussi à une augmentation des teneurs en S (S= 1,61% à 5,31%) lequel se traduit par la présence de sulfures à l'endroit de l'horizon minéralisé. Dans cette coupe le Cr et le Ni sont compatibles avec l'olivine et montrent un patron de distribution similaire au MgO et des conclusions analogues. Par contre le contenu en chrome diminue dans la pegmatite peut-être par la cristallisation d'une phase chromifère. Les teneurs en nickel augmentent par la présence de sulfures dans cet horizon. De telles anomalies s'expliquent aisément par la forte affinité des EGP, du Cu et du Ni avec le soufre.

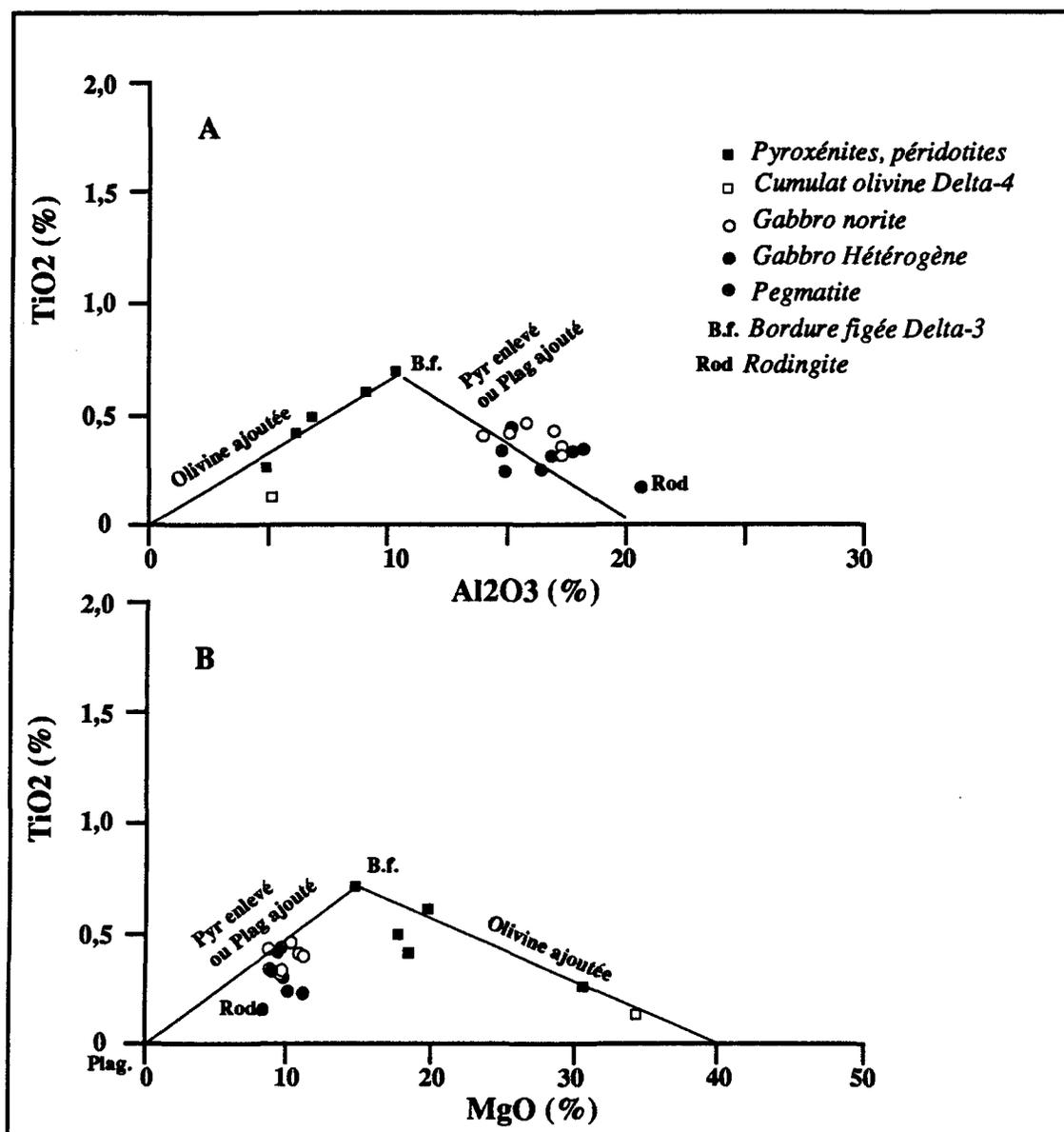


Figure 3.4: Diagrammes binaires A) TiO_2/Al_2O_3 et B) TiO_2/MgO montrant la position des échantillons prélevés dans les diverses unités intrusives décrites de l'intrusion différenciée Delta-3.

Pour ce qui est des rapports inter-éléments, le Ni/Cu reste stable sauf à un endroit dans le gabbro-norite (éch.8), le Pd/Pt augmente graduellement jusqu'à la pegmatite et chute tout de suite après la pegmatite pour ensuite augmenter dans les gabbros hétérogènes supérieurs.

3.1.2.3. Les éléments du groupe des terres rares

Les teneurs en éléments des terres rares normalisées aux chondrites (Taylor et Gorton, 1977) pour les différentes unités de roches échantillonnées dans l'intrusion Delta 3 se trouvent à la figure 3.6. L'unité ultramafique inférieure qui regroupe la pyroxénite basale, la péridotite et le cumulat à pyroxène sus-jacent, présente des profils plats ((La/Yb)_n: éch. 1=1,15, éch. 2 et 3= 1,52 et 1,69; éch. 5=1,22) normale pour ce type de roche. Cependant un des échantillons de péridotite possède une anomalie positive en europium qui peut refléter des phénomènes d'altération (la serpentinisation; Sun et Nesbitt, 78) ou de migration par des fluides hydrothermaux (Kuo et Crocket, 1979). Les gabbros-norites présentent aussi des profils plats ((La/Yb)_n=1.52 à 1,92) avec une anomalie positive en europium indiquant la cristallisation du plagioclase. Les échantillons de pegmatite présentent des profils similaires aux gabbro-norites (La/Yb)_n=1,52 et 1,6).

Le gabbro hétérogène présente des patrons similaires sauf qu'ils sont légèrement déprimés en terres rares légères comparativement aux gabbros norites (gabbro hétérogène: (La/Yb)_n=1,0 à 1,75) et un contenu en terres rares plus faible. Le gabbro rodingitisé (éch. 19) est déprimé en toutes les terres rares reflétant des phénomènes de mobilisation par des fluides tardifs ((La/Yb)_n=1.28).

Dans l'intrusion du Skaergard, il a été observé que les premiers cumulats à plagioclase montrent un pic positif en Eu, les cumulats intermédiaires ne montrent pas d'anomalies en Eu et les gabbros différenciés tardifs montrent des pics négatifs en Eu (Kuo et Crocket, 1979).

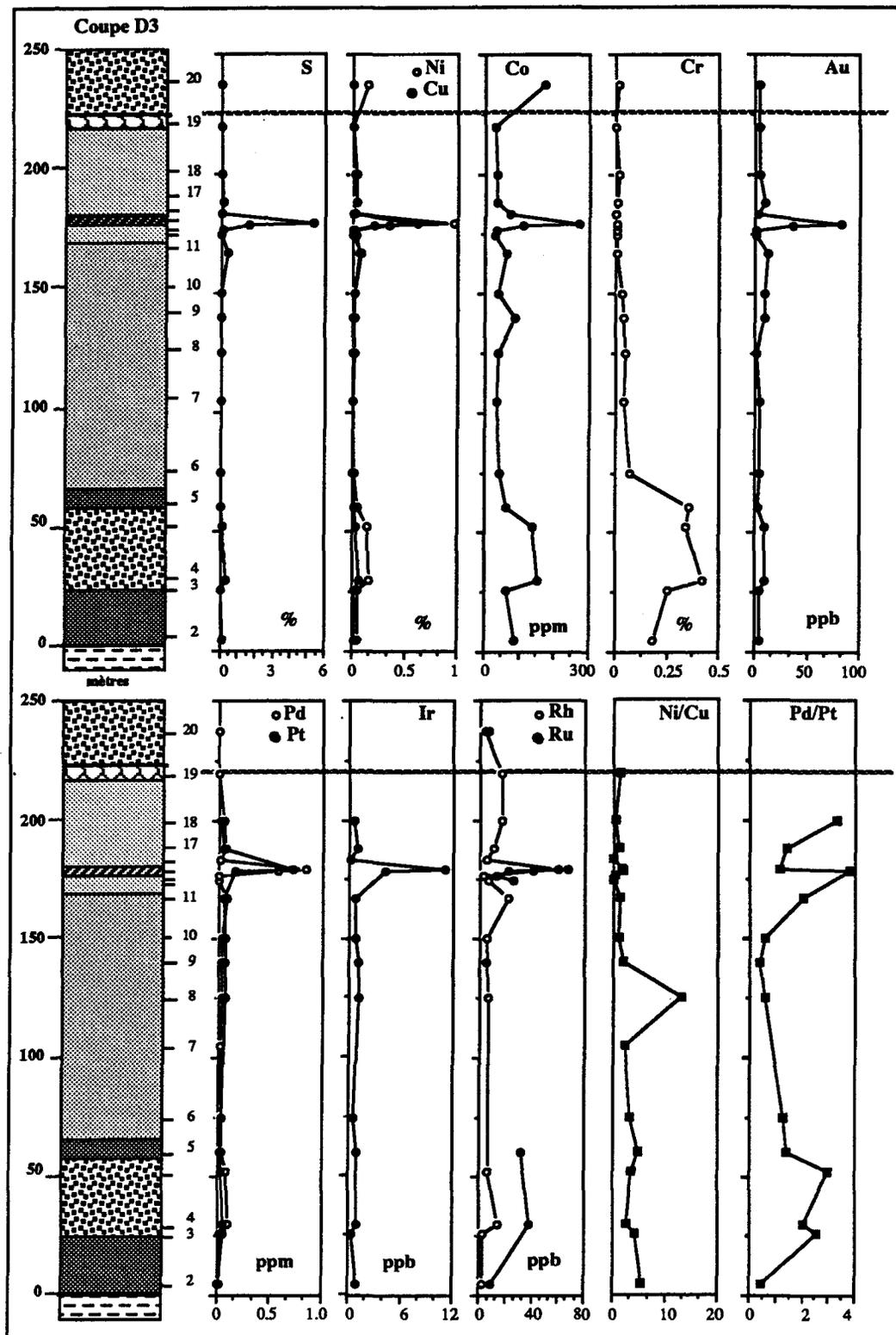


Figure 3.5: Colonne géologique de la partie sud de l'intrusion Delta 3 (coupe D3) accompagnée des variations pour certains éléments traces et économiques.

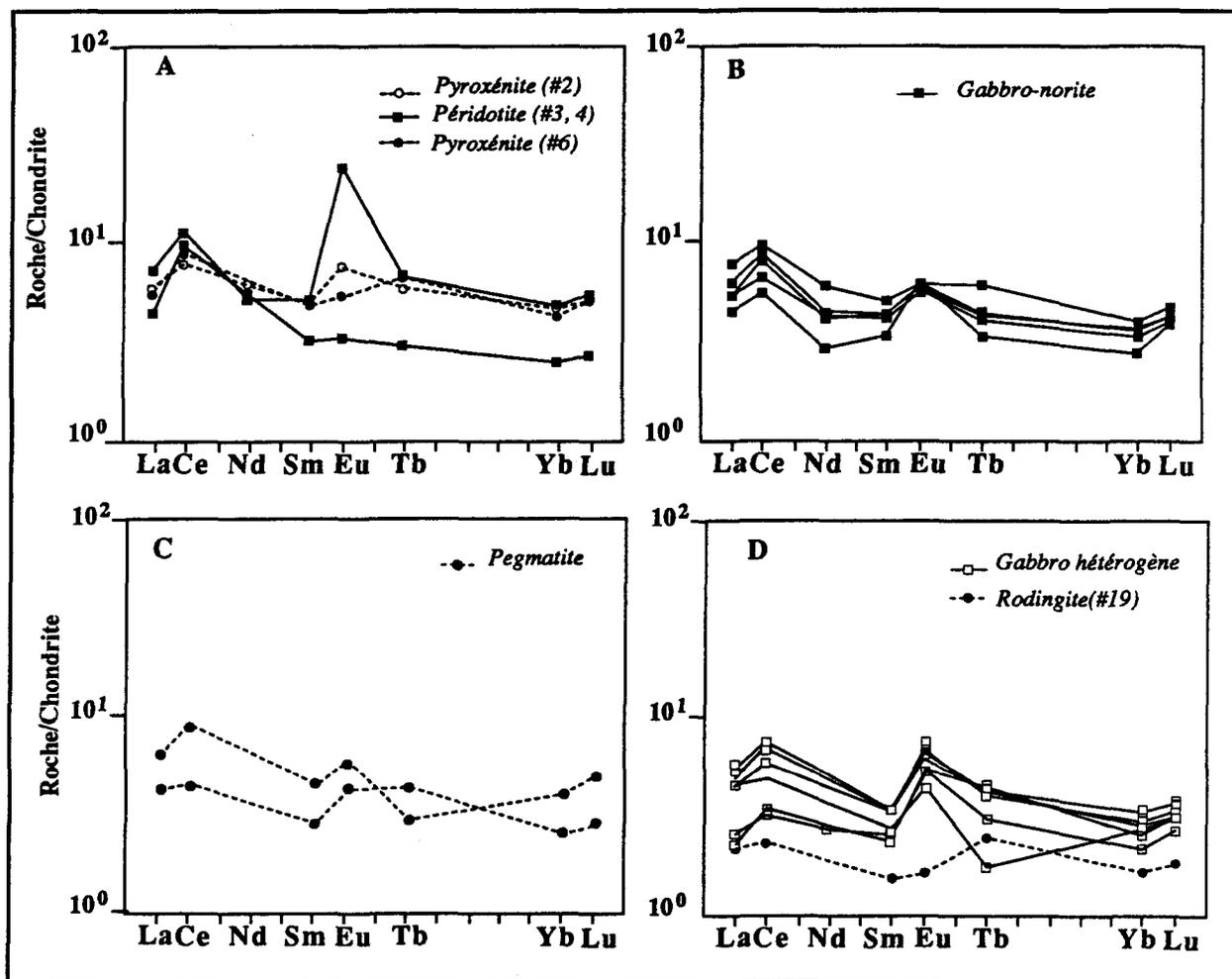


Figure 3.6: Diagrammes qui représentent les teneurs en terres rares normalisées aux chondrites pour les diverses unités échantillonnées de l'intrusion Delta 3: A) les roches ultramafiques inférieures; B) le gabbro-norite; C) la pegmatite minéralisée; D) le gabbro hétérogène et la rodingite.



Planche 8: Photographie d'un affleurement (vue vers l'est) qui montre le contact entre l'intrusion différenciée Delta-3 (à droite de la photo) et l'intrusion ultramafique Delta-4. La bordure figée (à l'endroit de la main) est chloritisée.

Planche 9: Photographie de la tranchée de l'indice 3.1a avec vue vers le nord.

Aussi les premiers cumulats auront un contenu en terres rares total et un rapport $(La/Yb)_n$ inférieur aux roches marginales inférieures tandis que les cumulats situés plus haut dans la séquence intrusive auront un contenu en terres rares et un rapport $(La/Yb)_n$ plus élevé que les roches marginales. Dans le cas de l'intrusion Delta 3 les teneurs en terres rares indiquent que la séquence gabbroïque et la pegmatite constituent des cumulats peu évolués contrôlé par la cristallisation fractionnée du plagioclase et que la pegmatite ne fut pas formée par un magma plus différencié. Cependant les gabbros au-dessus de l'horizon minéralisé possède des rapports $(La/Yb)_n$ plus faible impliquant soit une cristallisation précoce soit une altération par des fluides hydrothermaux.

3.2. La minéralisation Ni-Cu-EGP

Des pegmatites gabbroïques sont communes dans la plupart des intrusions différenciés (Irvine, 1974; McBirney et Noyes, 1979) et ne montrent pas nécessairement d'associations systématiques avec des concentrations en EGP. Dans le gabbro hétérogène du Delta 3, il existe de nombreuses poches de pegmatites qui ne recèlent aucune valeurs élevées.

Afin d'étudier la minéralisation contenue dans l'intrusion Delta 3, trois indices (indices 3.1a, 3.1b et 3.2) ont été échantillonnés en effectuant des coupes perpendiculaires à la minéralisation. Ces indices sont localisés sur la figure 3.1.

3.2.1. L'indice 3.1a

L'indice 3.1a a été découvert au cours de l'été 1984 lors d'un relevé géologique sur les divers indices minéralisés de la partie centrale de la Fosse de l'Ungava (Giovenazzo, 1985) et correspond au site du "Joe's Boulder" des cartes de Cominco (Samis: 1977, 1978, 1979 et 1980). Il forme un mince horizon à grains grossiers, parfois pegmatitique et plus riche en pyroxène qui se suit sur environ 400 mètres de part et d'autre de la tranchée.

Il fut ponctuellement échantillonné à 4 endroits: a) 60 mètres plus à l'ouest (#1) de la tranchée; b) la tranchée (#2); c) 235 mètres plus à l'est (#3); d) 335 mètres plus à l'est (#4) de la tranchée (figure 3.1). Les teneurs en éléments économiques sont présentées au tableau 4, les éléments majeurs, au tableau 3. La minéralisation se situe près de la base du gabbro hétérogène, à 205 mètres au nord de la bordure figée inférieure du filon-couche Delta 3, et 107 mètres au-dessus de la première apparition du plagioclase dans cette intrusion.

Au cours de l'été 1986, nous avons effectué une coupe nord-sud de cet indice (figure 3.7; Picard et Giovenazzo, sous presse) à l'endroit de l'ancienne tranchée. Cette coupe débute 186 mètres au-dessus de la bordure figée inférieure (épaisseur réelle calculée en fonction d'un pendage de 55° vers le nord). Ainsi les caractéristiques pétrographiques et minéragraphiques de l'indice 3.1a et de son environnement sont les suivantes:

De 186 à 201 mètres (éch. A et B), nous nous situons au sommet de l'horizon de *gabbro-norite*. Celui-ci contient 1 à 2% de sulfures ($\phi = 0,1$ à 0,5mm) qui sont surtout concentrés dans des amas de serpentine et d'amphibole, avec lesquels ils semblent contemporains. Ces sulfures sont constitués de pyrrhotite, de pentlandite en flammes d'exsolution dans la pyrrhotite ou en grains isolés, et de chalcopyrite localisée entre les cristaux de plagioclase, dans les clivages des pyroxènes et dans des microveinules.

A 201 mètres, l'apparition d'un litage magmatique irrégulier marque le début de la séquence de gabbro lité hétérogène. De 201 à 204 mètres (éch. C à F), l'affleurement présente une patine d'altération hématisée. Ce gabbro hétérogène contient des amas (10%) de trémolite et serpentine, similaires à ceux observés dans les gabbros-norites sous-jacents. Des veinules remplies d'épidote et de trémolite possèdent une attitude sub-parallèle au litage magmatique et indiquent une certaine activité hydrothermale.

Les sulfures (1-2%) sont finement disséminés et la pyrrhotite, plus abondante, se situe dans les clivages des pyroxènes où elle est accompagnée de chalcopyrite, ou bien dans les amas d'amphibole où elle est associée avec de la pentlandite et de la chalcopyrite.

A 202.5 mètres (éch. D), ce gabbro contient quelques cristaux de hornblende verte et des lamelles isolées de biotite brune forment des phases de remplacement des reliques de pyroxène et de plagioclase. Les sulfures (5-15%) sont situés entre les reliques de plagioclase et de pyroxène ou dans les clivages des pyroxènes (planche 10). Ils sont composés de chalcopyrite (sulfure le plus abondant), de pyrrhotite, de pentlandite, de pyrite, et de covellite. La pentlandite est en partie remplacée par de la violarite. La chalcopyrite se retrouve en bordure des grains de pyrrhotite et de pentlandite où elle remplace cette dernière ainsi que dans des veinules tardives. D'une manière générale, les sulfures qui se trouvent entre les reliques de plagioclase montrent des contacts réactionnels caractérisés par des bordures dentelées, suggérant le dépôt d'un liquide sulfuré lors de la cristallisation des silicates. Enfin de l'ilménite et du leucoxène se concentrent parfois autour des cristaux de pyroxène.

A 203.5 mètres, l'échantillon E est similaire aux échantillons précédents quoique les sulfures (8-10%) sont moins abondants. Un petit grain sub-idiomorphe (0,01mm, planche 11) de tellure de palladium et platine (Kotulskite?) a été identifié comme inclusion partiellement comprise dans de la pentlandite au contact avec de la pyrrhotite

A 204 mètres, l'échantillon F contient des minces horizons à grains fins ($\epsilon < 5\text{cm}$), constitués d'un assemblage de zoisite, d'albite, de serpentine (entre les cristaux de zoisite) et de sulfures, d'attitude sub-parallèles au litage magmatique qui correspondent à des veines formées par des processus hydrothermaux. Il contient aussi des petits cisaillements millimétriques remplis de zoisite et de trémolite avec environ 15% de sulfures disséminés.

Dans la roche, des grains d'ilménite sont entourés d'une auréole de leucoxène partiellement remplacée par de la pyrrhotite et on observe une intense trémolisation en présence des sulfures et des grains de chalcopyrite. La chalcopyrite est le sulfure le plus abondant et se trouve surtout concentrée dans des veinules (2mm) où elle est associée au quartz et à l'apatite. Des traces de magnétite et des grains isolés de sphalérite sont également présents.

De 204 mètres au contact avec le Delta 4 on retrouve du gabbro hétérogène fortement lité (éch. G et H) caractérisé par des plagioclases automorphes à tendance plus albitique, des clinopyroxènes et des orthopyroxènes poécilitiques. Il contient des lentilles pegmatitiques de faibles dimensions non minéralisées. Toutefois, il ne possède que de faibles quantités de sulfures disséminés et, de ce fait même, peu d'EGP.

La colonne géologique issue d'une coupe qui traverse l'indice 3.1a, accompagnée des variations de quelques éléments traces obtenus lors de l'analyse des divers échantillons prélevés (tableaux 3 et 5) est placée à la figure 3.7. Le gabbro-norite, représenté par les échantillons A et B, présente un contenu similaire en tous les éléments. Lorsqu'on se situe dans le gabbro hétérogène avant la tranchée (éch. C) les teneurs en Fe, Co et Ni augmentent, les teneurs en Cr et Cu chutent, et les EGP et l'Au restent stables.

Dans la tranchée (éch. D, E et F) les teneurs en Co, en Ni, en Cu, en Au et les EGP augmentent et correspondent à une augmentation de la teneur en soufre. Par la suite les teneurs de tous ces éléments diminuent. Le contenu en chrome peut être corrélée à la quantité d'orthopyroxène dans les roches, les gabbros-norites étant plus riches en ce minéral. Les autres éléments sont contrôlés par la présence d'une phase sulfurée. Le rapport Ni/Cu augmente avant la pegmatite puis diminue par la suite, le rapport Cu/Pd augmente aussi avant la pegmatite, diminue au niveau de cette dernière puis augmente par la suite.

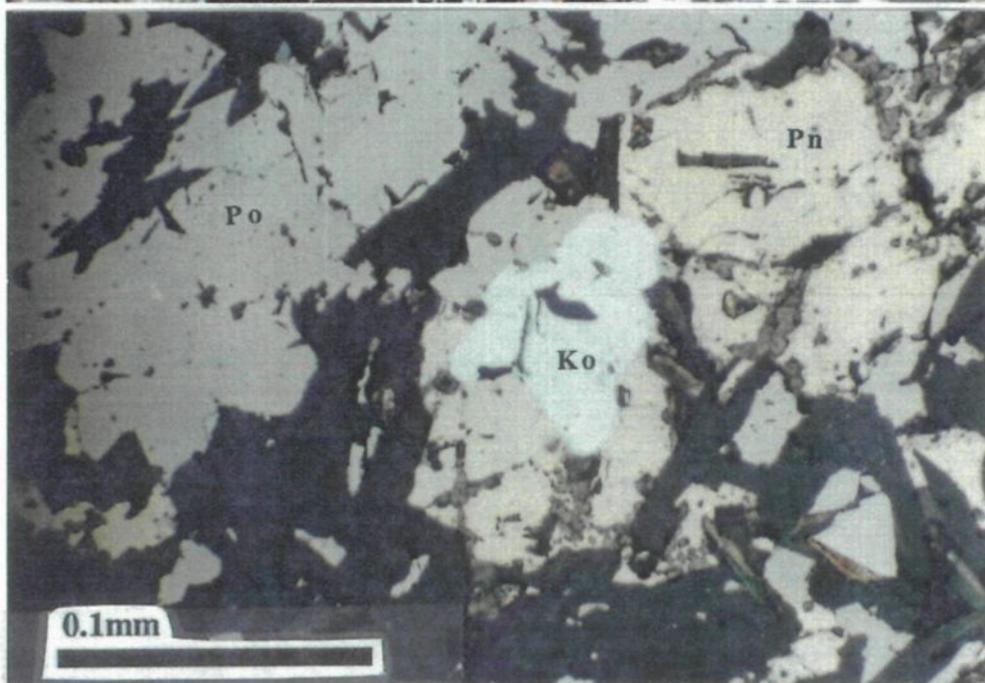
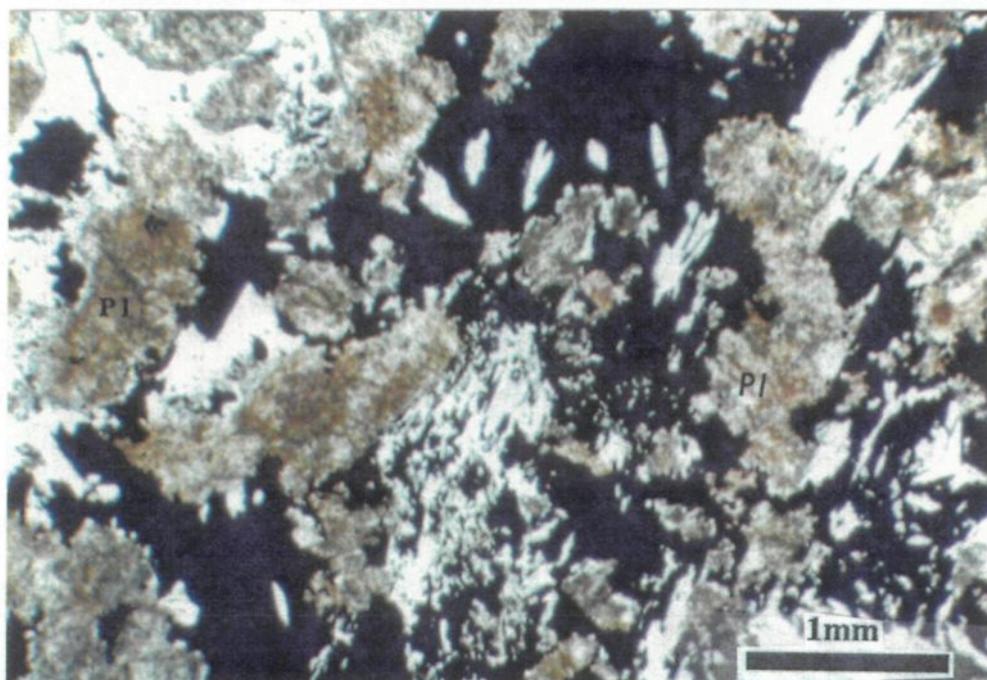


Planche 10: Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5), de l'échantillon D provenant de l'indice 3.1a (tranchée). Les plagioclases (Pl) sont intensément altérés en zoïsite, en albite et localement en biotite et en oxydes de fer. Les sulfures (en noir) occupent une position interstitielle aux silicates et les remplacent par endroits.

Planche 11: Photomicrographie en lumière réfléchie (x40) du gabbro minéralisé provenant de l'indice 3.1a (éch.D). Un minéral d'EGP (ko=kotulskite?) est en inclusion partielle dans de la pentlandite (Pn) au contact avec de la pyrrhotite (Po).

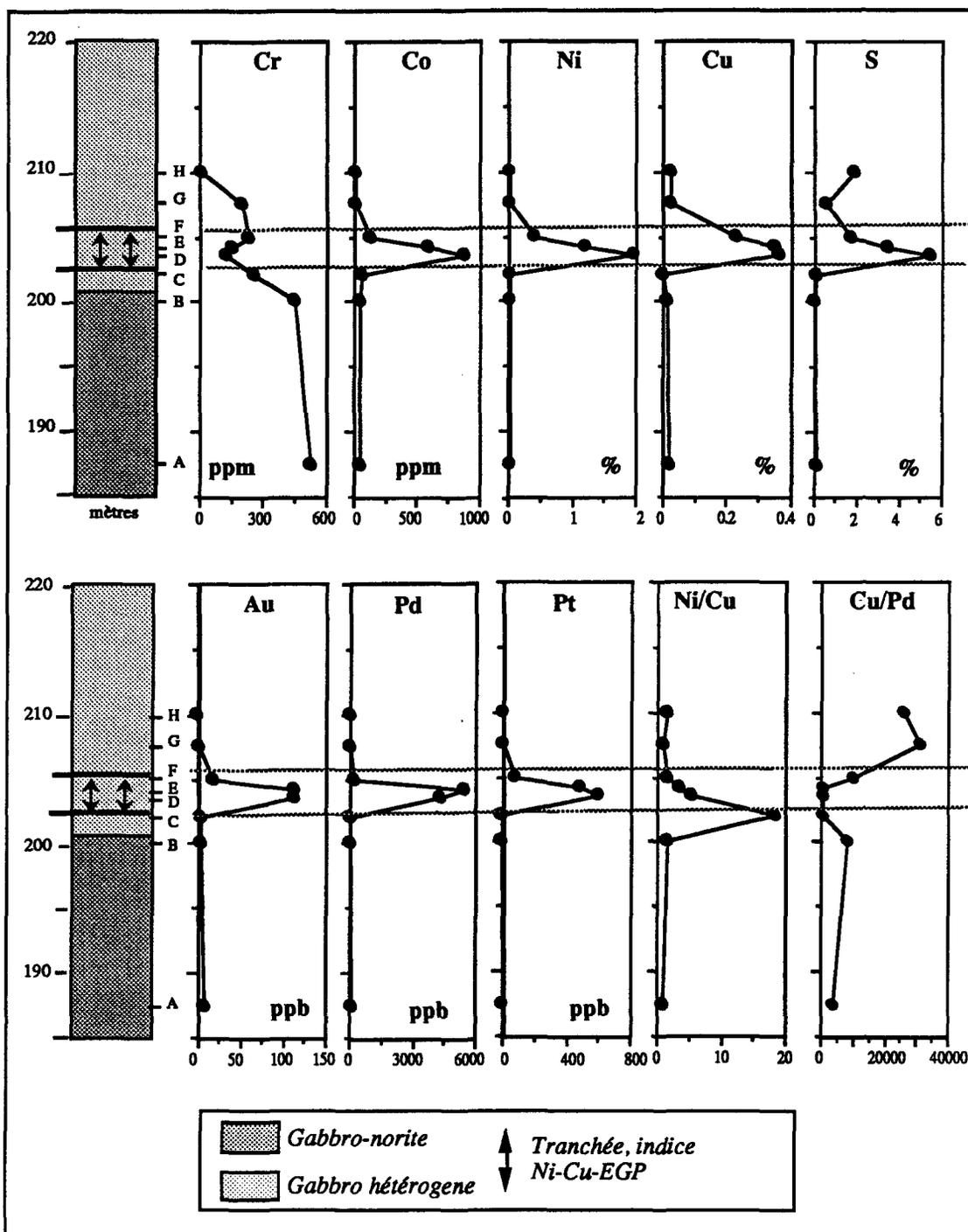


Figure 3.7: Colonne géologique de l'indice minéralisé 3.1a (tranchée) accompagnée des variations en éléments traces en fonction de la stratigraphie.

3.2.2. L'indice 3.1b

L'indice 3.1b (figure 3.8, tableaux 1 et 2) est situé le long de la coupe D3 déjà présentée. Il représente la continuité vers l'est de l'indice 3.1a et son environnement immédiat est similaire. Il est situé 6 mètres plus haut que le début du gabbro hétérogène, dans un gabbro pegmatitique (éch.14, 15). Les sulfures sont répartis entre les silicates et forment 15% de la roche (planche 12). Ils sont constitués de pyrrhotite en grandes plages polycristallines ($\phi < 5\text{mm}$), de pentlandite en amas granulaire fracturés ($\phi < 3\text{mm}$) ou en flammes d'exsolution dans la pyrrhotite et de chalcopyrite en amas ou en grains xénomorphes sur le rebord des autres grains de sulfures ou encore disséminés dans les silicates .

Les gabbros de l'encaissant inférieur (éch.13) sont traversés par des veinules de quartz, d'albite et de chalcopyrite, bordées de part et d'autre d'un liseré d'altération en séricite témoignant d'une interaction fluide-roche. L'encaissant supérieur (éch.16) est également formé de gabbro hétérogène, composé de reliques de plagioclase (45-50%), partiellement inclus dans des cristaux sub-automorphes d'orthopyroxène (10%) et de clinopyroxène (30%), avec comme phases accessoires un peu de leucoxène et de chalcopyrite.

Les profils géochimiques en fonction de la position stratigraphique sont illustrés à la figure 3.8. Comme dans l'indice 3.1a, la pegmatite (éch. 14 et 15) est caractérisée par un net enrichissement en S, en Ni, en Cu, en Co, en Au, en Pd et en Pt, et une diminution du contenu en Cr. Les teneurs en Rh, en Ru, et en Os sont plus importantes au niveau de l'horizon minéralisé et l'iridium est plus abondant dans l'échantillon #17 qui forme l'encaissant supérieur. Il est intéressant de noter que cet élément est anticorrélé au Cr, dont le teneur diminue à cet endroit.

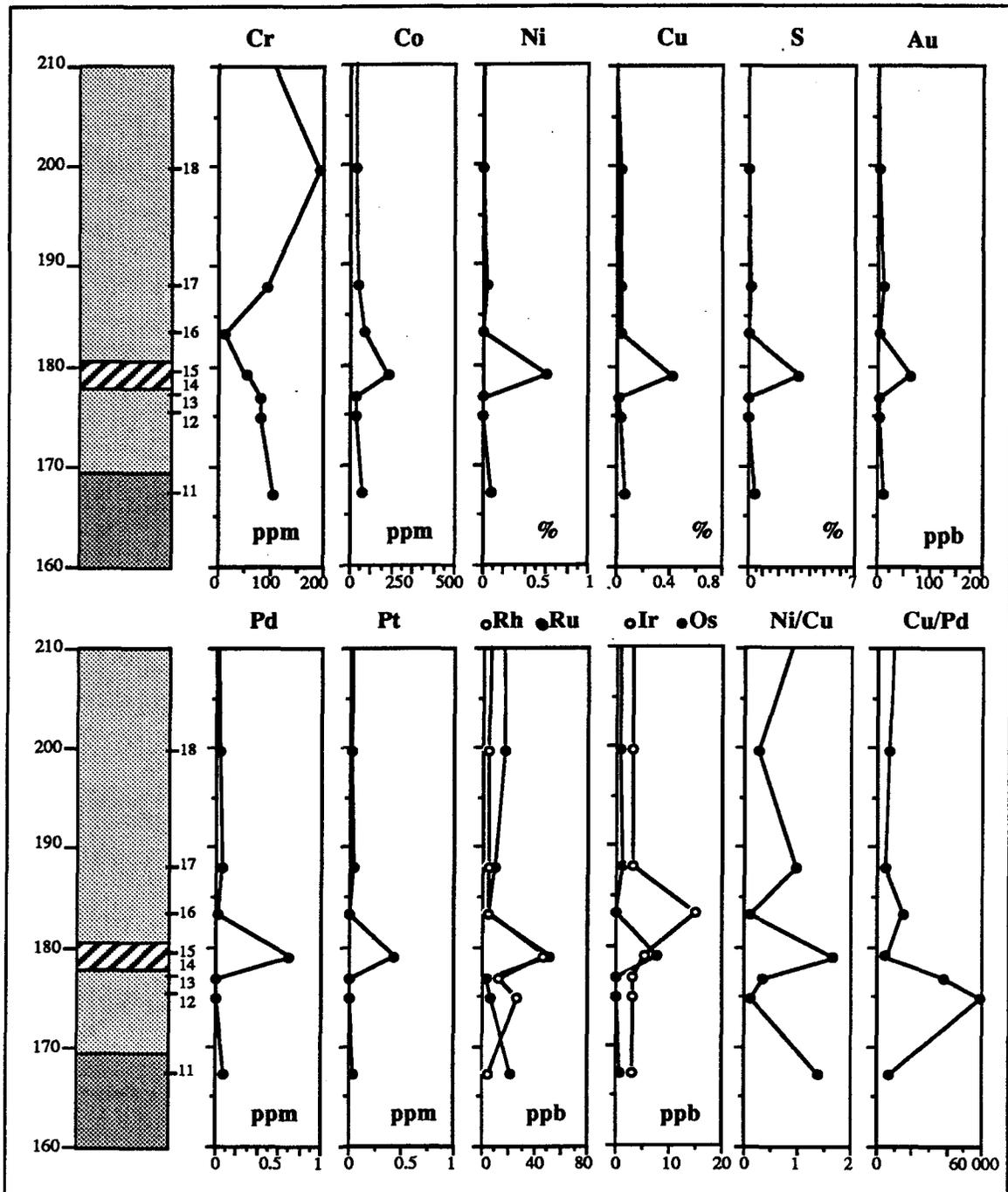


Figure 3.8: Colonne géologique de l'indice minéralisé 3.1b accompagnée des variations en éléments économiques en fonction de la stratigraphie.

Les rapports inter-éléments montrent des profils similaires à ceux obtenus dans l'indice 3.1a. Le rapport Ni/Cu est variable dans cette colonne avec une augmentation au niveau de la pegmatite et le rapport Cu/Pd diminue drastiquement au niveau de la pegmatite.

3.2.3. L'indice 3.2

L'indice 3.2 (figure 3.9, tableau 4) est localisé à 1.5 kilomètres plus à l'est de l'indice 3.1a dans un horizon similaire bien que stratigraphiquement plus haut dans la séquence magmatique (figure 3.1). Il se situe seulement quelques mètres sous le contact avec l'intrusion ultramafique Delta 4. La minéralisation est contenue dans une pyroxénite à plagioclase à grains grossiers.

La partie inférieure de l'indice (éch. 1) est formée de gabbro leucocrate hétérogène dont l'association minéralogique est composée de reliques automorphes de plagioclase (50-55%, $\phi < 1\text{mm}$, Zo + Ab), de cristaux poécilitiques de clinopyroxène (30%, $\phi < 2\text{mm}$, Di + Tr) et des cristaux d'orthopyroxène (15%, $\phi < 1\text{mm}$, Ba + Tr + Ch) ainsi que de traces de biotite verte et d'apatite secondaire. Il présente également 1% de pyrrhotite et de chalcopyrite disséminés, et quelques grains interstitiels d'ilménite transformés en leucoxène. La partie supérieure de l'indice n'affleure pas.

A l'indice proprement dit (éch.2 à 6, planche 13), la roche est une pyroxénite composée de cristaux automorphes d'augite (50%, $\phi < 5\text{mm}$, Tr+ Di), d'orthopyroxène (10-30%, $\phi \leq 3\text{mm}$, Ba + Tr), de plagioclase (20%, $\phi \leq 1\text{mm}$, Zo + Ab) et de quelques cristaux xénomorphes de hornblende verte et brune, de biotite verte et brune et de muscovite en remplacement des pyroxènes.

Les sulfures sont localisés entre les cristaux de pyroxène avec lesquels ils ont réagi pour former une mince bordure d'amphibole microcristalline (planche 13).

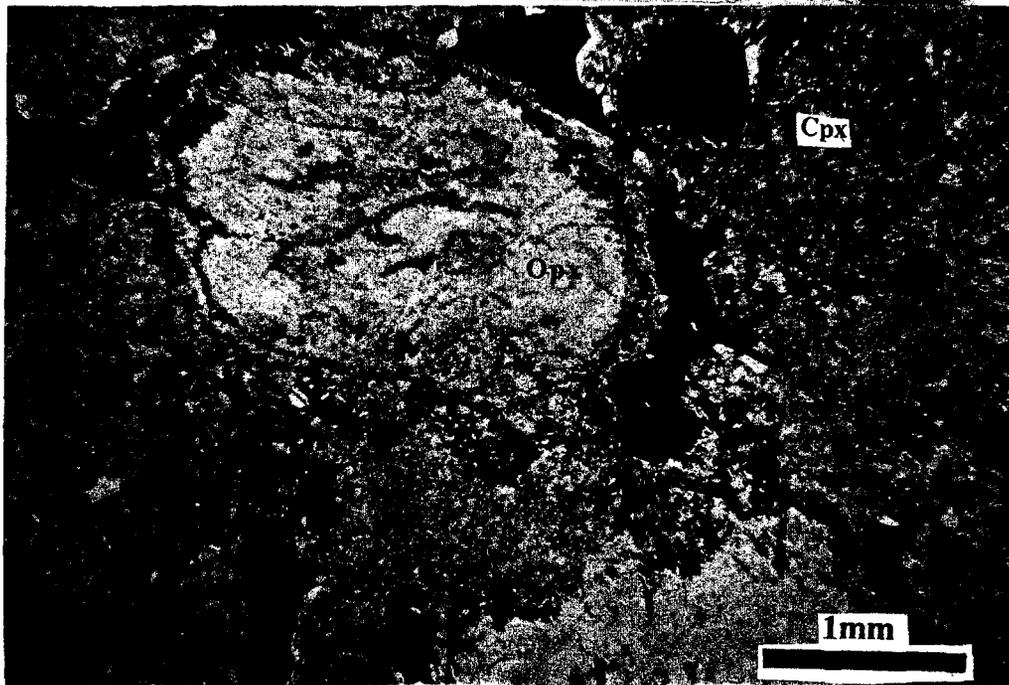
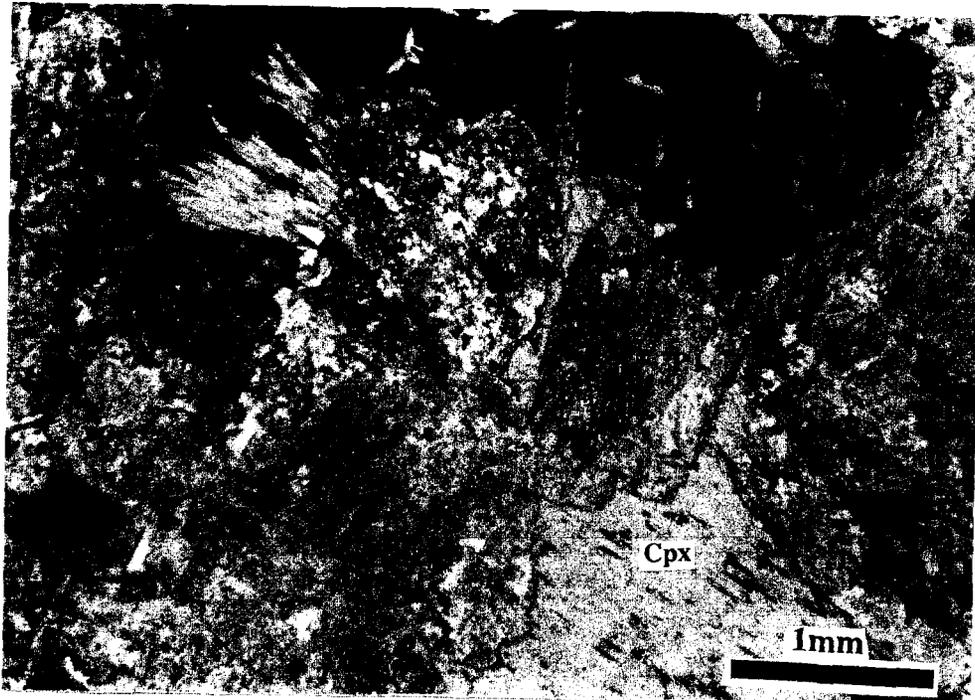


Planche 12: Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) de la pegmatite minéralisée de l'indice 3.1b (éch. 15, coupe D3). Les sulfures se retrouvent sous forme d'amas entre les cristaux de pyroxène (Cpx) et de plagioclase (Pl).

Planche 13: Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5), de l'échantillon 4 appartenant à l'indice 3.2. Les sulfures occupent une position interstitielle aux cristaux d'orthopyroxène Opx) et de clinopyroxène (Cpx).

Ils sont constitués de pentlandite, de pyrrhotite, de chalcopyrite, de cubanite, de covellite, de bornite et de breithauptite (NiPdS). Les grains de pyrrhotite sont partiellement transformés en marcassite. La pentlandite forme des flammes d'exsolution dans la pyrrhotite ou des amas granulaires, lesquels sont partiellement transformés en violarite. La chalcopyrite est associée aux autres sulfures avec lesquels elle est contiguë, ou bien colmate des micro-fractures. La partie sus-jacente à l'indice minéralisé est identique à sa partie basale avec en plus de la biotite verte. Le contact avec l'intrusion ultramafique Delta 4 n'a pas été observé.

Les profils de certains éléments traces montrent des teneurs élevées en Ni, en Co, et en S, au niveau de l'horizon minéralisé (éch, 2 à 5). Le Cu montre une diminution de teneur au niveau de la minéralisation et donc présente un profil inverse aux autres éléments. De la base au sommet de la pyroxénite minéralisée, on observe une augmentation des teneurs en Au, en Pd en Pt, en Rh et en Ir. Les cumulats à olivine à la base de l'intrusion Delta-4 (éch. 7 et 8) contiennent aussi des teneurs élevées en EGP qui se corrèlent avec les contenus en S, en Ni et en Co. Ils sont cependant anticorrélées avec les teneurs en Cr. Les rapports Ni/Cu augmentent dans l'horizon minéralisé reflétant bien l'augmentation en Ni et la diminution en Cu. Le rapport Cu/Pd est plus élevé à la base (éch.2) de cet horizon minéralisé qu'au sommet (éch.4).

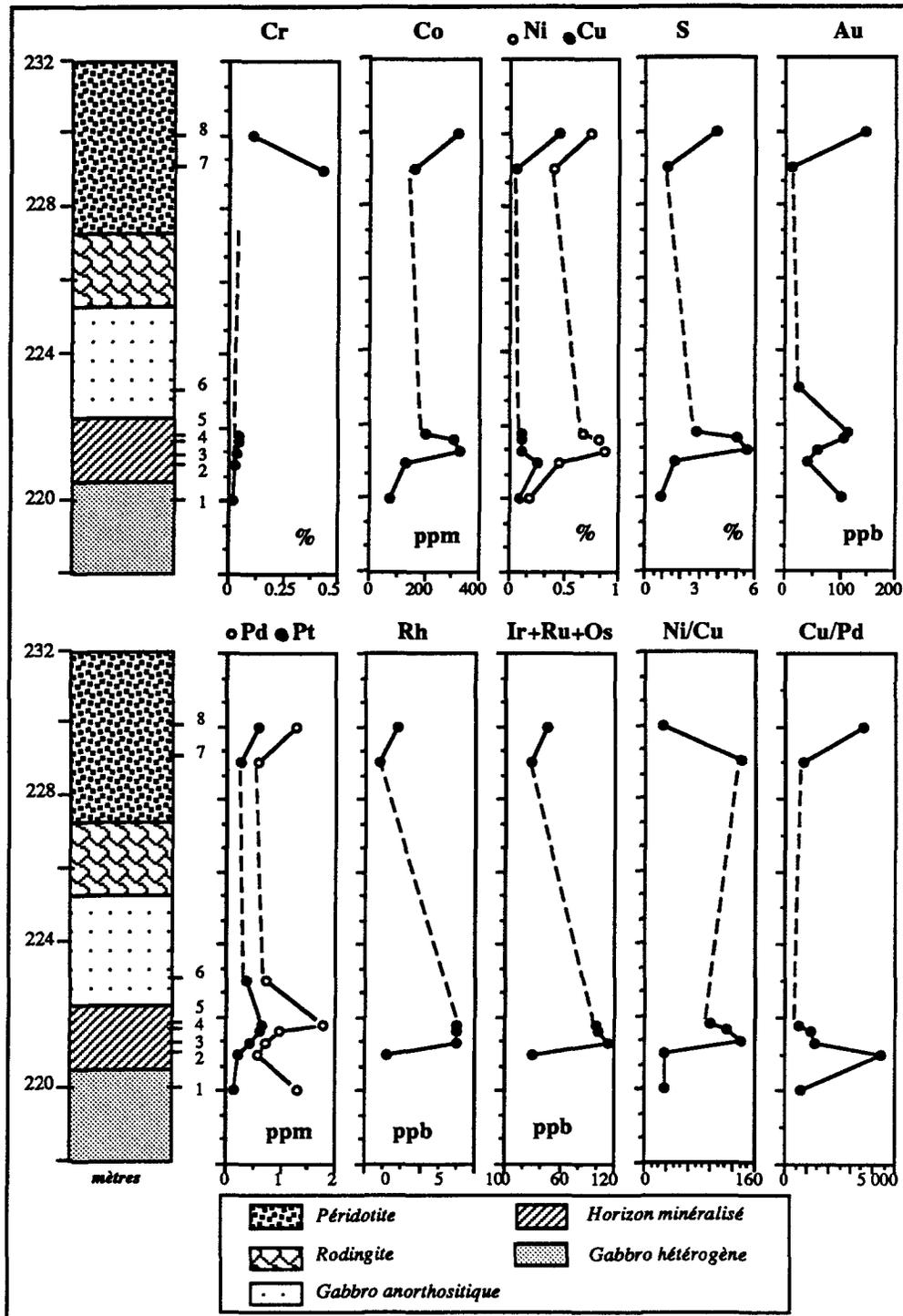


Figure 3.9: Colonne géologique de l'indice minéralisé 3.2 accompagnée des variations en éléments économiques en fonction de la stratigraphie.

3.2.4. Sommaire des observations

La minéralisation dans le flanc sud du filon-couche Delta 3 est limitée à un mince horizon pegmatitique localisé à l'intérieur du gabbro hétérogène. Aux indices 3.1a et 3.1b, cette minéralisation est associée à des lentilles de gabbro pegmatitique ou à grains grossiers contenant jusqu'à 15% de sulfures, situées juste au-dessus de la première apparition du litage magmatique. Cet horizon est parfois très difficile à repérer en raison de sa faible épaisseur (entre 0,5m et 1m). A l'indice 3.2 situé plus à l'est, la minéralisation est localisée quelques mètres sous l'intrusion Delta 4. Les principales caractéristiques de cette minéralisation sont les suivantes:

1) Le contenu en EGP semble directement proportionnel au contenu en nickel, en cuivre et en soufre. Il est relié à la présence de phases sulfurées interstitielles aux silicates;

2) Il n'y a pas d'enrichissement en élément incompatible qui pourrait nous indiquer que la roche hôte résulte de la cristallisation à partir d'un magma plus différencié. Il y a cependant une baisse des teneurs en Cr à l'indice même;

3) Les silicates primaires sont intensément altérés et il y a présence de veines et veinules de quartz, plagioclase, zoisite et amphiboles avec des traces de chalcopryrite qui peuvent être reliés à la circulation d'un système hydrothermal.

Sur la figure 3.10, nous avons dressé un histogramme qui illustre la distribution des EGP en fonction de leur position dans l'horizon minéralisé depuis la coupe D2, jusqu'à l'indice 3.2 en utilisant l'ensemble et la moyenne des résultats analytiques obtenus (tableau 5). Ainsi, on remarque que le contenu en EGP reste relativement élevé avec toutefois d'importantes variations d'un bout à l'autre.

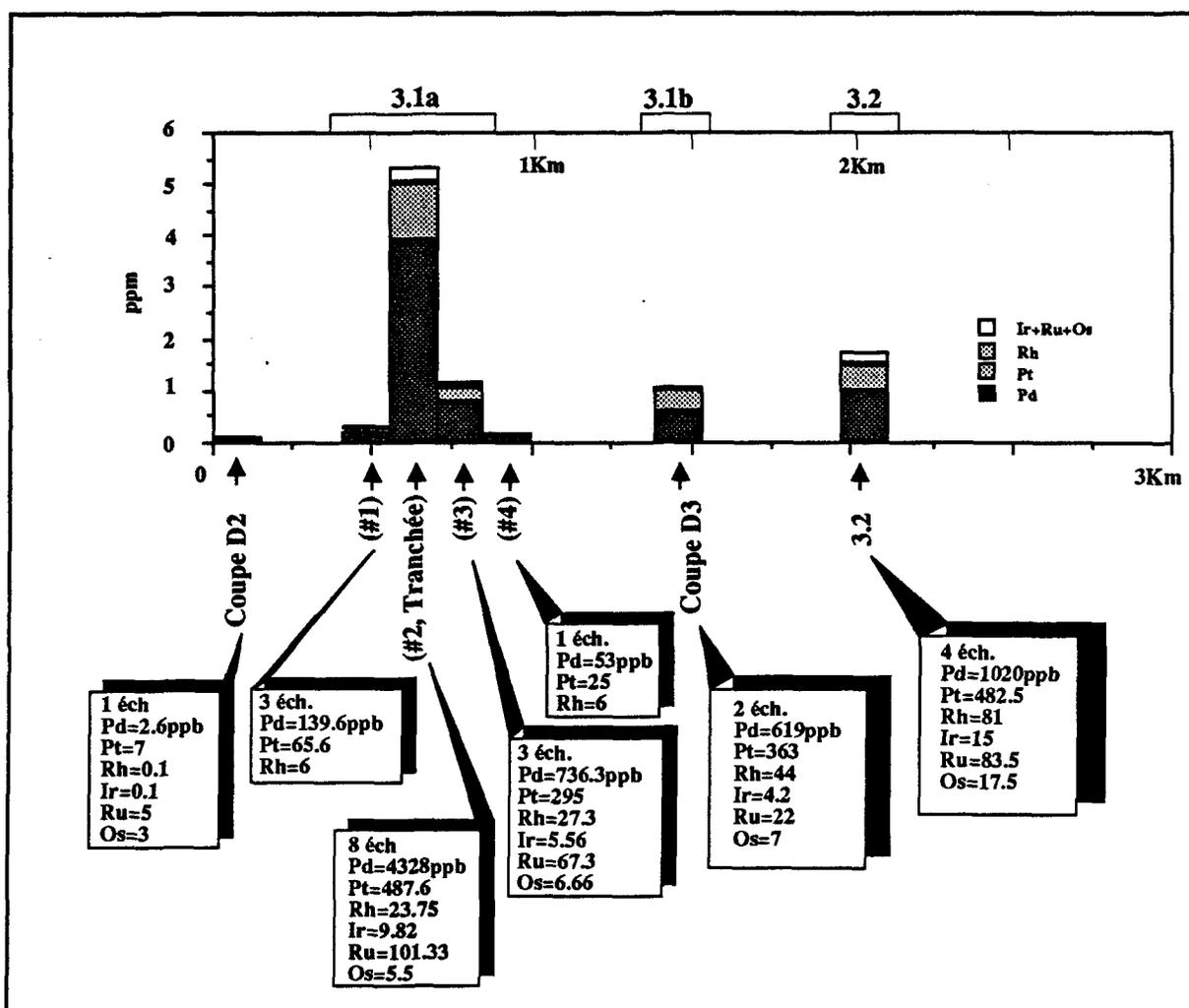


Figure 3.10: Histogramme montrant la distribution moyenne des EGP aux différents indices situés le long de l'horizon minéralisé stratiforme.

La minéralisation contient des sulfures qui présentent trois habitus: a) des sulfures interstitiels aux reliques de plagioclase et de pyroxène composés d'amas de pyrrhotite, pentlandite et chalcopyrite; b) des sulfures situés dans les clivages des pyroxènes composés de pyrrhotite et de chalcopyrite; c) des veinules tardives de chalcopyrite.

La présence de veines millimétriques remplies d'amphiboles et/ou d'épidote et de serpentine, de veines de quartz et de plagioclase et de veinules de chalcopyrite tardives semblent impliquer une phase hydrothermale. De plus la présence de phases hydreuses tels la biotite et la hornblende verte dans l'horizon minéralisé suggère la circulation d'une phase fluide tardive.

3.3. Origine de la minéralisation

Afin de pouvoir établir si l'horizon minéralisé du Delta 3 peut être une minéralisation de type "Reef", nous devons considérer la distribution des EGP, du Ni et du Cu. Pendant la cristallisation de magmas mafiques/ultramafiques, l'Ir et l'Os sont enlevés avec l'olivine et la chromite tandis que le S, le Pd, le Pt et l'Au montrent des comportements incompatibles et deviennent enrichis dans les magmas fractionnés en autant que ce magma reste sous-saturé en soufre (Crocket, 1981; Keays, 1982; Brugman et al., 1987; Peach et Mathez, 1990).

Les teneurs normalisées au manteau ou chondrites.

Les teneurs en Ni, en Cu, en Au et en EGP normalisées aux valeurs mantelliques (Barnes et al., 1988) des échantillons prélevés dans les divers indices minéralisés le long de l'horizon pegmatitique, ont été placées à la figure 3.11. À première vue, les éléments Ir, Ru et Os sont beaucoup moins abondants que les éléments Rh, Pd, Pt et Au.

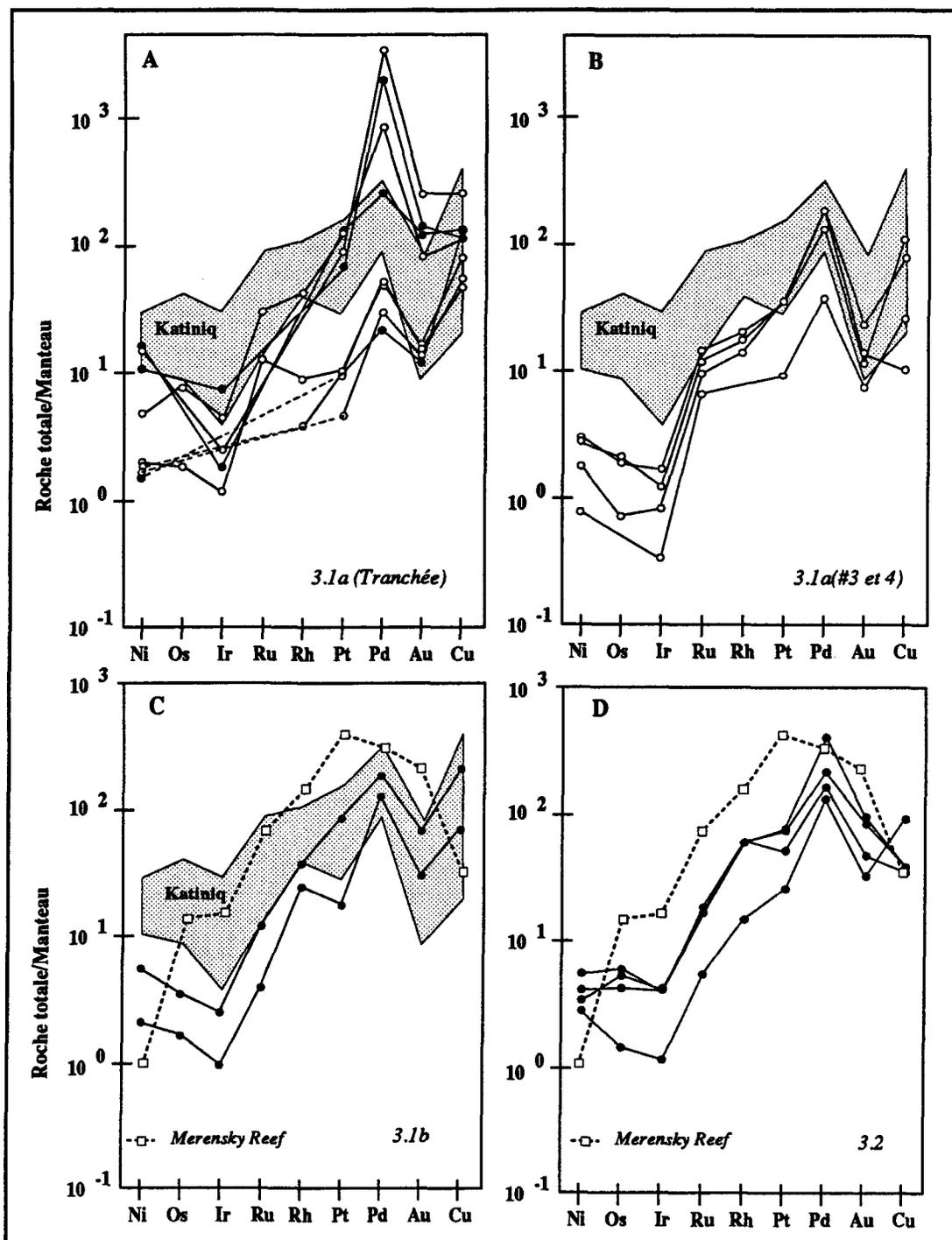


Figure 3.11: Teneurs en Ni, en Cu, en Au et en EGP normalisées au manteau pour les indices minéralisés décrits dans l'intrusion différenciée Delta 3: A) indice 3.1a (tranchée); B) indices 3.1a (sites #3 et 4); C) indice 3.1b; D) indice 3.2. Les teneurs pour le Merensky Reef sont obtenues de Steele et al, 1975 et le champ de Katiniq, de Barnes et al 1982.

Les indices minéralisés possèdent des teneurs en Ni plus élevées que les teneurs en Ir et Os contrairement à celui pour le Merensky Reef (Steele et al., 1975) qui montre un profil en “dos de chameau”. Ce dernier est caractérisé par des teneurs en EGP plus élevées que les teneurs en Ni et en Cu. Les teneurs absolues de Pd et de Pt de quelques échantillons sont similaires à des dépôts de type Reefs, mais les échantillons provenant de l’horizon minéralisé du Delta 3 ne montrent pas l’enrichissement général des EGP retrouvés normalement dans ces dépôts. Comparée avec le gisement de Katiniq (3.11b), la minéralisation dans le Delta 3 possède des contenus similaires en Pd, en Pt, en Au et en Cu mais est distinctement plus pauvre en Ni, en Ir, en Os, en Ru et en Rh et possède des patrons normalisés au manteau, plus fractionnés.

En prenant la moyenne des teneurs en EGP normalisées à 100% sulfures par site échantillonné (tableau 6) et en les normalisant aux chondrites (Naldrett et al, 1981), nous remarquons que chaque indice présente un patron similaire et un contenu en EGP dans les sulfures beaucoup moins élevé que celui dans le sulfures du Merensky Reef (figure 3.12). Ils montrent des valeurs recalculées qui sont de l’ordre de 10 à 100 fois moins que ceux retrouvés dans le Merensky Reef.

Comportement des EGP lors de la cristallisation fractionnée.

Au point de vue magmatique, les teneurs en EGP, en nickel et en cuivre sont largement contrôlées par la distribution des sulfures, chromite, olivine et minéraux d'EGP dans les roches. Les effets causés par la cristallisation de l’olivine et de la chromite peuvent être estimés en joignant une ligne qui part du cumulat à olivine ou chromite jusqu’à la composition du magma parental (obtenue par la bordure figée) sur un diagramme qui utilise les rapports Pd/Ir versus Ni/Cu.

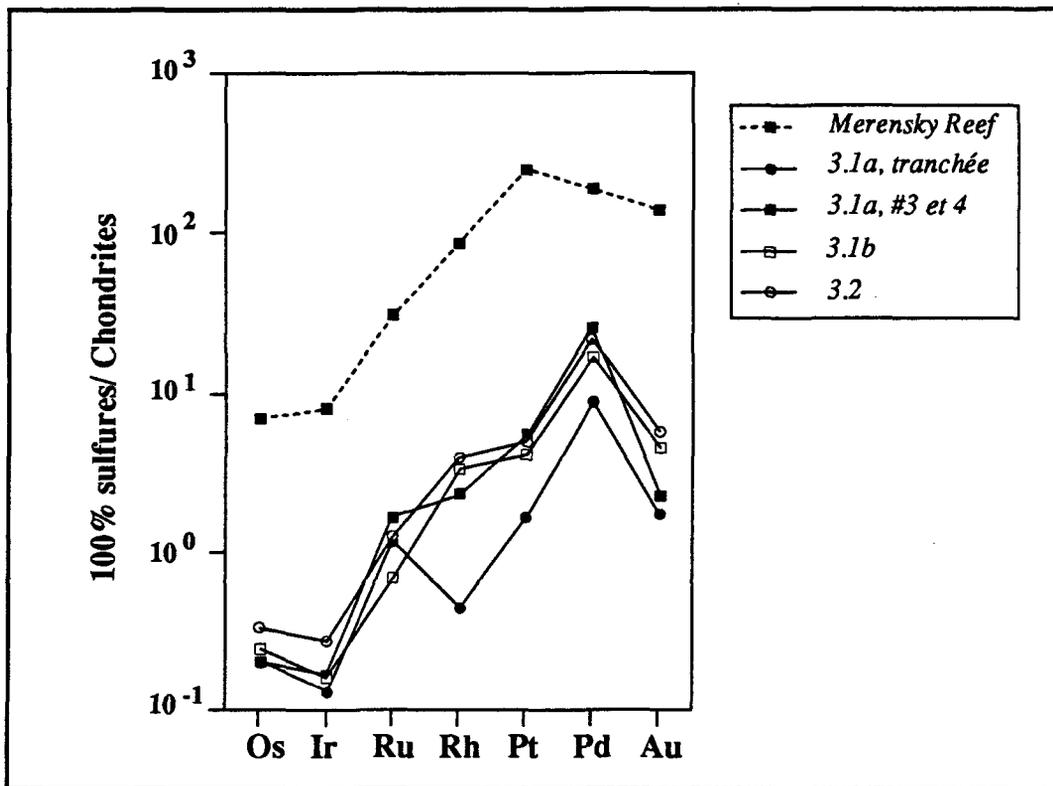


Figure 3.12: Diagramme des EGP recalculés à 100% sulfures par site échantillonné le long de l'horizon stratiforme du Delta-3. Les EGP sont normalisés aux chondrites et les profils représentent la moyenne des valeurs par indice.

Les vecteurs montrés sur ces diagrammes indiquent un changement dans les rapports causé par un enrichissement/ cristallisation en olivine ou en chromite. Ceci amène une augmentation du rapport Ni/Cu et une diminution du rapport Pd/Ir. Les champs, sur ce diagramme (figure 3.13 b) furent délimités suite à une compilation de divers types de roches ignées et de leurs minéralisations (Barnes S.-J. et al., 1988).

Sur un diagramme des rapports Cu/Ir versus Ni/Pd, nous verrons un vecteur supplémentaire qui représente l'effet causé par un fractionnement de sulfures. Si des sulfures précipitent pour la première fois dans un appareil magmatique, les rapports Cu/Ir et Ni/Pd pour les roches minéralisées seront situés dans les champs équivalents aux roches extrusives sur ce diagramme. Les roches formées à partir d'un magma qui a déjà ségrégué des sulfures, seront appauvries en EGP, donc les échantillons minéralisés seront situés au-dessus des champs pour les roches extrusives.

Les roches non-minéralisées (ultramafiques, gabbro et gabbro hétérogène) de l'intrusion Delta 3 reposent le long du vecteur qui contrôle la cristallisation de l'olivine/chromite à partir du champ des basaltes magnésiens sur le diagramme Ni/Cu versus Pd/Ir (figure 3.13b). Les teneurs en EGP, en Ni et en Cu peuvent être expliqués par une cristallisation fractionnée normale à partir d'un basalte magnésien.

La minéralisation dans le Delta 3 semble posséder des rapports Pd/Ir et Cu/Ir plus élevées que les sulfures associés avec les basaltes magnésiens (figures 3.13 a et b) Toutefois, malgré la nature pegmatitique de cet horizon, les échantillons ne tombent pas dans le champ des "Reefs". Les échantillons provenant de l'horizon minéralisé définissent un large champ partiellement localisé dans les champs des basaltes magnésiens et des intrusions différenciées.

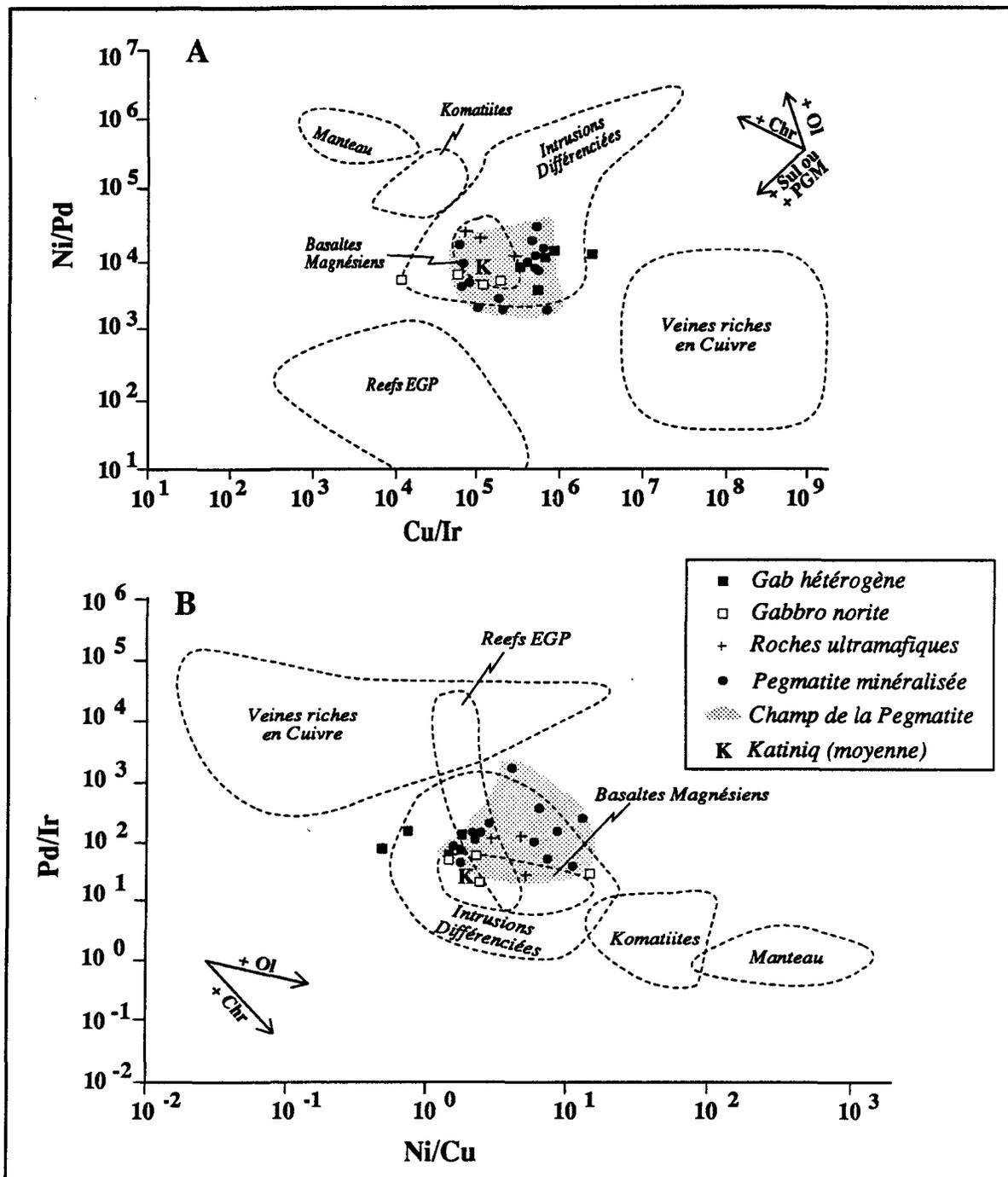


Figure 3.13. Diagrammes discriminants (Barnes et al., 1988): A) Cu/Ir versus Ni/Pd et B) Ni/Cu versus Pd/Ir pour les échantillons provenant de l'intrusion Delta 3. Les valeurs moyennes pour Katiniq (K) proviennent de Picard et Giovenazzo, sous presse (tableau 20, en annexe).

Quelques échantillons minéralisés tendent à avoir des rapports Pd/Ir plus élevés et ces derniers possèdent des anomalies distinctes en Pd sur les diagrammes normalisés au manteau. Ceci peut être attribué à la mobilité du Pd par des processus hydrothermaux.

3.4. Conclusions

La minéralisation Ni-Cu et EGP de l'intrusion Delta 3 ressemble aux minéralisations de type "Reefs" par sa nature pseudo-stratiforme et par la présence de pegmatite avec des phases hydreuses et des sulfures disséminés. Elle diffère de ce type, par la plus grande quantité de sulfures présents, par les plus faibles teneurs en EGP et est caractérisée par des rapports Ni/Cu, Ni/Pd et Cu/Ir plus élevés que les "Reefs". En effet la minéralisation dans le Delta 3 semble contrôlée par des processus de fractionnement des divers silicates à partir d'un magma de la composition de basalte magnésien. La minéralisation du Delta 3 ne peut être classifiée comme une minéralisation du type "Reef". Les observations pétrographiques suggèrent que la pegmatite s'est formée à une étape tardive dans l'histoire de cristallisation de cette intrusion et que le Pd, le Pt, le S et le Cu auraient été concentrés comme éléments incompatibles lors de la cristallisation. La pegmatite ne contient pas d'enrichissement en éléments incompatibles (Y et Zr restent constant) et le contenu en terres rares est similaire aux autres types de roches contenues dans cette intrusion, quoique les teneurs en TiO₂ soient légèrement plus élevées montrant une légère différenciation. Le rapport MGV augmente au niveau de la pegmatite, indiquant une plus grande abondance de pyroxènes.

La présence d'altération hydreuse, de nombreuses veinules de chalcopryrite au niveau de la pegmatite et de veines de quartz-plagioclase dans les roches environnantes aux indices minéralisés, implique la circulation d'un fluide hydrothermal dans l'intrusion.

Suite à ces observations, le modèle de formation suivant est proposé pour cet horizon stratiforme. Il s'effectue en deux étapes:

1) Déposition de sulfures enrichis en EGP, suite à une saturation en soufre dans le liquide silicaté. Celle-ci peut se produire comme conséquence à une concentration en S dans des phases volatiles résiduelles suite à la cristallisation des silicates, ce qui explique la plus grande abondance de Pd versus l'Ir dans les sulfures. Elle peut se produire aussi comme conséquence du refroidissement de magma, le S, le Cu, le Ni, le Pt et le Pd se comportent comme des éléments incompatibles lors de la cristallisation du magma. Les évidences pour ce processus ne sont pas nombreuses. Elles incluent une baisse dans les teneurs en chrome au niveau de la minéralisation, ce qui exclut des processus de réinjection et de mélange de magmas et la présence d'amas de sulfures interstitiels aux silicates. Ceux-ci suggèrent le dépôt d'un liquide sulfuré immiscible. La grande quantité de sulfures présents dans la pegmatite peut suggérer que le S et les autres éléments économiques furent enrichis dans des phases résiduelles puis leur déposition suite au refroidissement.

2) Redistribution des éléments Pd et Cu suite à la circulation de fluides tardi-magmatiques. Cet argument semble être confirmé par la présence de phases minérales hydreuses (biotite, hornblende), la présence de veinules tardives de chalcopryrite et de veines de quartz-plagioclase accompagnées d'un halo d'altération en séricite et de veines d'amphiboles. Les altérations qui affectent les silicates sont plus intenses dans cet horizon. Cependant les phases hydreuses auraient pu se former en même temps que la pegmatite. La redistribution des éléments plus mobiles peut être causée par des fluides de nature hydrothermale, soit par des phases vapeurs (H_2O-CO_2) résiduelles à la cristallisation de l'empilement de cristaux sous-jacent, soit par des fluides hydrothermaux de nature externe à l'intrusion ou métamorphiques. Des études additionnelles sur les inclusions fluides sont requises afin de compléter les informations sur cette minéralisation.

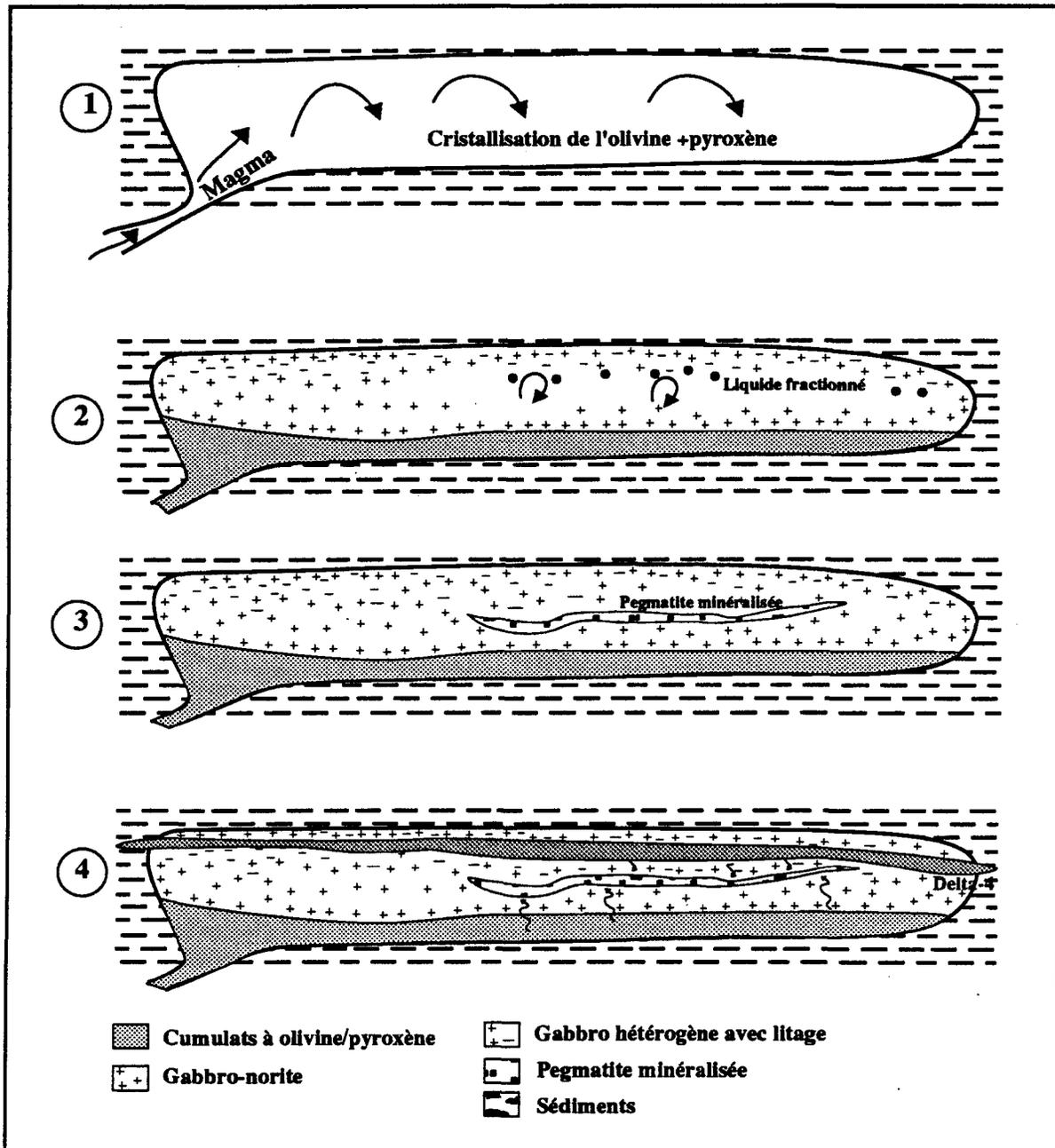


Figure 3.14: Modèle schématique qui illustre le mode de formation de l'horizon minéralisé du Delta 3.
 1) Mise en place de magma de composition basalte magnésien dans des séquences sédimentaires suivi par la cristallisation et l'accumulation des cristaux d'olivine et de pyroxènes. 2) La formation d'un liquide résiduel suite à la cristallisation des séquences gabbroïques et saturation en soufre. 3) Le liquide sulfuré s'accumule à une certaine hauteur dans la chambre stratifiée, suivi par la cristallisation de l'horizon pegmatitique. 4) La circulation de fluides hydrothermaux peut être causée en partie par, soit des liquides intercumulus ascendants ou soit par l'intrusion du Delta 4. Ces fluides causent une redistribution du Cu et du Pd.

CHAPITRE 4:

LES INTRUSIONS DELTA 1C ET 2C ET LES ZONES MINÉRALISÉES D8 ET D9

Introduction

Ce chapitre traite essentiellement des intrusions et des minéralisations retrouvées dans les zones D8 et D9 de la région de Delta (figure 2.3). Ces minéralisations se situent le long de la faille "D" (figure 4.1) qui sépare deux domaines structuraux contenant des assemblages volcanosédimentaires et intrusifs distincts. Cette partie traite des intrusions situées au sud de cette faille. Le Delta 3, situé au nord de cette faille, est décrit au chapitre 3. Il fût mis en place dans des séquences de roches sédimentaires..

Trois types de minéralisations ont été identifiés dans les zones D8 et D9: 1) des lentilles de sulfures massifs situés dans la zone de cisaillement; 2) des gouttelettes et disséminations de sulfures dans un granophyre; 3) des veines et des disséminations riches en chalcopryrite dans les roches encaissantes aux sulfures massifs.

Afin de comprendre les minéralisations et de pouvoir élaborer sur leurs origines respectives, une description de l'environnement de ces indices est requise. Dans cette partie nous présenterons d'une part, les descriptions pétrographiques et géochimiques des diverses intrusions et d'autre part, les descriptions minéragraphiques des diverses minéralisations.

Les buts de ce chapitre étaient: 1) d'établir une chronologie entre les diverses intrusions à l'aide d'observations pétrographiques, d'études lithogéochimiques et minéralogiques; 2) de situer dans ce contexte les lentilles de sulfures massifs contenues dans les zones D8 et D9; 3) d'établir la paragenèse sulfurée des divers types de minéralisations.

4.1. Les intrusions Delta 1C, 2C et 2C'

L'intrusion gabbroïque Delta 1C et l'intrusion ultramafique Delta 2C forment un ensemble d'épaisseur maximale de 150 mètres qui possède une orientation de 280° (figure 4.1), avec un pendage sub-vertical ou à 85° vers le sud dans la zone D8 et un pendage d'environ $70-80^\circ$ vers le nord dans la zone D9. Le Delta 2C occupe une position centrale dans le Delta 1C et lui semble concordant quoique les contacts nets, la présence d'une mince bordure figée et la rodingéitisation du gabbro encaissant démontre un caractère nettement intrusif. L'intrusion ultramafique Delta 2C' n'affleure pas et est interprétée à partir des sections de forages. Entre le Delta 1C et le 2C'/ amas sulfurés, il y a un horizon de granophyre et encore une fois cet horizon est interprété à partir de forages.

Les descriptions pétrographiques des intrusions sont basées sur des échantillons provenant du forage 87-86 (Coupe AA', figure 4.1). Nous procéderons tout d'abord par une description de l'intrusion 1C et du granophyre pour poursuivre avec la description du 2C, du 2C' et des minces dykes picritiques qui leurs sont probablement associés. Pour mieux visualiser les descriptions pétrographiques il faut se référer aux figures 4.1 et 4.2 qui représentent d'une part le contexte géologique et d'autre part, la colonne géologique détaillée du forage 87-86. Toutes les polarités sont vers le nord et les descriptions se feront de la base au sommet de ces intrusions.

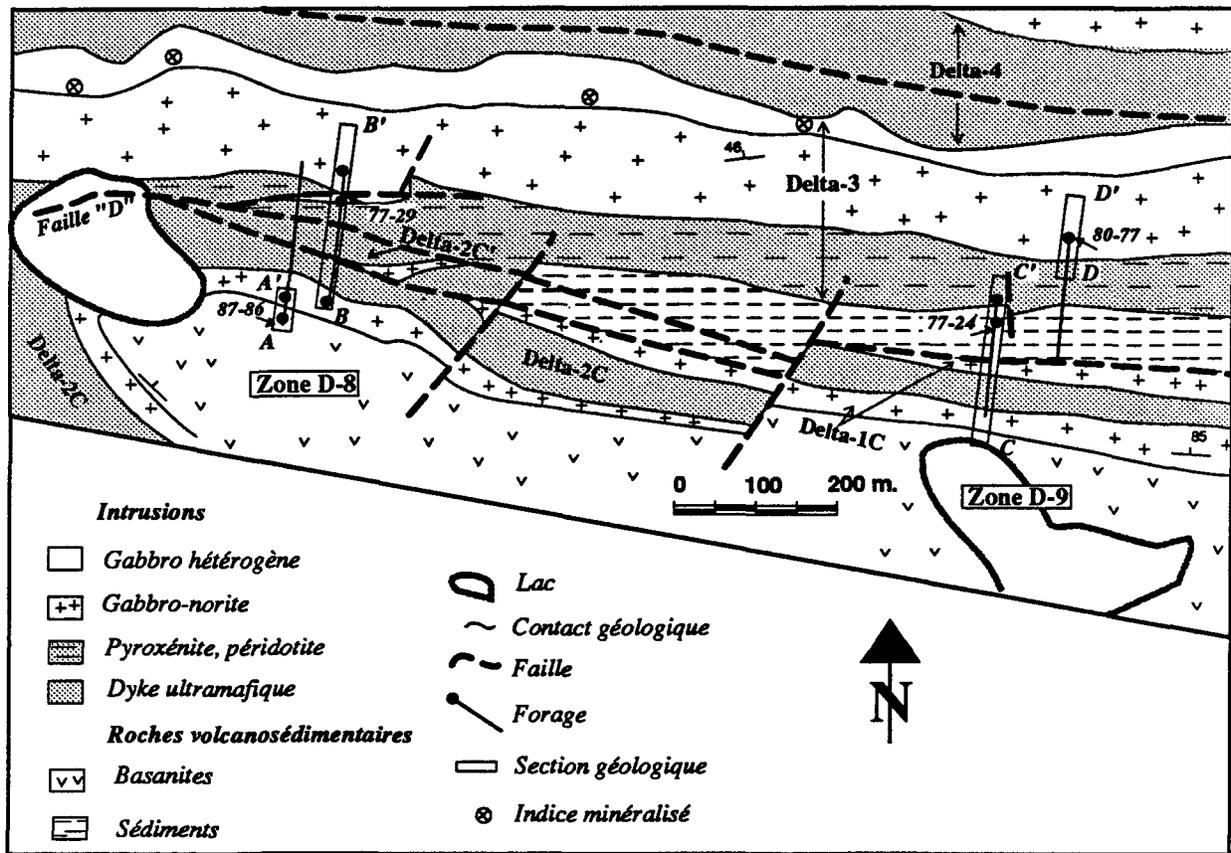


Figure 4.1: Carte géologique détaillée des zones minéralisées D8 et D9 avec localisation des forages utilisés pour cette étude.

4.1.1. Pétrographie détaillée

4.1.1.1. Les roches encaissantes

Les roches encaissantes inférieures à l'intrusion Delta 1C, sont des basaltes et des pyroclastites d'affinité alcaline (éch. 1 et 2, planche 14; Picard et Giovenazzo, sous presse). Celles-ci sont caractérisées par la présence de phénocristaux de pyroxène (20% augite, $\phi \leq 1$ mm, Ac) accompagnés plus rarement, par des phénocristaux d'olivine (0-1%, Ant+ Cb+ Chl) et de titanite (0-2%). La mésostase est composée de microlites d'augite (actinote) entre lesquels on peut observer des grains de titanite (20%), du plagioclase (albite, 20%), de la chlorite et de la zoïsite. Il y a également des petits grains de zircons et d'apatite dispersés. Localement il y a présence d'amas de forme irrégulière, constitués de hornblende brune poécilitique (xénolithes mantelliques, Gaona'ch et al., 1989).

Les roches sédimentaires sus-jacentes aux intrusions sont des arénites/wackes feldspathiques intensément recristallisées et parfois finement litées. Elles sont constituées surtout de quartz et de plagioclase en amas recristallisés accompagnés de séricite et de leucoxène. On y retrouve également quelques cristaux de tourmaline, de la biotite verte, de la clinozoïsite et des petits grains de zircons détritiques. Ces roches possèdent une schistosité de crénulation marquée par un enrichissement en séricite et en chlorite et sont recoupées par de nombreux cisaillements chloriteux et des veines de tension (Qz + Pl + Po) à proximité des amas sulfurés.

4.1.1.2. Le Delta 1C

Le Delta 1C est une intrusion gabbroïque envahie par l'intrusion 2C (figure 4.1). Entre les basanites et l'intrusion 2C, le Delta 1C est formée d'un gabbro-norite (éch. 3, 4, 7, 9, 17, 18 et 19) avec quelques passages plus riches en pyroxènes.

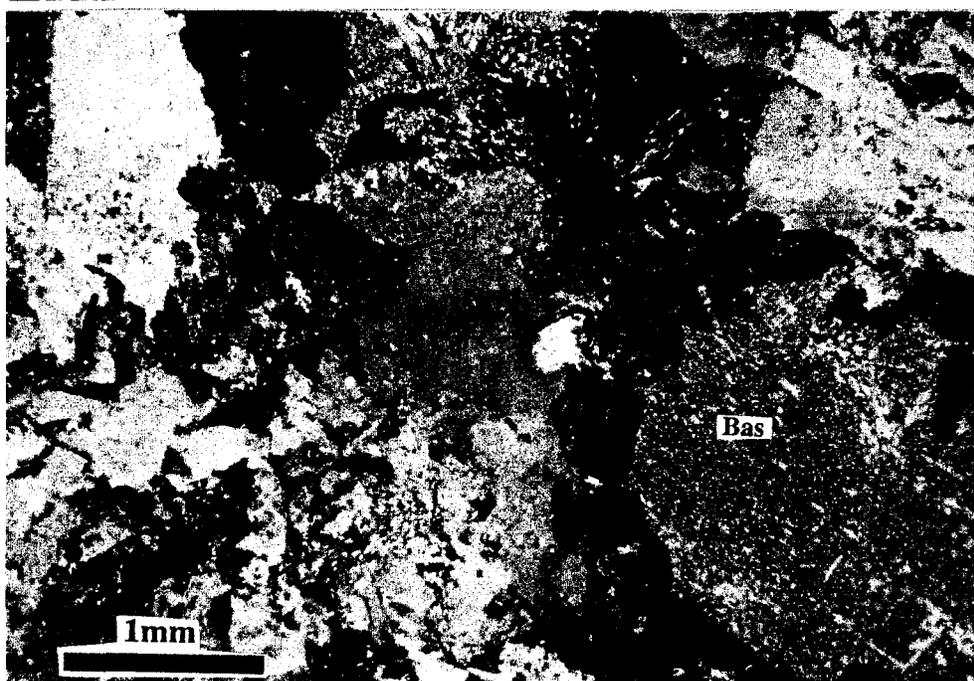
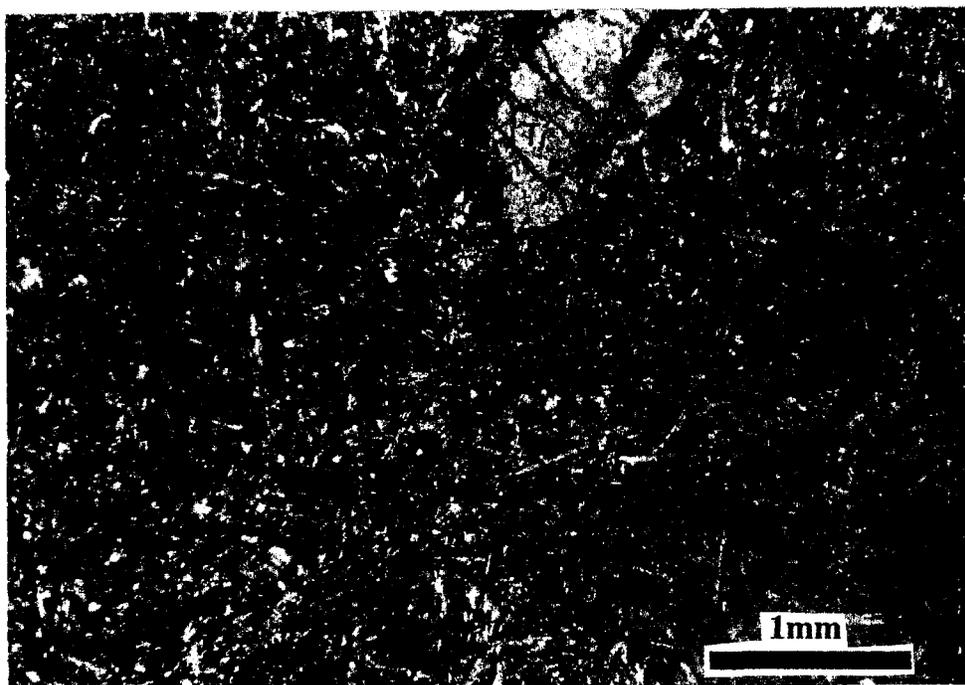


Planche 14: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) du basalte alcalin (basanite, éch. 87-86-1) à phénocristaux d'augite et de titanite (Ti).

Planche 15: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5), du gabbro-norite inférieur, Delta 1C (éch. 87-86-3), contenant une enclave de basanite (Bas) entourée de zoïsite prismatique.

Celui-ci est composé de lattes trapues de plagioclase partiellement pseudomorphosées (20% à 45%, $\phi < 0,5 \times 3\text{mm}$, Zo + Ab), de cristaux d'augite diopsidique (40-45%, $\phi \leq 10\text{mm}$, $\pm\text{Tr}$) et plus rarement d'orthopyroxène (10-15%, $\phi < 2$ à 5mm, Ba + Tr) qui définissent une texture sub-ophitique. Des reliques d'olivine ($\leq 1\%$, $\phi < 0,1\text{mm}$, Ant + Tr) se retrouvent en inclusion dans les cristaux de pyroxènes. Des cristaux de leucoxène (3-5%, $\phi < 2\text{mm}$) occupent les espaces interstitiels entre les autres silicates et un peu de sulfures sont disséminés dans la roche ($\phi < 0,1\text{mm}$, Po + Cp). On note aussi la présence de petits grains de zircon disséminés. Des cristaux de chlorite, de biotite et de hornblende verte complètent la paragenèse. Quelques fragments de basanite ($\phi < 3\text{cm}$) constituent des xénolithes près du contact inférieur, ils sont alors entourés de zoïsite prismatique (planche 15). Au contact avec les roches ultramafiques, ce gabbro est rodingitisé et sa couleur devient très pâle lui conférant l'aspect d'une anorthosite.

Entre le Delta 2C et le granophyre (éch. 17 et 18, $\epsilon = 19,6\text{m}$) les gabbros sont formés de 25 à 30% de cristaux de plagioclase ($\phi = 0,5 \times 2\text{mm}$, Zo + Ab + Ch), des plages poécilitiques de clinopyroxène (30-40%, $\phi = 2$ à 3mm, Di + Tr + Bi) et plus rarement d'orthopyroxène (5-10%, $\phi < 2\text{mm}$, Ba + Tr) qui définissent une texture subophitique. Ce gabbro contient aussi du leucoxène en habitus squelettique (2-3%, $\phi = < 2\text{mm}$), 1% de sulfures finement disséminés ($\phi < 0,01\text{mm}$, Po + Pn + Cp), ainsi que quelques cristaux d'apatite (1%, $\phi < 0,1\text{mm}$) et de biotite verte (1-5%, $\phi < 0,5\text{mm}$). De nombreuses zones de cisaillements ($d < 5\text{mm}$) remplies de chlorite magnésienne, de zoïsite prismatique, de biotite verte et de titanite sont présentes.

Le contact entre l'intrusion gabbroïque Delta 1C et le granophyre est cisailé. Ce cisaillement est représenté par une mylonite ($\epsilon < 10\text{cm}$, éch. 19) qui affecte le gabbro et est caractérisée par une intense recristallisation, une diminution de la granulométrie et une forte foliation minérale donnant à la roche une couleur noire et un aspect massif laminé.

Elle est composée de bandes de muscovite + chlorite + biotite verte, de bandes riches en carbonates et en graphite, et des amas lenticulaires de quartz + albite + plagioclase à texture granoblastique. Quelques sulfures sont soit disséminés ou soit en veinules allongées dans le sens de la foliation (2-3%, $\phi < 0,01\text{mm}$, Pn+ Cp+ Po+ Sph+ Py).

L'horizon de roche felsique *granophyrique* (é=17m., éch. 21, 22, 23, 24 et 25, planche 17) est constitué d'une roche de couleur noire qui possède une texture granulaire à grains fins avec localement des "yeux de quartz". Il contient du quartz (10-40%) en croissance micrographitique avec l'albite (10-35%, $\phi \leq 2\text{mm}$), des cristaux trapus de plagioclase (40%, $\phi = 0,1 \times 0,5\text{mm}$), des cristaux de microcline (<5%, $\phi \leq 0,5\text{mm}$), des grains de titanite et du leucoxène (10-15%, $\phi \leq 0,4\text{mm}$). Il contient aussi des amas chloriteux (5%, $\phi < 0,5\text{mm}$), ainsi que des traces de carbonates (<1%, $\phi < 0,1\text{mm}$) et d'apatite (<1%). On note également la présence de biotite verte (<10%), avec de nombreux grains d'oxydes de fer dans les plans de clivage. Des globules ou gouttelettes de sulfures sont localement abondants (max 20%, $\phi < 5\text{mm}$ avec un maximum de 2 cm) et sont composés de pyrrhotite et de pentlandite bordées par de la chalcopryrite et de la clinozoïsite en prismes trapus ($\phi \leq 0,5 \times 1\text{mm}$). Dans ce granophyre, on peut observer localement des inclusions de sédiments finement lités partiellement digérés et complètement recristallisés.

Finalement quelques veines et veinules de quartz- plagioclase et de sulfures dont la chalcopryrite avec en quantité mineure de la pyrrhotite, de la pentlandite et de la sphalérite (é<5cm) sont présentes. Ces dernières possèdent un halo d'altération hydrothermal de couleur plus claire marqué par une silicification et une séricitisation. Près du contact avec un horizon ultramafique (2C', éch. 27 et 28) la quantité de sulfures augmente (éch. 26). Ces sulfures sont contenus dans la zone de cisaillement qui affecte le contact entre le granophyre et la bordure du 2C'.

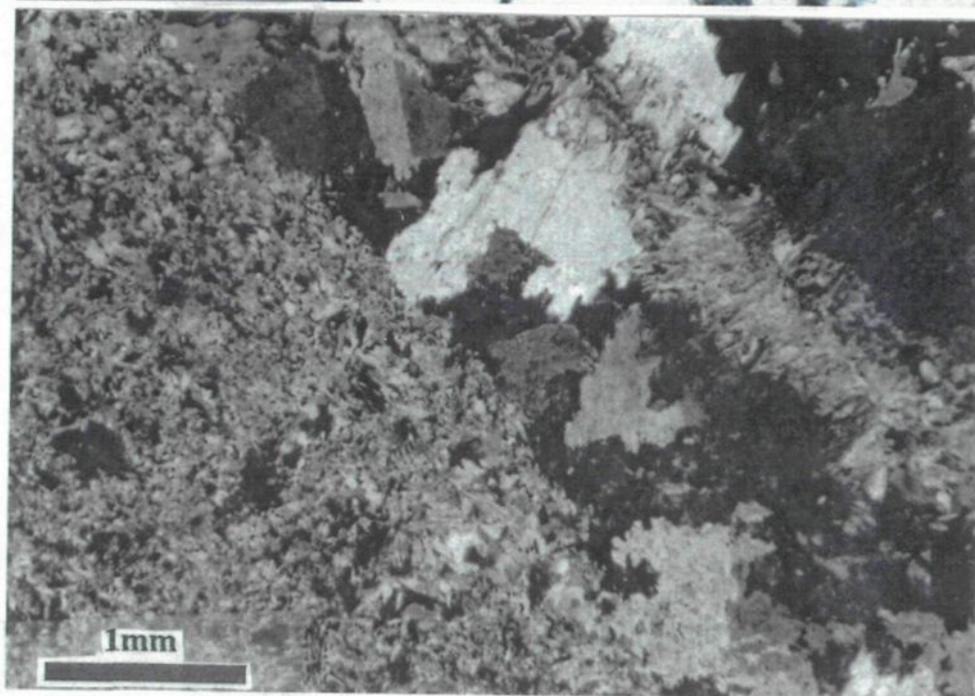
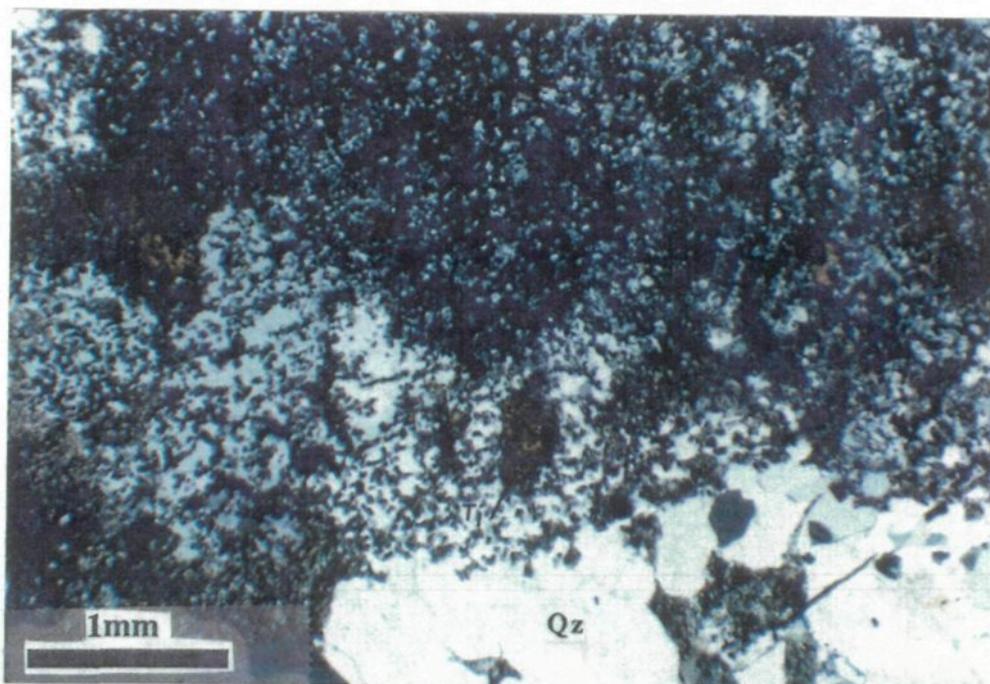


Planche 16: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5), du granophyre (éch. 87-86-22). Dans cet échantillon, il contient des amas de quartz (Qz) avec des phénocristaux de titanite (Ti).

Planche 17: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5), du contact entre le Delta 1C (à droite) et le Delta 2C (bordure figée à gauche) (éch. 87-86-10).

4.1.1.3. Le Delta 2C

Cette unité ultramafique possède une épaisseur apparente de 75 mètres. Les contacts supérieurs et inférieurs avec les gabbros du Delta 1C sont très nets et marqués par une mince bordure figée ultramafique (planche 17). La bordure figée inférieure (éch. 10) possède 50% de cristaux d'augite diopsidique et d'orthopyroxène dans une matrice de serpentine et de chlorite avec quelques grains disséminés de titanite et d'ilménite. Son contact avec le gabbro est marqué par une mince frange de diopside (é=5mm, planche 17) à croissance perpendiculaire au contact. La bordure figée passe rapidement (sur 10 cm) à un mésocumulat à olivine (éch. 11 à 15, planche 18) qui contient de 35 à 40% de reliques d'olivine ($\phi < 0,5\text{mm}$, Ant + Tr \pm Ba) en inclusion dans des grands cristaux poécilitiques de clinopyroxène (30%, $\phi \leq 20\text{mm}$, Tr + Di + Bi), d'orthopyroxène (5-10%, $\phi \leq 10\text{mm}$, Ba + Tr + Bi + Ch) et de hornblende (5-10%, $\phi \leq 1\text{mm}$, Tr + auréole de bastite). D'autres reliques d'olivine baignent dans une matrice microcristalline (10%, Ant + Ch \pm Bi). Quelques grains idiomorphes de ferrochromite (2%, $\phi < 0,2\text{mm}$), des veinules de magnétite et un peu de sulfures (1%, $\phi < 0,1\text{mm}$, Cp + Po + Pn) complètent l'assemblage minéralogique.

Plus haut dans la séquence, les olivines sont plus abondantes et plus grosses (60-70%, $\phi \leq 0,5 \times 2,5\text{mm}$) et elles sont partiellement remplacées par de la trémolite. La hornblende poécilitique disparaît dans la partie supérieure de cette intrusion. Les grains de ferrochromite se présentent sous forme de grains sub-idiomorphes ($\phi < 0,1\text{mm}$) dans la matrice et les olivines, et en grains arrondis dans les pyroxènes ($\phi < 0,05\text{mm}$). Près du sommet de l'intrusion, ce mésocumulat s'enrichit en olivine (éch.15) et contient 75% de reliques d'olivine ($\phi = 0,1 \times 0,5\text{mm}$, Ant + Tr), 15% de clinopyroxène ($\phi \leq 1\text{mm}$, Di+ Tr), 1-5% d'orthopyroxène ($\phi \leq 1\text{mm}$, Ba + Tr) et 1-2% de hornblende en cristaux poécilitiques ($\phi < 0,5\text{mm}$). De petits grains de ferrochromite sont disséminés (2%, $\phi = 0,2\text{mm}$) et il y a des veinules remplies de magnétite et de sulfures (2%, $\phi < 0,01\text{mm}$, Po + Cp + Pn).

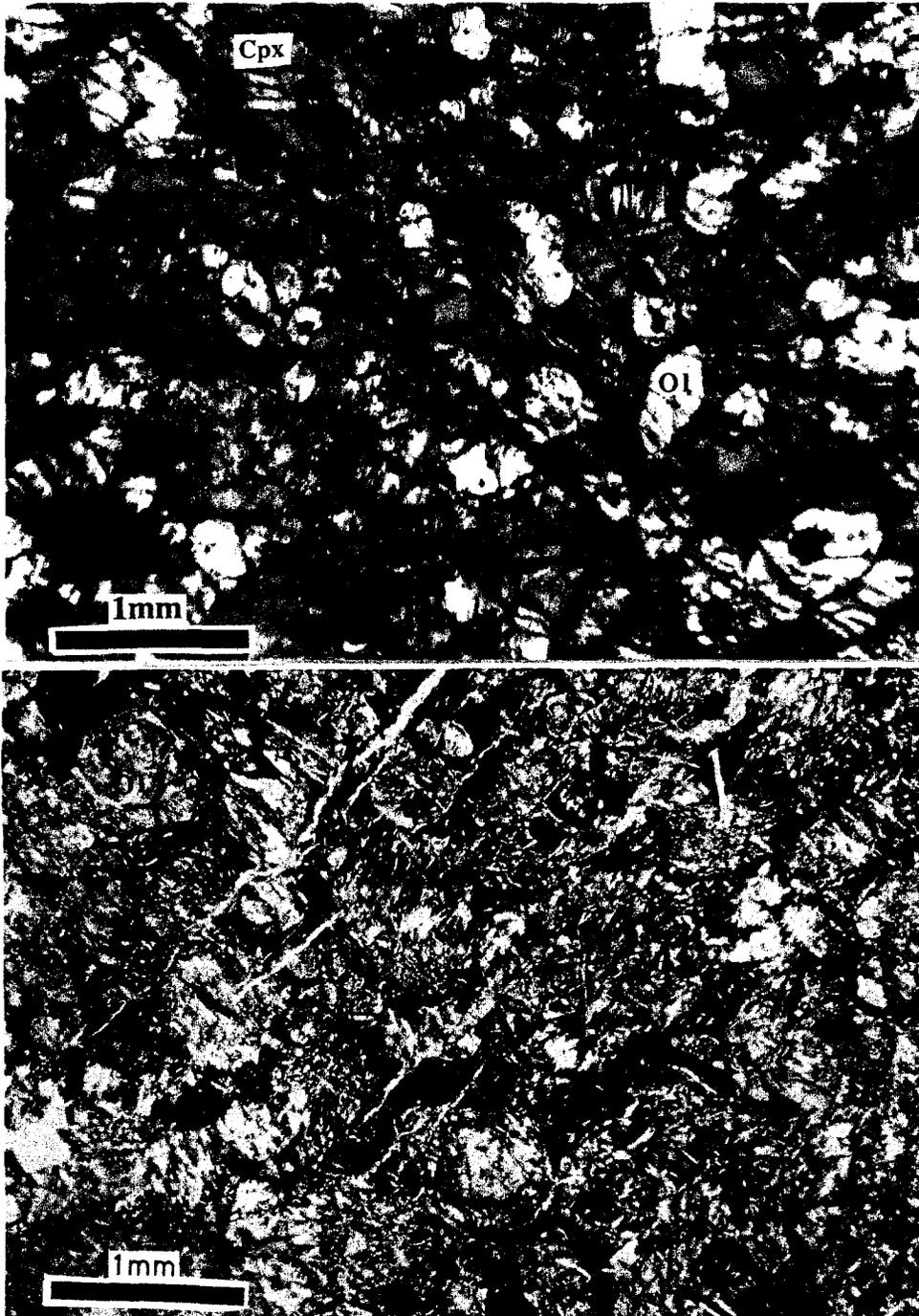


Planche 18: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5), du mésocumulat à olivine appartenant à l'intrusion Delta 2C (éch. 87-86-13). Il contient des cristaux d'olivine (Ol) et des phénocristaux poécilitiques de clinopyroxènes (Cpx), et il est traversé par des microveinules de magnétite (en noir).

Planche 19: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5), du méso/adcumulat à olivine appartenant à l'intrusion Delta 2C', qui forme l'encaissant supérieur à la lentille de sulfures massifs de la zone minéralisée D8 (éch. 77-29-1).

Quelques dykes? tardifs à contacts irréguliers (é<3cm, éch.14) recourent la partie sommitale de cette intrusion. Ils contiennent des fragments de péridotite dans une matrice formée de chlorite ferrifère bien cristallisée et de serpentine microcristalline. Ils possèdent également des cristaux idiomorphes d'apatite (1-2%, $\phi \leq 0,1 \times 0,8\text{mm}$) et d'ilménite (10%, $\phi \leq 0,2\text{mm}$) contenant des inclusions de chalcopryrite ($\phi < 0,05\text{mm}$).

Des minces dykes de composition pyroxénitique (éch. 5, 6, 8 et 20) recourent le gabbro-norite. Ces dykes possèdent une texture granulaire et sont formés de cristaux automorphes de clinopyroxène (50-55%, $\phi < 5\text{mm}$, Tr), d'orthopyroxène (15-20%, $\phi < 4\text{mm}$, Ba + Tr) et de hornblende (3%, pargasite?, $\phi < 0,5\text{mm}$) flottant dans une matrice microcristalline recristallisée (20%, Ch + Ant + Bi + Zo). Quelques grains de sulfures disséminés ($\phi < 0,1\text{mm}$, Po + Cp + Pn) sont associés à des cristaux squelettiques de leucoxène (5%-10%, $\phi < 2\text{mm}$), dans les clivages des pyroxènes ou le long de microfractures. D'après leurs caractéristiques, ces dykes sont probablement reliés à la mise en place de l'intrusion 2C.

4.1.1.4. *Le Delta 2C'*

Cette intrusion ultramafique est localisée dans la zone de cisaillement (Delta 2C', éch. 27 et 28) entre le granophyre (et/ou amas sulfurés) et les roches sédimentaires qui forment l'encaissant supérieur. Elle est constituée de mésocumulat à olivine et à pyroxène.

A l'endroit du forage 87-86 ce mésocumulat est formé de cristaux reliques d'olivine, de pyroxènes, de hornblende brune et de micas blancs et les textures primaires sont intensément transformées par la déformation et dans le forage 77-29 nous retrouvons un adcumulat à olivine complètement serpentinisé (planche 19). De nombreuses veinules remplies de sulfures (Cp + Po + Sp + Py + Pn) sont également présentes.

4.1.2. Lithogéochimie des intrusions Delta 1C, 2C et 2C'

Nous avons représenté à la figure 4.2, la colonne géologique issue des observations dans le forage 87-86 accompagnée des teneurs en oxydes et à la figure 4.3, des teneurs en certains éléments traces et économiques (tableaux 7 et 8, en annexe). Ce forage intercepte la terminaison de la lentille de sulfures massifs de la zone D8.

4.1.2.1. Les éléments majeurs

Les teneurs en SiO_2 sont constantes ($\approx 49\%$) pour ce qui est du gabbro-norite, elles diminuent dans les roches ultramafiques ($< 45\%$) et sont plus élevées dans le granophyre (64%). Le Na_2O et le K_2O montrent des comportements similaires. Ils sont en faible quantité dans les ultramafiques, plus abondants dans les gabbros-norites et beaucoup plus abondants dans le granophyre (éch.23). Les éléments Al_2O_3 et MgO montrent des relations antagonistes et leurs comportements sont similaires à ceux décrits pour l'intrusion Delta 3.

Le Fe_2O_3 montre une distribution similaire au MgO dans les intrusions, et les variations semblent contrôlées essentiellement par les phases silicatées en l'absence de sulfures. Les teneurs en CaO , très basses dans les péridotites ($< 5\%$), sont plus élevées dans les bordures figées, dans les dykes de pyroxénites et dans les gabbros rodingitisés. Elles sont élevées dans les gabbros mais très faibles dans le granophyre ($1,29\%$).

Les teneurs en TiO_2 sont très élevées dans les basanites et dans l'échantillon 14 qui constitue un dyke tardif de composition alcaline. Ces teneurs sont plus élevées dans le granophyre ($0,81\%$) que dans les gabbros ($< 0,7\%$) et sont faibles dans les roches ultramafiques.

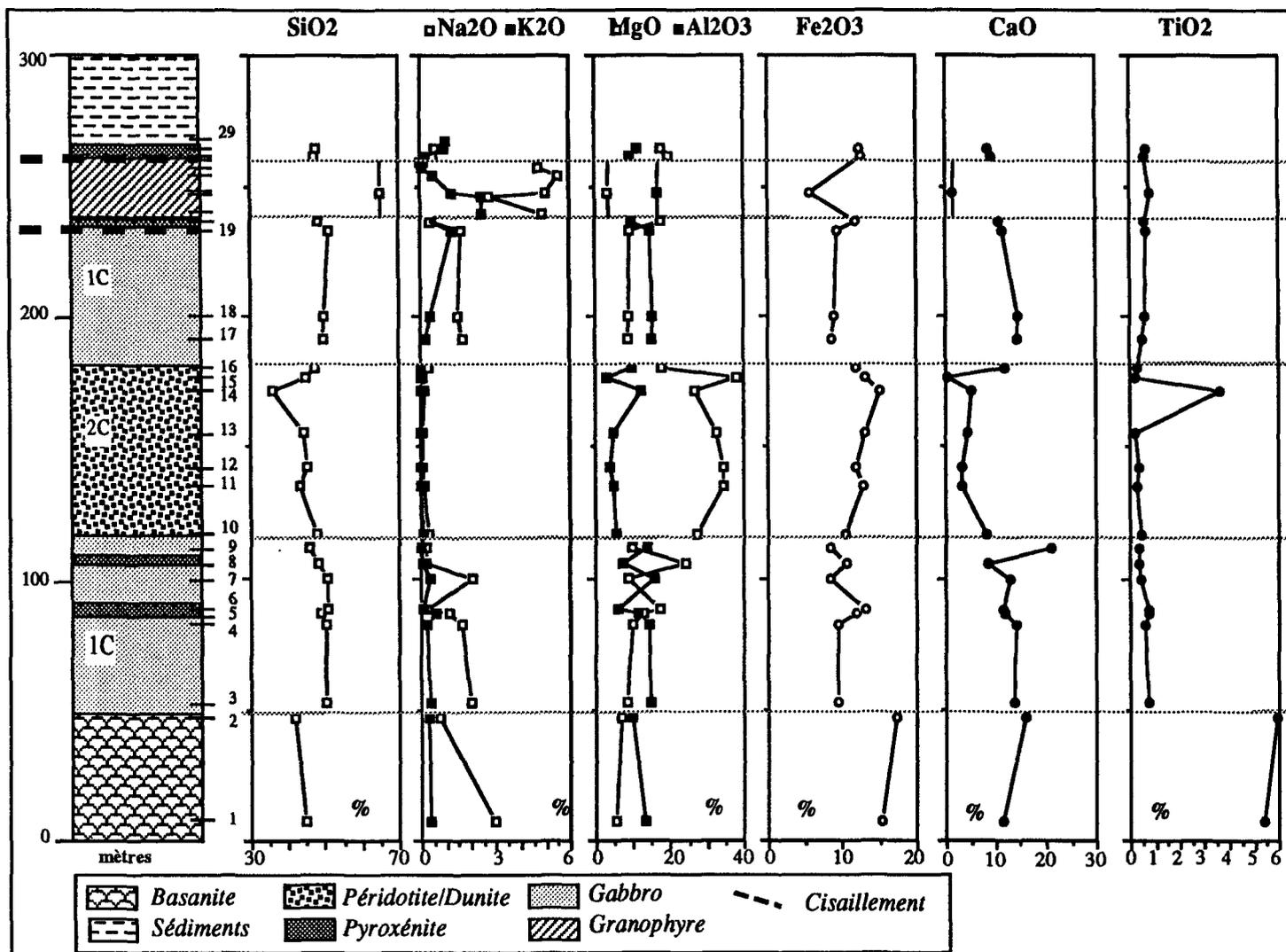


Figure 4.2: Colonne géologique des intrusions Delta 1C, 2C et 2C', tirée du forage 87-86, accompagnée par les variations dans le contenu en oxydes.

4.1.2.2. Les éléments traces et économiques

Comme dans les filons-couches, les distributions des teneurs en MgO, Cr et Ni sont fortement corrélées entre elles et anticorrélées à la distribution du Al₂O₃ avec, pour seule exception, les gabbros rodingitisés et le granophyre. Les variations observées dans les roches ultramafiques sont en grande mesure imputable à l'abondance des cristaux cumulus d'olivine. Les teneurs en Ni et en Cu sont très faibles dans la séquence de gabbro et vont de pair avec les faibles teneurs en soufre (S<0,06%). Elles sont plus élevées dans les roches ultramafiques. Par contre, celles-ci présentent une forte anomalie positive au sein de l'horizon de granophyre accompagnée de teneurs en Pt et en Pd élevées et un enrichissement marqué en Ni et en Cu (éch. 26; Ni= 2,2%, Cu= 8,8%) qui correspond à un mince horizon de sulfures situé au contact du granophyre et de l'intrusion 2C'. Celui-ci correspond à des veines riches en chalcopryrite et est aussi accompagné de teneurs élevées en Au, en Zn, en Co et en S.

L'intrusion 2C ne montre pas ou peu d'enrichissements en Pd et en Pt. Ces teneurs sont erratiques avec un maximum de 40ppb de Pt, 164ppb de Pd et 9ppb d'au dans la partie centrale de cette intrusion. Dans toutes ces intrusions, les éléments traces se corrélient aisément à la composition minéralogique des roches et les principaux contrôles reposent, en l'absence de sulfures, sur la nature des silicates et des oxydes qui ont précipités.

Le rapport Ni/Cu présente un profil sans trop de variations à l'exception des péridotites de l'intrusion 2C, le Ni étant beaucoup plus important que le Cu dans cette unité. Ce rapport est aussi plus élevé dans les dykes pyroxénitiques. Ceci serait relié à la grande abondance de cristaux d'olivine avec lesquels le nickel présente une forte affinité. Le rapport Pd/Pt montre quelques variations et est relativement plus élevé dans les zones à sulfures, dans l'intrusion 2C et dans les minces dykes pyroxénitiques.

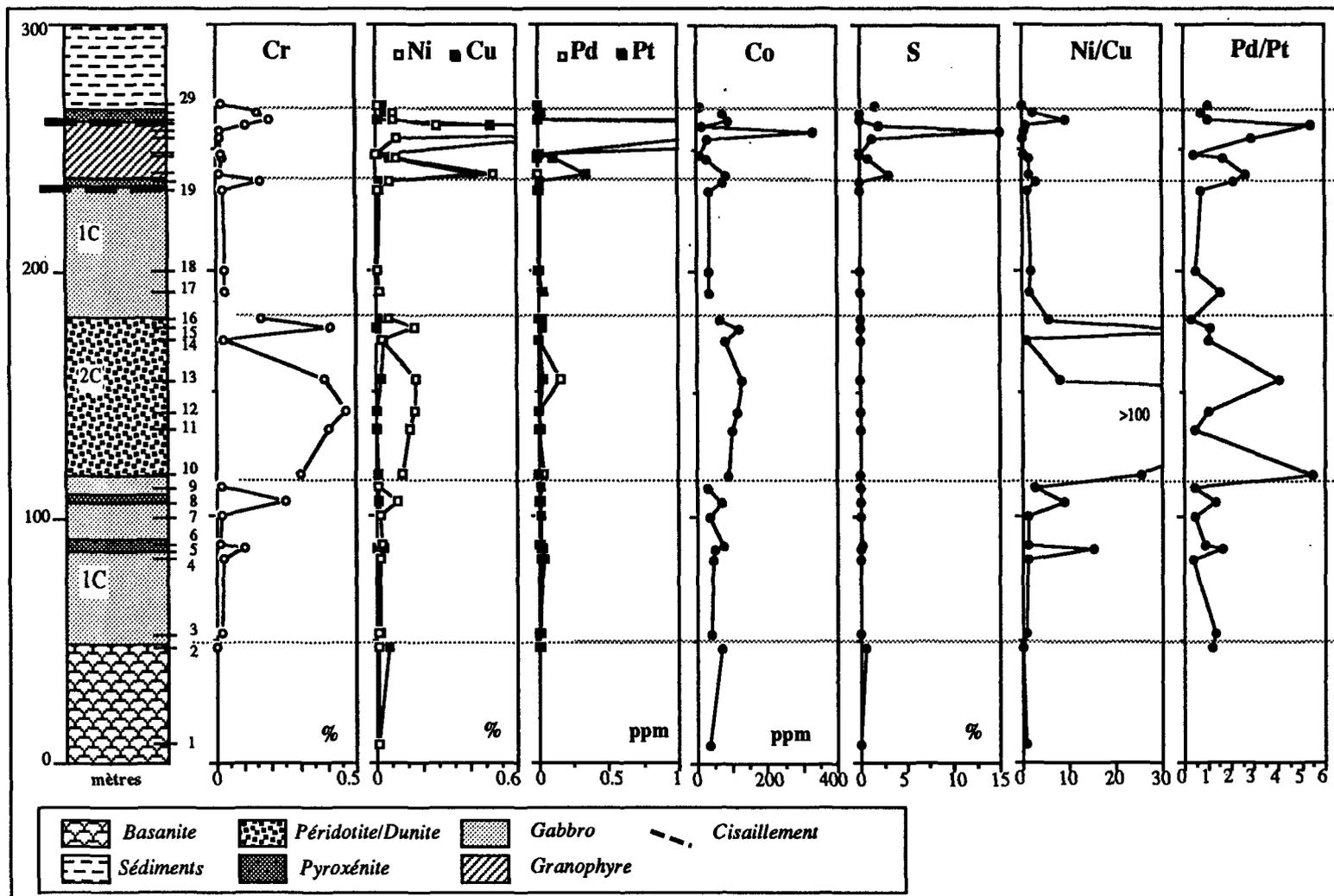


Figure 4.3: Colonne géologique des intrusions Delta 1C, 2C et 2C', tirée du forage 87-86, accompagnée des variations en certains éléments traces.

4.1.2.3. Les éléments du groupe des terres rares

Nous avons représenté, à la figure 4.4, les éléments du groupe des terres rares normalisés aux valeurs chondritiques (Taylor et Gorton, 1977) pour les diverses unités intrusives et leurs roches encaissantes. Pour ce qui est des gabbros-norites de l'intrusion Delta 1C (figure 4.4a), les profils sont plats ($(La/Yb)_n=1,6$ à $2,07$) et montrent un léger pic positif en europium reflétant probablement la serpentinisation (Sun et Nesbitt, 1976). Les profils de divers échantillons de l'intrusion Delta 2C et 2C' (figure 4.4b) sont plats ($(La/Yb)_n$; 2C = $0,55$ et 2C' = $1,44$ à $1,5$).

L'horizon de granophyre (éch. 21 à 25; figure 4.4c) par contre présente des profils enrichis en terres rares légères ($(La/Yb)_n = 8,94$ à $23,84$) et le contenu total en terres rares semble diminuer vers le contact avec l'intrusion 2C'. Les profils pour les roches encaissantes (siltstones ($(La/Yb)_n=14,4$) et basanites ($(La/Yb)_n=25$) possèdent eux aussi des profils enrichis en terres rares légères (figure 4.4d). L'échantillon de basanite (87-86-1) présente une plus grande abondance pour toutes les terres rares ($\Sigma=475,2$) et est comparable à ceux décrits dans la littérature pour la même région (Gaona'ch et al., 1989). Les sédiments et quelques échantillons du granophyre possèdent le même contenu en terres rares (éch. 29; $\Sigma TR=120,5$, éch. 21 à 23; $\Sigma TR=136,6$ à $123,5$).

Les échantillons 24 et 25 possèdent des teneurs plus faibles en terres rares ($\Sigma TR= 72,2$ à $54,7$) et des profils plus plats. Ces derniers sont traversés par des veinules de chalcopryrite impliquant la circulation d'un fluide hydrothermal qui est probablement la cause de cette différence dans les teneurs en terres rares. Les autres échantillons de granophyre contiennent des gouttelettes de sulfures.

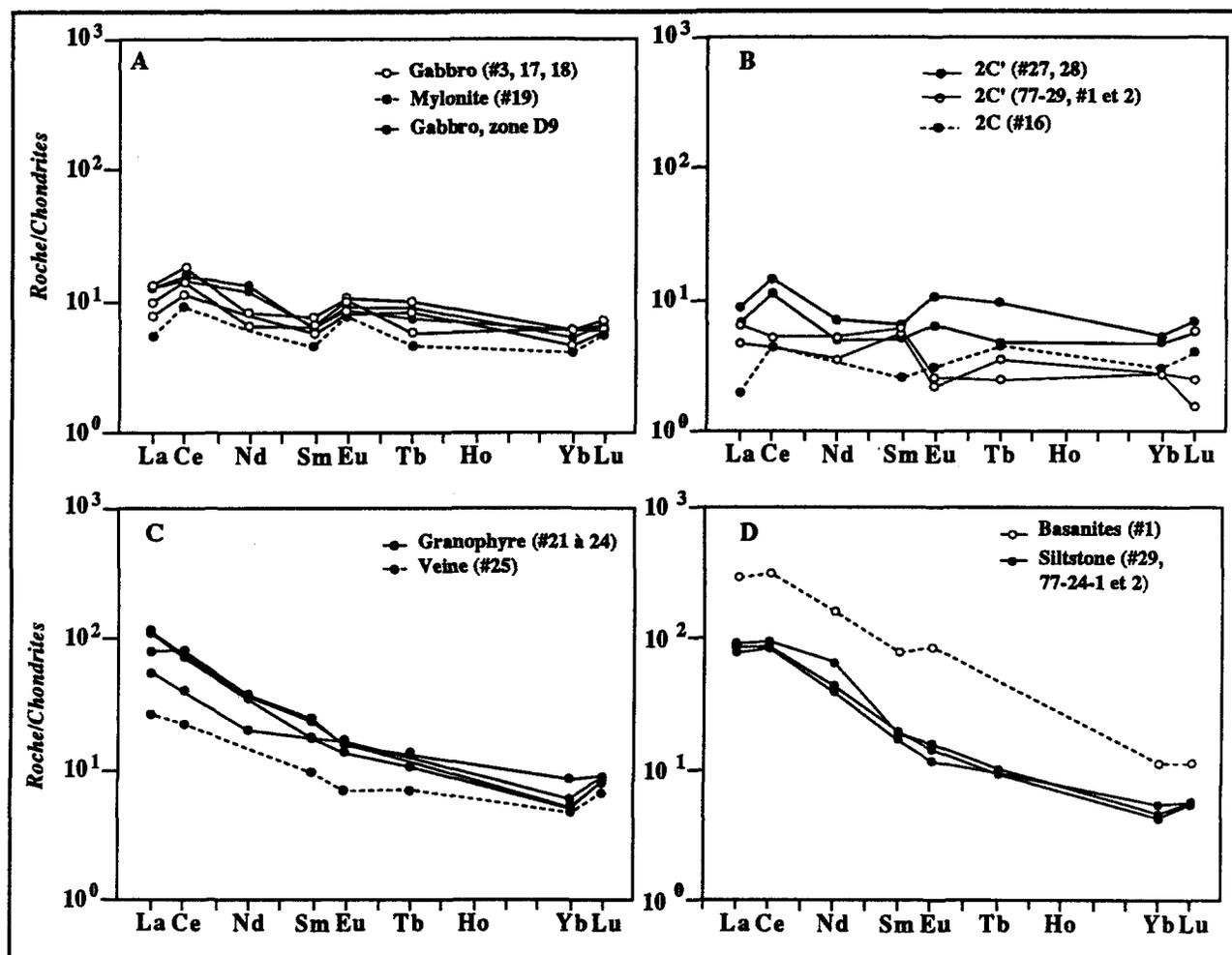


Figure 4.4: Diagrammes qui représentent les teneurs en terres rares normalisées aux chondrites, des unités de roches dans le forage 87-86; intrusions Delta 1C, 2C, et 2C' et roches encaissantes: A) les gabbros; B) les dykes ultramafiques; C) le granophyre; D) les roches encaissantes.

Les gabbros de l'intrusion Delta 1C sont peu évolués avec des rapports $(La/Yb)_n$ faibles (éch. 17 à 19 = 1,44 à 1,69). Ils présentent aussi des pics positifs en Eu suggérant qu'ils cristallisent du plagioclase. Le granophyre, présente cependant des profils enrichis en terres rares légères similaires à ceux des roches sédimentaires. Si ce granophyre s'était formé suite à des processus de différenciation du Delta 1C, il présenterait un profil similaire mais plus enrichi en toutes les terres rares, ce genre d'observation étant reconnu dans la plupart des grandes intrusions différenciées (Kuo et Crocket, 1979). Les contenus en terres rares indiquent une origine différente et suggèrent que ce granophyre ne fait pas partie de l'évolution magmatique normale du Delta 1C.

4.1.3. Les relations entre les différentes intrusions

Des analyses à la micro-sonde électronique ont été effectuées sur des grains d'olivine et sur des grains de chromite provenant des intrusions ultramafiques de la région.

4.1.3.1. La composition des olivines

Les olivines analysées représentent des parties de cristaux non serpentinisés. Dans les intrusions 2C et 2C' les olivines étant complètement pseudomorphisées en serpentine/trémolite, des cristaux dans deux intrusions similaires de la même région, le Delta 2B' et le Delta-4, furent analysés (tableau 9, en annexe).

La corrélation entre le nickel et le contenu en forstérite (réflète le contenu en MgO) des olivines reflète la quantité de fusion partielle qui a généré le magma parent d'une intrusion et le fractionnement subséquent des olivine de ce magma (Simkin et Smith, 1970). Le contenu en NiO dans les olivines a aussi été utilisé afin de déterminer si ces dernières furent équilibrées avec un liquide sulfuré immiscible dans le magma (Fleet et al., 1977) et la composition des olivines définit le contenu en NiS du liquide sulfuré (Fleet et Stone, 1990).

Dans l'intrusion Delta 2B, les olivines analysées contiennent entre 0,12 et 0,13% de NiO pour une composition Fog5, tandis que dans le Delta-4, les olivines contiennent entre 0,22 et 0,25% de NiO pour une composition de Fog3.

Sur le diagramme de la figure 4.5, les olivines de l'intrusion 2B' sont plus appauvries en NiO que celles de l'intrusion Delta 4 pour une teneur en MgO similaire, et se situent à la marge externe du champ des olivines appartenant aux intrusions différenciées (Fleet et al., 1977). Basés sur ces observations nous pouvons stipuler que le magma à la source de l'intrusion Delta B a ségrégué un liquide sulfuré immiscible qui a appauvri le magma silicaté en Ni. Ceci résulte en l'appauvrissement en Ni des olivines qui cristallisent à partir de ce magma. La position du 2B' est similaire à l'intrusion 2C et 2C' et donc correspondrait au magma parent qui a ségrégué les sulfures massifs contenus dans les lentilles D8 et D9.

4.1.3.2. Les spinelles chromifères

Les spinelles chromifères peut être utilisés comme des indicateurs des conditions pétrogénétiques dans des intrusions et des coulées (Irvine, 1965, 1967, 1977; Sack, 1982). La composition des spinelles peut aussi être utilisée afin d'interpréter l'origine et le développement des sulfures magmatiques dans les roches ignées lorsqu'une immiscibilité entre un liquide silicaté et un liquide sulfuré est le facteur qui contrôle la minéralisation. Les travaux de Groves et al. (1977, 1981) identifient les intrusions porteuses de minéralisations à l'aide du contenu en ZnO des ferrochromites. En effet à Kambalda, les chromites équilibrées avec un liquide oxy-sulfuré ont un contenu en zinc élevé (>0.5%, Groves et al, 1981). Afin de vérifier ces observations et de trouver l'intrusion ultramafique mère des lentilles de sulfures massifs, plusieurs grains de chromites provenant de diverses intrusions dans la région de Delta furent déterminés à la micro-sonde électronique.

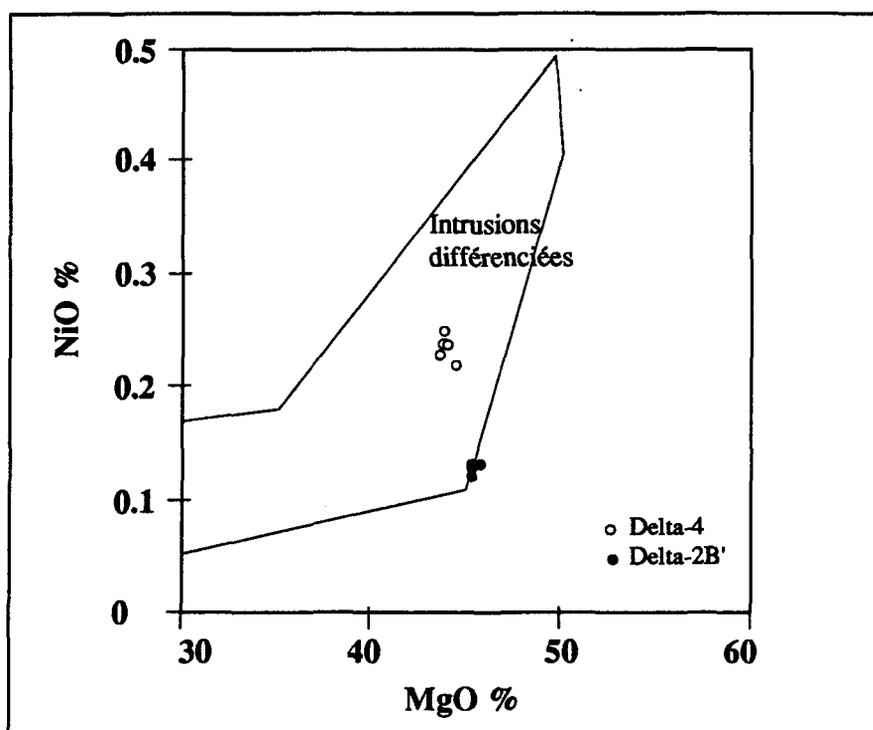


Figure 4.5: Diagramme binaire MgO % versus NiO% pour les grains d'olivine appartenant aux cumulats à olivine des intrusions ultramafiques Delta 2B' et Delta 4. Le champ pour les intrusions ultramafiques provient de Fleet et al., 1977.

Leurs compositions sont présentées au tableau 10 et placées sur un diagramme ternaire Al-Fe-Cr (figure 4.6; Frost et al., 1990). Les grains de chromites provenant des intrusions ultramafiques (Delta 2C, 2C', 4 et Méquillon; Tremblay, 1990) se placent dans la partie centrale de ce diagramme, sous le champ déterminé pour les komatiites (Frost et al., 1990). Ces grains sont situés dans des mésocumulats à olivine et sont, la plupart du temps, sub-arrondis et zonés avec une marge externe de magnétite chromifère. On les retrouvent soit dans des grains d'olivine, dans des cristaux poécilitiques de clinopyroxènes ou soit dans des masses microcristallines situées entre les cumulats d'olivine. La partie centrale de chaque grain fut analysée plusieurs fois, la marge étant le résultat d'une surcroissance d'origine métamorphique.

Pour des fins de comparaison, des grains de chromite provenant de deux coulées minéralisées à Donaldson-Est ont été inclus: a) d'une coulée qui contient un amas sulfuré à sa base (éch. 172-8); b) d'un horizon de chromitite entre des sulfures massifs magmatiques et des sulfures en filet (éch. 172-15, prélevé d'une coulée komatiitique). Les spinelles chromifères provenant des intrusions ultramafiques possèdent généralement un rapport #Fe ($\text{FeO}^{+2}/(\text{FeO}^{+2} + \text{MgO}^{+2})$) très élevé (>90%) indiquant un certain enrichissement en fer par rapport au magnésium (Kimball, 1990), causé par une altération suite à leur cristallisation. Le rapport #Cr ($\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$) se situe entre 64% et 75%, pour les intrusions 2C, 2C' et 4, cependant il est très élevé dans les spinelles chromifères ayant équilibrés avec un liquide sulfuré (Donaldson-Est, éch. 172-15, #Cr=>93), et il est plus faible dans un cumulat à olivine provenant d'une coulée minéralisée (Donaldson-Est, éch. 172-8, #Cr= 53.68 à 56.3). Il a été suggéré par Kimball (1990) que des rapports #Fe élevés accompagnés de rapports #Cr élevés impliquent une altération de nature hydrothermale, mais pourrait aussi indiquer une rééquilibration avec les sulfures, ce qui serait sûrement le cas pour les spinelles dans les sulfures massifs à Donaldson-Est.

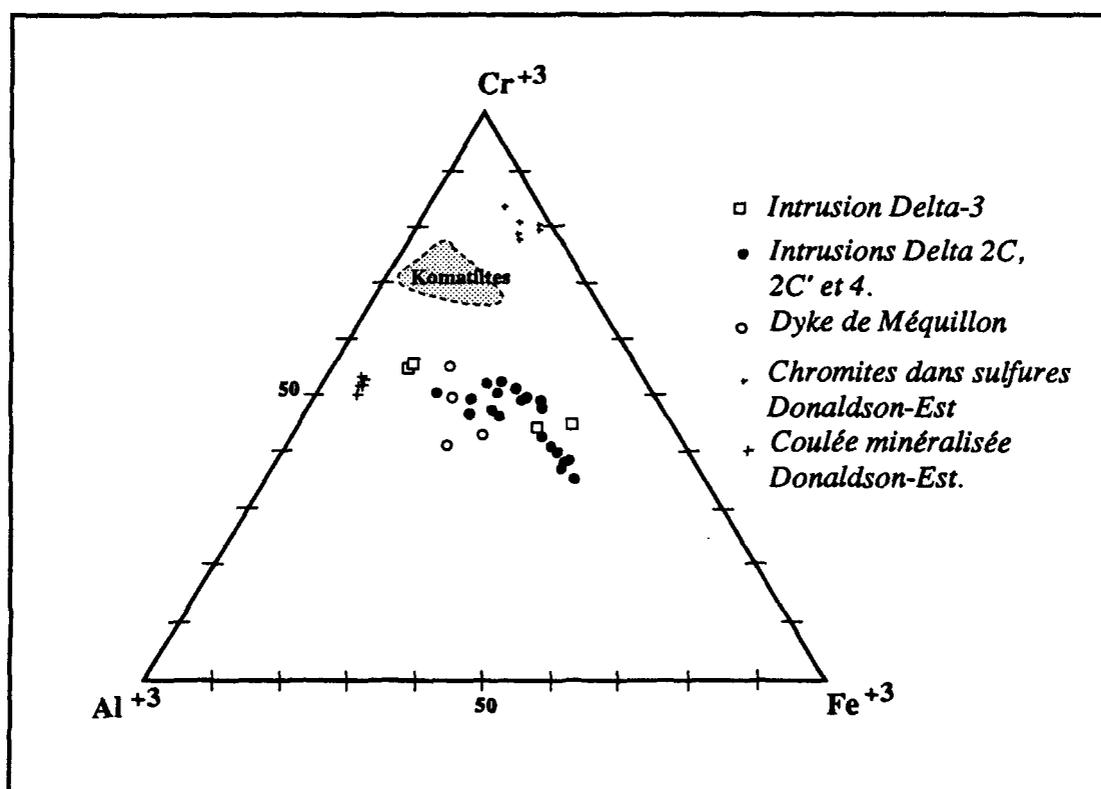


Figure 4.6: Diagramme ternaire Cr-Fe-Al pour les spinelles chromifères provenant de plusieurs intrusions dans la ceinture de Cape-Smith (le champ pour les komatiites provient de Frost et al., 1989).

Les spinelles chromifères des intrusions 2C, 2C' et 4, montrent des compositions en ZnO similaires mais cependant très variables pour des grains différents provenant de la même intrusion. Cependant le contenu en ZnO pour ces chromites est nettement plus faible que pour les chromites provenant du cumulat à olivine de la coulées minéralisé à Donaldson-Est (éch. 172-8; ZnO= 0,95% à 2,01%). Les spinelles chromifères provenant des intrusions ultramafiques 2C et 2C', ne semblent pas posséder les caractéristiques chimiques de spinelles qui ont cristallisé à partir d'un magma qui ségréguait un liquide sulfuré et ils tombent dans la même région du diagramme ternaire Fe-Cr-Al, sous le champ des komatiites, impliquant une cristallisation à partir d'un magma plus fractionné.

4.2. Les minéralisations contenues dans les zones D8 et D9.

Les indices minéralisés appartenant aux zones D8 et D9 ont été découverts par la compagnie Cominco lors des campagnes de forages effectuées entre 1975 et 1980 (Samis, 1977, 1979).

Ces indices n'affleurent pas mais ils sont cependant marqués sur le terrain par un alignement de blocs minéralisés de péridotite et de gabbro. Deux lentilles de sulfures massifs, mesurant 150 mètres de long et 10 mètres de large ont été repérées par géophysique et par forages (lentilles D8 et D9). Distantes de 900 mètres, elles semblent suivre la zone de cisaillement plutôt que la stratigraphie.

Des veines minéralisées en chalcopyrïte et pyrite, apparemment contrôlées par des fractures et des petits cisaillements, accompagnent les sulfures massifs et sont plus abondantes dans les roches encaissantes inférieures que les encaissants supérieurs.

Les données présentées ci-dessous pour les zones minéralisées, ont été obtenues à partir de quatre forages réalisés par les compagnies Cominco et Falconbridge Nickel (forages 77-24, 77-29, 80-77 et 87-86).

4.2.1. Contexte géologique des minéralisations

4.2.1.1. La zone minéralisée D8

La zone minéralisée D8 contient une lentille de sulfures massifs située dans une zone de faille (faille "D") marquée par deux cisaillements sub-verticaux parallèles, d'attitude est-ouest. Cette faille recoupe à angle, le sommet des intrusions Delta 1C et 2C et la base de l'intrusion Delta 3 (figures 4.1 et 4.7). L'intrusion 2C' semble comprise dans la zone de cisaillement. Le filon-couche Delta-3, au nord, possède un pendage (50°) et une polarité vers le nord et les intrusions Delta 1C et 2C possèdent un pendage (80-90°) vers le sud et une polarité vers le nord.

Des échantillons pour fins d'analyses pétrographiques et géochimiques ont été prélevés dans deux des forages qui recoupent cette lentille de sulfures, le 77-29 et le 87-86. La lentille de sulfures massifs, interceptée par le forage 77-29 (section BB', figure 4.7), possède l'intrusion ultramafique 2C' comme encaissant supérieur immédiat. Cette lentille et l'intrusion 2C' se pincent en profondeur à l'endroit du forage 87-86 (section AA'). Au point de vue pétrographique, le Delta 2C' au niveau du forage 77-29, est composé d'un mésocumulat à olivine contenant des reliques d'olivine ($\phi < 1\text{mm}$, Ant \pm Tr) parfois en inclusion dans de l'augite diopsidique ($\phi = 10\text{mm}$, Tr) et de la hornblende brune ($\phi \leq 1\text{mm}$). On y retrouve des cristaux de ferrochromite (1-3%, $\phi < 0,2\text{mm}$) et des grains de pyrrhotite (1-5%, $\phi \leq 0,05\text{mm}$) entre les reliques d'olivine. Ce mésocumulat s'enrichit en pyroxène près du contact avec les sulfures massifs pour devenir une pyroxénite (éch. 77-29-2), mais ne contient toutefois qu'un pourcentage très faible de sulfures.

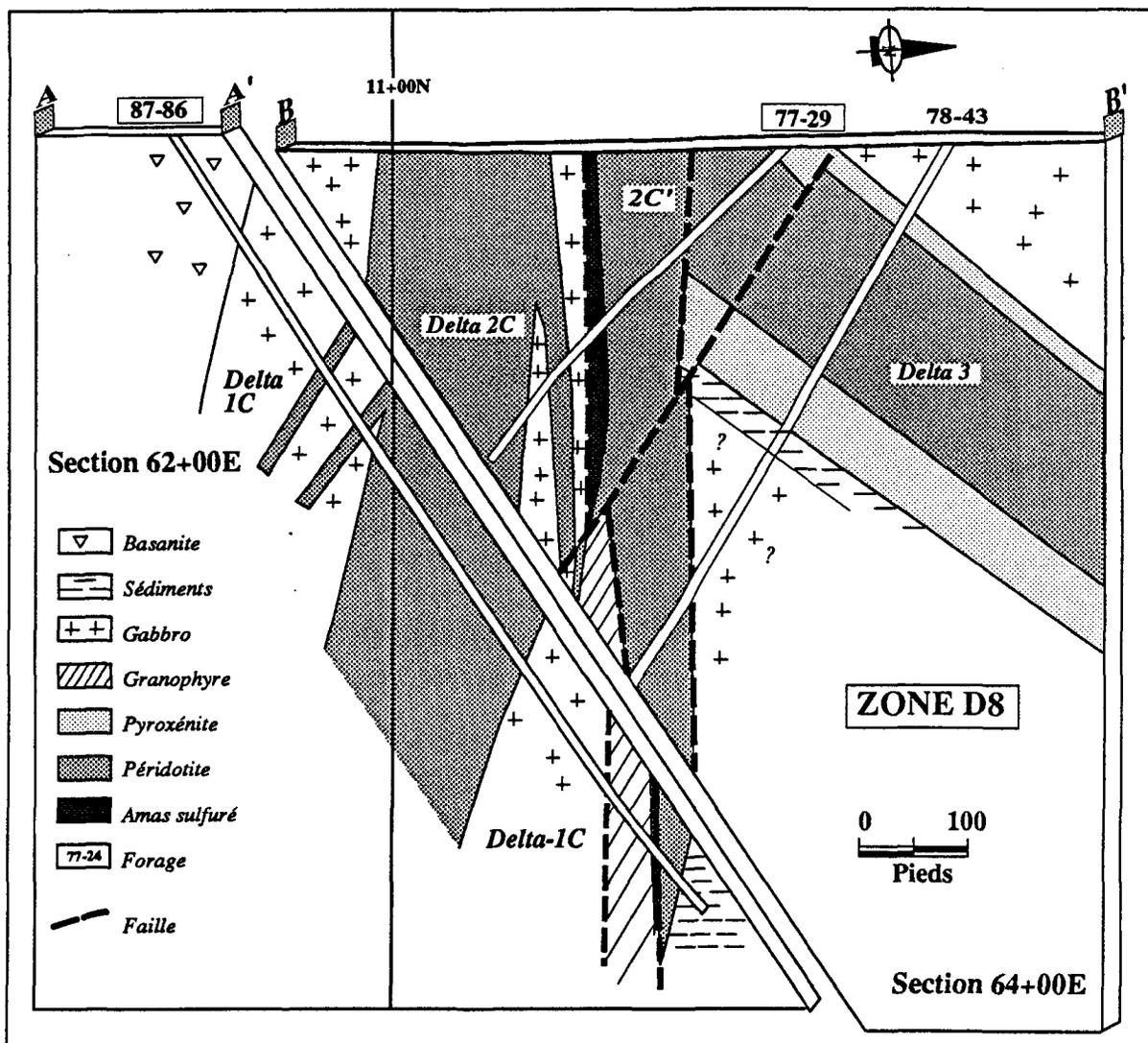


Figure 4.7: Sections géologiques illustrant la trace des forages 77-29 et 87-86, zone minéralisée D8, coupes AA' et BB'. Ces sections sont distantes de 200 pieds (61 mètres) sur le terrain (figure 4.1) selon une direction de N277°.

Au contact avec les sulfures massifs une trémolite avec des sulfures disséminés peut représenter la bordure figée inférieure de l'intrusion. Delta 2C'

L'encaissant inférieur immédiat aux sulfures massifs est une cataclasite amphibolitisée d'origine pyroxénitique qui contient de nombreuses veines et veinules de pyrrhotite et de chalcopyrite. Sous cette zone, on retrouve les gabbros de l'intrusion Delta 1C. Ces derniers contiennent en général moins de 10% de sulfures disséminés et sous forme de veines.

En profondeur (coupe AA'; forage 87-86) la zone minéralisée est de plus faible ampleur et est située le long d'un cisaillement qui sépare l'intrusion Delta 2C' de l'horizon de granophyre. A cet endroit, l'intrusion 2C' est plus mince, de nature plus pyroxénitique et est fortement cisailée et recristallisée. L'unité de granophyre devient plus important en profondeur (forage 87-86), étant absent à l'endroit où la lentille de sulfures massifs est plus épaisse (forage 77-29).

4.2.1.2. La zone minéralisée D9

La zone minéralisée D9 est située approximativement à 900 mètres à l'est de la zone D8. Les sections géologiques qui contiennent les cheminements en profondeur des forages 77-24 (coupe CC') et 80-77 (coupe DD') sont représentées à la figure 4.8. Ces sections sont distantes de 300 pieds (91,44 mètres) sur le terrain et sont localisées sur la figure 4.1.

Dans la section géologique de la coupe CC' (figure 4.8) une faille est-ouest sub-verticale sépare le bloc D (Delta 3) au nord, du bloc C, au sud. Elle semble représenter la prolongation vers l'est de celle identifiée dans la zone D8. Au nord de cette faille, une épaisse séquence sédimentaire formée essentiellement de siltstones et de phyllades est recoupée ou surmontée par le filon-couche différencié Delta 3.

Les intrusions 1C et 2C sont pentées vers le nord et il y a une différence marquée dans l'épaisseur de ce système si on compare avec la zone D8. Les sulfures massifs se situent encore ici le long de la faille et furent interceptés par les trois forages représentés sur cette section.

Dans le forage 77-24 (CC', figure 4.8) la lentille de sulfures massifs est localisée entre des roches sédimentaires qui constituent les encaissants supérieurs et les gabbros de l'intrusion Delta 1C qui forment les encaissants inférieurs. Au contact supérieur immédiat de cette lentille, on observe cependant un mince horizon de gabbro ($\epsilon < 30\text{cm}$) fortement déformé et recristallisé. A proximité des sulfures massifs, les sédiments contiennent de nombreuses veines formées de chalcopryrite, de pyrite et d'arsénopyrite accompagnées de quartz, de carbonates et de chlorite.

En profondeur, dans le forage 80-77, les sulfures massifs forment des horizons centimétriques séparés, dans la partie supérieure, par une mince intrusion de composition pyroxénitique, puis plus loin, par un horizon de granophyre. L'encaissant supérieur aux sulfures massifs est un grès feldspathique intensément recristallisé parcouru de nombreuses veines et veinules de quartz, carbonate et chlorite accompagnées par divers sulfures. Les gabbros-norites de l'intrusion Delta 1C qui forment les encaissants inférieurs aux sulfures massifs, contiennent en général moins de 1% de sulfures disséminés et contiennent des niveaux riches en veines et en disséminations de chalcopryrite.

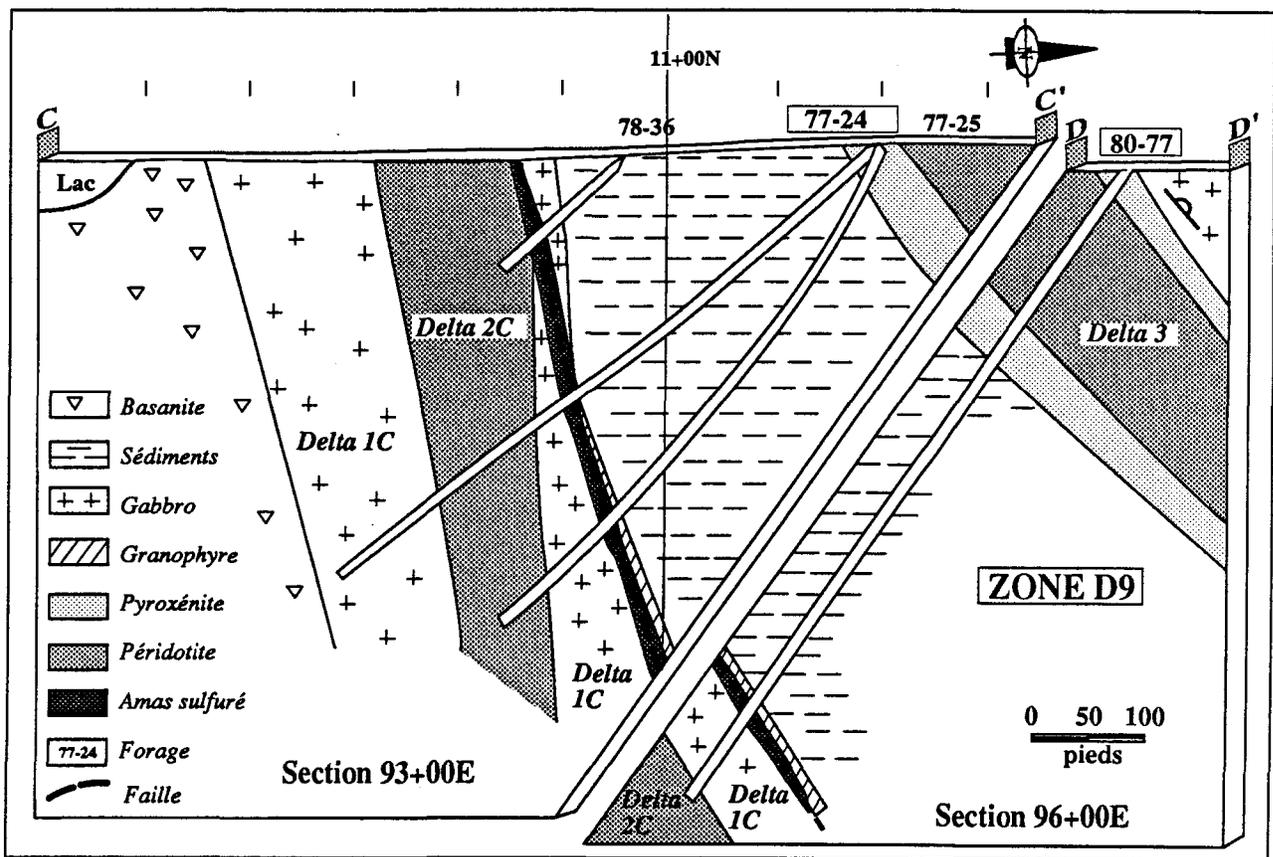


Figure 4.8: Section géologique illustrant la trace des forages 77-24 et 80-77, zone minéralisée D9, coupes CC' et DD'. Ces coupes sont distantes de 300 pieds (91.44 mètres) sur le terrain selon une direction de N277°, et sont localisées à la figure 4.1.

4.2.2. Les types de minéralisations

Les zones minéralisées D8 et D9 contiennent les types de minéralisations suivants: 1) les lentilles de sulfures massifs; 2) un granophyre avec des gouttelettes et des disséminations de sulfures; 3) des veines et disséminations riches en chalcopryrite dans les roches encaissantes aux sulfures massifs.

4.2.2.1. Les sulfures massifs

Les sulfures massifs (Planches 20 à 23) appartenant aux lentilles D8 et D9 sont essentiellement composés de pyrrhotite et de pentlandite en agrégats et en flammes d'exsolution dans la pyrrhotite, avec une faible quantité de chalcopryrite et des traces de pyrite et de sphalérite. Les sulfures présentent une texture granulaire et une légère foliation minérale marquée par de minces bandes ($\epsilon < 10\text{mm}$) constituées de méga-cristaux de pentlandite ($\phi = 10\text{mm}$). La pyrrhotite présente en général une mosaïque formée de grains équidimensionnels ($\phi = 0,1-0,5\text{mm}$) entourés de pentlandite granuleuse (exsolution extragranulaire, $\phi = 0,1-5\text{mm}$) partiellement remplacée par de la violarite. La chalcopryrite occupe les interstices entre les grains de pyrrhotite et de pentlandite et on peut observer plus rarement, de la cubanite sous forme de lamelles d'exsolution dans la chalcopryrite. Quelques minéraux d'EGP, telles la merenskyite, la kotulskite et la sperrylite forment des petits grains ($\phi < 0,1\text{mm}$) en inclusions dans les principales phases sulfurées.

Le contact supérieur de la lentille D8 est bordée par un mince horizon constitué de chalcopryrite en intercroissance avec de la trémolite ($< 4\text{mm}$). A cet endroit, des grains de sudburyite sont présents sous forme d'inclusions partielles dans la chalcopryrite, ils sont aussi disséminés entre les cristaux de trémolite.

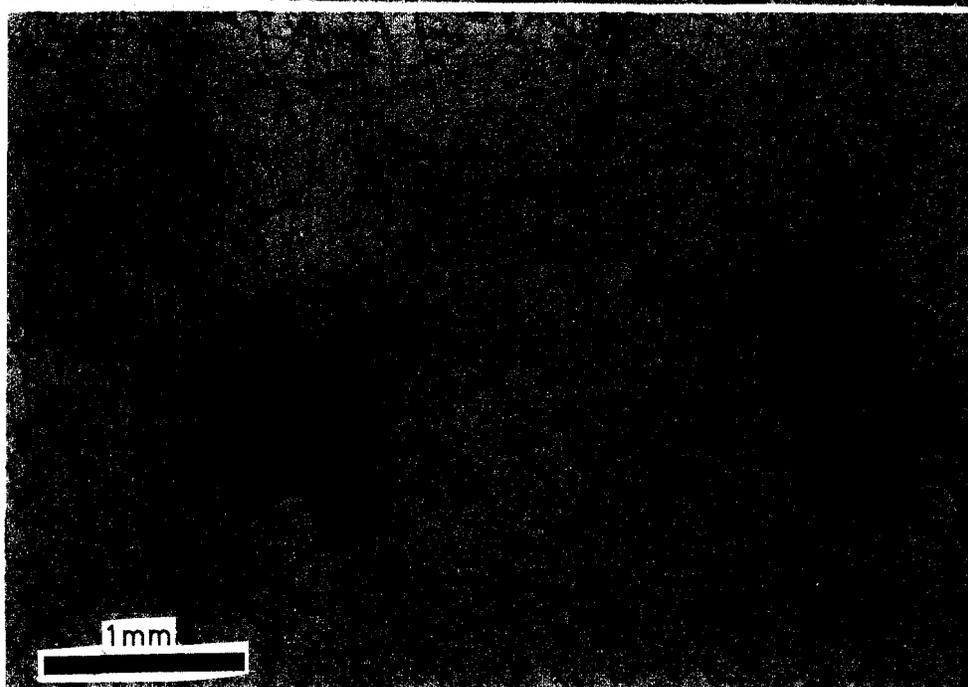
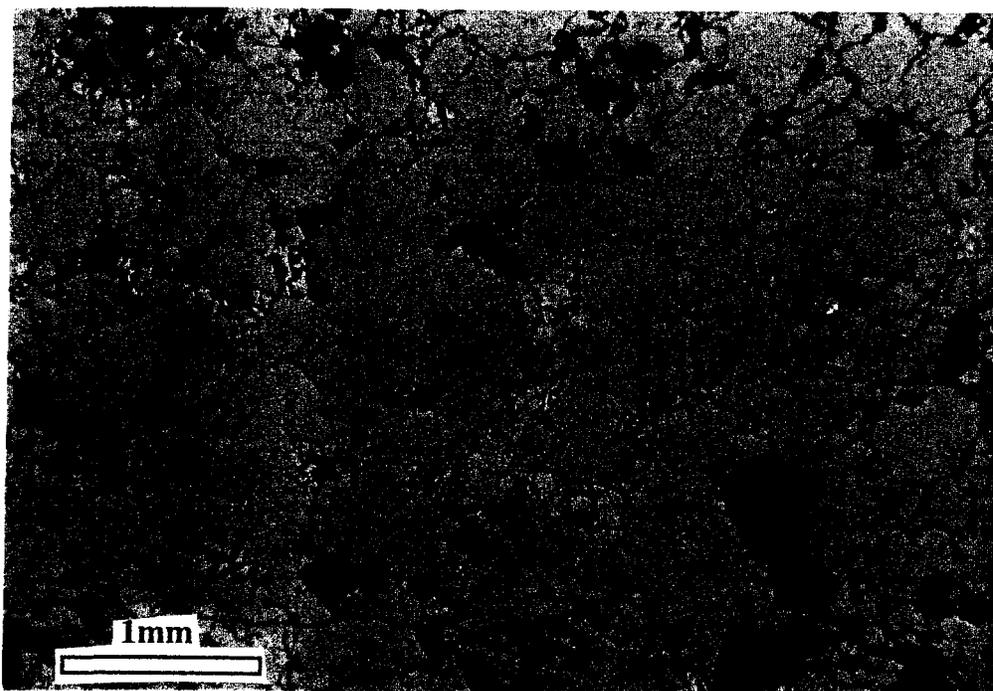


Planche 20: Photomicrographie en lumière réfléchie (x2.5), des sulfures massifs de la partie inférieure de la lentille D8 (éch. 77-29-16). Les sulfures forment un mosaïque équi-granulaire dans laquelle les grains de pyrrhotite (Po) sont entourés d'une guirlande de pentlandite (Pn).

Planche 21: Photomicrographie en lumière réfléchie (x2.5), des sulfures massifs de la partie inférieure de la lentille D9 (éch. 77-24-13). La pentlandite (Pn) forme des amas granulaires grossiers.

Le contact supérieur de la lentille D9 est marqué par un mince horizon de pyrrhotite massive ($\epsilon=1\text{mm}$) et par la présence de pyrite cobaltifère en grains xénomorphes qui occupent des petites fractures de tension d'attitude perpendiculaire aux contacts avec les roches encaissantes. Il n'y pas d'enrichissement en chalcoppyrite comme pour la lentille D8.

Près du contact inférieur de la lentille D8, les sulfures présentent des textures de déformation à l'état solide. Il y a présence de minces bandes riches en chalcoppyrite et pyrite, et les grains de pyrrhotite présentent une forte orientation allongée parallèlement à ces bandes. Il y a aussi alignement de petites enclaves composées surtout de biotite ou de zoïsite. Le contact inférieur de la lentille D9 est aussi marqué par un cisaillement et un enrichissement marqué en chalcoppyrite.

De nombreuses inclusions (5- 50%, $\phi= 5\text{mm}$ à 10 cm, sur les carottes de forages) de gabbro, de granophyre (planches 22 et 23) et de chloritite (rare) sont contenues dans les sulfures massifs. De la base au sommet, on observe une augmentation dans la proportion de ces inclusions, en effet leur taille augmente et elles sont plus abondantes dans la partie supérieure. Elles sont souvent entourées et en voie de remplacement par de la chalcoppyrite qui à son tour, est partiellement remplacée par de la malachite prismatique.

Les inclusions comprises dans la lentille D8, présentent un contour arrondi et sont intensément remplacées par de la biotite, des carbonates de fer et, dans les zones plus riches en chalcoppyrite, par de la malachite prismatique. Dans la partie inférieure on retrouve surtout des petits cristaux de biotite et de zoïsite. Dans la lentille D9, ces inclusions (planches 22 et 23) sont moins altérées et on peut observer des textures primaires gabbroïques et granophyriques. Celles-ci sont partiellement remplacées par de la biotite brune, des carbonates de fer et de cuivre et par de la clinozoïsite.

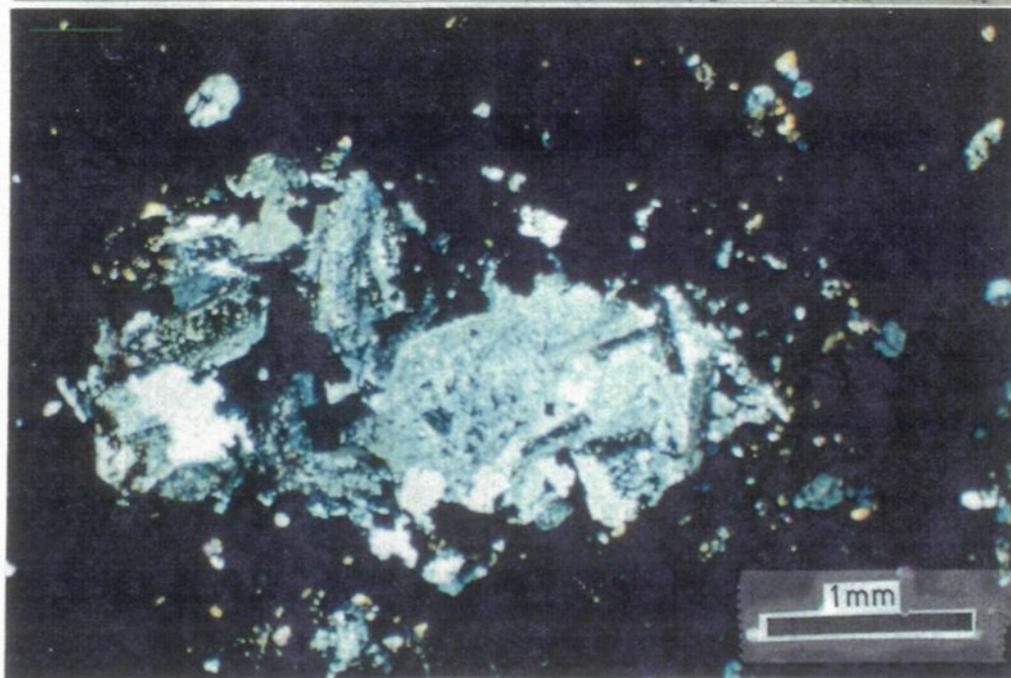
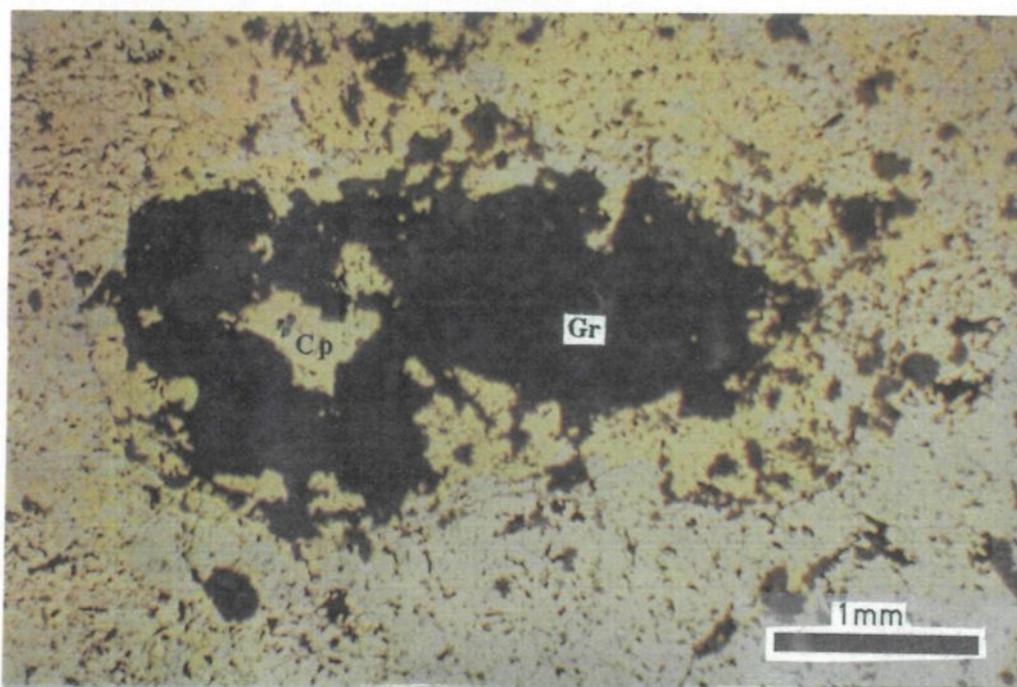


Planche 22: Photomicrographie en lumière réfléchie (x2.5) d'une inclusion de granophyre (Gr) contenue dans les sulfures massifs de la lentille D9 (éch. 80-77-7). Celle-ci est entourée et en voie de remplacement par de la chalcopyrite (Cp).

Planche 23: Inclusion de granophyre de la planche 22 (éch. 80-77-7) vue en lumière polarisée (copie miroir). Les textures granophyriques sont visibles et les silicates sont peu altérés.

Des veinules ($\phi < 1\text{mm}$) de carbonates ferrifères et de quartz recourent les sulfures et inclusions et elles sont légèrement déformées.

4.2.2.2. Les disséminations et globules de sulfures dans le granophyre

Les globules ou gouttelettes de sulfures accompagnés de disséminations de sulfures furent observés seulement dans l'horizon de granophyre situé dans la section AA' (forage 87-86) de la zone minéralisée D8. Les gouttelettes ($\leq 2\text{cm}$, planches 24 et 25) de sulfures sont localement importantes et sont composées de chalcopyrite, de pyrrhotite, de pentlandite et plus rarement de sphalérite et de MGP. Ces gouttelettes sont entourées de clinozoïsite en cristaux millimétriques et présentent une zonation: le coeur est surtout composé de pyrrhotite entouré de pentlandite, et la bordure de chalcopyrite contient en inclusions, quelques MGP (sudburyite?) et de la sphalérite. En l'absence de chalcopyrite, la pentlandite forme la phase de bordure. La texture des sulfures dans ces globules est granulaire, les phases sulfurées en bordure sont cependant interdigitées avec les silicates. Ces gouttelettes peuvent constituer jusqu'à 20% de la roche et sont concentrés en deux zones. Elles présentent des textures similaires aux gouttelettes de type "blebs" que l'on retrouve dans la partie supérieure d'intrusions mafique (Lighfoot et al., 1984) et dans les coulées de lave (Mathez, 1976).

Ces gouttelettes ont aussi été reconnues dans les coulées/ intrusions de Katiniq et du lac Cross (Picard et Giovenazzo, sous presse). Ces dernières peuvent représenter des gouttelettes de liquide sulfuré piégé lors de la cristallisation des silicates (Naldrett, 1981). Cette observation est importante car elle implique des processus d'immiscibilité entre un liquide silicaté et un liquide sulfuré.

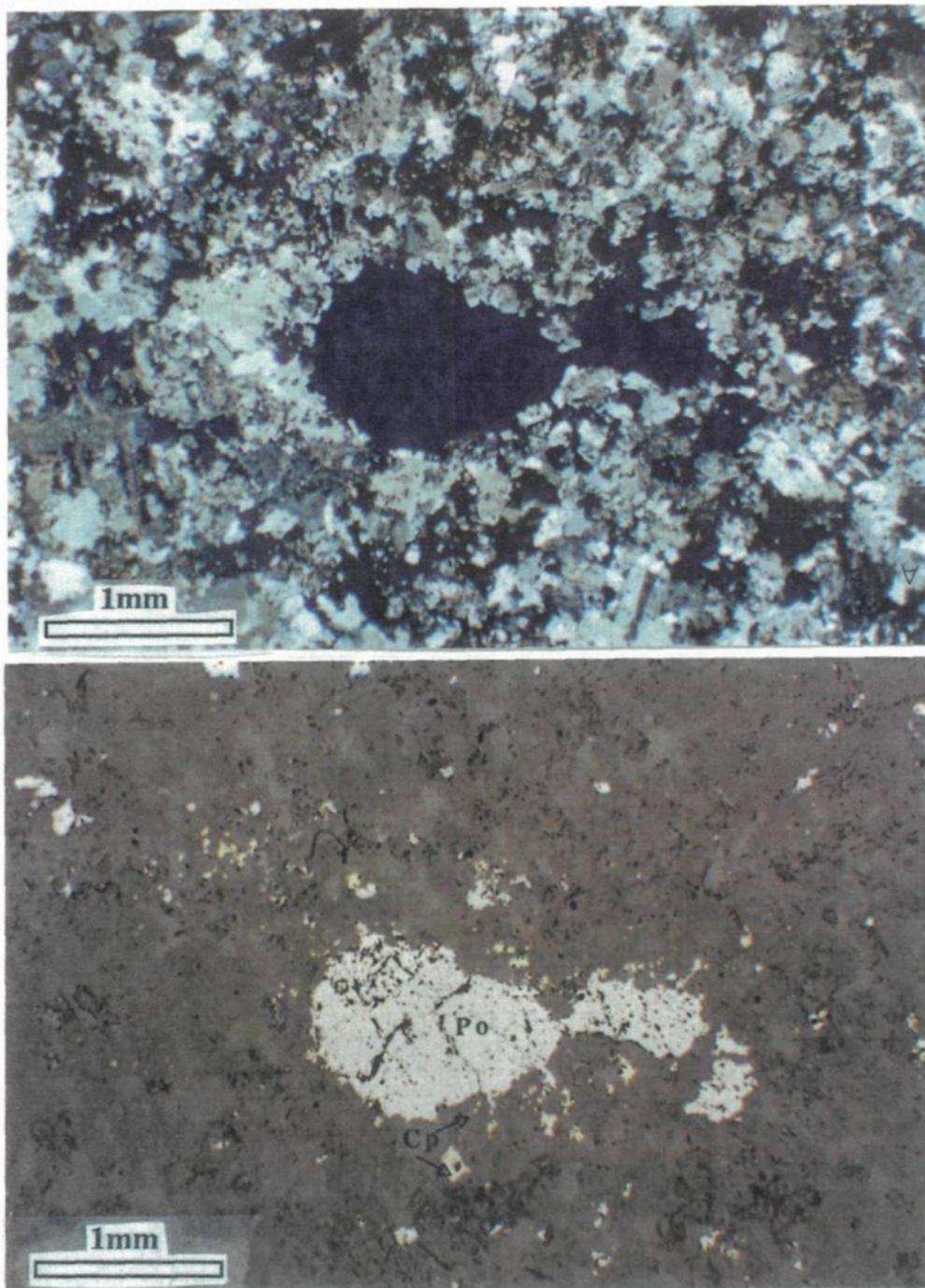


Planche 24: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) d'une gouttelette de sulfures (en noir) dans le granophyre du forage 87-86 (éch. 87-86-22). Le granophyre présente une texture granulaire à grains fins.

Planche 25: Même gouttelette de sulfures que celle de la planche 24, mais vue en lumière réfléchie. La chalcopyrite (Cp) se retrouve en bordure et disséminée autour de cette gouttelette, tandis que le centre est surtout formé de pyrrhotite (Po) granulaire.

Les gouttelettes sont parfois reliées par des minces veinules de chalcopryrite qui représentent probablement une redistribution par des fluides tardifs. D'ailleurs, dans cette unité, on retrouve des veines riches en chalcopryrite près du contact avec l'intrusion Delta 2C'.

4.2.2.3. Les veines et disséminations riches en chalcopryrite.

Dans la zone D8, des veines de sulfures se retrouvent dans les roches encaissantes aux lentilles de sulfures massifs. Les veines dans le granophyre (forage 87-86, éch. 25 et 26, é \leq 3cm, planches 26 et 27) sont essentiellement constituées de chalcopryrite et de carbonates, au centre, et en bordure, de quartz et de plagioclase en texture de peigne. Celles-ci sont souvent bordées aussi par de la zoïsite cristalline et possèdent un halo d'altération en séricite, en quartz et en leucoxène de quelques millimètres dans le granophyre, ce qui implique une interaction fluide-roche. Les phases sulfurées recoupent parfois les bordures de quartz-plagioclase et elles se poursuivent sous forme de microveinules (planche 26). La chalcopryrite constitue la phase sulfurée la plus importante et elle est accompagnée de grains de pyrrhotite en grains équidimensionnels (< 0,5mm), de pentlandite en amas granulaire (< 1mm) ou en flammes d'exsolution dans la pyrrhotite, et de sphalérite sous forme d'inclusions dans la chalcopryrite. Parfois certaines veines sont essentiellement constituées de cristaux idiomorphes de pyrite qui croissent au détriment des autres sulfures.

Finalement de nombreux petits grains de MGP (sudburyite et sperrylite?) identifiés au microscope optique, se retrouvent comme inclusions dans toutes les autres phases sulfurées. Des veines de sulfures se retrouvent aussi dans l'intrusion 2C' et dans les sédiments de la zone D8. Elles sont constituées essentiellement de pyrrhotite et de chalcopryrite accompagnées de pyrite et parfois d'arsénopyrite en phase de remplacement.

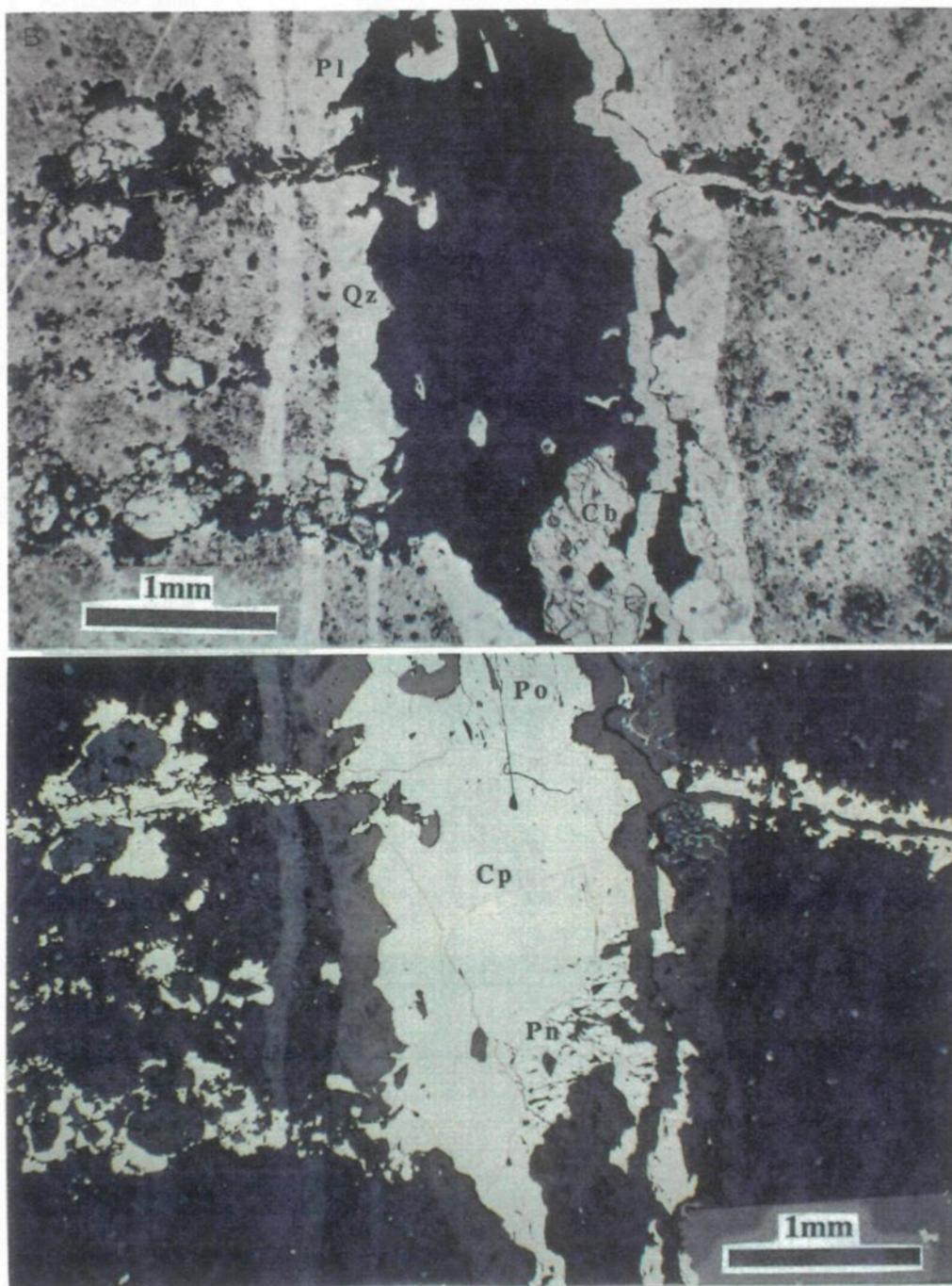


Planche 26: Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) d'une veine de sulfures et de carbonates (Cb) dans le granophyre du forage 87-86 (éch. 87-86-25). Celle-ci est bordée par du quartz (Qz) et du plagioclase (Pl) en texture de peigne.

Planche 27: Même veine de sulfures que celle de la planche 26, vue en lumière réfléchie. Les sulfures sont constitués surtout de chalcopyrite (Cp) avec un peu de pyrrhotite (Po) et de pentlandite (Pn) et semblent recouper la bordure de quartz-plagioclase de la veine.

Dans la zone D9 des veines et disséminations riches en chalcopryrite se retrouvent dans les sédiments et dans les gabbros. Celles-ci présentent les mêmes caractéristiques que celles observées dans la zone D8. Les veines dans les sédiments (max 1cm) comprennent une bordure de chlorite ferrifère puis un centre contenant du quartz, de la calcite, de la zoïsite et de la chalcopryrite. On y retrouve aussi en quantité moindre de la pyrrhotite, de la pentlandite, de la sphalérite, de la pyrite et de l'arsénopyrite.

Les veines et disséminations de chalcopryrite dans les gabbros sont situées dans de minces zones de cisaillements et des fractures préexistantes. Elles contiennent de la chalcopryrite, phase la plus abondante, et de la pyrrhotite, de la pentlandite, de la pyrite, de la sphalérite et des MGP. Ces veines sont abondantes dans les gabbros qui forment l'encaissant inférieur aux lentilles de sulfures massifs.

4.3. Minéralogie

4.3.1. Les minéraux d'EGP

Dans les lentilles de sulfures massifs, les veines de chalcopryrite et dans les gouttelettes de sulfures, plusieurs minéraux d'EGP ont été reconnus au microscope optique; un total de 25 grains dans les sulfures massifs (sur 16 lames-minces), 3 grains dans les gouttelettes (sur 3 lames-minces) et plus de 20 grains dans les veines (sur 4 lames-minces). La composition chimique quantitative de 16 de ces grains a été déterminée à l'aide d'une microsonde électronique (Université McGill, temps de comptage 40 sec) et les résultats sont présentés au tableau 11, en annexe.

La *Merenskyite*, composition chimique idéale PdTe_2 et analysée $[\text{Pd}_{0.6-0.8}, \text{Ni}_{0.16-0.4}, \text{Ag}_{0.04}] [\text{Te}_{0.7-0.8}, \text{Bi}_{0.03-0.1}, \text{Sb}_{0.17-0.2}]_2$, se retrouve sous forme d'inclusions idiomorphes

ou hypidiomorphes de taille inférieure à 0,1mm. Elle fut identifiée dans des grains de pyrrhotite et des grains de pentlandite dans les sulfures massifs (planche 28) ainsi que dans les veines. Elle est légèrement anisotrope et de couleur blanche. Les grains identifiés sont homogènes et comportent seulement une phase. Quelquefois elle semble en voie de remplacement par la pyrrhotite. Cette phase est plus abondante dans les sulfures massifs.

La *Sperrylite*, formule idéale et analysée $PtAs_2$, fut identifiée comme des inclusions rondes partiellement résorbées, dans de la chalcopryrite appartenant aux sulfures massifs de la zone D9 (planche 30). Elle fut aussi identifiée dans les veines, comme des inclusions rondes dans de la pyrrhotite ainsi que dans de la pentlandite où elle accompagne la testibiopalladinite avec laquelle est semblable contemporaine (planche 29). Elle est isotrope et de couleur blanche.

La *Testibiopalladinite*, formule idéale $Pd [Sb, Bi] Te$ et analysée $[Pd_{0.9}, Pt_{0.04}, Ni_{0.06}] [Sb_{0.6}, Bi_{0.4}] Te$, fut identifiée dans les veines de la zone D9 sous forme d'inclusions hypidiomorphes dans de la pentlandite (planche 29). Elle se retrouve aussi en inclusions dans des grains de sudburyite appartenant aux sulfures massifs de la zone minéralisée D8. Elle est isotrope, de couleur blanche avec une teinte de bleue. Plusieurs très petits grains possédant les mêmes caractéristiques visuelles furent identifiés dans de la pyrrhotite et de la pentlandite appartenant aux sulfures massifs. Ces inclusions sont souvent multiphases et sont trop petites pour être déterminées avec certitude.

La *Kotulskite*, formule idéale $PdTe$ et analysée, $Pd [Te_{0.8}, Bi_{0.1}, Sb_{0.1}]$, fut identifiée comme des inclusions hypidiomorphes (<0,01mm) dans la chalcopryrite appartenant aux sulfures massifs de la zone D9 (planche 30). Elle est légèrement anisotrope et de couleur blanche avec une teinte crème.

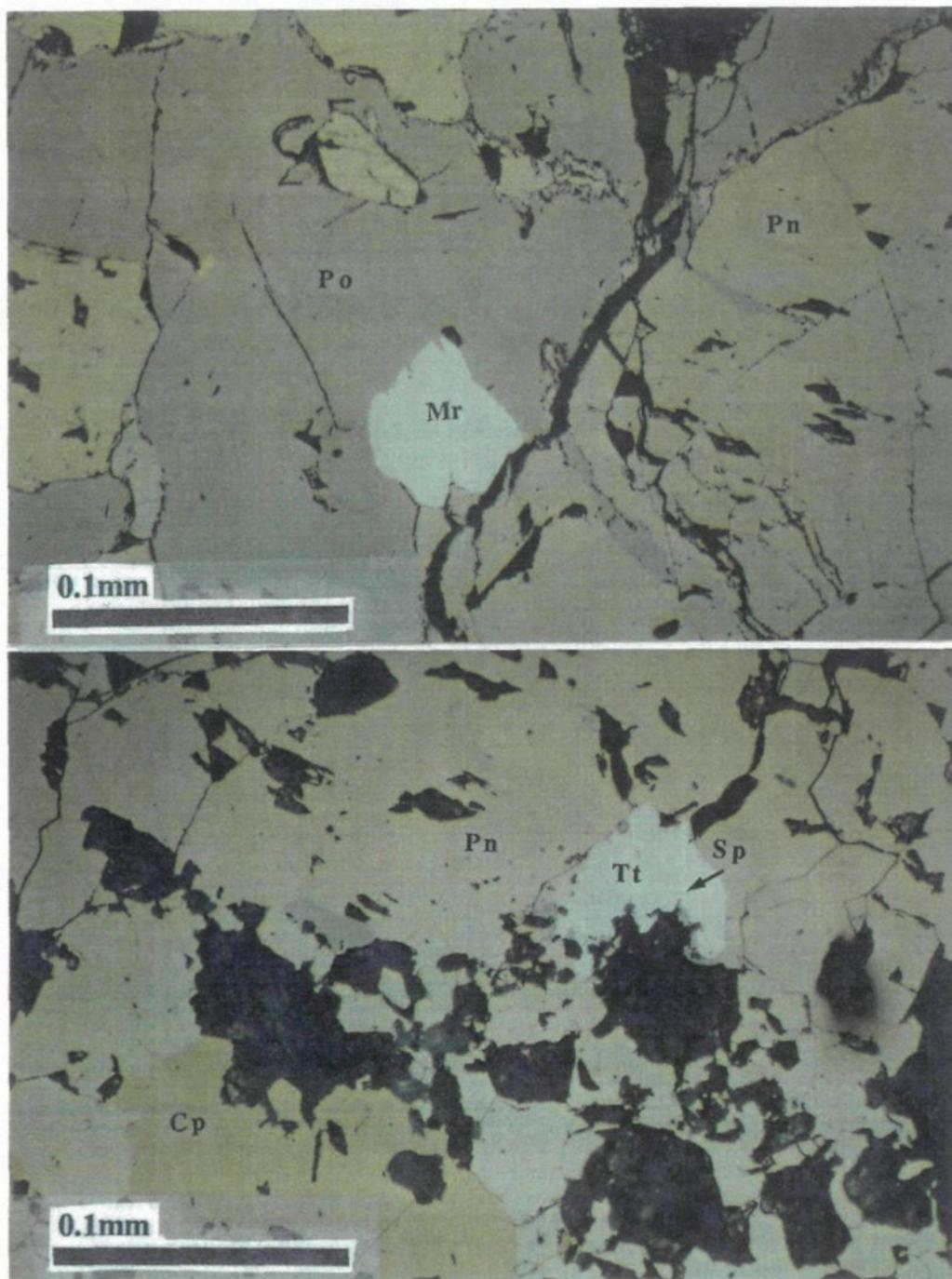


Planche 28: Photomicrographie en lumière réfléchie (x40) d'un grain hypidiomorphe de merenskyite (Mr) en inclusion partielle dans de la pyrrhotite (Po) en contact avec de la pentlandite (Pn) (éch. 77-24-3). Cet échantillon provient de la partie supérieure de la lentille de sulfures massifs D9.

Planche 29: Photomicrographie en lumière réfléchie (x40) d'une inclusion hypidiomorphe composée de testibiopalladinite (Tt) et de sperrylite (Sp) dans de la pentlandite (éch. 80-77-32). Cet échantillon provient d'une veine riche en sulfures dans un gabbro qui fait partie de l'encaissant inférieur à la lentille de sulfures massifs D9.

Les inclusions qui contiennent de la kotulskite sont parfois multiphases, ses phases soeurs ne furent pas déterminées à cause de leur très petite dimension.

La *Sudburyite* fut identifiée comme inclusions xénomorphes dans de la chalcopyrite. Celle-ci est abondante dans les veines de la zone D8 et au contact entre les sulfures massifs et l'intrusion 2C' (planche 31). De formule générale $(Pd_{0.8-0.9}, Ni_{0.02-0.14}) (Sb_{0.94-0.97}, Te_{0.03}, Bi_{0.03})$, sa couleur est blanche avec une teinte jaunâtre et les grains montrent une faible anisotropie. Cette phase est abondante dans les veines où elle est en inclusion dans la chalcopyrite. On la retrouve souvent en association avec d'autres très petits minéraux des EGP non identifiés.

4.3.2. Les sulfures

La composition chimique quantitative de plusieurs grains de pyrrhotite, de pentlandite, de chalcopyrite et de pyrite appartenant aux amas sulfurés a été déterminé par micro-sonde électronique. Ces résultats sont présentés au tableau 12, en annexe.

Les grains de chalcopyrite dans les sulfures massifs de la zone D9 (#1 à 6) et ceux de la bordure supérieure de la zone D8 (#7) présentent une composition stochiométrique $CuFeS_2$ avec cependant des faibles quantités de Bi et Sb, suggérant que ces éléments sont associés avec le Cu. Les grains de pentlandite de la zone D9 montrent une variété de composition. En effet, le grain #1 analysé dans une exsolution granulaire située entre des grains de pyrrhotite et en contact avec une inclusion de Merenskyite, montre une stochiométrie de violarite: $[Fe, Ni, Co]_7 S_8$.

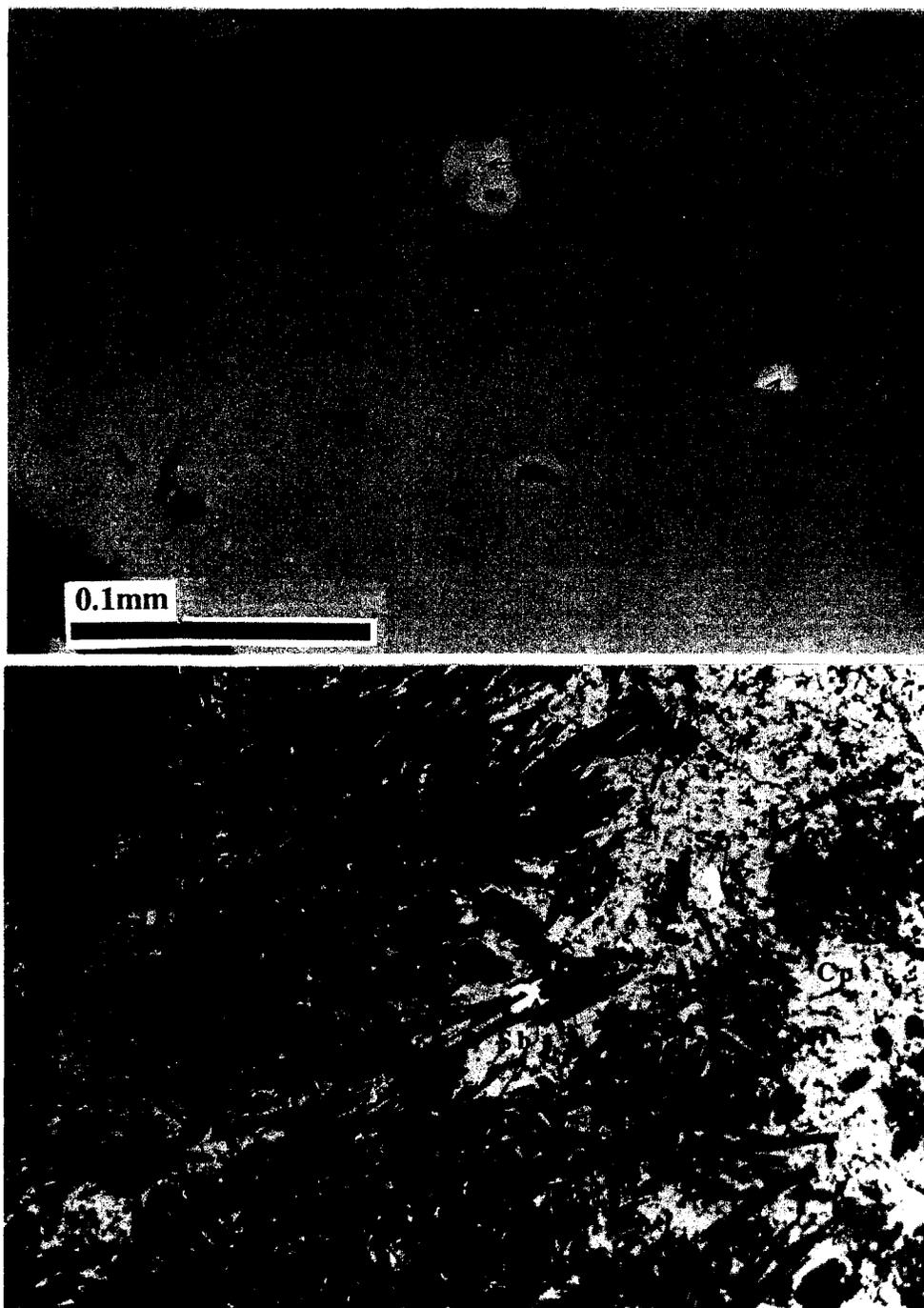


Planche 30: Photomicrographie en lumière réfléchie (x40) d'inclusions de kotulskite (Ko) et de sperrylite (Sp) dans de la chalcopyrite (éch. 77-24-16). Cet échantillon provient des sulfures appartenant au contact inférieur de la lentille de sulfures massifs D9.

Planche 31: Photomicrographie en lumière réfléchie (x2.5) d'inclusions de subburyite (Sb) dans de la chalcopyrite (éch. 77-29-3). Cet échantillon provient du contact supérieur de la lentille de sulfures massifs D8.

Les exsolutions #3 et 4 seraient plutôt de la mackinawite [Fe, Ni, Co] S. Les grains #5 à 7 proviennent de pentlandite granuleuse et leur stochiométrie est correcte [Fe, Ni, Co]₉ S₈. Ces grains contiennent des traces de Pd et de Bi et possèdent des rapports Fe:Ni de 1:1 typiques des sulfures magmatiques (Harris et al., 1976). Les pyrrhotites contiennent aussi des traces de Pt, Pd et Bi.

Les pyrites dans les sulfures massifs (#1 à 3) sont cobaltifères et contiennent des traces de Pd et de Bi. Les grains de pyrite dans les veines (#4) sont aussi cobaltifères avec des quantités non-négligeables de Bi et de Cu. Ils montrent une faible anisotropie causée probablement par ces éléments qui se retrouvent en impureté dans leur structure atomique.

4.3.3. Les biotites

Parce qu'il y a des grains de biotite associés à certaines inclusions de roche ignée dans les sulfures massifs de la zone D8, des analyses à la micro-sonde électronique furent effectuées afin de déterminer leur composition et le contenu en chlore. Les grains de biotites, en microscopie, possèdent une couleur brune foncée et une biréfringence élevée. Elles possèdent (tableau 13, en annexe) des contenus élevés en FeO (>27%) typique des biotites dans les pegmatites et les granites (Deer, Howie et Zussman, 1962). Le contenu en chlore dans des phases hydreuses est utilisé dans le but de déterminer le type de fluide associé avec la minéralisation (Boudreau et al., 1986). La quantité de Cl⁻ (0,17 à 0,22 %) dans nos biotites est cependant peu élevée si on compare avec d'autres biotites associées avec des minéralisations Ni-Cu (Strathcona, Sudbury, les phlogopites ont 2,09% Cl⁻; Springe, 1989). À Duluth, il ne semble pas avoir de lien entre l'enrichissement en EGP et le contenu en Cl⁻ des biotites (0,10% à 0,71%; Ripley, 1990), ce qui semble être le cas pour nos biotites.

4.4. Synthèse et Conclusions

1) Chronologie intrusive

Le filon-couche Delta 1C, de nature essentiellement gabbroïque, est traversé par de nombreux dykes de roches ultramafiques dont deux plus importants, le Delta 2C et 2C'. Les relations de terrain et les observations pétrographiques nous indiquent que ce sont clairement des dykes mis en place après la formation de l'intrusion gabbroïque.

Ces intrusions ultramafiques représentent des conduits dans lequel le magma s'est écoulé en cristallisant de l'olivine. Les gabbros sont peu différenciés et présentent des profils en terres rares relativement plats et similaires à ceux des roches ultramafiques. Cependant le granophyre est enrichi en terres rares légères de même que les sédiments de la région. Ce granophyre fut probablement formé suite à la fusion de roches sédimentaires soit par le magma qui a généré l'intrusion Delta 1C, soit par l'intrusion 2C' et le liquide sulfuré qui s'est séparé. Suite aux observations pétrographiques et géochimiques la séquence intrusive suivante fut établie (figure 4.9):

A) Mise en place du Delta 1C entre des basanites et des séquences de roches sédimentaires;

B) Mise en place des intrusions Delta 2C et 2C';

?-Formation du granophyre par fusion de roches sédimentaires;

?-Ségrégation d'un liquide sulfuré;

C) Cisaillement;

D) Événement hydrothermal (veines de sulfures).

Le filon-couche Delta 3 est pré-cisaillement mais on ne peut établir avec certitude sa chronologie par rapport aux autres intrusions.

2) Caractérisation des types de minéralisations

Les zones minéralisées D8 et D9 contiennent les types de minéralisations suivants: 1) les lentilles de sulfures massifs; 2) un granophyre avec des gouttelettes et des disséminations de sulfures; 3) des veines et disséminations riches en chalcopryrite dans les roches encaissantes aux sulfures massifs.

Les amas de sulfures massifs contiennent un assemblage minéralogique simple dans lequel la pyrrhotite, la pentlandite et la chalcopryrite prédominent avec en traces, de nombreux petits grains de MGP sous forme d'inclusions dans les principales phases sulfurées. Des inclusions de roches granophyrique/ gabbroïque altérées mais non déformées dans les sulfures massifs forment de 5 à 40% des lentilles. Le temps de refroidissement semble être assez long car la pentlandite forme des exsolutions extragranulaires qui peuvent être assez importantes. Le cuivre, étant un élément assez mobile, s'est concentré autour des inclusions de roches ignées et en marge des lentilles de sulfures massifs sous forme de chalcopryrite. La merenskyite forme le MGP le plus abondant dans les sulfures massifs, la sudburyite s'associe avec la chalcopryrite et est plus abondante dans les veines et dans les horizons riches en chalcopryrite en bordure des lentilles de sulfures massifs. La sperrylite, la kotulskite et la testiobiopalladinite se retrouvent comme inclusions dans la pyrrhotite ou la pentlandite appartenant aux sulfures massifs et aux veines de sulfures.

D'après Mostert (1982), des alliages Pt-Fe et de la cooperite se forment à des températures magmatiques dans un liquide sulfuré. Les sulfures EGP cristallisent plus tard comme le résultat d'une réaction Pt-Fe avec le liquide sulfuré à 1000°C. Pendant une étape hydrothermale, les arséniures, tellurures et bismuthinites se forment à des températures plus basses (<350°C; Mackovicky et al., 1976).

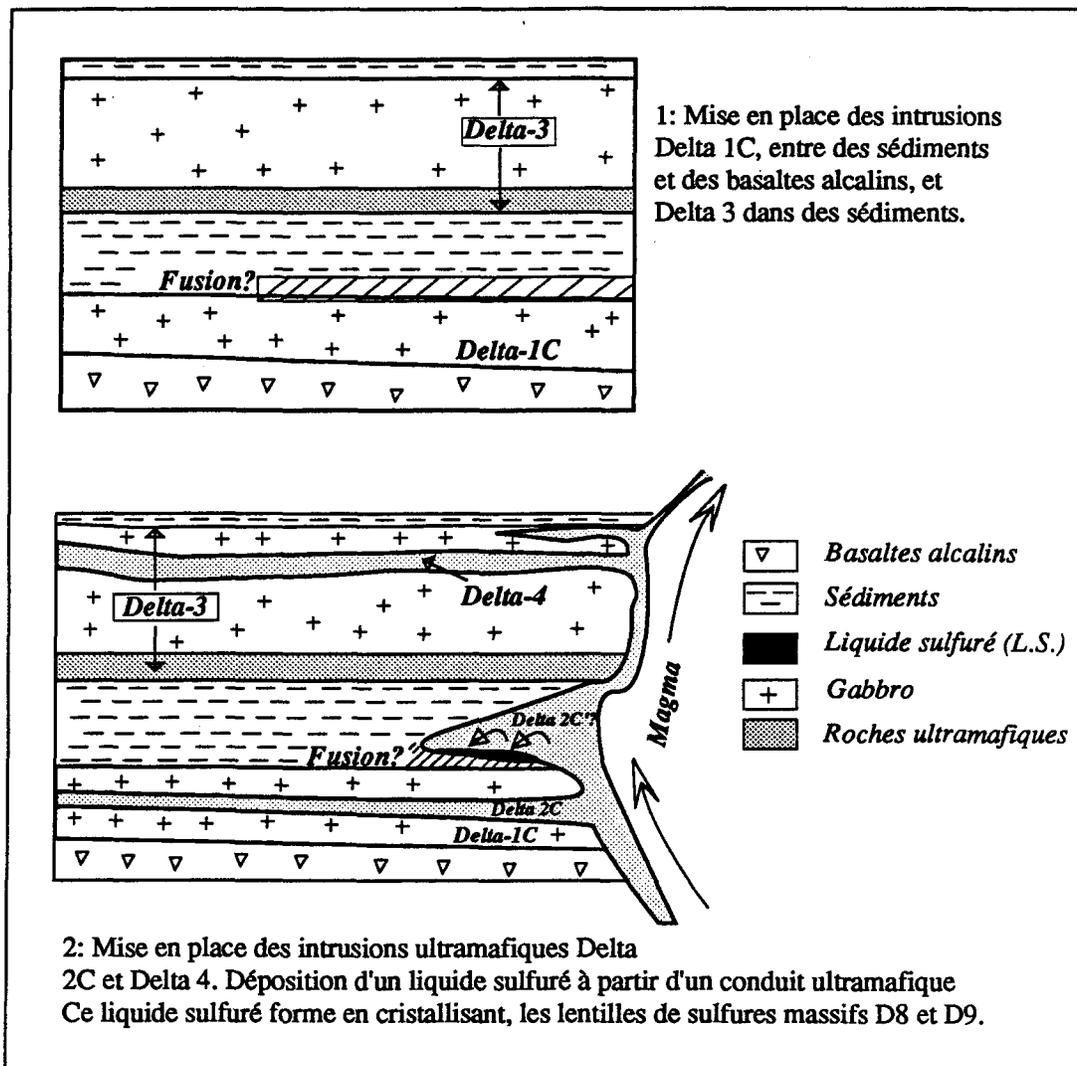


Figure 4.9: Schémas qui illustrent la chronologie de mise en place des intrusions retrouvées dans les zones minéralisées D8 et D9.

A Noril'sk (Genkin et Evstigneeva, 1986) la différenciation d'un liquide sulfuré amène la formation d'un liquide résiduel riche en Cu dans lequel le Pt, le Pd, et le Sn, le Te, le Bi et le Sb se concentrent. Celui-ci précipite de la chalcopyrite et des MGP qui contiennent ces éléments entre les minéraux sulfurés déjà cristallisés.

Dans les lentilles de sulfures massifs D8 et D9, nous observons une quantité importante de grains de MGP qui sont des tellurures (merenskyite, kotulskite), des antimoniures (sudburyite, testiobiopalladinite) et des arséniures (sperrylite). La sudburyite est intimement associée à la chalcopyrite tandis que les autres phases sont en inclusions dans tous les sulfures. La merenskyite et la sperrylite forment des inclusions idiomorphes et hypidiomorphes dans la pyrrhotite et la pentlandite ou à la jonction entre ces deux phases, suggérant qu'ils furent cristallisés à partir du liquide sulfuré.

La ségrégation d'un liquide riche en Cu est suggérée par la présence de zones riches en chalcopyrite en bordure des sulfures massifs et sous forme de veines dans les encaissants inférieurs. Dans ce cas, la sudburyite et parfois la testiobiopalladinite sont observées comme inclusions dans la chalcopyrite. Les analyses à la micro-sonde effectuées sur les grains de biotites associés aux inclusions de roches ignées dans les sulfures massifs montrent un contenu relativement faible en Cl⁻

3) L'intrusion mère des sulfures massifs.

Pour ce qui est de l'intrusion ultramafique qui a ségrégué les sulfures massifs, les études sur la composition des spinelles chromifères ne furent pas conclusives. Aucune intrusion ultramafique dans le secteur immédiat ne contient des sulfures soit en filet ou disséminés nous permettant de supposer un lien génétique.

Cependant les analyses sur les cristaux d'olivine dans diverses intrusions ultramafiques dans le même secteur indiquent que les olivines ont cristallisées à partir d'un magma qui avait déjà perdu une partie de son nickel dans un liquide sulfuré. Le Delta 2B', situé immédiatement à l'ouest de l'intrusion Delta 2C, contient des olivines appauvries en NiO lorsqu'on compare avec celles dans le Delta 4.

L'intrusion ultramafique 2C' semble représenter une partie de l'intrusion qui a ségrégué les sulfures massifs par sa position stratigraphique, mais sa situation dans un cisaillement et la faible quantité d'échantillons prélevée dans cette intrusion rend cette affirmation hypothétique.

CHAPITRE 5

CARACTÉRISTIQUES GÉOCHIMIQUES DES AMAS SULFURÉS DES ZONES D8 ET D9.

Introduction

Les zones minéralisées D8 et D9 contiennent des lentilles de sulfures massifs situées le long d'une zone de cisaillement, la faille "D", qui sépare deux domaines structuraux (voir chapitre 1). Ces lentilles sont entourées de disséminations et de veines riches en chalcopryrite dans les roches encaissantes. Un troisième type de minéralisation se retrouve dans un granophyre. Il est constitué de disséminations et gouttelettes de sulfures dans une roche felsique à texture granophyrique. Ce granophyre est localement présent sous les lentilles de sulfures massifs ainsi que sous forme d'inclusions sub-arrondies et non déformées dans les sulfures massifs. Il constitue l'extension en profondeur des sulfures massifs et est situé entre les gabbros du Delta 1C et l'intrusion ultramafique 2C'.

La position des lentilles de sulfures massifs D8 et D9 le long d'une faille qui recoupe différentes intrusions rend leur origine problématique. Ces lentilles sont séparées d'une distance de 900 mètres et possèdent une minéralogie sulfurée simple formée essentiellement des phases suivantes: pyrrhotite, pentlandite, chalcopryrite et plus rarement de la pyrite. On y retrouve aussi, en très faible quantité, des minéraux d'EGP: merenskyite, kotulskite, sudburyite, sperrylite et testiobiopalladinite. Cette association minéralogique suggère une origine magmatique pour les sulfures massifs et leur position dans un cisaillement démontre qu'ils furent remobilisés de leur site de déposition original.

Dans ce chapitre, les résultats d'une étude géochimique sur les diverses minéralisations des zones D8 et D9 seront présentés. Les sulfures massifs et leurs roches encaissantes furent systématiquement échantillonnés afin de définir les variations en éléments nobles attribuées aux processus magmatiques et aux redistributions post-magmatiques, ainsi que pour démontrer les différences géochimiques entre les diverses minéralisations et type de roches dans la région.

Les buts de ce chapitre sont les suivants:

1) la caractérisation géochimique des minéralisations comprises dans les zones D8 et D9 à l'aide des distributions des teneurs en Ni, en Cu, en EGP et autres éléments; 2) le lien qui existe entre les lentilles de sulfures massifs et les autres types de minéralisations; 3) la détermination de l'origine du granophyre et des gouttelettes de sulfures.

5.1. Caractéristiques géochimiques des amas sulfurés des zones D8 et D9

5.1.1. La zone minéralisée D8

Cette zone comprend: 1) une lentille de sulfures massifs; 2) des disséminations et veines de sulfures dans les gabbros/pyroxénites sous-jacents à cette lentille (forage 77-29) et latéralement; 3) un granophyre avec des gouttelettes de sulfures; 4) des veines riches en chalcopryrite dans ce granophyre ainsi que dans l'intrusion 2C' (forage 87-76).

La colonne géologique de l'intersection minéralisée prélevée dans le forage 77-29 se retrouve à la figure 5.1 (tableaux 14 et 15, en annexe) et celle du forage 87-86, à la figure 5.2 (tableaux 6 et 14). Ces colonnes sont accompagnées des profils de variations pour divers éléments économiques et quelques rapports inter-éléments.

Seuls les échantillons dont les éléments traces et tous les EGP furent analysés à l'UQAC ont été placés sur les diagrammes de variations et considérés pour tous les autres calculs, afin d'homogénéiser l'information et de standardiser les résultats. Les cartes de localisation et les sections géologiques furent présentées au chapitre précédent (figures 4.1 et 4.7).

5.1.1.1. Le forage 77-29

La colonne géologique présentée à la figure 5.1 constitue la partie échantillonnée du forage 77-29. Elle comprend une partie de l'intrusion 2C' qui forme l'encaissant supérieur, les sulfures massifs et les gabbros et pyroxénites appartenant à l'intrusion Delta 1C qui forme l'encaissant inférieur.

Pour les sulfures massifs, nous notons tout d'abord une bonne corrélation entre les teneurs de Ni, de Co, de S et de Fe qui délimitent bien la zone de sulfures massifs. Ces sulfures massifs sont divisés en trois parties: la partie inférieure (PI), la partie supérieure (PS) et le contact inférieur (Ci).

La PI est caractérisée par la faible quantité d'inclusions de roches ignées et les échantillons qui la constituent, contiennent généralement plus de 80% sulfures. La PI (éch. 15 à 21) est caractérisée par des teneurs élevées en éléments du groupe Ir ($Ir > 100$ ppb, $Ru > 600$ ppb, $Os > 70$ ppb) et en Rh (> 500 ppb). Les teneurs en Co et Ni augmentent graduellement dans cette unité pour redescendre légèrement au début de la PS. Les rapports Pd/Ir sont aussi très faibles (en moyenne 2,3).

La PS contient plus d'inclusions dont la quantité peut varier entre 40 et 10% selon les échantillons. Celles-ci sont intensément altérées en biotite et en carbonates de fer. La PS (éch. 3 à 13) est caractérisée surtout par des teneurs en Rh (< 300 ppb) et des éléments du groupe Ir plus faibles ($Ir < 3$ ppb, $Os < 4$ ppb, $Ru < 200$ ppb).

Le rapport Pd/Ir augmente graduellement vers le contact avec l'intrusion 2C' (moyenne 23,4; éch. 13= 3,1 à éch. 3= 81,3). Le Ci (éch.22) contient un granophyre cisailé et les sulfures présentent une chute des éléments du groupe Ir (Ir, Os et Ru) ainsi que pour le Rh et le Ni et ses teneurs en Pd, en Pt et en Cu sont similaires aux sulfures massifs de la PI et PS. Ceci résulte en un rapport Pd/Ir plus élevé et un rapport Ni/Cu plus faible que pour la PI des sulfures massifs.

En général, la distribution de l'Au est assez homogène avec cependant un enrichissement au contact inférieur de la PI (éch.21) et dans les gabbros (éch. 27 et 28). Le Zn présente des teneurs constantes avec un enrichissement à la base de la PS et dans les gabbros (éch. 26 et 28). Les teneurs en Cu sont assez homogènes avec cependant une légère augmentation dans le Ci (éch. 22), dans les gabbros (éch. 26 et 28) et dans la PS. Les teneurs en Se sont élevées et relativement constantes dans les sulfures massifs (69,9 à 95,4 ppm), elles sont beaucoup plus faibles dans les gabbros (11 à 12,6 ppm) et dans les roches ultramafiques sus-jacentes (<5 ppm).

Les teneurs en As sont plus élevées à la base de la PI, dans le Ci et dans les gabbros (éch. 26 et 28). Les teneurs en Sb sont plus élevées dans le Ci. Les teneurs en Cr sont plus élevées dans la PI que dans la PS, et le Th est plus élevé dans les PS et le Ci, reflétant peut-être une différence dans la composition des inclusions.

On observe un rapport Ni/Cu variable (entre 5 et 23) pour la zone sulfurée, ce rapport diminue dans les gabbros (<1,5). Le rapport Pd/Ir est variable dans les sulfures massifs (1,0 à 81,3) avec une augmentation marquée vers le sommet de la zone sulfurée. Il est plus élevé dans les roches qui forment les encaissements immédiats aux sulfures (éch.2 = 173,1 et les gabbros >38).

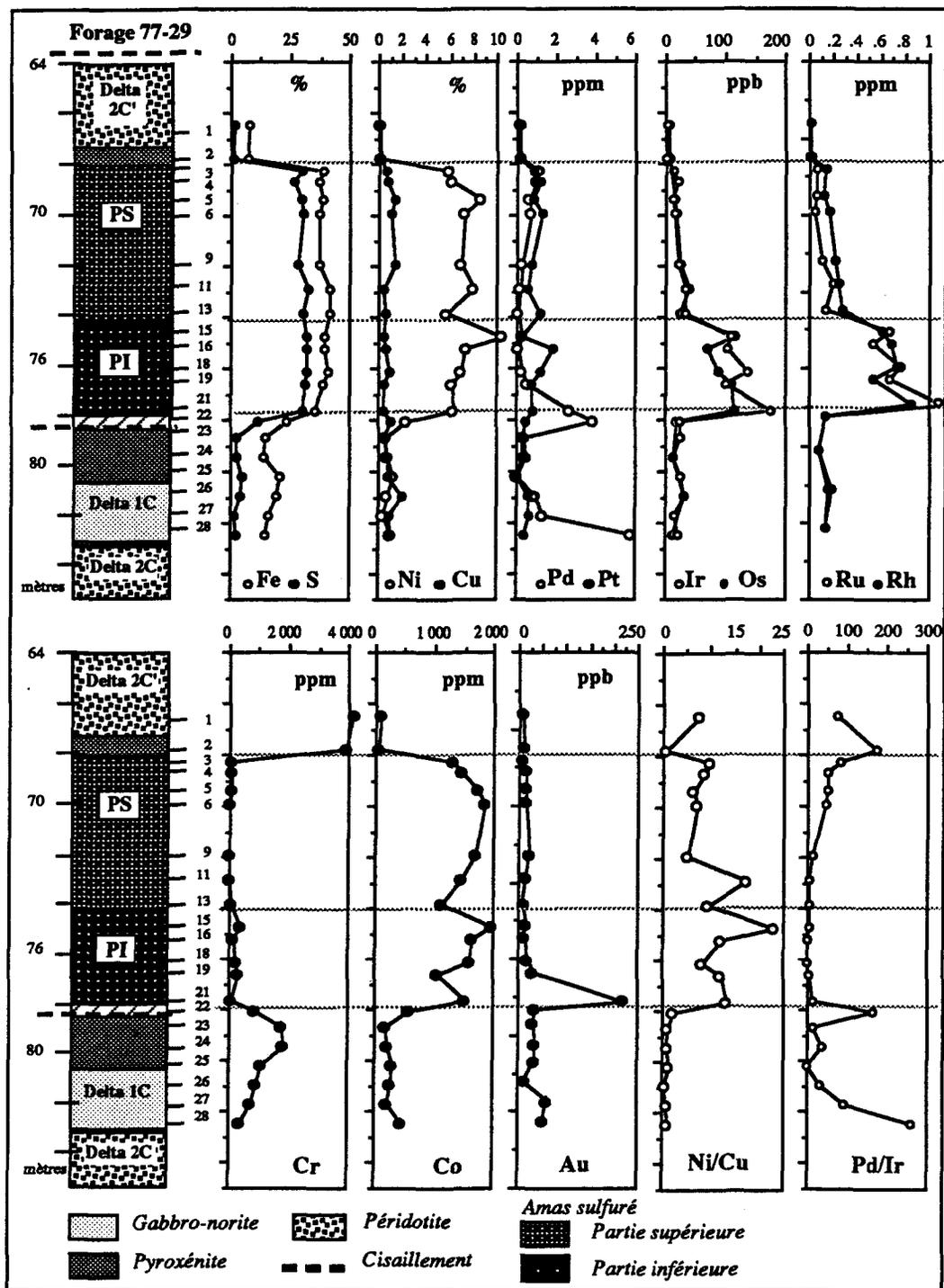


Figure 5.1: Colonne géologique partielle de la partie minéralisée du forage 77-29, accompagnée des variations pour certains éléments économiques (PS= partie supérieure, PI= partie inférieure).

Le rapport Pd+Pt/Ir+Os+Ru (tableau 15) est élevé dans les gabbros-norites inférieure et faible (<10) dans la partie inférieure des sulfures massifs. Il remonte graduellement vers le sommet des sulfures massifs (max=30).

5.1.1.2. Le forage 87-86

Nous avons placé à la figure 5.2 (tableau 6, en annexe) la coupe géologique qui représente la section plus détaillée de la minéralisation. Cette dernière, localisée dans un horizon de granophyre entre les gabbros du Delta 1C et le Delta 2C', se situe dans l'extension en profondeur des sulfures massifs décrits plus haut. On y retrouve deux types de minéralisations. Le premier type est contenu dans le granophyre et il est constitué de gouttelettes de sulfures de forme ovoïde et de taille centimétrique (éch. 21 à 24). A l'exception de l'échantillon 23 qui ne contient pas de sulfures, cette minéralisation est caractérisé par des teneurs assez élevées en Pd (196,4 à 3122 ppb) et en Pt (116,2 à 1084,1 ppb). Les teneurs en Ni sont élevées (<0,55%) ainsi que les teneurs en Cu (< 0,76%).

Le deuxième type constitue des sulfures en veines situés dans (éch. 25) et au contact du granophyre et de l'intrusion 2C' (éch. 26), ce dernier étant fortement cisailé. Les deux types de minéralisation sont riches en chalcoppyrite et l'échantillon 26 présente des teneurs très élevées en Pd (17,4 ppm) et Pt (3,25 ppm) et des teneurs faibles en éléments du groupe Ir et du Rh, ce qui résulte en un rapport Pd/Ir très élevé (21831,0). Le Cu étant très élevé dans l'échantillon 25 (8,8%), il fut impossible de préparer l'échantillon par le processus de préconcentration nécessaire pour doser les EGP. Cet échantillon est caractérisé par des teneurs en Se (140,5 ppm) et en Zn (854 ppm) élevées. Le Sb est relativement enrichi dans ces deux échantillons. L'arsenic est enrichi dans l'intrusion 2C' (éch. 27 et 28) et cette anomalie est expliquée par la présence d'arsénopyrite dans des veines de sulfures à ce niveau.

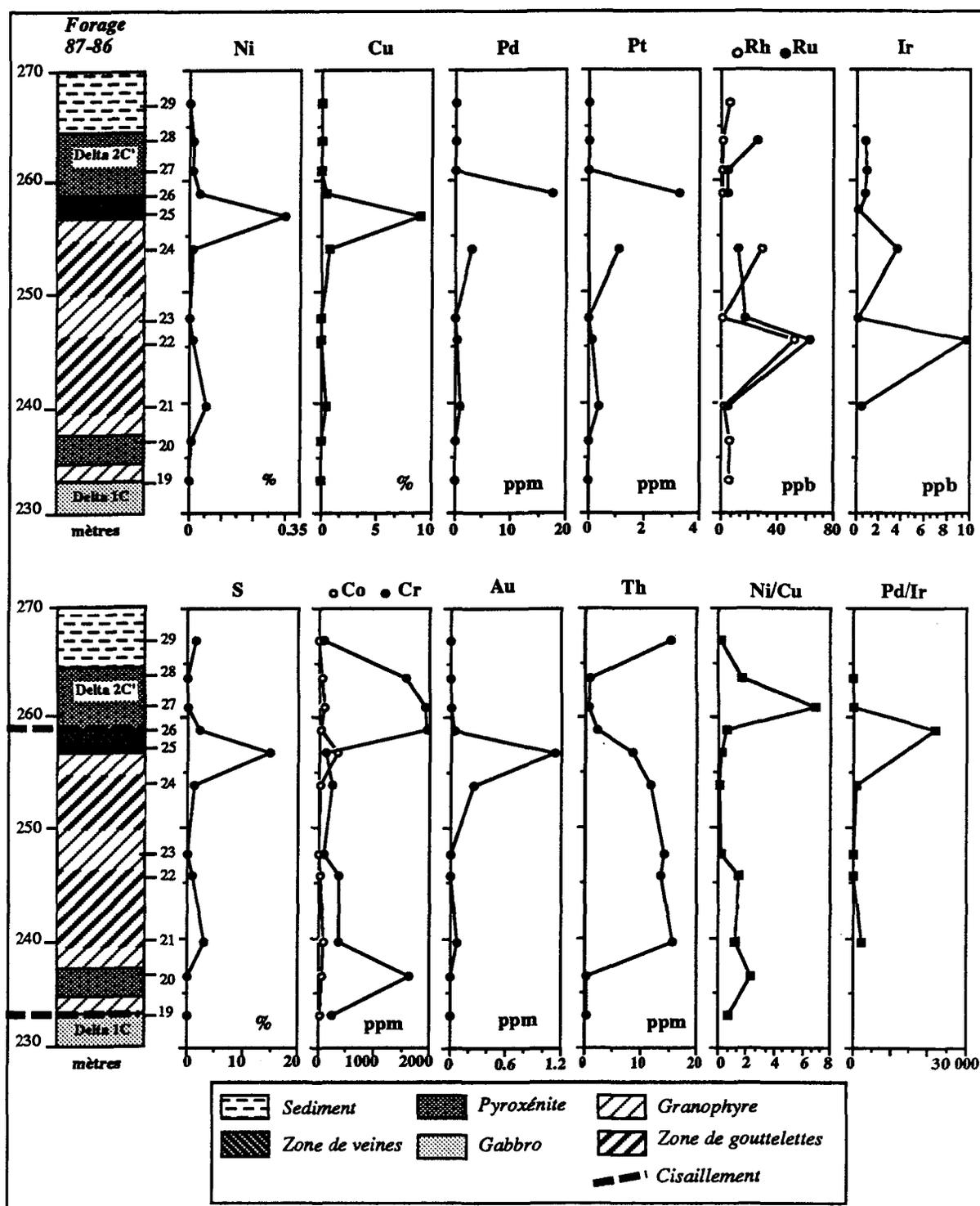


Figure 5.2: Colonne géologique détaillée de la partie minéralisée du forage 87-86, accompagnée des variations de certains éléments économiques et traces (tableaux 6 et 15).

Le Cr est plus élevé dans les roches ultramafiques (éch. 20, 27 et 28) et dans l'échantillon 26 qui comprend la bordure cisillée de l'intrusion 2C'.

5.1.2. La zone minéralisée D9

Cette zone comprend: 1) une lentille de sulfures massifs; 2) des disséminations en sulfures dans le gabbro sous-jacent à cette lentille (forage 77-24) et latéralement; 3) quelques minces horizons de sulfures massifs riches en chalcopryrite et; 4) des veines riches en chalcopryrite dans un granophyre ainsi que dans des gabbros (forage 80-77).

La colonne géologique présentée à la figure 5.3 constitue la partie échantillonnée du forage 77-24 (tableaux 16 et 17, en annexe) et celle de la figure 5.4 (tableau 18), la partie échantillonnée du forage 80-77. Elles sont accompagnées des profils de variations pour divers éléments économiques et traces. Les cartes de localisations et les sections géologiques sont au chapitre précédent (figures 4.1 et 4.7). L'intersection minéralisée du forage 80-77 constitue l'extension en profondeur des sulfures massifs interceptés par le forage 77-24.

5.1.2.1. Le forage 77-24

Cette section comprend des roches sédimentaires recristallisées et finement litées qui constituent l'encaissant supérieur et les sulfures massifs et les gabbros de l'intrusion Delta 1C qui forment l'encaissant inférieur. La lentille de sulfures massifs possède une épaisseur de 6 mètres en forage.

Elle est caractérisée par un enrichissement marqué des teneurs en Fe, en S, en Cu, en Ni et en Co. Encore une fois, cette lentille est divisée en trois parties: la partie inférieure (PI), la partie supérieure (PS) et les sulfures du contact inférieur (Ci) qui sont contenus dans un granophyre.

Les PS et PI semblent séparées par un mince dyke pyroxénitique au niveau de l'échantillon 7. La division entre ces deux parties est moins nette que pour la lentille D8, la baisse des teneurs en groupe Ir et du Rh étant moins drastique, mais nous observons quand même une coupure entre les échantillons 7 et 8.

La PI (éch. 8 à 15) se caractérise surtout par des teneurs relativement plus élevées dans les éléments du groupe Ir ($Ir > 6$ ppb, $Ru > 16$ ppb, $Os > 15$ ppb) et du Rh (< 99 ppb) ce qui entraîne une diminution des rapports Pd/Ir et $(Pd+Pt)/(Ir+Ru+Os)$. La PS (éch. 2 à 7) est caractérisée par les teneurs plus hautes en Pd et Pt et les teneurs très basses en éléments du groupe Ir ($Ir < 3$ ppb, $Ru < 10$ ppb ou limite de détection, $Os < 13$ ppb) et du Rh (< 22 ppb) ce qui entraîne une hausse des rapports Pd/Ir et $(Pd+Pt)/(Ir+Ru+Rh)$. Les sulfures du Ci (éch. 16) sont caractérisés par une chute de tous les EGP avec cependant des teneurs en Ni et en Cu élevées. Leur rapport Pd/Ir est plus élevé (1173,5) que pour les sulfures de la PI.

En général, les teneurs en chrome restent déprimées dans les sulfures massifs à l'exception de l'échantillon 7 qui est un dyke pyroxénitique intensément trémolitisé, les teneurs en tous les éléments sont aussi plus faibles au niveau de cet échantillon. Les teneurs en Pd et Pt sont très variables et sont nettement plus élevées dans la PS (éch. 2 à 7).

Les teneurs en Au sont faibles et variables. Les teneurs en Zn sont déprimées dans les sulfures massifs et augmentent dans les échantillons de bordure. Les teneurs en As sont élevées dans la PS comparativement à la PI, de même que les teneurs en Sb. Les teneurs en Se sont relativement constantes et élevées dans les sulfures massifs (71 à 185,4 ppm).

Les échantillons de gabbro, à l'exception du #17 qui contient des sulfures disséminés, sont pauvres en sulfures et pauvres en tous les éléments économiques.

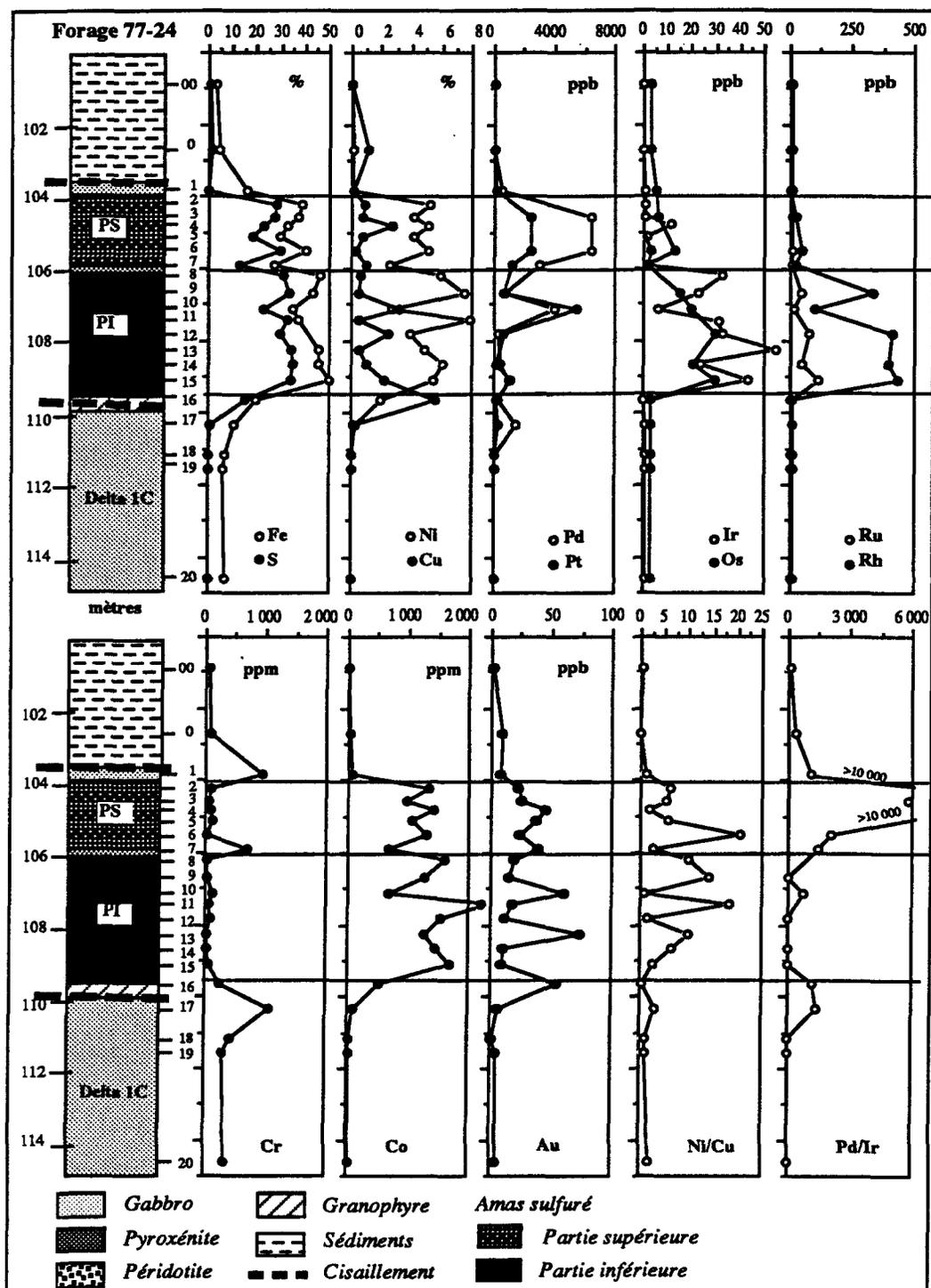


Figure 5.3: Colonne géologique détaillée de la partie minéralisée du forage 77-24 (lentille D9) accompagnée des variations en éléments économiques (PS= partie supérieure, PI= partie inférieure).

5.1.2.2. *Le forage 80-77*

L'horizon minéralisé intercepté par le forage 80-77 constitue l'extension en profondeur de la lentille de sulfures massifs D9. La colonne géologique de la figure 5.4 représente la partie échantillonnée de ce forage. Elle comprend des roches sédimentaires finement litées qui forment l'encaissant supérieur, des minces horizons de sulfures massifs séparés par du granophyre et de la pyroxénite et finalement les gabbros de l'intrusion Delta 1C qui forment l'encaissant inférieur. Les sulfures massifs sont plus riches en Cu que dans la section précédente et dans le gabbro, on retrouve des veines riches en Cu et Pd.

Les sédiments supérieurs (éch. 1 et 2) sont enrichi en Pd, sans l'être en Ni et en Cu et contiennent de nombreuses veines de sulfures. Les sulfures massifs contiennent de nombreuses inclusions de granophyre et se retrouvent en deux minces horizons. La première est au contact des sédiments et un dyke pyroxénitique, la deuxième, entre ce dyke et un horizon de granophyre. Ces deux horizons présentent des teneurs élevées en Ni, en Cu, en Pd, en Pt, en Au et en S. Le gabbro sous-jacent contient des minces horizons de veines et veinules qui présentent des enrichissements marqués en Ni, en Cu, en Au, en Pd et en Pt.

5.1.3. **Les diagrammes de corrélations pour les sulfures massifs**

Des diagrammes de corrélations inter-éléments furent établis pour les lentilles de sulfures massifs D8 et D9 (PS et PI seulement, figure 5.5). Pour la lentille D8 (forage 77-29, figure 5.6a) les corrélations (r_{90}) suivantes sont obtenues:

1) Une très bonne corrélation positive:

-entre le Ru, le Rh, l'Os et l'Ir ($>0,93$); entre le Se et le Fe (0,93) et le S (0,93); entre le Ni et le Co (0,89);

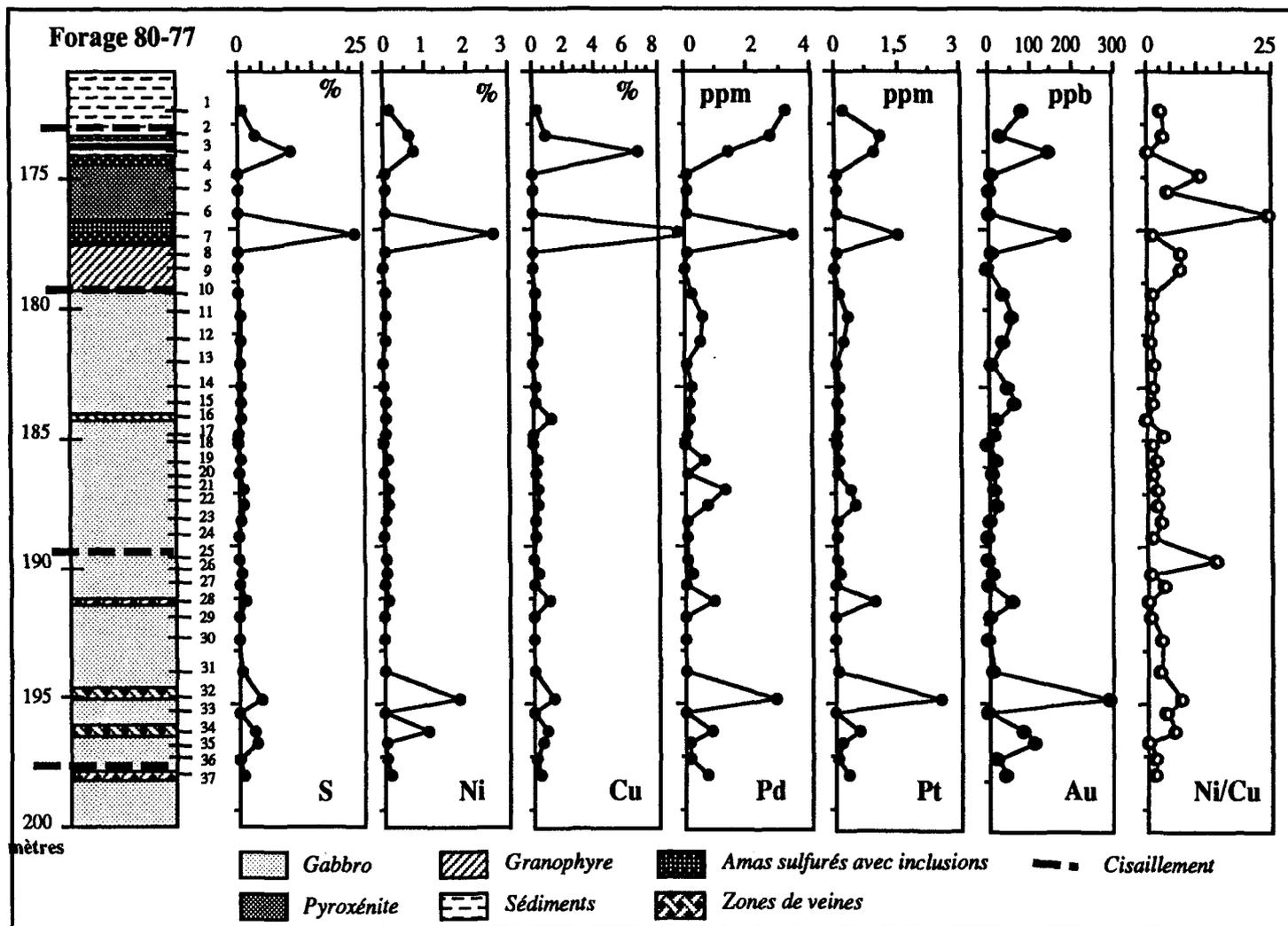


Figure 5.4: Colonne géologique d'une partie du forage 80-77, accompagnée des variations en éléments économiques.

2) Une anticorrélation entre:

le Pd et l'Au (0,08), le Cu avec le Cr (0,02), le Se(0,04) et le Zn (0,03), le Rh avec le Pt (-0,05), le Ru avec le Cu (0,05).

Pour les sulfures massifs de la lentille D9, il existe:

1) une bonne corrélation entre:

l'Ir, l'Os, le Rh et le Ru (>0,85); entre le Cu et le Zn (0,88), entre le Fer et l'Os (0,82), l'Ir (0,77) et le Rh (0,78);

2) Une anticorrélation entre:

le Pd et le S (-0,09); l'Os avec le Pt (-0,02) et le Cu (0,01); le Ru et le Cu (0); le Pt avec le Cu (-0,03); le Cu et le Cr (0,08).

Dans les sulfures, les éléments du groupe Ir et le Rh se corrént très bien entre eux et pas très bien avec les autres éléments. En effet ces éléments auront tendance à former des alliages entre eux ou des minéraux discrets (Cabri, 1981) et ne seront pas nécessairement incorporé dans la structure de la pyrrhotite, de la pentlandite et de la chalcopyrite.

Certains auteurs (Barnes et al., 1985) considèrent que le Rh possèdent des affinités géochimiques avec les éléments Pd et Pt. Cette étude montre que le Rh se comporte comme les éléments du groupe Ir (Ir, Os et Ru) avec lesquels il présentent une excellente corrélation. Cette compatibilité a été notée par Capobianco et Drake (1990) lors d'étude expérimentale sur les coefficient de partage de ces éléments entre les liquides magmatiques et les spinelles chromifères.

Les teneurs en Pd, Pt et Au ne se corrént ni entre elles ni avec d'autres éléments. Ces éléments auront tendance à former des minéraux indépendants (Cabri , 1981).

A) Sulfures massifs de la lentille D8.

	Fe	S	Ni	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Cu	Co	Cr	Se	Zn
Fe	1.00														
S	0.98	1.00													
Ni	0.69	0.78	1.00												
Os	0.30	0.36	0.41	1.00											
Ir	0.30	0.32	0.29	0.94	1.00										
Ru	0.27	0.30	0.28	0.96	0.99	1.00									
Rh	0.38	0.40	0.35	0.93	0.99	0.98	1.00								
Pt	0.32	0.28	-0.16	-0.32	-0.1	-0.2	-0.05	1.00							
Pd	-0.96	-0.96	-0.75	-0.32	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	1.00						
Au	-0.7	-0.65	-0.5	0.24	0.21	0.26	0.12	-0.3	0.60	1.00					
Cu	-0.14	-0.15	-0.1	-0.15	0.11	0.05	0.10	0.43	0.08	0.24	1.00				
Co	0.59	0.69	0.89	0.19	0.15	0.11	0.22	0.10	-0.7	-0.5	0.20	1.00			
Cr	-0.8	-0.8	-0.52	0.25	0.26	0.29	0.17	-0.5	0.82	0.73	0.02	-0.6	1.00		
Se	0.93	0.93	0.77	0.21	0.20	0.18	0.27	0.32	-0.9	-0.66	0.04	0.68	-0.8	1.00	
Zn	0.24	0.24	0.22	-0.32	-0.4	-0.4	-0.3	0.07	-0.4	-0.2	0.03	0.39	-0.54	0.16	1.00

B) Sulfures massifs de la lentille D9

	Fe	S	Ni	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Cu	Co	Cr	Se	Zn
Fe	1.00														
S	0.70	1.00													
Ni	0.46	0.56	1.00												
Os	0.82	0.72	0.46	1.00											
Ir	0.77	0.70	0.63	0.88	1.00										
Ru	0.72	0.62	0.59	0.85	0.98	1.00									
Rh	0.78	0.75	0.66	0.86	0.96	0.89	1.00								
Pt	-0.2	-0.12	-0.7	-0.02	-0.4	-0.36	-0.4	1.00							
Pd	-0.3	-0.09	-0.63	-0.4	-0.6	-0.6	-0.65	0.68	1.00						
Au	-0.72	-0.81	-0.6	-0.5	-0.7	-0.66	-0.75	0.54	0.23	1.00					
Cu	-0.3	-0.5	0.10	0.01	-0.09	0.00	-0.2	-0.03	-0.43	0.60	1.00				
Co	0.63	0.56	0.17	0.62	0.56	0.58	0.49	-0.14	-0.03	-0.6	-0.15	1.00			
Cr	-0.5	-0.82	-0.6	-0.6	-0.4	-0.33	-0.45	-0.1	-0.02	0.42	0.08	-0.3	1.00		
Se	0.90	0.71	0.28	0.71	0.51	0.46	0.53	0.05	0.05	-0.6	-0.3	0.73	-0.6	1.00	
Zn	-0.5	-0.7	0.04	-0.35	-0.3	-0.2	-0.36	-0.3	-0.4	0.59	0.88	-0.3	0.42	-0.52	1.00

Figure 5.6: Matrices de corrélation pour les lentilles de sulfures massifs; A) D8 et B) D9.

Parce qu'ils sont fortement anticorrélés au S et au Fer, ils n'entrent pas dans la composition des sulfures de fer et de nickel comme c'est le cas dans d'autres localités (Malevkiy et al., 1977).

Selon les diagrammes de corrélations à la figure 5.5, les éléments Fe, S, Ni, Co et Se se corrélaient bien entre eux. En effet le Co et le Se entrent dans la composition de la pyrrhotine et de la pentlandite (Loftus-Hill et Solomon, 1967) en se substituant au Fe et au Ni.

Des études sur le comportement géochimique du Se dans les environnements naturels montrent que cet élément trace chalcophile se concentre dans des environnements volcaniques, magmatiques et hydrothermaux (Auclair et Fouquet, 1987). Les sulfures massifs D8 et D9 (figure 5.6) ont des rapports S/Se moyens respectifs de 3 800 et de 2 600. Ces valeurs sont très proches du rapport S/Se du manteau primitif (2 700; Aller, 1969) et des valeurs entre 2 000 et 10 000 sont considérées normales pour des sulfures magmatiques non-contaminés (Keays et al., 1979; Naldrett, 1981; Eckstrand et Hulbert, 1987). Ce rapport semble diminuer lorsqu'il y a une mobilisation hydrothermale (Leshner, 1990). Le granophyre avec des gouttelettes de sulfures possède un rapport S/Se moyen de 1 800, les veines, 1 200 et les sédiments, 700. Les différences observées entre les rapports des différentes unités s'accordent donc bien avec les observations reportées dans la littérature (Auclair et Fouquet, 1988; Brüggman et al., 1990; Leshner, 1990).

Pour illustrer les corrélations entre les éléments du groupe Pd ($\Sigma Pd+Pt$) et les éléments du groupe Ir ($\Sigma Ir+Os+Ru$) nous avons placés ces teneurs sur le diagramme de la figure 5.7. Les différences entre les deux lentilles de sulfures massifs et leurs parties sont distinctes. En effet, pour la lentille D8, seuls les contenus en éléments du groupe Ir varient entre la PS et la PI. Le Ci enregistre cependant une augmentation en Pd +Pt.

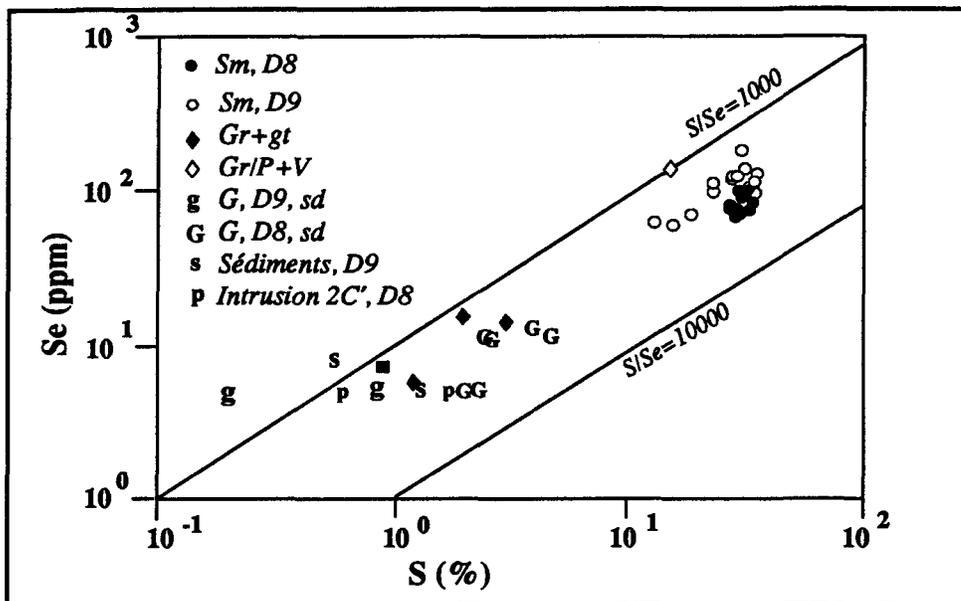


Figure 5.6: Diagramme binaire S% versus Se ppm pour les roches minéralisées des zones D8 et D9 (G= gabbro, Gr= granophyre, P= pyroxénite, sm= sulfures massifs, sd= sulfures disséminés, V= veines, gt= gouttelettes)

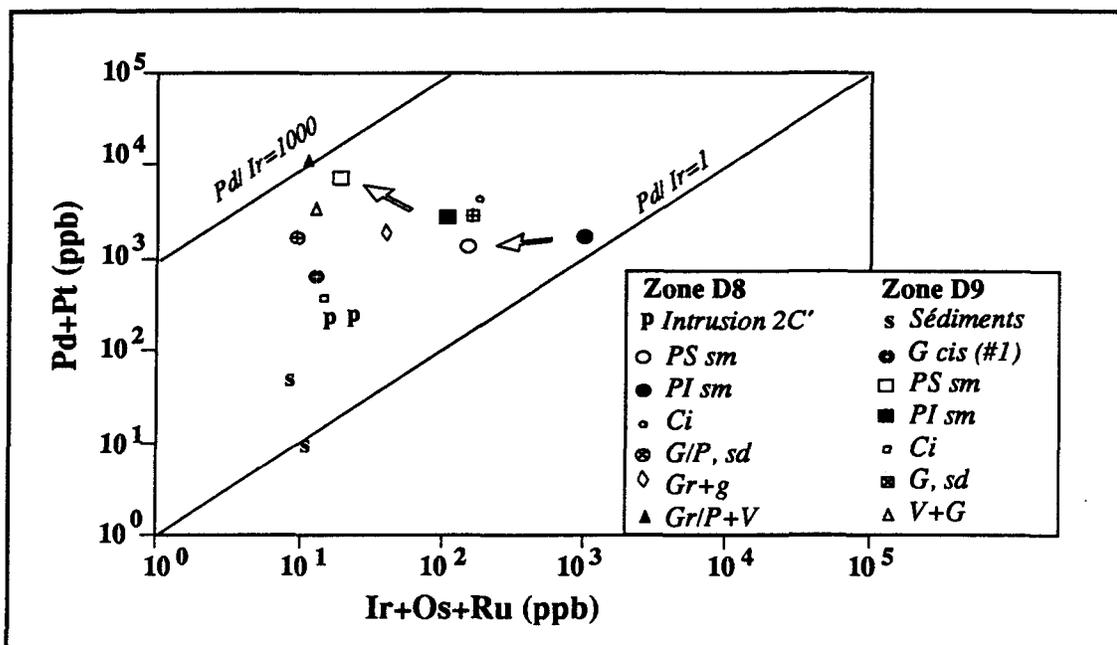


Figure 5.7: Diagramme binaire de Pd+Pt (ppb) versus Ir+Os+Ru (ppb) pour les sulfures massifs et leurs roches encaissantes, zones minéralisées D8 et D9. (G= gabbro, Gr= granophyre, P= pyroxénite, sm= sulfures massifs, sd= sulfures disséminés, V= veines, g= gouttelettes).

Pour la lentille D9 on observe une baisse des éléments Ir et une augmentation des éléments Pd dans la PS par rapport à la PI. Le Ci cependant enregistre une baisse de tous les EGP. Les veines, les gouttelettes dans le granophyre et les gabbros de la zone D9 possèdent des rapports $(Pd+Pt)/(Ir+Os+Ru) > 1\ 000$, tandis que les gabbros D8 ont le même rapport (< 100) que les sulfures massifs. Les sédiments non minéralisés ont des rapports faibles (< 1), tandis que les sédiments avec des veines ont un contenu en Pd+Pt plus élevé.

5.1.4. Le système Fe-Ni-S

La plupart des amas en Ni-Cu ont des compositions moyennes qui, lorsque projetées dans le système Fe-Ni-S, tombent du côté riche en soufre dans le champ du MSS à 600°C (Mono Sulfide Solution; Naldrett et al., 1967; Naldrett, 1969; Rajamani et Naldrett, 1978)). La plupart des amas sulfurés magmatiques commencent à cristalliser entre 1,160°C et 1,120°C (Naldrett, 1990) et à 600°C il y a apparition de pentlandite en phase solidus. Celui-ci continue à cristalliser en formant des exsolutions extragranulaires et des flammes dans la pyrrhotite jusqu'à 250°C (Durazzo et Taylor, 1982).

Pour ce qui est de la composition des lentilles de sulfures massifs D8 et D9, lorsque recalculées à 100% sulfures, les échantillons se placent dans le champ d'un MSS à 600°C (figure 5.8a). Ils possèdent donc une composition de sulfures magmatiques issus d'un liquide sulfuré. On observe cependant une légère différence entre les deux lentilles. En effet les échantillons de la lentille D9 se situent plus près de la ligne Fe-S que ceux de la lentille D8, reflètent peut-être une certaine remobilisation ou un plus grand fractionnement du liquide sulfuré (moins riches en Ni).

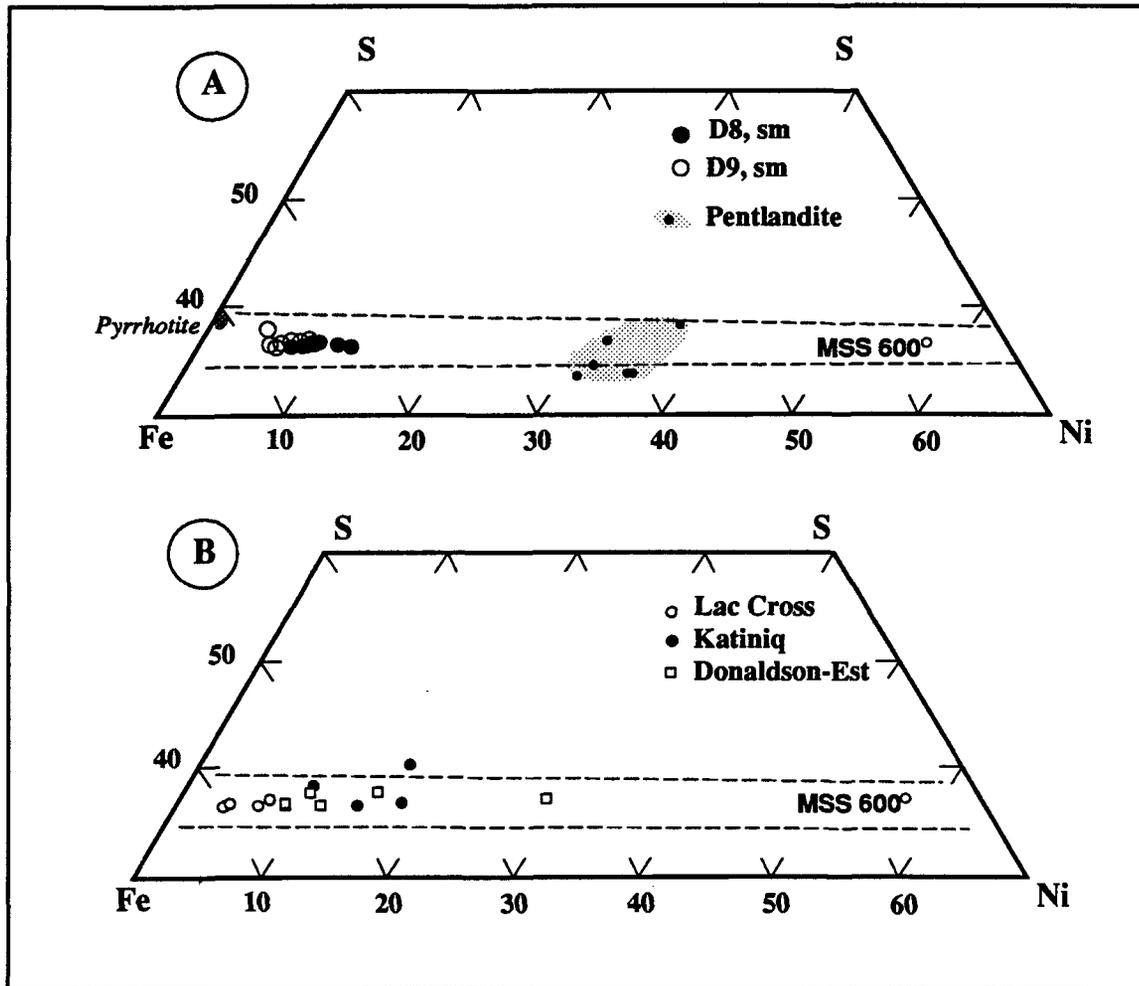


Figure 5.8: Diagrammes ternaires Fe-S-Ni représentant la position: A) des sulfures massifs (sm) des zones D8 et D8; B) de certains échantillons provenant des gisements du Lac Cross, de Katiniq et de Donaldson-Est. Les teneurs en Fe, en Ni et en S ont été recalculées à 100% sulfures (tableaux 19 et 20). Les analyses de grains de pyrrhotite et de pentlandite sont représentées sur le diagramme A (tableau 12).

A des fins de comparaison, quelques échantillons minéralisés provenant des gisements du Lac Cross, de Katiniq et de Donaldson-Est (tableau 20) qui sont d'origine magmatique, sont représentés à la figure 5.8b. Ces échantillons, dont les teneurs ont été recalculées à 100% sulfures, tombent dans les mêmes régions du diagramme ternaire que les lentilles de sulfures massifs D8 et D9.

5.2. Origine des minéralisations

Plusieurs modèles génétiques existent pour expliquer le mode de formation d'un amas sulfuré en Ni, en Cu et en EGP associé aux intrusions et laves ultramafiques (Naldrett et Cabri, 1976; Naldrett et Duke, 1980; Naldrett, 1981; Green et Naldrett, 1981; Keays et al., 1982;...). L'existence d'un liquide sulfuré immiscible semble être directement reliée à une saturation en soufre du magma hôte. Parce qu'il possède une gravité élevée ($d=4$), ce liquide se déposera rapidement en formant une couche riche en sulfures près de la base de l'intrusion mais si les silicates cristallisent avant la saturation en soufre, alors les sulfures resteront piégés et une zone de sulfures disséminés sera formée. Une fois la saturation atteinte, les EGP dans le liquide seront partitionnés dans les sulfures en raison du grand coefficient de partage (D) de ces éléments dans les phases sulfurées (Naldrett et al., 1979; Mathez et Peach, 1990).

La composition géochimique des sulfures dans les lentilles D8 et D9 sera traitée dans cette partie afin de pouvoir expliquer: 1) la zonalité des EGP dans les lentilles de sulfures massifs; 2) l'enrichissement en EGP dans les roches encaissantes aux sulfures massifs; 3) l'origine de l'enrichissement en EGP dans le granophyre avec des gouttelettes de sulfures.

5.2.1. Le contenu en EGP des minéralisations

Les valeurs des EGP normalisées aux chondrites (Naldrett et al., 1976, 1979; Barnes S.-J. et al., 1987) représentent un outil pétrologique important pour retracer la genèse de ces gîtes. Les EGP sont alors placés en ordre de point de fusion décroissant (Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd, Au) qui est le même que leur ordre de fractionnement. Ils peuvent être divisés en deux groupes (Barnes S.-J. et al., 1985): le groupe Ir (Ru,Os,Ir) et le groupe Pd (Rh, Pt, Pd, Au) selon qu'ils soient compatible ou incompatible dans un système igné.

Le rapport Pd/Ir peut être utilisé pour définir l'aspect général du patron et est l'indice de fractionnement entre le plus mobile et le moins mobile des éléments de cette série (Naldrett et al., 1979; Barnes S.-J. et al., 1985). Les roches qui représentent le manteau (nodules de lherzolites à grenats) ont des rapports Pd/Ir= 0,7 à 1 impliquant que le manteau possède un profil EGP plat (Barnes S.-J. et al., 1985).

Les EGP montrent des comportements individuels au niveau de leur coefficient de partage entre les diverses phases sulfurées et silicatées lors de la cristallisation de ces minéraux. Plusieurs auteurs considèrent que l'Ir préfère l'olivine au liquide silicaté (Brügman et al., 1987) quoique cet élément soit aussi associé aux clinopyroxènes et aux spinelles chromifères (Crocket, 1981; Mathez et Peach, 1990) de même que le Ru et le Rh (Capobianco et Drake, 1990). Le Pd et le Pt se concentrent plutôt dans le liquide. Des magmas qui résultent d'une faible fusion partielle contiennent une grande partie de Pd + Pt et une plus faible quantité de Ir+Os+Ru tandis que des magmas résultant d'une plus grande fusion partielle, incorporant une plus grande quantité d'olivine, contiendraient une plus grande quantité d'Ir, de Ru et d'Os d'où les différences observées dans les profils EGP (Naldrett et al., 1979).

En dépit de la grande variation des concentrations des EGP dans les divers dépôts, le rapport $(Pd+Pt)/(Ir+Os+Ru)$ dans les sulfures magmatiques est systématiquement relié à la nature du magma parental (Naldrett et al., 1979; Naldrett et Duke 1980) et la remobilisation de ces sulfures. A Rathbun Lake (Rowell et Edgard, 1986) un rapport supérieur à 1000 est obtenu pour des sulfures localisés dans un cisaillement, témoignant de la plus grande mobilité des éléments Pd et Pt versus les éléments Ir, Ru et Os dans un environnement hydrothermal.

Dans les gisements de la Ceinture de Cape-Smith nous observons les rapports moyens suivants (tableau 20); Lac Cross (6,8), Katiniq (8,0) et Donaldson-Est (6,7). Les sulfures massifs remobilisés dans des cisaillements à Donaldson-Est présentent cependant des rapports beaucoup plus faibles (1,1, 4,2 et 4,6).

5.2.1.1. Les teneurs en Ni, Cu et EGP normalisées au manteau

Les diagrammes des teneurs en Ni, Cu et EGP normalisées aux valeurs mantelliques sont représentés aux figures 5.9, 5.10 et 5.11. Cette méthode de représentation a été utilisée afin de pouvoir ajouter les éléments Ni et Cu (Barnes S.-J. et al., 1988) de part et d'autre des EGP.

Pour les sulfures massifs de la lentille D8 (figures 5.9 a et b) les profils de la PS et PI représentent bien les différences géochimiques décrites préalablement. Ces deux parties possèdent les mêmes teneurs en Ni et en Cu et un pic négatif en Au. Les teneurs en Ir, en Os, en Ru et en Rh sont cependant plus faibles dans la PS que dans la PI. Les profils, en général, présentent la même pente positive que pour les échantillons provenant de Katiniq (Barnes et al., 1982). Pour les sulfures massifs de la lentille D9 (figure 5.9c et d) nous remarquons, encore ici, des teneurs en Ni, Cu et Au qui sont similaires avec un certain enrichissement en Cu dans la PI.

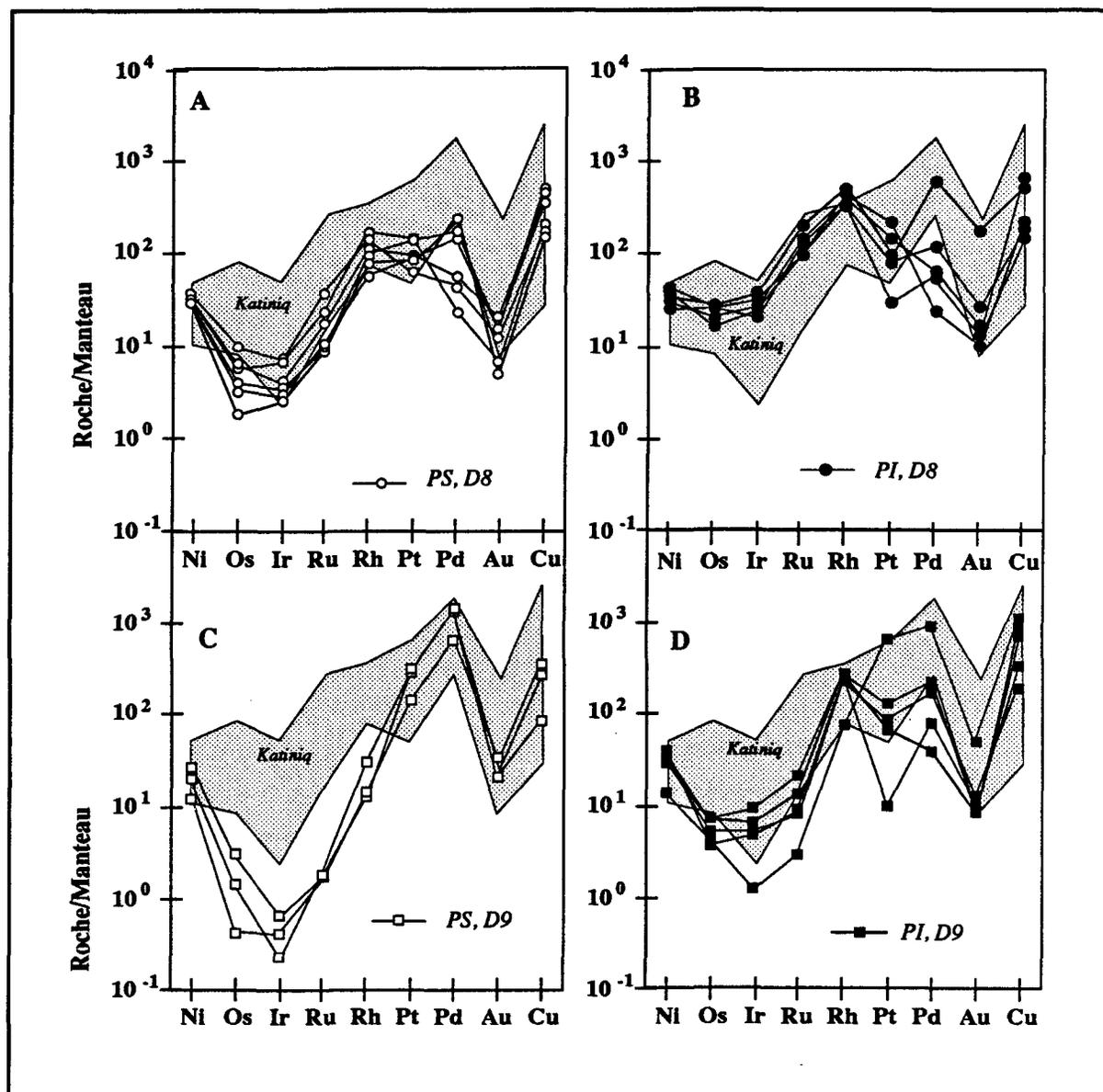


Figure 5.9: Diagrammes qui représentent les teneurs en Ni, en Cu et EGP normalisées au manteau pour les minéralisations de la zone D8 et D9: A) les sulfures massifs de la PS (D8); B) les sulfures massifs de la PI (D8); C) les sulfures massifs de la PS (D9); D) les sulfures massifs de la PI (D9). Le champ pour Katniq fut obtenu de Barnes et al. 1982. (PS= partie supérieure, PI= partie inférieure).

Ces échantillons possèdent la même pente positive, en joignant le Ni et le Cu, que le champ de Katiniq (Barnes et al., 1982). Pour cette lentille, les éléments Ir, Ru, Os et Rh sont encore plus déprimés par rapport au Ni et aux profils de la zone D8. Cette différence est encore plus marquée entre la PS et la PI. La PS contient des valeurs plus élevées en Pd et en Pt que la PI.

Les échantillons provenant du contact inférieur (Ci) des sulfures massifs montrent aussi des patrons particuliers (figure 5.10 a). L'échantillon du Ci de la lentille D8 (éch. 22) montre un profil similaire aux échantillons de PS de la même zone avec encore une cuvette marquée par la plus grande abondance de Ni par rapport aux éléments du groupe Ir et un enrichissement en Pd. Le Ci de la lentille D9 montre cependant un patron déprimé en tous les EGP par rapport aux teneurs en Ni et en Cu.

Les veines provenant du forage 87-86 (zone minéralisée D8) et les veines provenant des forages 80-77 et 77-24 (zone minéralisée D9) montrent des profils à pente très positives avec des valeurs élevées en Pd, Pt et Cu et des valeurs faibles en Ir, Os, Ru et Rh (figure 5.10 b) et en Ni, si on compare avec les sulfures massifs de la même zone. Ce type de profil est similaire à celui reporté pour des minéralisations interprétées comme hydrothermales dans la littérature (Rathbun Lake; Rowell et Edgar, 1986).

Les gabbros et pyroxénites qui forment l'encaissant inférieur à la lentille de sulfures massifs D8 (figure 5.11 a) possèdent un profil similaire à celui reporté pour Katiniq, avec cependant des teneurs plus faibles en Ni. Les éléments du groupe Ir et le Rh ne montrent pas la cuvette négative qui existe dans les sulfures massifs. Les gabbros qui forment l'encaissant inférieur aux sulfures massifs D9 (figure 5.11a) possèdent des teneurs plus faibles pour tous les éléments, à l'exception d'un échantillon qui est enrichi en Pd.

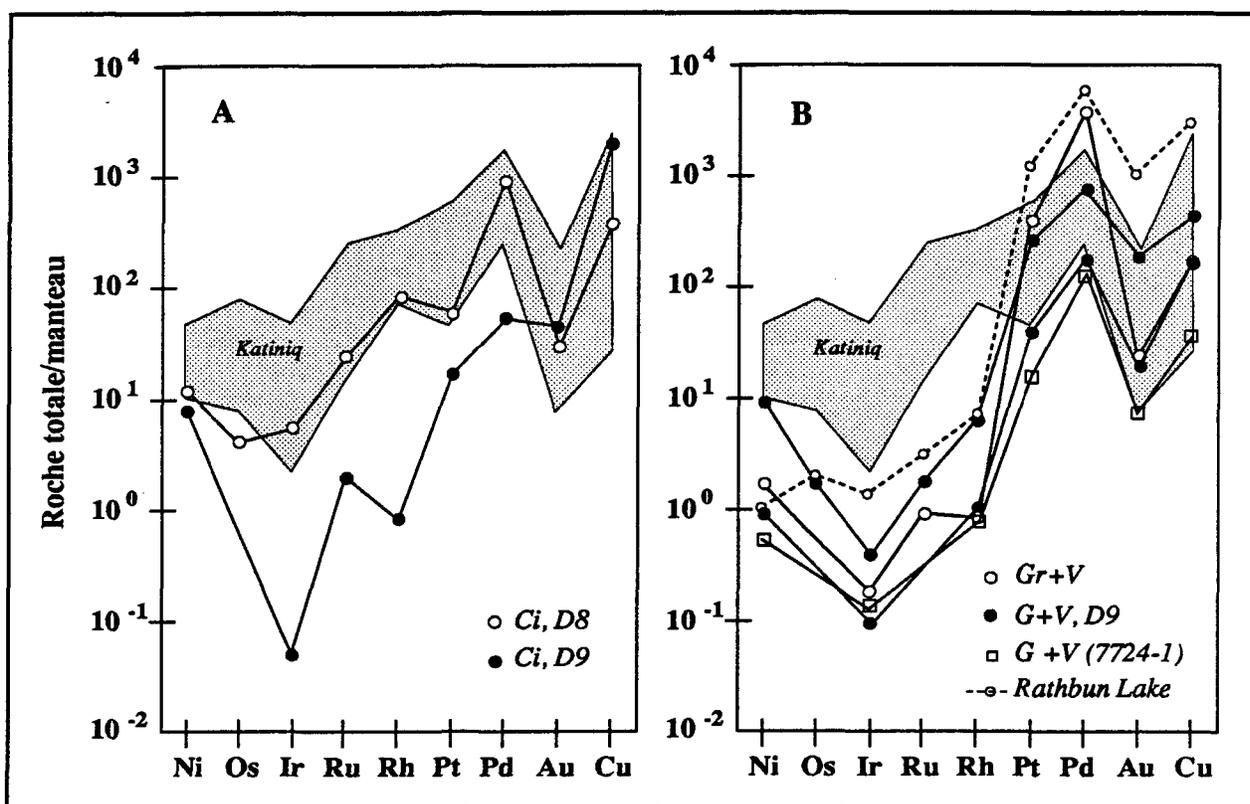


Figure 5.10: Diagrammes des teneurs en Ni, en Cu et en EGP, normalisées au manteau pour: A) les sulfures du contact inférieurs (Ci) des sulfures massifs; B) les veines (V) riches en Cu dans les gabbros (G) et le granophyre (Gr). Les valeurs pour Rathbun Lake sont tirées de Rowell et Edgar, 1986

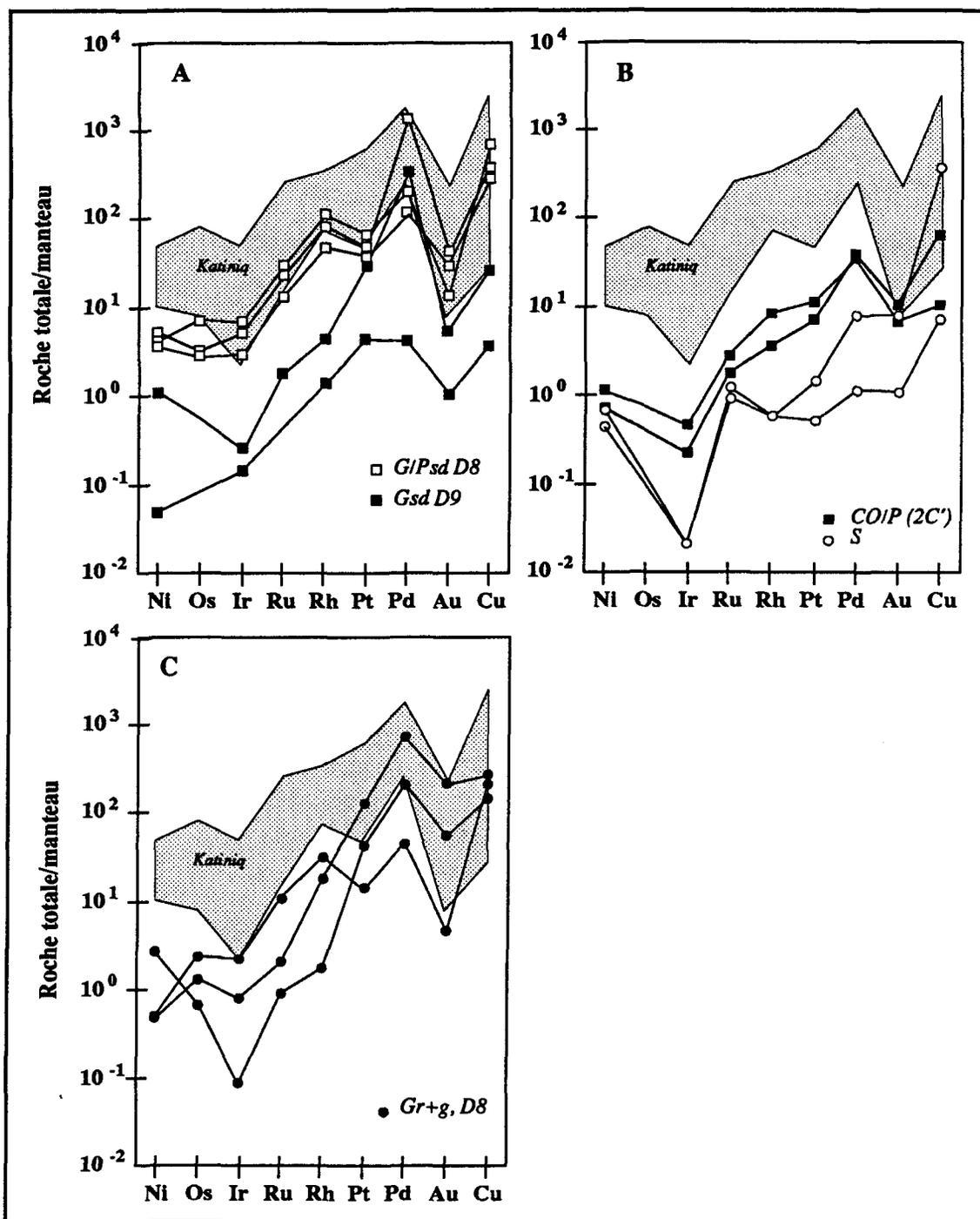


Figure 5.11: Diagrammes qui représentent les teneurs en Ni, Cu et EGP normalisées au manteau pour: A) les roches encaissantes inférieures (G= gabbro, P= pyroxénite) aux lentilles D8 et D9; B) les roches encaissantes supérieures (Co= cumulat à olivine, intrusion 2C'; S= sédiments) aux lentilles de sulfures massifs; C) le granophyre (Gr+g) avec des gouttelettes de sulfures, zone D8.

Pour ce qui est des encaissements supérieurs (figure 5.11 b), les roches ultramafiques de l'intrusion 2C' (D8) montrent des profils avec la même pente que pour Katiniq avec cependant des teneurs beaucoup moins élevées, à l'exception du Cu et de l'Au. Les sédiments situés immédiatement au-dessus de la lentille D9 sont déprimés en tous les EGP mais sont enrichis en Cu. Les échantillons de granophyre (figure 5.11 c) qui contiennent des gouttelettes de sulfures (zone minéralisée D8) montrent des profils similaires aux veines riches en Cu et présentent un patron général plus fractionné que Katiniq. Les teneurs en Au sont plus élevées que pour les gabbros avec des sulfures disséminés de la même zone (figure 5.11a) et les teneurs en Pd et en Pt sont similaires. Ils sont cependant plus pauvres en éléments du groupe Ir et en Ni.

5.2.1.2. Contenu en EGP normalisé à 100% sulfures

Pour représenter le contenu en EGP dans les sulfures, les teneurs provenant des échantillons des divers types de minéralisations furent recalculées à 100% sulfures (tableau 19). Sur les figures 5.12 a et b, les teneurs moyennes en EGP pour les sulfures des trois parties des lentilles de sulfures massifs D8 et D9 sont représentées. Dans la lentille D8, les sulfures de la PI sont enrichis en tous les EGP par rapport aux sulfures de la PS. Les sulfures du Ci présentent des contenus en Ir, Os, Ru, Rh et Pt intermédiaires entre la PS et la PI, et un contenu en Pd et Au plus élevé. Dans la lentille D9, les sulfures de la PI sont plus riches en Os, Ir, Ru et Rh et plus pauvres en Pt, en Pd et en Au que dans la PS. Les sulfures du Ci sont appauvris en tous les EGP mais ils sont enrichis en Au.

Sur la figure 5.12c, les moyennes respectives pour chaque lentille ainsi que les teneurs moyennes pour les gisements du Lac Cross, de Katiniq et de Donaldson-Est sont placées à titre de comparaison (tableau 20; Picard et Giovenazzo, sous presse).

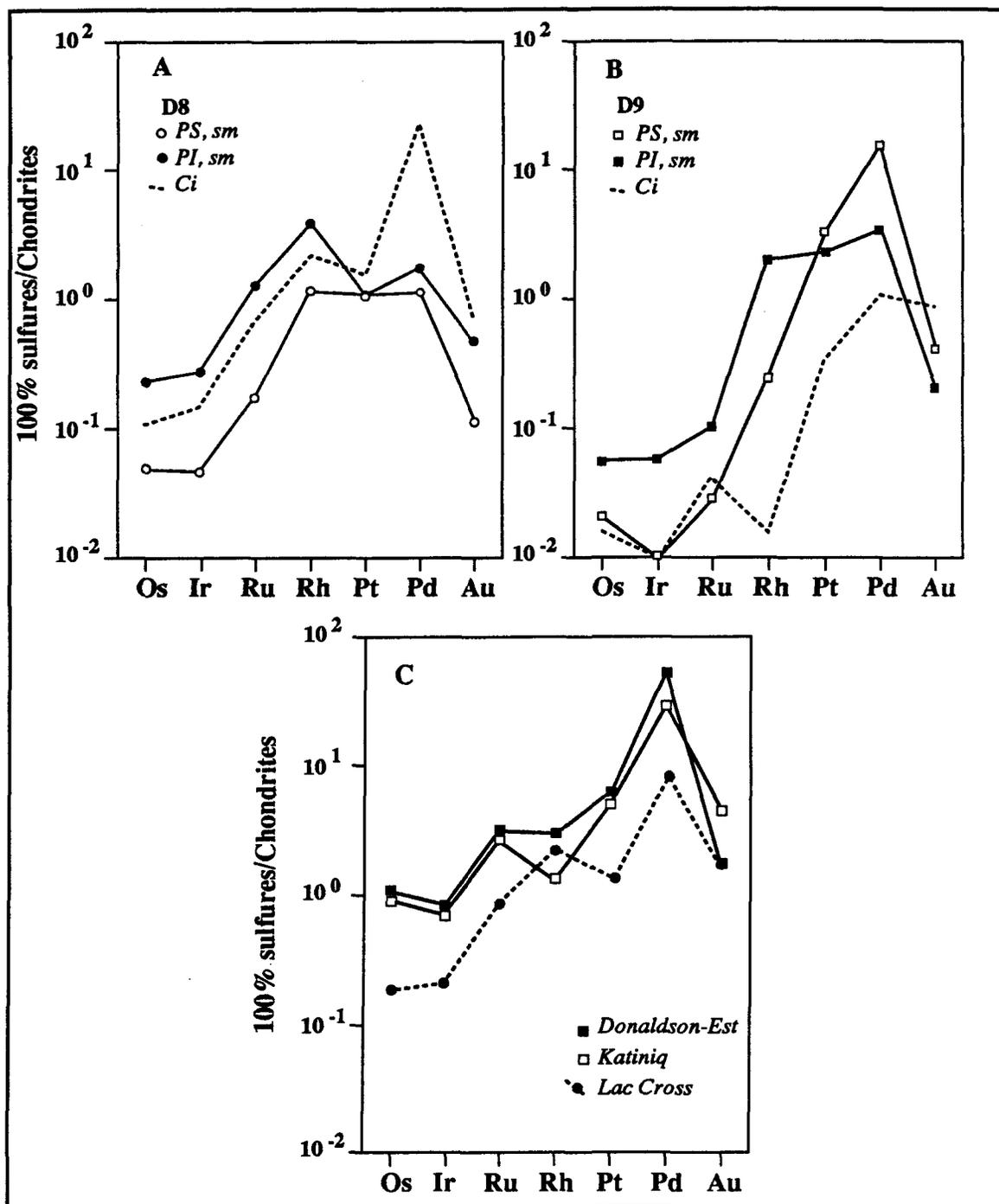


Figure 5.12: Diagramme qui représente les teneurs en EGP recalculées à 100% sulfures et normalisées aux valeurs chondritiques pour la moyenne des différentes parties des lentilles de sulfures massifs D8 (A) et D9 (B). Nous avons aussi inclus, à la figure C, la moyenne des valeurs obtenues pour les gisements du Lac Cross, Katiniq et Donaldson (tableau 20).

Les profils respectifs pour ces deux lentilles montrent que les sulfures de la lentille D8 sont plus enrichis en Os, Ir, Ru et Rh que les sulfures de la lentille D9 qui sont cependant plus enrichis en Pd et en Pt. Les teneurs en Au pour les deux lentilles sont similaires. En comparant avec d'autres gisements magmatiques de la ceinture de Cape-Smith on observe que les lentilles D8 et D9 sont déprimées en tous les EGP par rapport aux gisements de Katiniq et Donaldson. Cependant la lentille D8 possède des teneurs en EGP similaires à la minéralisation du Lac Cross.

5.2.2. Comportement des EGP

Des diagrammes discriminants qui impliquent les rapports entre éléments chalcophiles et éléments du groupe de platinoïdes (Barnes et al., 1988) se veulent un outil d'exploration pour la recherche de gîtes qui contiennent des EGP, dans des roches mafiques et ultramafiques. Ils tiennent compte des facteurs qui affectent la distribution du Ni, du Cu et des EGP lors des processus de fractionnement dans un magma car les proportions de ces éléments sont largement contrôlées par la distribution des sulfures, chromite, olivine et minéraux d'EGP dans les roches. Sur un diagramme qui représente le rapport Cu/Ir versus le rapport Ni/Pd, les effets causés par la cristallisation de l'olivine et de la chromite peuvent être estimés en joignant une ligne qui part du cumulat à olivine ou chromite jusqu'à la composition du magma parental (obtenue par la bordure figée). Les vecteurs montrés sur ces diagrammes indiquent le changement dans les rapports Cu/Ir et Ni/Pd causé par un enrichissement/cristallisation en olivine ou en chromite ainsi que pour ce qui est de l'effet causé par le fractionnement des sulfures dans un magma. Si des sulfures précipitent pour la première fois, alors les rapports Cu/Ir et Ni/Pd pour les roches minéralisées seront situés dans les champs équivalents aux roches extrusives sur ce diagramme (Barnes et al., 1988).

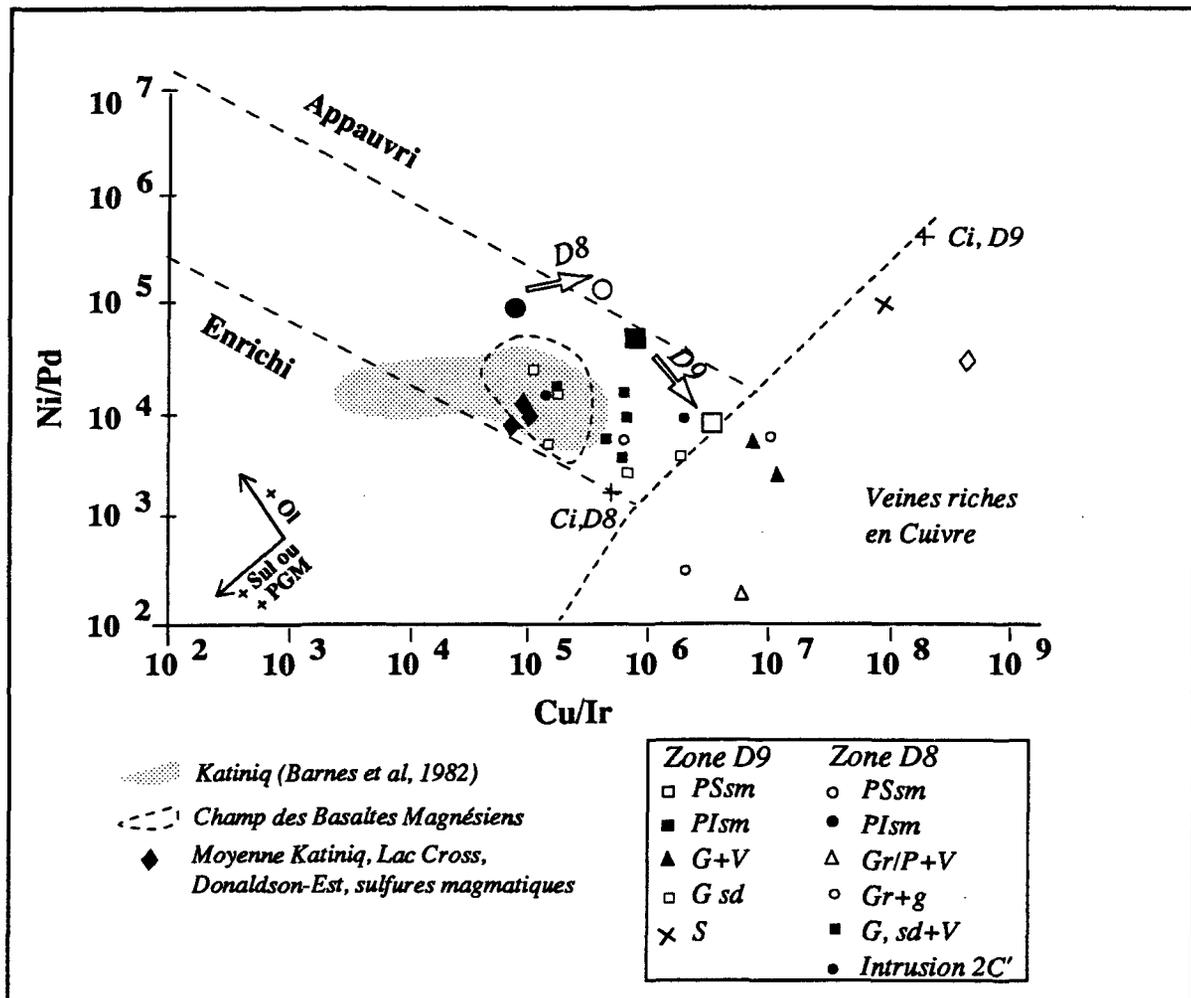


Figure 5.13: Diagramme Cu/Ir versus Ni/Pd (Barnes et al., 1988) pour les échantillons provenant des zones D8 et D9. La moyenne de chaque partie des deux lentilles de sulfures massifs ainsi que la moyenne des valeurs provenant du Lac Cross, de Katiniq et de Donaldson-Est sont aussi incluses. (PS= partie supérieure, PI= partie inférieure, Ci= contact inférieur, P= pyroxénite, G= gabbro, Gr= granophyre, sm= sulfures massifs, sd= sulfures disséminés, V= veines, g= gouttelettes de sulfures).

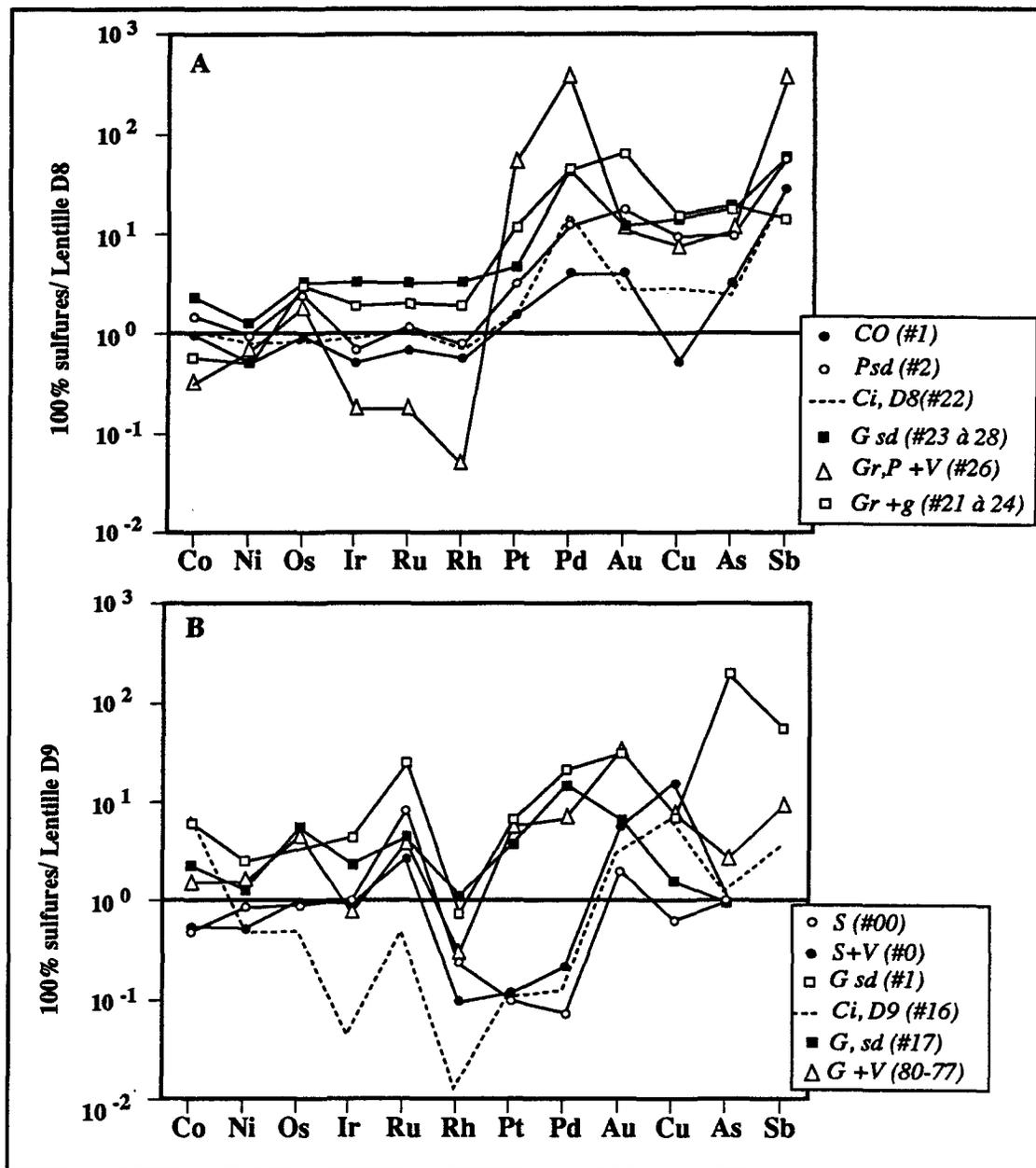


Figure 5.14: Diagrammes qui représentent les teneurs en EGP et autres éléments recalculées à 100% sulfures. Les échantillons provenant de chaque zone ont été normalisés: A) à la moyenne obtenue des sulfures massifs de la lentille D8; B) à la moyenne des sulfures massifs de la lentille D9 (Ci= contact inférieur, P= pyroxénite, G= gabbro, Gr= granophyre, sm= sulfures massifs, sd= sulfures disséminés, V= veines, g= gouttelettes de sulfures).

Les roches formées à partir d'un magma qui a déjà fractionné des sulfures seront appauvries en EGP, et les échantillons minéralisés seront situés au-dessus des champs pour les roches extrusives dans le domaine appauvri.

Pour ce qui est des zones minéralisées D8 et D9, tous les échantillons provenant des roches encaissantes (figure 5.13) soit gabbros ou roches ultramafiques, se placent près du champ des basaltes magnésiens ou des intrusions différenciées. Les sédiments cependant se placent dans une zone au-dessus du champ pour les veines riches en cuivre, reflétant ainsi leur contenu plus élevé en Ni et en Cu par rapport aux EGP. Les échantillons des lentilles de sulfures massifs (figure 5.13) se placent cependant au-dessus des champs des roches ignées près du domaine appauvri. Les différences entre les PS et PI des deux lentilles sont encore reflétées dans ce diagramme. Pour la zone D8, la PS est caractérisée par des rapports Cu/Ir et Ni/Pd plus élevées que la PI et pour la zone D9, la PS est caractérisée par un rapport Cu/Ir plus élevé que la PI. Le Ci de la zone D9 se situe à peu près au même endroit que les sédiments dans le champ des veines riches en Cu. Les veines échantillonnées se placent dans le champ des "veines riches en cuivre" reflétant ainsi un plus grand contenu en Cu qu'en Ir.

5.2.3. Mobilisation des EGP dans les roches encaissantes

Pour illustrer la mobilisation des EGP et autres éléments dans les roches encaissantes, des diagrammes de variations ont été dressés pour chaque zone (figures 5.14a; zone D8, et b, zone D9). Les teneurs pour chaque élément ont été recalculées à 100% sulfures, puis normalisées aux valeurs moyennes obtenues pour les lentilles de sulfures massifs de chaque zone respectivement.

A la figure 5.14a, qui représente les minéralisations de la zone D8, on remarque que les gabbros sous-jacents aux sulfures massifs présentent des distributions en éléments du groupe Ir similaires aux sulfures massifs, ils sont cependant plus enrichis en Pd, Au, Cu, As et Sb. Les sulfures du Ci présentent les mêmes enrichissements. Les granophyres qui contiennent les gouttelettes de sulfures présentent aussi les mêmes enrichissements de même que la pyroxénite du contact supérieur et les sulfures du Ci. Les veines présentent un enrichissement fort en Pt, Pd et Sb comparé aux autres types de roches.

A la figure 5.14b, qui représente les minéralisations de la zone D9, les démarcations sont moins nettes que pour la zone précédente. Les sulfures du Ci sont enrichis en Au, Cu, As et Sb sans être enrichis en EGP par rapport aux sulfures massifs. Le mince horizon de gabbro cisailé situé au-dessus des sulfures massifs montrent un enrichissement extrême en Cu et en Sb. Les veines sont enrichies en Pt, Pd, Au et Cu avec un léger enrichissement en Sb et As, de même que les gabbros avec sulfures disséminés situés sous les sulfures massifs. L'irrégularité des profils montre le caractère enrichi en Pd et Pt de cette lentille de sulfures massifs et possiblement sa nature plus remobilisée.

5.2.4. Les inclusions dans les sulfures massifs

Les teneurs en terres rares, pour les sulfures massifs (figure 5.15a (D8) et b (D9)), présentent un enrichissement en terres rares légères ((La/Yb)_n; sulfures D8=16,56 à 19,4; sulfures D9= 12,06 à 18,9) similaire à celui du granophyre (10,4 à 23,84). Le rapports (La/Yb)_n de ces sulfures est aussi différent de celui pour les gabbros sous-jacents (figure 5.9d, (La/Yb)_n; D8=1,06 (Py) à 15,62 (Gab); D9=2,25 à 3,56) et l'intrusion ultramafique sus-jacente (figure 5.9c; (La/Yb)_n =1,6 à 2,25). Le rapport (La/Yb)_n (19,4) pour les sédiments (figure 5.15c) de la zone D9 est similaire à celui des sulfures et des granophyres.

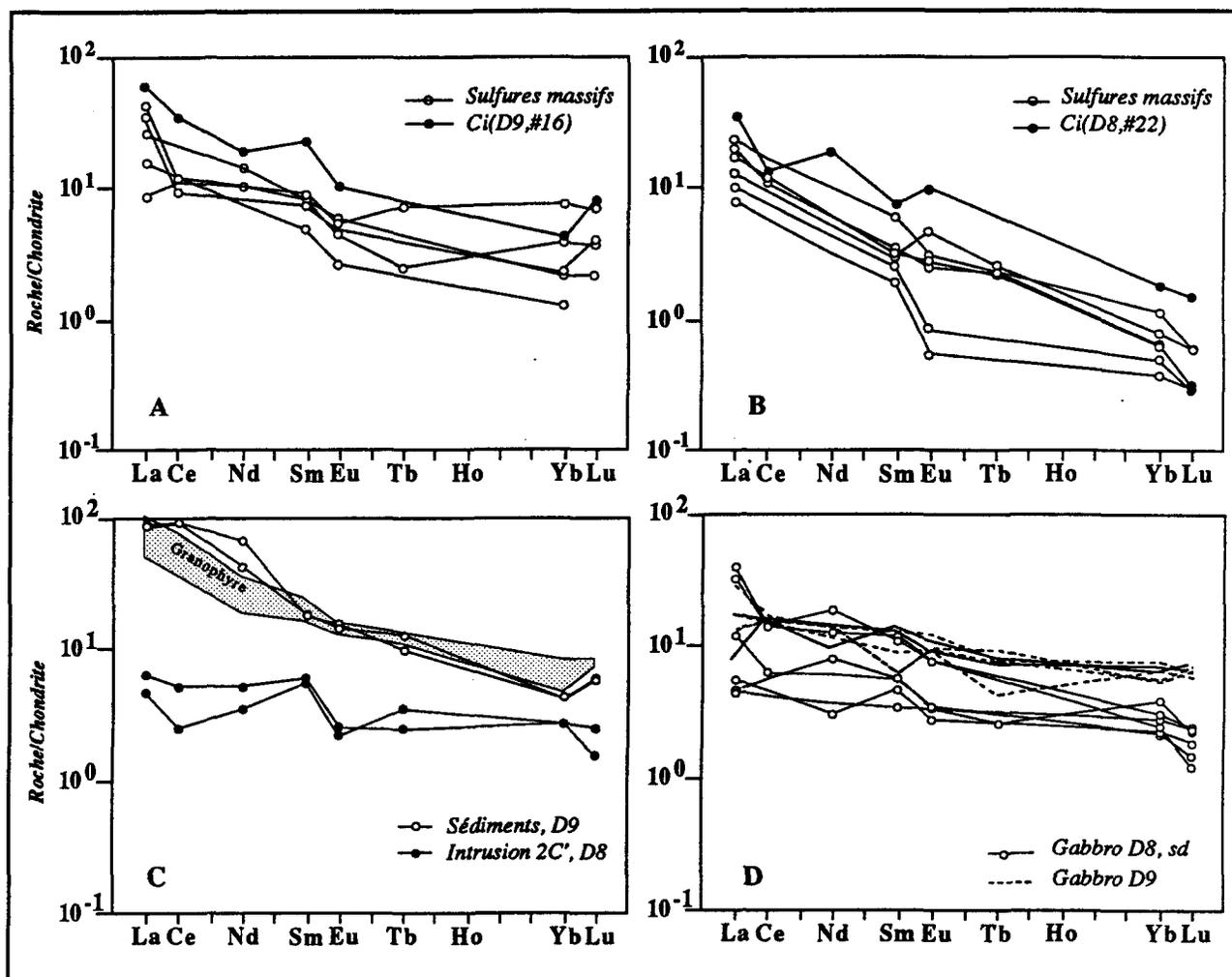


Figure 5.15: Diagrammes des teneurs en éléments des terres rares normalisées aux chondrites pour les lentilles de sulfures massifs (sm) D8 (A) et D9 (B). Nous avons aussi inclus les profils pour les sédiments et l'intrusion 2C' en incluant le champ du granophyre avec gouttelettes de sulfures (C, zone D8) et les gabbros sous-jacents aux sulfures massifs (D) qui contiennent des sulfures disséminés (sd)

Le contenu en terres rares dans les sédiments et dans le granophyre est similaire et présentent les mêmes enrichissements en terres rares légères. Les profils pour les sulfures présentent un enrichissement en terres rares légères avec cependant un enrichissement moindre dans toutes les terres rares si on compare avec le granophyre et les sédiments. Les gabbros et les roches ultramafiques présentent des patrons plats. .

Dans les zones minéralisées D8 et D9 nous observons que les contenus en Th pour les sédiments (16,3 à 17,6) et le granophyre (11,77 à 15,7) sont similaires et beaucoup plus élevés que pour les gabbros (0,6 à 4,9) et les roches ultramafiques (0,3 à 0,4). Les sulfures massifs (D8= 0,5 à 4,9; D9=2,2 à 12,2) ont des contenus très élevés en Th qui montre soit une contamination par des roches sédimentaires, soit la composition des inclusions de granophyre.

5.3. Rôle du granophyre dans la genèse des sulfures massifs

Avant de passer au modèle de formation pour les minéralisations des zones D8 et D9, il faut discuter l'origine du granophyre. Celui-ci est situé entre l'intrusion Delta 1C et les sulfures massifs dans les extensions latérales aux sulfures massifs et comme inclusions arrondies et non-déformées dans les sulfures massifs.

Il possède une texture granulaire à granulométrie fine localement granophyrique avec des interdigitations de quartz et de plagioclase calcique. Il contient des fragments (enclaves) de siltstone finement lités recristallisés et des lentilles de quartz avec des textures et des interdigitations particulières. Ces dernières contiennent entre autre, des cristaux de titanite et d'apatite millimétriques. Les éléments majeurs et traces des sédiments et du granophyre sont presque identiques.

Les sédiments et le granophyre sont enrichis en terres rares légères avec les mêmes rapports La/Yb, tandis que les gabbros et les roches ultramafiques de cette région présentent un profil plat. Ce granophyre contient des globules sub-arrondies de sulfures de taille centimétrique similaires aux gouttelettes de liquide sulfuré observées dans des intrusions ou coulées mafiques (Lightfoot et al., 1984).

Selon Irvine (1970), une roche felsique avec des textures granophyriques peut être formée par la fusion partielle des roches au toit d'une intrusion ou d'un filon couche parce que le sommet d'une chambre magmatique est assujetti à la température maximum du magma sous-jacent. Si leur température de fusion est plus faible que le magma, il y aura fusion partielle ou totale de ces roches.

De façon générale, une fusion des roches encaissantes situées sous l'intrusion est contrecarrée par l'accumulation rapide de cristaux à la base de l'intrusion qui amène une baisse rapide de la température à cet endroit. Mais si on suppose une source de chaleur assez élevée et de longue durée, cette fusion pourra être réalisée. L'intrusion qui a généré le liquide sulfuré à la source des lentilles de sulfures massifs D8 et D9 a dû être de dimension assez grande. Malheureusement elle a été démembrée par les zones de cisaillements donc sa présence et sa taille ne peut être établie.

Le faible degré de contrôle lithologique et l'étude presque exclusive de cet environnement par l'examen restreint de quelques trous de forages ne permettent pas d'être certain sur son origine. Cependant la localisation du granophyre entre le Delta 1C et les lentilles de sulfures massifs ainsi que les liens étroits entre le granophyre et ces sulfures, font penser qu'il s'est probablement formé lors de la déposition du liquide sulfuré.

Si la quantité de liquide sulfuré était assez grande, celui-ci aurait pu générer assez de chaleur pour faire fusionner ces sédiments. Ce genre d'association a été reporté par Groves

et al., (1986) pour la région de Kambalda. Ils suggèrent que les sulfures massifs à la base des coulées komatiitiques ont été déposés dans des creux paléotopographiques et par leur haute conductivité thermique, ils ont causés l'érosion thermique des roches sous-jacente.

Ils ont observé aussi que la minéralogie particulière de la gangue comprise dans les sulfures massifs peut résulter de la fusion partielle des roches sous les sulfures massifs et de la conservation de ce magma silicaté dans les sulfures sous les cumulats à olivine.

Les sulfures massifs sont très conducteurs de chaleur (0.05 cal/cm s; Williams et al. 1972) comparés aux roches komatiitiques (0,003 à 0,006 cal/cm -s; Bickle 1982) donc la fusion de roches sous les sulfures massifs est possible. Ce phénomène a été suggéré à Kambalda (Leshner et al., 1984, Groves et al., 1986; McNaughton et al., 1988) où des chenaux de laves komatiitiques ont érodé thermiquement les roches sous-jacentes en produisant soit des minerais avec des textures ocellaires ou de spinifex, soit des dômes de liquides silicatés, résultant de la fusion partielle des roches sous-jacentes qui ont monté et cristallisé dans les horizons de sulfures massifs.

Dans le cas des sulfures massifs des lentilles D8 et D9, ce liquide sulfuré a probablement causé une fusion des roches sédimentaires sous-jacentes, le liquide ainsi généré forme, en cristallisant, le granophyre. Et inversement, les gouttelettes de sulfures dans le granophyre peuvent représenter le liquide sulfuré qui a été piégé par la cristallisation des silicates.

5.4. Discussion et Modèle

1) Ségrégation d'un liquide sulfuré tôt dans l'histoire de cristallisation de l'intrusion hôte, avant la cristallisation de l'olivine

Il y a plusieurs preuves, soit minéralogiques soit géochimiques, pour dire que les lentilles de sulfures massifs des zones D8 et D9 sont d'origine magmatique. Ceux-ci furent formés suite à la ségrégation d'un liquide sulfuré à partir d'un conduit ultramafique de la composition d'un basalte magnésien.

Un horizon de sulfures massifs se formera à la base d'une intrusion ou d'une coulée si la cristallisation du liquide sulfuré se produit avant l'accumulation de cristaux d'olivine dans le magma silicaté. Ceci semble être le cas pour les lentilles de sulfures massifs D8 et D9. Huppert et al. (1984) et Huppert et Sparks (1985a) en modélisant la mise en place de laves komatiitiques ont conclu que les magmas komatiitiques de haute température, faible viscosité devaient s'écouler de façon turbulente en faisant fondre et en assimilant les roches encaissantes. Ils peuvent être contaminés par jusqu'à 10% de roches sédimentaires et de roches volcaniques. Donc la saturation en soufre dans le magma parent ultramafique a pu être initiée par l'assimilation de roches sédimentaires.

2) Fractionnement des EGP lors de la cristallisation de ce liquide

Une fois le liquide sulfuré isolé il s'est produit un fractionnement lors de sa cristallisation. Lors de la cristallisation d'un liquide sulfuré, ce dernier subit un fractionnement avec la formation précoce d'un "mono sulfure solide solution (MSS)" qui incorpore Os+Ir+Ru plutôt que le Pt+Pd+Au (Keays et Davidson, 1976; Naldrett et al., 1982; Lightfoot et al., 1984; Barnes et Naldrett, 1986).

Ce MSS s'établit à la base en appauvrissant la fraction sulfurée qui reste en Os+Ir+Ru. Le Rh se concentre avec les éléments du groupe Ir. Nous avons donc la formation d'une couche de sulfures à la base qui sont riches en éléments du groupe Ir (Naldrett, 1981; Barnes et Naldrett, 1986) surmontée de sulfures pauvres en Ir et plus riches en Pd qui deviendront subséquemment les sulfures en filets après cristallisation de l'olivine et

compactage de l'empilement cristallin dans un gisement magmatique typique. Ceci se corrèle bien avec nos observations, une partie inférieure riche en éléments du groupe Ir et une partie supérieure pauvre en ces éléments. Le Ni, le Fe, le Cu et le Co restent cependant plus ou moins constant dans les parties inférieures et supérieures, leurs teneurs étant associées au contenu en S.

Un ou des processus efficaces de préconcentration en EGP dans le liquide sulfuré sont requis afin de produire des concentrations en EGP assez élevées pour faire précipiter des minéraux EGP à des températures magmatiques (Mackovicky et al., 1986). Une décroissance subite dans la solubilité des EGP dans le MSS entre 900 et 500°C amène une exsolution des MGP sous forme de particules sub-microscopiques. Lors d'un refroidissement lent les EGP seront rejetés de la structure du MSS et diffuseront vers la bordure des grains à des centres de cristallisation pour donner des MGP. Un peu de ce matériel pourra être libéré dans un liquide résiduel enrichi en Cu, Pd et Pt (Genkin et Evstigneeva, 1986; Barnes et Naldrett, 1986, 1987). Si des fluides amènent des éléments qui possèdent une affinité élevée pour les EGP, tel le Te, le Bi, le Sb et le Sn, ces éléments pourront cristalliser des minéraux EGP entre les grains de pyrrhotite. Les minéraux d'EGP observés dans les lentilles de sulfures massifs se retrouve souvent entre des grains de Po et de Pn, à l'exception de la sudburyite qui se retrouve sous forme d'inclusions dans la chalcopyrite.

3) Fusion de roches sédimentaires prises entre les intrusions Delta 1C les sulfures massifs.

La ségrégation d'une certaine quantité de liquide sulfuré à partir d'un conduit ultramafique important puis la déposition de ce liquide à sa base a probablement créé une

zone de chaleur intense qui a fait fondre les sédiments sous-jacents. A ce moment deux possibilités sont envisagées.

La première implique que le sédiment, maintenant un liquide, monte par différence de densité dans le liquide sulfuré tandis que ce dernier descend et s'accumule sur le Delta 1C. L'immiscibilité entre ces deux liquides crée des zones de sulfures massifs avec des globules de liquide silicaté et vice-versa.

La deuxième possibilité envisage que le liquide sulfuré entraîne des fragments de ce granophyre lors d'une étape de relocalisation. En fait le liquide sulfuré a pu se déplacer de son site de déposition et ceci est observé dans de nombreux gisements (Barnes et al., 1988; Leshner, 1990). Les horizons de sulfures massifs à la base des intrusions ultramafiques représentent des niveaux ductiles pendant la déformation et leur mobilisation est reconnue dans plusieurs dépôts magmatiques (Groves et Hudson, 1981; Leshner et al, 1984; Leshner, 1990). Ceci implique que le granophyre s'est formé avant la déposition de ce liquide.

Les inclusions de roches ignées dans les lentilles de sulfures massifs sont de composition granophyrique. Celles-ci sont non-déformées, de forme sub-arrondies et généralement de taille inférieure à 3 cm. Elles ont dû être entraînées dans le liquide sulfuré avant sa cristallisation, car sinon elles auraient été déformées. Nous avons vu au chapitre précédent que le granophyre s'est probablement formé suite à la fusion partielle ou totale d'une roche sédimentaire. La composition du granophyre et des sédiments de la même région sont presque identiques. De plus le contenu en Th, en terres rares et les rapports (La/Yb)_n pour les sulfures massifs démontre la composition granophyrique des inclusions et possiblement le caractère contaminé des sulfures massifs quoique les rapports S/Se ne montrent pas d'addition de soufre non-magmatique.

Le granophyre possède des globules de sulfures Ni-Cu-EGP ce qui implique des processus d'immiscibilité entre deux liquides de compositions différents. Si le liquide silicaté dérivé de la fusion des sédiments et le liquide sulfuré étaient contemporains on pourrait expliquer la présence de ces globules. Si le liquide silicaté est précoce à la formation du liquide sulfuré, le soufre et le fer qui sont disponibles dans ces sédiments ont pu récolter les éléments Ni, Cu, Co et EGP qui se retrouvaient à l'état de traces dans le sédiment. Le processus est similaire à celui qui existe pour les "Reefs" dans les grands complexes ignées. Le liquide sulfuré une fois formé s'équilibre avec une certaine quantité de magma et à cause des coefficients de partage élevés des EGP dans les sulfures, ces éléments se seraient concentrés dans le liquide sulfuré.

4) Finalement une phase de déformation a effectivement tronqué une grosse partie de l'intrusion ou conduit ultramafique qui a ségrégué le liquide sulfuré.

Le Delta 2C' peut représenter une partie de ce conduit mais il peut aussi représenter un dyke tardif à ces sulfures. Le contrôle de ces événements nous échappe vu le manque d'informations. Cette déformation a aussi créé des zones de cisaillements dans le gabbro de l'intrusion 1C sous-jacent. Les horizons de sulfures massifs à la base des intrusions ultramafiques représentent des niveaux ductiles pendant la déformation. La mobilisation des sulfures massifs relativement aux zones de sulfures disséminés s'effectue avec des mouvements relatifs de 10 mètres, ces derniers sont reconnus dans tous les dépôts de ce type (Groves et Hudson, 1981). Ces derniers peuvent aussi être épaissis dans les axes de plis et les irrégularités basales des intrusions. Les minerais de type brèche, observés à Kambalda (Leshner et al., 1989), semblent s'être formés à des étapes tardives de la déformation lorsque les températures métamorphiques décroissent suffisamment pour permettre la formation de fractures cassantes dans les roches environnantes. Ce type de minerai est aussi observé à plusieurs autres endroits (Green et al., 1981).

Ils sont généralement considérés comme résultant d'un métamorphisme dynamique et sont confinés à des régions où le métamorphisme atteint le faciès amphibolite ($T=600-650^{\circ}\text{C}$; $P=6,5$ à 7kb) pour permettre une recristallisation complète des sulfures de même qu'un déplacement sous forme de liquide sulfuré (McQueen, 1986; Cowden et al., 1986).

Un litage pré-métamorphique peut être détruit pendant le réchauffement métamorphique et les laminations minéralogiques sont le résultat d'une ségrégation déformationnelle ou métamorphique, elles sont alors sub-parallèles aux contacts avec les roches encaissantes. Les sulfures près du contact inférieur aux lentilles de sulfures massifs possèdent ce genre de texture, témoignant d'un certain déplacement suite à leur cristallisation.

Mais dans le cas des lentilles de sulfures massifs D8 et D9, la remobilisation a dû s'être effectuée avant leur cristallisation en MSS, car si elle s'était produite après leur cristallisation, la zonation des EGP attribuée à une cristallisation fractionnée du liquide sulfuré aurait été détruite.

5) Un événement hydrothermal a amené la circulation d'un fluide capable de transporter le Cu, le Pd, le Pt et, dans une moindre mesure l'Au, puis leur déposition sous forme de veines et disséminations de sulfures riches en ces éléments, dans les roches à proximité des lentilles.

On sait maintenant que le transport et la déposition des EGP sont influencés par certains fluides et phases volatiles: le système C-O-H-S-Cl à $500-600^{\circ}\text{C}$, des solutions Cl^- à 300°C et finalement dans l'eau de mer à 4°C (Harrar et Haber, 1984; Crocket, 1990). Les EGP croissent en solubilité dans l'ordre suivant $\text{Ir} < \text{Os} < \text{Ru} < \text{Rh} < \text{Pd} < \text{Pt}$ (Cousins, 1973; Westland, 1981).

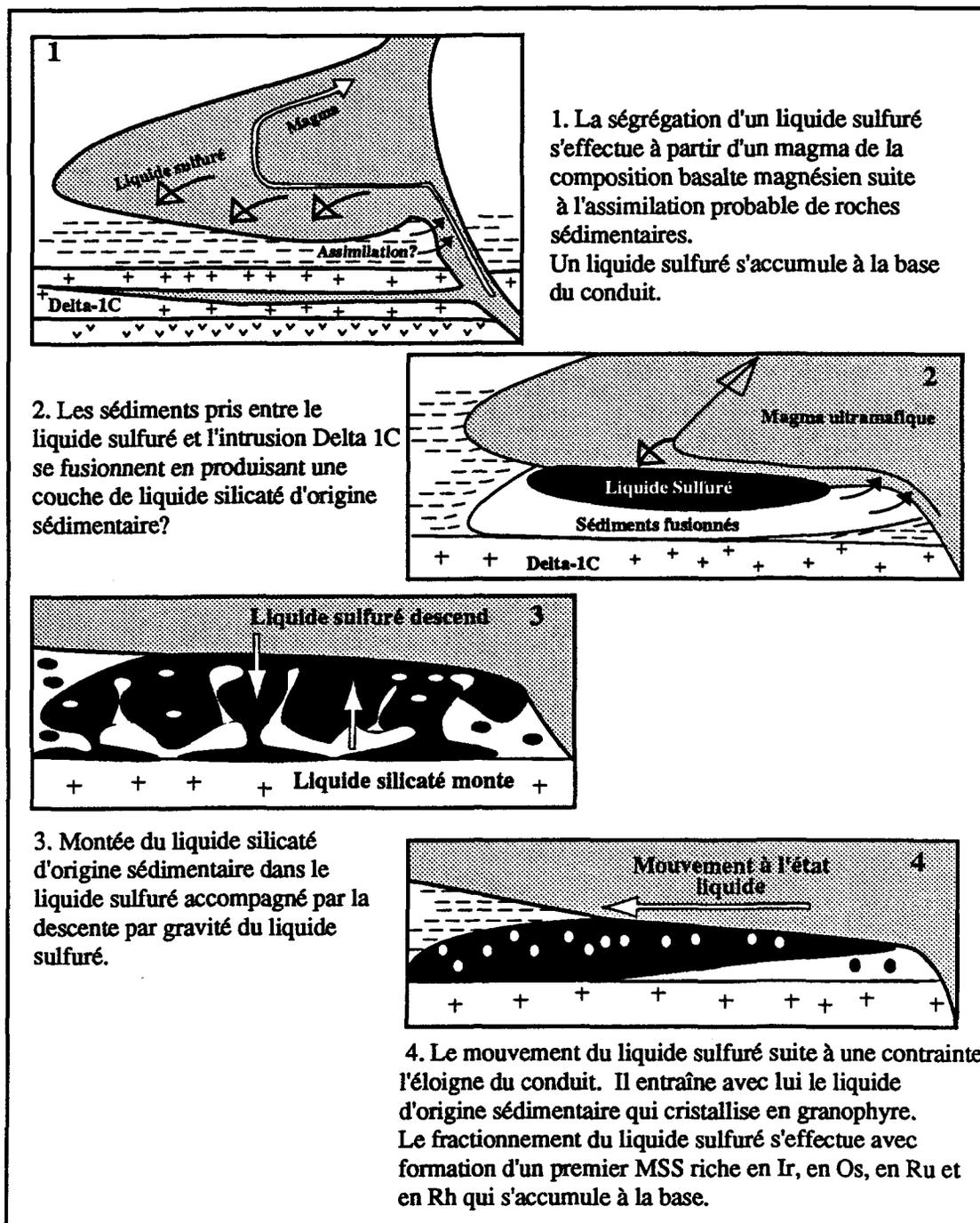


Figure 5.16: Schémas illustrant les différentes étapes amenant à la mise en place des amas sulfurés des zones D8 et D9 de Delta.

La nature chimique et les données thermodynamiques pour les EGP suggèrent que le Pd et Pt peuvent être mobiles et transportés sous forme de complexes Cl^- , hydroxides ou bisulfurés dépendant des conditions pH , $f\text{O}_2$, T et de la concentration initiale. (Westland, 1981; Mountain et al., 1988). La présence de veines enrichies en Pd et Cu dans les gabbros sous les sulfures massifs impliquent qu'ils furent transportés par un fluide hydrothermal.

5.5. Conclusions

Les assemblages minéralogiques et les caractéristiques géochimiques des lentilles de sulfures massifs indiquent une origine magmatique. En effet le contenu élevé en éléments du groupe Ir et leur position dans le champ du MSS à 600°C confirment cette origine. Ce liquide sulfuré s'est probablement ségrégué suite à l'assimilation de roches sédimentaires mais les rapports S/Se, souvent utilisés pour vérifier l'origine du soufre, montrent des valeurs près du manteau. Ces lentilles sont zonées et montrent un enrichissement en éléments du groupe Ir et du Rh dans leur partie inférieure. Ceci suggère qu'il y eut fractionnement du liquide sulfuré lors de sa cristallisation, avec concentration de ces éléments dans les premiers sulfures cristallisés. Les contenus moyens en EGP pour la lentille D8 montrent des similarités avec les autres gisements magmatiques de la ceinture, cependant la lentille D9 montre un enrichissement en éléments Pd et Pt qui peut être attribué à une certaine remobilisation par des fluides hydrothermaux.

Pour ce qui est des processus hydrothermaux, nous avons assez de preuves qu'il y eut enrichissement en Pd, en Pt, en Cu, en Au, en As, en Sb et parfois en Zn dans les roches encaissantes par la circulation de fluides hydrothermaux. Les textures observées dans les veines impliquent des interactions roches-fluides et les sulfures occupent une position centrale où ils sont souvent accompagnés de carbonates.

Ces veines peuvent se retrouver à une distance respectable des sulfures massifs (max. 300 mètres) qui constitueraient la source pour ces éléments.

Suite aux observations géochimiques, minéragraphiques et pétrographiques, le modèle suivant a été élaboré.

Dans un premier temps il y eut ségrégation d'un liquide sulfuré immiscible à partir d'un magma ultramafique. Le liquide sulfuré agit comme une couche de métal liquide très conductrice et de haute température, qui a causé la fusion des roches sédimentaires sous-jacentes. Le liquide résultant de cette fusion monte par différence de densité dans le liquide sulfuré comme des dômes silicatés qui en se refroidissant, forment les inclusions de granophyre dans les sulfures. Ce magma silicaté fuit aussi latéralement à ces lentilles en entraînant avec lui des gouttelettes de liquide sulfuré qui restent piégées lors de la cristallisation des silicates. Géochimiquement le granophyre présente des similitudes avec les roches sédimentaires de la région. Ces unités présentent des contenus en terres rares similaires et les mêmes rapports (La/Yb)_n.

A un état liquide, ce liquide sulfuré fut mobilisé du site de déposition original. Le fractionnement de ce liquide sulfuré s'est formé par la suite avec déposition à la base d'un premier MSS qui cristallise en incorporant les éléments du groupe Ir en appauvrissant le liquide sulfuré résiduel en ces mêmes éléments. Ce liquide résiduel forme, en cristallisant, la partie supérieure de ces lentilles.

Par la suite, le conduit ultramafique qui l'a ségrégué fut tronqué par un cisaillement. La circulation d'un fluide hydrothermal amène une redistribution des éléments plus mobiles dans les zones de bordure des lentilles ainsi qu'une mobilisation de ces éléments et une redéposition sous forme de veines et de sulfures disséminés dans les roches sous-jacentes aux lentilles de sulfures massifs.

CONCLUSIONS

Cette étude avait pour but principal de caractériser les minéralisations nickélicifères riches en EGP de la région de Delta. Cette région a été choisie comme sujet de thèse car elle offrait une occasion exceptionnelle pour étudier différents types de minéralisations en Ni, en Cu et en EGP dans un contexte restreint.

Ces travaux ont révélés quatre types de minéralisations: 1) une minéralisation pseudo-stratiforme située dans le filon couche différencié Delta 3; 2) des lentilles de sulfures massifs situées le long d'une zone de cisaillement; 3) des veines et disséminations riches en Cu, en Pd et en Pt dans des gabbros; 4) des gouttelettes de sulfures dans un granophyre. Les trois derniers types sont situés dans les zones minéralisées D8 et D9. La pétrographie et la minéragraphie détaillée ainsi que les caractéristiques géochimiques ont été utilisées afin de développer un modèle sur leurs origines respectives.

1. la minéralisation dans le filon-couche Delta 3

La partie inférieure du filon-couche différencié Delta 3 est typiquement constituée d'une séquence de cumulats à olivine et à pyroxène à sa base surmontée de gabbro-norite puis de gabbro hétérogène lité tronqué par une intrusion ultramafique le Delta 4. La minéralisation en Ni-Cu et EGP est restreinte à un mince horizon (<1 m) de gabbro pegmatitique/ grains grossiers localisé à la base d'un gabbro hétérogène lité. Les sulfures occupent une position interstitielle aux silicates et présentent un assemblage de haute température (pyrrhotite, pentlandite, chalcopyrite et quelques minéraux EGP).

Ces sulfures représentent entre 5 et 20% de la roche. Les rapports Cu/Ir, Ni/Pd, Ni/Cu et Pd/Ir de la minéralisation sont similaires aux gisements associés à des basaltes magnésiens/ intrusions différenciés, impliquant des processus de fractionnement des silicates lors de leur formation. Le caractère pseudo-stratiforme de cette minéralisation implique un certain contrôle magmatique. En effet, cet horizon se suit sporadiquement pendant près de 2km, toujours à la même position stratigraphique dans l'intrusion. Une minéralisation similaire se retrouve cependant un peu plus haut dans la séquence magmatique (indice 3.2), mais les caractéristiques géochimiques restent les mêmes.

Mais cet horizon minéralisé ne contient pas d'enrichissement en éléments incompatibles et en terres rares ce qui exclut la possibilité qu'il puisse s'être formé par des liquides résiduels différenciés, quoique que la pegmatite a probablement cristallisée après les roches gabbroïques de cette partie de l'intrusion. La présence d'une grande quantité de sulfures dans cette pegmatite est difficile à expliquer par des processus magmatiques seuls. Cet horizon minéralisé est aussi différent de ceux reportés dans la littérature (Merensky reef), les sulfures sont beaucoup moins riches en EGP et il n'y a pas d'association avec des horizons de chromitite ni de réapparition d'un silicate de plus haute température, tel l'olivine, qui suggère un déséquilibre quelconque dans les séquences de cumulats.

Une reconcentration des éléments Cu et Pd suite à la circulation de fluides tardi-magmatiques est cependant suggérée. Ce processus est confirmé par la présence de phases minérales hydreuses tardives (biotite, hornblende verte) dans l'horizon minéralisé et par la présence de veinules de chalcopryrite et de quartz-plagioclase-amphiboles dans et à proximité de l'horizon stratiforme. Des fluides de source deutérique ou métamorphique peuvent être à la source d'une augmentation dans le contenu en sulfures au niveau de l'horizon minéralisé et d'un enrichissement en Cu et en Pd.

Cet horizon est similaire aux gisements de type "Reef" rapportés dans la littérature à première vue mais les différences géochimiques et pétrologiques excluent cette catégorisation.

2. Les minéralisations dans les zones D8 et D9

Les minéralisations dans les zones D8 et D9 se localisent le long d'une zone de cisaillement qui sépare les intrusions Delta 1C et 2C au sud, de l'intrusion Delta 3 au nord. Les zones D8 et D9 comprennent chacune une lentille de sulfures massifs qui mesure environ 150 mètres de longueur par 10 mètres d'épaisseur. Celles-ci sont séparées de 900 mètres sur le terrain. La lentille de la zone D8 est comprise entre une intrusion ultramafique, le Delta 2C' et les gabbros du Delta 1C, tandis que celle de la zone D9 est comprise entre des sédiments et les gabbros du Delta 1C. Les gabbros sous-jacents contiennent des disséminations et veines de sulfures riches en Cu et en Pd. Nous retrouvons aussi des veines riches en Cu et en Pd dans les sédiments situés immédiatement au-dessus de la lentille D9.

Les lentilles de sulfures massifs D8 et D9 sont en contacts nets avec les roches encaissantes et les contacts inférieurs sont cisailés. Les sulfures se composent de pyrrhotite, de pentlandite et de chalcopyrite accompagnées plus rarement de cubanite, de pyrite, de sphalérite et de MGP. Ils présentent des textures granulaires en mosaïque non orientés, indiquant une recristallisation par rééquilibration thermique. Les lentilles de sulfures massifs contiennent des inclusions sub-arrondies et non-déformées de gabbro et de granophyre entourées et en voie de remplacement par la chalcopyrite. Les sulfures sont parfois foliés parallèlement au contact avec les roches encaissantes, en bandes centimétriques plus riches en pentlandite et plus riches en pyrrhotite.

Au contact inférieur il y a de minces bandes formées de chalcopyrite et de pyrite alternant avec des bandes de pyrrhotite et de pentlandite. Ces dernières indiquent une certaine remobilisation et recristallisation près du cisaillement. On observe une zonation dans la distribution du cuivre, la chalcopyrite se concentre surtout autour des inclusions, au contact avec les roches encaissantes et dans des veinules tardives impliquant que le cuivre fut, soit concentré dans un liquide sulfuré résiduel, soit transporté par des fluides hydrothermaux tardifs.

L'association minéralogique et les contenus élevés en éléments du groupe Ir suggèrent une origine magmatique pour ces lentilles de sulfures massifs. Les rapports moyens de Ni/Cu, Cu/Ir et Pd/Ir pour ces sulfures impliquent qu'ils se seraient cristallisés à partir d'un liquide sulfuré issu d'un magma de la composition basalte magnésien. La grande quantité de sulfures massifs (>1 mt; Samis, 1980) implique une ségrégation à partir d'un conduit ultramafique actif. Cette ségrégation a pu être initiée lors de l'assimilation d'une certaine quantité de roches sédimentaires par le magma ultramafique. Cependant les rapports S/Se près de la composition du manteau pour ces sulfures n'indiquent pas de contamination.

Une zonation des EGP est observée dans les lentilles de sulfures massifs. Cette zonation semble être le résultat d'une cristallisation fractionnée du liquide sulfuré. Le MSS qui cristallise en premier sera enrichi en éléments du groupe Ir (Ir, Ru, Os) et en Rh en appauvrissant le liquide résiduel en ces éléments. Ceci résulte en une séparation en deux parties: une partie inférieure riche en éléments du groupe Ir et en Rh et une partie supérieure pauvre en ces éléments. Le Ni, le Co et le Fe restent cependant plus ou moins constant dans ces deux parties. Le Cu, le Pd et le Pt devraient être concentrés dans le liquide sulfuré résiduel mais parce qu'il y eut des remobilisations attribuées à des fluides hydrothermaux, ces éléments plus mobiles se sont concentrés dans les veines autour des lentilles de sulfures massifs.

Cette étude confirme que le rhodium se comporte comme les éléments du groupe Ir et est en accord avec les hypothèses de Capobianco et Drake (1990). Les éléments Cu, Pd, Pt et Au sont compatibles et se comportent de manière similaire lors de la cristallisation fractionnée et lors du transport par des fluides hydrothermaux confirmant les études expérimentales sur la solubilité de ces métaux (Westland, 1981).

Le Cu est enrichi autour des inclusions, aux contacts et dans les roches encaissantes et est accompagné de teneurs importantes en Pd et dans une moindre mesure, en Pt. Cette étude confirme le lien entre le Cu, le Pd, le Pt et dans une moindre mesure l'Au. Les sulfures du contact inférieur de ces lentilles sont enrichis en Cu, en Pd et en Au de même que les gabbros/granophyres avec des disséminations et des veines de sulfures qui forment les encaissants inférieurs de ces lentilles. De plus les roches encaissantes sont enrichies en Sb et en As, éléments mobiles qui se concentrent facilement par des fluides hydrothermaux.

Les lentilles de sulfures massifs semblent se terminer en profondeur dans un horizon de granophyre. Le granophyre présent dans la zone D8 possède des amas ovoïdes de taille centimétriques constitués de sulfures riches en Ni, en Cu, en Pd et en Pt. Ceux-ci ressemblent aux gouttelettes d'immiscibilité entre un liquide silicaté et un liquide sulfuré qui furent piégées lors de la cristallisation des silicates. Ce granophyre possède des caractéristiques géochimiques similaires aux sédiments échantillonnés de cette région et contient aussi des enclaves de sédiments partiellement digérés. En effet ils présentent les mêmes teneurs en terres rares, en thorium et en éléments majeurs. Suite à ces observations, nous croyons que le granophyre serait issu de la fusion de roches sédimentaires. La présence de ce liquide sulfuré a probablement créé une zone de chaleur intense qui a fait fondre les sédiments sous-jacents. Le liquide silicaté issu de cette fusion monte, par différence de gravité, dans le liquide sulfuré tandis que ce dernier s'accumule sur le Delta 1C.

Le liquide formé par la fusion des sédiments forme le granophyre lors de sa cristallisation. Par ce processus il y aura une zone de sulfures avec des inclusions de granophyre accompagnée d'une zone de granophyre avec des gouttelettes de sulfures.

Les lentilles de sulfures massifs de par leur localisation dans un cisaillement sont forcément remobilisées de leur site de déposition original. Parce qu'elles contiennent des inclusions de granophyre non-déformées et aussi parce que ces lentilles possèdent une zonation des EGP qui résulte du fractionnement d'un liquide sulfuré lors de sa cristallisation, la remobilisation a dû s'effectuer à l'état liquide. Si la remobilisation s'était effectuée à l'état solide il y aurait forcément eu destruction de cette zonation.

Finalement, une phase de déformation a effectivement tronquée une grosse partie de l'intrusion ou conduit ultramafique qui a ségrégué le liquide sulfuré. Cette déformation a aussi créé des zones de cisaillements dans le gabbro de l'intrusion 1C sous-jacent.

Un événement hydrothermal tardif amène la circulation d'un fluide capable de transporter le Cu, le Pd, le Pt et dans une moindre mesure l'Au et leur déposition dans des veines situées dans les roches encaissantes. Ceci est démontré par l'extrême variabilité de ces éléments dans les sulfures massifs et leur enrichissement dans les roches encaissantes à ces lentilles.

Les minéralisations des zones D8 et D9 sont similaires à celles observées dans les autres gisements magmatiques de la ceinture de Cape-Smith. Les sulfures massifs sont cependant déprimés en EGP comparativement aux gisements de Katiniq et de Donaldson-Est. Ces minéralisations présentent cependant des similitudes avec le gisement du Lac Cross et les amas de sulfures massifs remobilisés retrouvés à Donaldson-Est.

RÉFÉRENCES

- ALLER, L. H. 1969. Earth, chemical composition of, and its comparison with that of the sun, moon and planets. Dans: *Composition of the earth 1*, ed. S.K. Runcorn, Pergamon Press, New-York.
- AUCLAIR, G. & FOUQUET, Y. 1987. Distribution of Selenium in High-Temperature hydrothermal sulfide deposits at 13° north, East Pacific Rise. *Canadian Mineralogist*, **25**; 577-587.
- BALLHAUS, C. G. & STUMPFL, E. F. 1985. Occurrence and petrological significance of graphite in the Upper Critical Zone, Western Bushveld Complex, South Africa. *Earth and Planetary Science Letters*, **74**; 58-68.
- BALLHAUS, C. G. & STUMPFL, E. F. 1986. Sulfide and Platinum mineralization in the Merensky Reef: evidence from hydrous silicates and fluid inclusions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **94**; 193-204.
- BALLHAUS, C. G. & McCALLUM, I. S. 1986. Investigations of the Stillwater Complex, Part I: The Picket Pin Pt/Pd deposit. *Economic Geology*, **81**; 1953-1975.
- BALLHAUS, C. G., CORNELIUS, M. & STUMPFL, E. F. 1988. The upper critical zone of the Bushveld complex and the origin of Merensky-Type ores- A discussion. *Economic Geology*, **83**; 1082-1091.
- BARAGAR, W. R. A. 1984. Pillow formation and Layered flows in the Circum-Superior Belt of eastern Hudson Bay. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **21**; 781-792.
- BARAGAR, W. R. A. et SCOATES, R. F. J. 1981. The Circum-Superior belt: a proterozoic plate margin?. Dans: Kröner, A. (Ed.), *Precambrian plate tectonics*. Elsevier, Amsterdam, 293-294.
- BARNES, S.-J. 1987. Unusual nickel and copper to noble metals ratios from the Rana layered Intrusion, northern Norway. *Norsk. Geologisk Tidsskrift*, **67**; 215-231.
- BARNES, S.-J., BOYD, R., KORNELIUSSEN, A., NILSSON, L. P., OFTEN, M., PEDERSEN, R. B. & ROBINS, B. 1988. The use of mantle normalization in discriminating between the effects of partial melting, crystal fractionation and sulfide segregation on Platinum-Group elements, gold, nickel and copper: examples from Norway. Dans: *Geoplatinum 87*, ed. H.M. Prichard, P.J. Potts and J.F.W. Bowle, Elsevier, 113-143.
- BARNES, S.-J. & GIOVENAZZO, D. 1990. Platinum-Group elements in the Bravo intrusion, Cape Smith Foldbelt, Northern Quebec. *Canadian Mineralogist*, **28**; 431-449.

- BARNES, S.-J., NALDRETT, A. J. & GORTON, M.P. 1985. The origin of the fractionation of Platinum-Group elements in terrestrial magmas. *Chemical Geology*, **53**; 303-323.
- BARNES, S.-J., & NALDRETT, A. J. 1986. Variations in platinum element concentrations in the Alexo mine komatiite, Abitibi greenstone belt, northern Ontario. *Geological Magazine*, **123**; 515-524.
- BARNES, S.-J., & NALDRETT, A.J. 1987. Fractionation of the Platinum-Group elements and gold in some Komatiites of the Abitibi Greenstone Belt, Northern Ontario. *Economic Geology*, **82**; 165-183.
- BARNES, S.-J., PICARD, C., GIOVENAZZO, D. & TREMBLAY, C. 1991. Modelling of the Cape Smith sulphide deposits by sulphide segregation from komatiitic basalt. *Australian Journal of Earth Sciences* (in press).
- BARNES, S. J. & BARNES, S.-J. 1990. A new interpretation of the Katiniq deposit, Ungava, Northern Quebec. *Economic Geology*, **85**; 1269-1272.
- BARNES, S. J. & CAMPBELL, I. H. 1989. Role of late magmatic fluids in Merensky-type platinum deposits: a discussion. *Geology*, **16**; 488-491.
- BARNES, S. J., COATS, C. J. A., & NALDRETT, A. J. 1982. Petrogenesis of a Protérozoic Nickel Sulfide-Komatiite association: the Katinik sill, Ungava, Quebec. *Economic Geology*, **77**; 413-429.
- BARNES, S. J., GOLE, M. J. & HILL, R. E. T. 1988a. The Agnew nickel deposit, Western Australia.I: Structure and statigraphy. *Economic Geology*, **83**; 524-536.
- BARNES, S. J., GOLE, M. J. & HILL, R. E. T. 1988b. The Agnew nickel deposit, Western Australia.II: Sulfide geochemistry, with emphasis on the platinum group elements. *Economic Geology*, **83**; 537-550.
- BARNES, S. J.& NALDRETT, A. J. 1985. Geochemistry of the J-M (Howland) Reef of the Stillwater Complex, Minneapolis Adit area. I. Sulfide chemistry and sulfide-Olivine equilibrium. *Economic Geology*, **80**; 627-645.
- BARRETT, F. M., BINNS, R. A., GROVES, D. I., MARSTON, R. J.& McQUEEN, K. G. 1977. Structural history and metamorphic modifications of Archean volcanic-type nickel deposits, Yilgarn block, Western Australia. *Economic Geology*, **72**; 1195-1223.
- BAVINGTON, O.A. 1981. The nature of sulfidic metasediments at Kambalda and their broad relationships with associated ultramafic trocks and nickel ores. *Economic Geology*, **76**; 1606-1628.

- BEALL, G. H. 1959. Cross Lake area, New Quebec, Département des Mines du Québec. Rapport préliminaire 396 et carte préliminaire 1267, 9 p.
- BEALL, G. H. 1977. Cross Lake and Laflamme lake areas. Ministère des Richesses Naturelles, Québec, DP-460.
- BÉDARD, J. H., FRANCIS, D. M., HYNES, A. J. & NADEAU, S. 1984. Fractionation in the feeder system at a proterozoic rifted margin. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, **21**; 489-499.
- BÉDARD, L. P. & BARNES, S.-J. 1990. Instrumental Neutron Activation Analysis by Collecting only One Spectrum. Results for international geochemical reference samples. *Geostandards Newsletter*, **14**; 479-484.
- BERGERON, R. 1957. Cape Smith-Wakeham Bay belt, New Quebec, Quebec. Department of Mines, Rapport #355, cartes préliminaires 1090 et 1196, 8 p.
- BERGERON, R. 1959. Povungnituk range area, New Quebec. Département des Mines du Québec. Rapport #392 et carte préliminaire 1279, 9 p.
- BICKLE, M. J. 1982. The magnesium contents of komatiitic liquids. Dans: Arndt, N. T. et Nisbet, E. G. (eds), *Komatiites*, George Allen and Unwin, Londres, 479-493.
- BOUDREAU, A. E. 1988. Investigations of the Stillwater Complex IV: The role of volatiles in the petrogenesis of the J.M.Reef, Minneapolis Adit section. *Canadian Mineralogist*, **26**; 193-208.
- BOUDREAU, A. E., MATHEZ, E. A., McCALLUM, I. S. 1986. Halogen geochemistry of the Stillwater and Bushveld Complexes: Evidence for transport of the Platinum-Group elements by Cl-rich fluids. *Journal of Petrology*, **27**; 967-986.
- BOUDREAU, A. E., McCALLUM, I. S. 1986. Investigations of the Stillwater Complex: III. The Picket Pin Pt/Pd deposit. *Economic Geology*, **81**; 1953-1975.
- BRUGMANN, G. E., ARNDT, N. T., HOFMANN, A. W. & TOBSCHALL, H. J. 1987. Noble metal abundances in Komatiite suites from Alexo, Ontario, and Gorgona island, Colombia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **51**; 2159-2169.
- BRUGMANN, G. E., NALDRETT, A. J. & DUKE, J. M. 1990. The Platinum-Group element distribution in the Dumont sill, Quebec: Implications for the formation of Ni-sulfide mineralization. *Mineralogy and Petrology*, **42**; 97-120.
- BUCHANAN, D. L. & NOLAN, J. 1979. Solubility of sulfur and sulfide immiscibility in synthetic tholeiitic melts and their relevance to Bushveld-complex rocks. *Canadian Mineralogist*, **17**; 483-494.

- CABRI, L. J. 1981. The Platinum-Group Minerals. Dans: Platinum-Group elements: Mineralogy, Geology, Recovery. CIM Special volume 23, ed. L.J.Cabri, ICM., 83-150.
- CABRI, L. J. & LAFLAMME, J. H. G. 1974. Sudburyite, a new palladium-antimony mineral from Sudbury, Ontario. *Canadian Mineralogist*, **12**; 275-279.
- CAMPBELL, I. H. & NALDRETT, A.J. 1979. The influence of silicate:sulfide ratios on the geochemistry of magmatic fluids. *Economic Geology*, **74**; 1503-1506.
- CAMPBELL, I. H., NALDRETT, A. J. & BARNES, S. J. 1983. A model for the origin of the platinum rich sulfide horizons in the Bushveld and the Stillwater complexes. *Journal of Petrology*, **24**; 133-165.
- CAMPBELL, I. H., & BARNES, S. J. 1984. A model for the geochemistry of the Platinum-group elements in magmatic sulfide deposits. *Canadian Mineralogist*, **22**; 151-160.
- CAPOBIANCO, C.J. & DRAKE, M.J. 1990. Partitioning of ruthenium, rhodium and palladium between spinel and silicate melts and implications for platinum group element fractionation trends. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, **54**; 869-874.
- COATS, C. J. A. 1982. Geology and nickel sulfide deposits of the Raglan area, Ungava, Quebec. Société minière Raglan du Québec, Ltée. Ministère Energie et Ressources, Québec, GM 40480.
- COUSINS, C. A. 1973. Notes on the geochemistry of the platinum-group elements. *Geology of the Society of South Africa Transactions*, **76**; 77-81.
- COWDEN, A. & ARCHIBALD, N. S. 1987. Massive sulfide fabrics at Kambalda and their relevance to the inferred stability of Monosulfide Solid-Solution. *Canadian Mineralogist*, **25**; 37-50.
- COWDEN, A., DONALDSON, M. J., NALDRETT, A. J. & CAMPBELL, I. H. 1986. Platinum-Group elements and gold in the Komatiites hosted Fe-Ni-Cu sulfide deposits at Kambalda, W.-Australia. *Economic Geology*, **81**; 1226-1235.
- COWDEN, A. & WOOLRICH, P. 1986. Geochemistry of the Kambalda iron- nickel sulfides: implications for sulfide-silicate partitioning models. *Canadian Mineralogist*, **25**; 21-35.
- CRAIG, J. R. & KULLERUD, G. 1969. Phase relations in the Cu-Fe-Ni-S system and their application to magmatic ore deposits. *Economic Geology*, Mon.4, 344-358.
- CROCKET, J. H. 1981. Geochemistry of the platinum-group elements. dans: Platinum-Group elements: Mineralogy, Geology, Recovery, ed par L.J.Cabri, CIM Special volume 23, 47-64.

- CROCKET, J. H. 1990. Noble metals in seafloor hydrothermal mineralization from the Juan de Fuca and Mid-Atlantic ridges: A fractionation of gold from platinum metals in hydrothermal fluids. *Canadian Mineralogist*, **28**; 639-640.
- DAXL, H. 1986. The chlorite - hosted Platinum-Group Minerals of the Bravo Sill, Ungava trough, New Quebec. Rapport de fin d'étude, Université Concordia, Montréal, 58 p.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, M. A. 1962. Rock-forming minerals: volume 3 Sheet silicates. John Wiley & sons, New-York.
- DILLON-LEITCH, H. C. H., WATKINSON, D. H. and COATS, C. J. A. 1986. Distribution of Platinum-Group elements in the Donaldson West Deposit, Cape Smith Belt, Quebec. *Economic Geology*, **81**; 1147-1158.
- DIMROTH, E., BARAGAR, W. R. A., BERGERON, R. et JACKSON, G. D. 1970. The filling of the Circum-Ungava geosyncline. Dans: Symposium on basins and geosynclines of the Canadian shield. Eds Baer, A.J. Commission Géologique du Canada, Paper 70-40, 45-144.
- DOIG, R. 1983. Rb-Sr isotopic study of archean gneisses north of the Cape Smith foldbelt, Ungava, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **20**; 821-829.
- DOIG, R. 1987. Rb-Sr geochronology and metamorphic history of Proterozoic to early Archean rocks, north of the Cape Smith foldbelt, Ungava, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **24**; 813-825.
- DONALDSON, M. J. 1981. Redistribution of ore elements during serpentinisation and talc carbonate alteration of some Archean Dunites, Western Australia. *Economic Geology*, **76**; 1698-1713.
- DONALDSON, M. J., LESHER, C.M., GROVES, D. I. & GRESHAM, J. J. 1986. Comparison of Archean Dunites and komatiites associated with nickel mineralization in Western Australia: Implication for dunite genesis. *Mineralium Deposita*, **21**; 296-305.
- DUKE, J. M. 1986. The Dumont nickel deposit: a genetic model for disseminated magmatic sulphide deposits of Komatiitic affinity. Dans: *Metallogeny of basic and ultrabasic rocks*, ed. par M.J. Gallagher, R.A. Ixer, C.R. Neary et H.M. Prichard., The Institute of Mining and Metallurgy, England, 151-161.
- DUKE, J. M. & NALDRETT, A. J. 1978. A numerical model of the fractionation of olivine and molten sulfide from Komatiite magma. *Earth and Planetary Science Letters*, **39**; 255-266.

- DURAZZO, A. & TAYLOR, L. A. 1982. Exsolution in the MSS-Pentlandite system: Textural and genetic implication for Ni-sulfide ores. *Mineralium Deposita*, vol.?
- ECKSTRAND, O.R. 1975. The Dumont serpentinite: a model for control of nickelliferous opaque mineral assemblages by alteration reactions in ultramafic rocks. *Economic Geology*, **70**; 183-201.
- ECKSTRAND, O. R. & HULBERT, L. J. 1987. Selenium and the source of sulphur in magmatic nickel and platinum deposits. Geological Association of Canada, Mineralogical association of Canada, Program with abstracts, 12, 40.
- FEININGER, T. 1986. An unusual alaskite located 40Km West of Asbestos Hill. Dans: Exploration en Ungava, données récentes sur la géologie et la gîtologie. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Séminaire d'information 1986, DV 86-16, 51-56.
- FLEET, M. E., MacRAE, N. D., OSBORNE, M. D. 1981. The partition of nickel between olivine, magma and immiscible sulfide liquid. *Chemical Geology*, **32**; 119-127.
- FLEET, M. E. & STONE, W. E. 1990. Nickeliferous sulfides in xenoliths, olivine megacryst and basaltic glass. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **105**; 629-636.
- FRANCIS, D. M. & HYNES, A. J. 1979. Komatiite derived tholeiites in the Proterozoic of New Quebec. *Earth and Planetary Science Letters*, **44**; 473-481.
- FRANCIS, D. M., HYNES, A. J., LUDDEN, J. N. & BÉDARD, J. 1981. Crystal fractionation and partial melting in the petrogenesis of a Proterozoic high-MgO volcanic suite, Ungava, Quebec. *Contributions Mineralogy and Petrology*, **78**; 27-36.
- FRANCIS, D. M., LUDDEN, J. N. & HYNES, A. J. 1983. Magma evolution in a proterozoic rifting environment. *Journal of Petrology*, **24**; 556-582.
- FROST, K. M. & GROVES, D. I. 1990. Magmatic contacts between immiscible sulfide liquid and komatiite melts: Implications for the genesis of Kambalda sulfide ores. *Economic Geology*, **84**; 1697-1704.
- GAONACH'H, H., PICARD, C., LUDDEN, J. N. & FRANCIS, D. 1989. Alkaline rocks from a Proterozoic volcanic island in the Cape Smith Fold Belt, New Quebec. *Geosciences Canada*, **16**; 137-139.
- GENKIN, A. D. & EVSTIGNEEVA, T. L. 1986. Associations of Platinum-Group minerals of the Noril'sk Copper-Nickel sulfide ores. *Economic Geology*, **81**; 1203-1212.

- GIBB, R. A. 1983. Model for suturing of Superior and Churchill plates: an example of double indentation tectonics. *Geology*, **1**; 413-417.
- GIBB, R. A. & WALCOTT, R. I. 1971. A Precambrian suture in the Canadian shield. *Earth and Planetary Science Letters*, **10**; 417-422.
- GIOVENAZZO, D. 1985. Etude des minéralisations du secteur centre du sillon de Cap Smith: région des lacs Nuvilik. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Québec, rapport final, MB 85-13.
- GIOVENAZZO, D. 1986. La Fosse de l'Ungava: une province métallogénique enrichie en éléments du groupe de platine. Dans: *Exploration en Ungava*,. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Séminaire d'information 1986, DV 86-16, 75-81.
- GIOVENAZZO, D. 1989. Etude des minéralisations du secteur central de la Fosse de l'Ungava: région du lac Bélanger, des lacs Nuvilic et du lac Cécilia. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Québec, ET 87-09.
- GIOVENAZZO, D. & GUHA, J. 1989. Considérations structurales dans l'exploration de gîtes Ni-Cu-EGP, Fosse de l'Ungava: Donaldson Est et Ouest. Présenté au 91e congrès annuel du CIMM, Québec, 30 avril au 4 mai 1989, présentation/papier no. 183, p.107.
- GIOVENAZZO, D. & LEFEVRE, C. 1986. Classification des indices minéralisés de la Fosse de l'Ungava. Dans: *Exploration en Ungava*, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Séminaire d'information 1986, DV 86-16, 73-74.
- GIOVENAZZO, D., PICARD, C. & GUHA, J. 1989. Tectonic setting of the Ni-Cu PGE deposits of the central part of the Ungava trough. *Geosciences Canada*, **4**; 134-136.
- GREEN, A. H. & NALDRETT, A. J. 1981. The Langmuir volcanic peridotite-associated nickel deposits.: Canadian equivalents of the Western Australian occurrences. *Economic Geology*, **76**; 1503-1523.
- GRESHAM, J. J. & LOFTUS-HILL, G. D. 1981. The geology of the Kambalda Nickel field, Western Australia. *Economic Geology*, **76**; 1373-1416.
- GRONLIE, Arne. 1988. Platinum-group minerals in the Lillefjellklumpen nickel copper deposit, Nord-Trondelag, Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, **68**; 65-72.
- GROVES, D. I., BARRETT, F. M., BINNS, R. A. & McQUEEN, K. G. 1977. Spinel phases associated with metamorphosed volcanic-type iron-nickel sulfide ores from Western Australia. *Economic Geology*, **72**; 1224-1244.

- GROVES, D. I., BARRETT, F. M. & BROTHERTON R. H. 1981. Exploration significance of chrome-spinels in mineralized ultramafic rocks and Ni-Cu ores. Dans: deVilliers, J.R.R. & Cawthorn, G.A. (eds), ICAM 81- Proceedings of the first international Conference on Applied Mineralogy. Geological Survey of South Africa Special publication 7, Johannesburg, South Africa, 21-30.
- GROVES, D. I., HUDSON, D. R & HACK, T. B. C. 1974. Modification of iron-nickel sulfides during serpentinisation and talc-carbonate alteration of Black Swan, Western Australia. *Economic Geology*, **69**; 1265-1281.
- GROVES, D. I. & HUDSON, D. R. 1981. The nature and origin of Archean stratabound volcanic-associated nickel-iron-copper sulfide deposits. Dans: Handbook of stratabound and stratiform ore deposits.(ed. par K.H.Wolf), Elsevier, Amsterdam, 305-410.
- GROVES, D. I., KORKIAKOSKI, E. A., McNAUGHTON, N. J., LESHER, C. M. & COWDEN, A. 1986. Thermal erosion by komatiite at Kambalda and genesis of nickel ores. *Nature*, **319**; 136-139.
- GROVES, D. I., LESHER, C. M. & GEE, R. D. 1984. Tectonic setting of the sulfide nickel deposits of the Western Australian Shield. Dans: Sulphide deposits in mafic and ultramafic rocks, ed. par D.L.Buchanan and M.J.Jones, The Institute of Mining and Metallurgy, London., 1-13.
- HARRAR, J. E. & HABER, E. 1984. Chemical analysis of geothermal waters and strategic petroleum reserves brines for metals of economic importance. *Geothermics*, **13**; 349-360.
- HARRIS, D. C. & NICKEL, E. H. 1972. Pentlandite composition and association in some mineral deposits. *Canadian Mineralogist*, **11**; 861-878.
- HERVET, M. 1986. Géologie de la région de la vallée de Narsajuaq, Fosse de l'Ungava. Dans: Exploration en Ungava, données récentes sur la géologie et la gîtologie. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Séminaire d'information 1986, DV 86-16, 21-30.
- HILL, R. E. T. 1984. Experimental study of phase relations at 600°C in a portion of the Fe-Ni-Cu-S system and its application to natural assemblages. Dans: Sulphide deposits in mafic and ultramafic rocks. ed. par D.L.Buchanan and M.J.Jones, The Institute of Mining and Metallurgy, London, 14-21.
- HOFFMAN, P. F. 1985. Is the Cape Smith belt (northern Quebec) a klippe?. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **22**; 1361-1369.
- HOFFMAN, E. L., HANCOCK, R., NALDRETT, A. J. & VAN LOON, J. C. 1978. The determination of all the platinum group elements and gold in rocks and ores by neutron activation analysis after preconcentration by a nickel sulfide fire assay technique on large sample size. *Analytica Chimica Acta*, **102**; 157-176.

- HUDSON, D. R. 1986. Platinum-Group minerals from the Kambalda Nickel deposits, Western Australia. *Economic Geology*, **81**; 1218-1225.
- HUPPERT, H. E. & SPARKS, S. J. 1980. The fluid dynamics of a basaltic magma chamber replenished by influx of hot, dense ultrabasic magma. *Contribution Mineralogy and Petrology*, **75**; 279-289.
- HUPPERT, H. E., SPARKS, S. J., TURNER, J. S. & ARNDT, N. T. 1984. Emplacement and cooling of komatiite lavas. *Nature*, **309**; 19-22.
- HUPPERT, H. E. & SPARKS, S. J. 1985a. Komatiites I: Eruption and flow. *Journal of Petrology*, **26**; 694-725.
- HUPPERT, H. E. & SPARKS, S. J. 1985b. Cooling and contamination of mafic and ultramafic magmas during ascent through continental crust. *Earth and Planetary Science Letters*, **74**; 371-386.
- HYNES, A. J. & FRANCIS, D. 1982. A transect of the early Proterozoic Cape Smith foldbelt, New Quebec. *Tectonophysics*, **88**; 23-59.
- IRVINE, T. N. 1965. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part.I. Theory. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **2**; 648-671.
- IRVINE, T. N. 1967. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part.II. Petrological applications. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **4**; 71-103.
- IRVINE, T. N. 1970. Heat transfer during solidification of layered intrusions; I. Sheets and sills. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **7**; 1031-1061.
- IRVINE, T. N. 1977. Origin of the chromitite layers in the Muskox intrusion and other stratiform intrusions. *Geology*, **5**; 273-277.
- IRVINE, T. N. 1982. Terminology for layered intrusions. *Journal of Petrology*, **23**; 127-162.
- IRVINE, T. N., KEITH, D. W. & TODD, S. G. 1983. The J-M Platinum-Palladium reef of the Stillwater complex, Montana; II.Origin by double-diffusive convective magma mixing and implications for the Bushveld Complex. *Economic Geology*, **78**; 1287-1334.
- KEAYS, R. R. & CAMPBELL, I. H. 1981. Precious metals in the Jimberlana intrusion, Western Australia: Implications for the genesis of platiniferous ores in layered intrusions. *Economic Geology*, **76**, 1118-1141.
- KEAYS, R. R. , & DAVIDSON. 1976. Palladium, iridium and gold in the ores and hosts rocks of nickel sulfide deposits in Western Australia. *Economic Geology*, **71**; 1214-1228.

- KEAYS, R. R., NICKEL, E. H., GROVES, D. I. & MCGOLDBRICK, P. J. 1982. Iridium and Palladium as discriminants of volcanic-exhalative, hydrothermal, and magmatic nickel sulfide mineralisation. *Economic Geology*, **77**; 1535-1547.
- KEAYS, R. R., ROSS, J. R. & WOOLRICH, P. 1981. Precious metals in volcanic peridotite-associated Nickel Sulfide Deposits in Western Australia. II: Distribution within the ores host rocks at Kambalda. *Economic Geology*, **76**; 1645-1674.
- KELLY, D. P. & VAUGHAN, D. J. 1983. Pyrrhotite-Pentlandite ore textures: a mechanistic approach. *Mineralogical Magazine*, **47**; 453-463.
- KIMBALL, K. 1990. Effects of hydrothermal alteration on the compositions of chromian spinels. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **105**; 337-346.
- KUCHA, H. 1982. Platinum-Group metals in the Zechstein Copper deposit, Poland. *Economic Geology*, **77**; 1578-1591.
- KUO, H. Y. & CROCKET, J. H. 1979. Rare earth elements in the Sudbury Nickel Irruptive: Comparison with layered gabbros and implications for Nickel Irruptive petrogenesis. *Economic Geology*, **74**; 590-605.
- LAMOTHE, D. 1986. Développements récents dans la Fosse de l'Ungava. Dans: Lamothe, D., Gagnon, R. et Clark, T., eds., *Exploration en Ungava: données récentes sur la géologie et la gîtologie*. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Québec, DV 86-16, 1-6.
- LAMOTHE, D., PICARD, C. & MOORHEAD, J. O. 1983. Bande de Cap Smith-Maricourt, région du lac Beauparlant. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Québec, Carte et rapport préliminaires, DP 84-39.
- LEE, C. A. 1983. Trace and platinum-group element geochemistry and the development of the Merensky Unit of the Western Bushveld Complex. *Mineralium Deposita*, **18**; 173-190.
- LESHER, C. M. 1990. Komatiite-associated nickel sulfide deposits. Dans: *Ore deposition associated with magmas*, Eds. J.A. Whitney and A. J. Naldrett, *Review in economic geology*, vol.4; 45-100.
- LESHER, C. M., THACKER, J. L., THIBERT, F., TREMBLAY, C. & DUFRESNE, M. W. 1991. Physical volcanology of Proterozoic Komatiitic Peridotites in the Chukotat group, Cape Smith Belt, New-Quebec. *Geological Association of Canada, program with abstracts*, vol 16, A74.
- LESHER, C. M. & KEAYS, R. R. 1984. Metamorphically and hydrothermally mobilised Fe-Ni-Cu sulphides at Kambalda, Western Australia. Dans: *Sulphide deposits in mafic and ultramafic rocks*. ed. par D.L.Buchanan and M.J.Jones, The Institute of Mining and Metallurgy, London, 62-69.

- LESHER, C. M., LEE, R. F, GROVES, D. I., BICKLE, M. J. & DONALDSON, M. J. 1981. Geochemistry of Komatiites from Kambalda, Western Australia. I: Chalcophile element depletion- a consequence of sulfide liquid separation from komatiitic magmas. *Economic Geology*, **76**; 1714-1728.
- LIGHTFOOT, P. C., NALDRETT, A. J. & HAWKESWORTH, C. J. 1984. The geology and geochemistry of the Waterfall Gorge section of the Insizwa complex with particular reference to the origin of the nickel sulfide deposits. *Economic Geology*, **79**; 1857-1879.
- LOFTUS-HILL, G. & SOLOMON, M. 1967. Cobalt, Nickel and Selenium in sulphides: indicators of ore genesis. *Mineralium Deposita*, **2**; 228-242.
- LUCAS, S. B. & St-ONGE. 1989. Structural evolution of the Cape Smith belt from initial thrusting to basement involved folding. *Geosciences Canada*, **4**; 122-126.
- MAKOVICKY, M., MAKOVICKY, E. & ROSE-HANSEN, J. 1986. Experimental studies on the solubility and distribution of platinum group elements in base-metals sulphides in platinum deposits. Dans: *Metallogeny of basic and ultrabasic rocks*, ed. par M.J. Gallagher, R.A. Ixer, C.R. Neary et H.M. Prichard, The Institute of Mining and Metallurgy, England., 415-425.
- MALEVSKIY, A.Yu., LAPUTINA, L. P. & DISTLER, V. V. 1977. Behavior of the Platinum-Group metals during crystallisation of Pyrrhotite from a sulfide melt. *Geochemistry International*, **14**; 177-184.
- MATHEZ, E. A. 1976. Sulfur solubility and magmatic sulfides in submarine basalt glass. *Journal of Geophysical Research*, **81**; 4269-4276.
- MATHEZ, E. A. 1990. Vapor associated with mafic magma and controls on its composition. Dans: *Ore deposition associated with magmas*, Eds. J.A. Whitney and A. J. Naldrett, review in *Economic Geology*, vol. **4**; 21-31.
- MATHEZ, E. A., BOUDREAU, A. E. & McCALLUM, I. S. 1985. Apatite and biotite from the Stillwater and Bushveld Complexes and the nature of hydrothermal activity. *Canadian Mineralogist*, **23**; 308 (abst.)
- MATHEZ, E. A & PEACH, C. L. 1990. The geochemistry of the Platinum Group Elements in mafic and ultramafic rocks. Dans: *Ore deposition associated with magmas*, Eds. J.A. Whitney and A. J. Naldrett, review in *Economic Geology*, vol. **4**; 33-43.
- MATHISON, C. I. & MARSHALL, A. E. 1981. Ni-Cu Sulfides and their host Mafic-Ultramafic rocks in the Mt. Sholl intrusion, Pilbara, region, Western Australia. *Economic Geology*, **76**; 1581-1596.
- MOORHEAD, J. 1986. Géologie de la région des lacs Chukotat et Hubert, Fosse de l'Ungava. Dans: *Exploration en Ungava, données récentes sur la géologie et la gîtologie*. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Séminaire d'information 1986, DV 86-16, 7-14.

- MOORHEAD, J. 1988. Géologie de la région du Lac Vigneau, Nouveau Québec. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Cartes préliminaires, DP 88-05.
- MOUNTAIN, B. W. & WOOD, S. 1988. Chemical controls on the solubility, transport, and deposition of Platinum and Palladium in hydrothermal solutions. *Economic Geology*, **43**; 492-510.
- McBIRNEY, A. R. & NOYES, R. M. 1979. Crystallization and layering in the Skaergard intrusion. *Journal of Petrology*, **20**; 487-554.
- McCALLUM, M. E., LOUCKS, R. R., CARLSON, R. R., COOLEY, E. F. & DOERGE, T.A. 1976. Platinum metals associated with hydrothermal copper ores of the New Rambler Mine, Medicine Bow Mountains, Wyoming. *Economic Geology*, **71**; 1429-1450.
- McDONALD, A. J. 1987. Ore deposit model #12: The Platinum Group element deposits, classification and genesis. *Geoscience Canada*, **14**; 155-166.
- McNAUGHTON, N. J., FROST, K. M. & GROVES, D. I. 1988. Ground melting and ocellar komatiites; a lead isotope study at Kambalda. *Geology Magazine*, **125**; 285-295.
- McQUEEN, K. G. 1979. Experimental heating and diffusion effects in Fe-Ni sulfide ore from Redross, Western Australia. *Economic Geology*, **74**; 140-148.
- McQUEEN, K. G. 1981. The nature and metamorphic history of the Waanaway Nickel deposit, Western Australia. *Economic Geology*, **76**; 1444-1468.
- NADEAU, S. 1984. La pétrologie, la géochimie et le rôle de la contamination dans l'évolution magmatique du Sill No-Name, Cape-Smith Baie de Wakeham, Nouveau Québec. Thèse Maîtrise, Université de Montréal, 115p.
- NALDRETT, A. J. 1969. A portion of the system Fe-S-O between 900°C and 1080°C and its application to sulfide ore magmas. *Journal of Petrology*, **10**; 171-201.
- NALDRETT, A. J. 1981a. Nickel sulfide deposits: classification. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy; special volume 23*; 197-232.
- NALDRETT, A. J. 1981b. Nickel sulfide deposits: classification, composition and genesis. Dans: *Economic Geology, 75th anniversary volume*, 628-685.
- NALDRETT, A.J. 1989. Magmatic ore deposits. *Oxford Monograph on geology and geophysics #4*, Clarendon press, Oxford University press, 186p.
- NALDRETT, A.J. 1990. Stratiform PGE deposits in layered intrusions. Dans: *Ore deposition associated with magmas*, Eds. J.A. Whitney and A. J. Naldrett., review in *Economic Geology*, vol.4, 135-165.

- NALDRETT, A. J. & CABRI, L. J. 1976. Ultramafic and related mafic rocks: Their classification and genesis with special reference to the concentration of nickel sulfide and platinum-group-elements. *Economic Geology*, **71**; 1131-1158.
- NALDRETT, A. J., CRAIG, J. R. & KULLERUD, G. 1967. The central portion of the Fe-Ni-S system and its bearing on pentlandite exolution in iron-nickel and sulfide ores. *Economic Geology*, **62**; 826-847.
- NALDRETT, A. J. & DUKE, J.M. 1980. Platinum metals in magmatic sulfide ores. *Science*, **208**; 1417-1424.
- NALDRETT, A. J., HOFFMAN, E. L., GREEN, A. H., CHOU, C., NALDRETT, S. R. & ALCOCK, R. A. 1979. The composition of Ni-sulfide ores, with particular reference to their contents of PGE and Au. *Canadian Mineralogist*, **17**; 403-415.
- NALDRETT, A. J., RAO, B. V. & EVENSEN, N. M. 1986. Contamination at Sudbury and its role in ore formation. Dans: *Metallogeny of basic and ultrabasic rocks*, ed. par M.J. Gallagher, R.A. Ixer, C.R. Neary et H.M. Prichard., The Institute of Mining and Metallurgy, England., 75-91.
- OSWALD, J. & LUSK, J. 1978. Sulfide fabrics in some nickel sulfide ores from Kambalda, Western Australia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **15**; 501-515.
- PAGE, N. J. & CARLSON, R. R. 1980. Review of Platinum-Group geochemistry and the major occurrences in the world. U.S.G.S., Open File report 80-90, 1-21.
- PAGE, N. J., vonGRUENEWALDT, G., HAFFTY, J. & ARUSCAVAGE, P. J. 1982. Comparison of Pt, Pd, Rh distributions in some layered Intrusions with special reference to the late differentiates (Upper Zone) of the Bushveld Complex, South Africa. *Economic Geology*, **77**; 1519-1534.
- PAKTUNC, A. D. 1984a. Petrogenesis of ultramafic and mafic rocks of the Thompson Nickel Belt, Manitoba. *Contribution Mineralogy and Petrology*, **88**; 348-353.
- PAKTUNC, A. D. 1984b. Metamorphism of the Ultramafic rocks of the Thompson Mine, Thompson Nickel Belt, Northern Manitoba. *Canadian Mineralogist*, **22**; 77-91.
- PARRISH, R. R. 1989. Implications of U-Pb Geochronology of the Cape Smith Belt, Quebec. *Geosciences Canada*, **4**; 126-129.
- PHILLPOTS, A. R. 1961. Textures of Ungava nickel ores. *Canadian Mineralogist*, **22**; 39-53.
- PICARD, C. 1986. Lithogéochimie de la partie centrale de la Fosse de l'Ungava. Dans: *Exploration en Ungava, données récentes sur la géologie et la gîtologie. Séminaire d'informations 1986*, Ministère Energie et Ressources du Québec, Québec, DV 86-16, 57-72.

- PICARD, C. 1987a. *Pétrologie et volcanologie des roches volcaniques de la partie centrale de la Fosse de l'Ungava*. Ministère Energie et Ressources du Québec, Québec. ET 87-07, 88 p.
- PICARD, C. 1987b. *Lithochimie des roches volcaniques protérozoïques de la partie occidentale de la Fosse de l'Ungava, région au sud du Lac Lanyan*. Ministère Energie et Ressources du Québec, Québec, ET 87-14, 77 p.
- PICARD, C., GIOVENAZZO, D. & LAMOTHE, D. 1989. Geotectonic evolution of the Proterozoic Cape Smith Belt, New Quebec. *Geosciences Canada*, **16**; 130-133.
- PICARD, C., LAMOTHE, D., PIBOULE, M. & OLIVIER, R. 1990. Magmatic and geotectonic evolution of a Proterozoic oceanic basin system: The Cape Smith Thrust Fold Belt (New Quebec). *Precambrian Research*, **47**; 223-249.
- PICARD, C. & GIOVENAZZO, D. sous-presse. *Pétrographie, Géochimie et Gîtologie des roches plutoniques ultramafiques et mafiques de la partie centrale de la Fosse de l'Ungava.: Implications sur la distribution des éléments du groupe des platinoïdes*. Ministère Energie et Ressources du Québec, Québec, 200 p. + 7 cartes hors texte.
- RAJAMANI, V. & NALDRETT, A. J. 1978. Partitionning of Fe-Co-Ni and Cu between sulfide liquid and basaltic melts and the composition of Ni-Cu sulfides. *Economic Geology*, **73**; 82-93.
- RAJAMANI, V., NALDRETT, A. J. & CHOU, C. L. 1978. Partitionning of Pt-group elements between sulfide and basaltic melts. *Economic Geology*, **73**; 313.
- RIPLEY, E. M. 1986. Origin and concentration mechanisms of copper and nickel in Duluth complex sulfide zones- A dilemma. *Economic Geology*, **81**; 974-978.
- RIPLEY, E. M. 1990. Platinum-Group element geochemistry of Ni-Cu mineralization in the Basal zones of the Babbitt deposit, Duluth Complex, Minnesota. *Economic Geology*, **85**; 830-841.
- ROBERT, R. V. D., VAN WYK, E. & PALMER, R. 1971. Concentration of the noble metals by a fire assay technique using nickel sulfide as the collector. National Institute of Metallurgy, report 1371, 1-14.
- ROSS, J. R. & KEAYS, R. R. 1979. The distribution of the precious metals in the ores and host rocks of Kambalda, Western Australia- I. Relationship with the composition of the ores and their host rocks. *Canadian Mineralogist*, **17**; 417-435.
- ROWELL, W. F. & EDGAR, A. D. 1986. Platinum Group mineralization in a hydrothermal Cu-Ni sulfide occurrence, Rathburn Lake, Northeastern Ontario. *Economic Geology*, **81**; 1272-1277.

- ROY, C. 1989. Géologie de la région du lac Bélanger, Fosse de l'Ungava: Ministère de l'Energie et des Ressources, Québec, rapport et cartes finales, MB 89-13, 102 p.
- SACK, R. O. 1982. Spinel as petrogenetic indicators. Activity-composition relations at low pressure. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **79**; 169-186.
- SAMIS, A. M. 1977. Cominco: 1977 year-end report. Ministère Energie et Ressources, Québec, GM 33629.
- SAMIS, A. M. 1979. Cominco: 1978 year-end report. Ministère Energie et Ressources, Québec, GM 36257.
- SAMIS, A. M. 1980. Cominco: 1980 year-end report. Ministère Energie et Ressources, Québec, GM 37127.
- SCHIFFRIES, C. M.. & RUCKLIDGE, J. C. 1982. The petrogenesis of a platiniferous Dunite Pipe in the Bushveld Complex: Infiltration metasomatism by a chloride solution. *Economic geology*, **77**; 1439-1453.
- SCHIFFRIES, C. M., SKINNER, B. J. 1987. The Bushveld hydrothermal system: field and petrological evidence. *American Journal of Science*, **287**; 566-595.
- SCOATES, R. F. J. & ECKSTRAND, O. R. 1986. Platinum-group Elements in the Upper Central Layered Zone of the Fox River Sill, Northeastern Manitoba. *Economic Geology*, **81**; 1137-1146.
- SCOTT, D. J., St-ONGE, M. R., LUCAS, S. B. & HELMSTAED, H. 1989. The 2.0 Ga Purtunig ophiolite: imbricated and metamorphosed oceanic crust in the Cape Smith Thrust Belt, northern Quebec. *Geoscience Canada*, **16**;
- SECCOMBE, P. K., GROVES, D. I., MARSTON, R. J. & BARRETT, F. M. 1981. Sulfide paragenesis and sulfur mobility in Fe-Ni-Cu sulfide ores at Lunnon and Juan Main shoots, Kambalda: textural and sulfur isotope evidence. *Economic Geology*, **76**; 1675-1685.
- SEWARD, T. M. 1973. Thiocomplexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. *Geochimica and Cosmochimicae Acta*, **40**; 1329-1341.
- SPRINGE, Gunter. 1989. Chlorine bearing and the uncommon minerals in the Strathcona deep Copper zone, Sufbury district, Ontario. *Canadian Mineralogist*, **27**; 311-313.
- STEELE, T. W., LEVIN, J. & COPELOWITZ, I. 1975. The preparation and certification of a reference sample of a precious metal ore. National Institute Metalurgy Report, 1696.

- STUMPFL, E. F. 1986. Distribution, transport and concentration of platinum group elements. Dans: *Metallogeny of basic and ultrabasic rocks*. ed. par M.J. Gallagher, R.A. Ixer, C.R. Neary et H.M. Prichard., The Institute of Mining and Metallurgy, England, 379-393.
- STUMPFL, E. F. & RUCKLIDGE, J. C. 1982. The platiniferous dunite pipes of the eastern Bushveld. *Economic Geology*, **77**; 1419-1431.
- STUMPFL, E. F. & TARKIAN, M. 1976. Platinum genesis: new mineralogical evidence. *Economic Geology*, **71**; 1451-1460.
- SUN, S. S. & NESBITT, R. W. 1977. Chemical heterogeneity of the Archean mantle, composition of the earth and mantle evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, **35**; 429-448.
- SUN, S.S. & NESBITT, R.W. 1978. Petrogenesis of Archean ultrabasic and basic volcanics: evidence from rare earth elements. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **65**; 301-325.
- St-ONGE, M. R. & LUCAS, S. B. 1986. Structural and metamorphic evolution of an early Proterozoic thrust-fold belt, eastern Cape Smith belt (Ungava trough), Québec. Dans: *Exploration en Ungava, données récentes sur la géologie et la gîtologie*. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Séminaire d'information 1986, DV 86-16, 31-40.
- St-ONGE, M. R., LUCAS, S. B., SCOTT, D. J. & BÉGIN, N. J. 1986. Eastern Cape Smith Belt: an early proterozoic thrust-fold belt and basal shear zone exposed in oblique section, Wakeham Bay and Cratère du Nouveau Québec map areas. Dans: *Current Research, Part A, Geol. Surv. Can., Paper 86-1A*, 1-14.
- St-ONGE, M. R., LUCAS, S. B., SCOTT, D. J. & BÉGIN, N. J. 1987. Tectonostratigraphy and structure of the Lac Watts-Lac Cross-Rivière Déception area, central Cape Smith Belt, northern Québec. Dans: *Current Research, Part A, Geol. Surv. Can., Paper 87-1A*, 619-632.
- St-ONGE, M. R., LUCAS, S. B., SCOTT, D. J., BÉGIN, N. J., HELMSTAED, H. & CARMICHAEL, D. M. 1988a. Thin-skinned imbrication and subsequent thick-skinned folding of rift-fill, transitional-crust, and ophiolite suites in the 1.9 Ga Cape Smith Belt, Northern Quebec. Dans: *Current Research, Part C, Geol. Surv. Can., Paper 88-1C*, 1-18.
- St-ONGE, M. R., LUCAS, S. B., SCOTT, D. J. & BÉGIN, N. J. 1989. Evidence for the development of oceanic crust and for continental rifting in the tectonostratigraphy of the early Proterozoic Cape Smith foldbelt. *Geosciences Canada*, **4**; 119-122.

- TAYLOR, F. C. 1982. Reconnaissance geology of a part of the Canadian shield, northern Quebec and Northwest Territories. Commission Géologique du Canada, Mémoire 399, 32p.
- TAYLOR, S. R., GORTON, M. P. 1977. Geochemical applications of spark source mass spectrography III element sensitivity, precision and accuracy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **41**; 1375-1380.
- TAYLOR, S. R., & McLENNAN, S. M. 1985. The Continental crust; its composition and evolution. Blackwell, Oxford, England.
- THIBERT, F., en prep. Pétrologie des filons-couches différenciés Roméo 1 et 2 dans la partie centrale de la Fosse de l'Ungava, Nouveau Québec. Mémoire de Maitrise, Université de Montréal.
- THIBERT, F., PICARD, C. & TRZCIENSKI, W. 1989. Pétrologie des filons-couches différenciés Roméo 1 et 2 dans la partie centrale de la Fosse de l'Ungava. *Geosciences Canada*, **16**; 140-143.
- TREMBLAY, C. 1990. Les éléments du groupe du platine dans le dyke de Méquillon, ceinture de Cape Smith, Nouveau-Québec. Mémoire de maitrise, Université du Québec à Chicoutimi, Québec.
- TREMBLAY, G. 1986. Géologie de la région des lacs Vanasse et Lésard, Fosse de l'Ungava, Nouveau Québec. Dans: *Exploration en Ungava*, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Séminaire d'information 1986, DV 86-16, 15-20.
- USSELMAN, T. M., HODGE, D. S., NALDRETT, A. J., CAMPBELL, I. H. 1979. Thermal constraints on the characteristics of nickel-sulfide ore in ultramafic lavas. *Canadian Mineralogist*, **17**; 361-372.
- von GRUENEWALDT, G. 1979. A review of some recent concepts of the Bushveldt Complex with particular reference to the sulfide mineralization. *Canadian Mineralogist*, **17**; 233-256.
- WATKINSON, D. H., & DUNNING, G. R. 1979. Geology and Platinum-group mineralisation, Lac des Îles complex, Northwestern Ontario. *Canadian Mineralogist*, **17**; 453-462.
- WESTLAND, A. D. 1981. Inorganic chemistry of the Platinum-Group elements. Dans: *Platinum-Group Elements: Mineralogy, Geology, Recovery*, ed par L.J. Cabri, 5-18.
- WILLIAMS, R. K., VEERABURNS, M. & PHILBROOK, W. O. 1972. Thermal conductivities of some Ni-S, Ag-S and Ag-Te melts. *American Institute of Mining Engineers, Metallurgical Transactions*, **3**; 255-260.

WOOLRICH, P., COWDEN, A. & GIORGETTA, N. E. 1981. The chemical and mineralogical variations in the nickel mineralisation associated with the Kambalda dome, W.-Australia. *Economic Geology*, **76**; 1629-1644.

ZINDLER, A. 1982. Nd and Sr isotopic studies of komatiites and related rocks. Dans: Arndt, N.T et Nisbett, E.C.(Editor). *Komatiites*. Allen and Unwin, London, England, 399-420.

ANNEXE-1

RÉSULTATS ANALYTIQUES

#éch.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mètres		0	4.87	25.48	29.87	60.2	74.9	105	125	140	150
faciès	S	B.f.	P.	CO	CO	P.	G	G	G	G	G
SiO ₂	63.60	46.20	46.10	48.50	41.30	49.20	48.80	49.30	49.10	49.20	49.20
Al ₂ O ₃	17.90	10.50	8.90	6.73	4.58	6.06	15.70	17.00	15.00	13.80	17.00
Fe ₂ O ₃	6.91	12.80	12.50	9.90	12.40	8.93	7.40	6.67	7.29	7.34	6.16
MgO	1.40	14.70	19.00	17.30	28.10	18.00	9.93	8.63	10.60	10.90	9.22
CaO	0.43	6.81	8.20	14.50	4.73	14.70	14.60	15.30	15.60	15.90	14.20
Na ₂ O	2.75	1.70	0.65	0.25	0.10	0.14	1.48	1.60	1.07	0.99	1.79
K ₂ O	3.56	0.72	0.44	0.06	0.03	0.09	0.06	0.07	0.07	0.14	0.13
TiO ₂	0.58	0.71	0.57	0.48	0.24	0.41	0.45	0.42	0.41	0.40	0.32
MnO	0.02	0.20	0.19	0.22	0.20	0.17	0.14	0.12	0.14	0.14	0.12
P ₂ O ₅	0.04	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02
P.A.F.	2.82	3.31	4.37	2.58	8.54	2.39	2.05	1.84	1.96	1.88	2.19
Total	100.0	97.7	100.9	100.5	100.2	100.1	100.6	100.9	101.2	100.7	100.3
Fe(S) %	1.62	0.00	0.075	0.012	0.161	0.13	0.014	0.036	0.00	0.03	0.029
MGV	20.82	49.51	56.93	60.15	66.57	63.53	53.71	52.93	56.63	56.30	56.50
S %	0.94		0.09	0.04	0.24	0.03	0.02	0.03	<0.01	0.04	0.03
Y ppm	19	<10	10	14	6	11	12	9	9	9	6
Zr ppm	210	25	40	44	29	33	38	36	34	29	28

Calculs normatifs CIPW

#éch.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Or	0.13	4.60	2.71	0.36	0.19	0.55	0.36	0.42	0.42	0.84	0.79
Ab	0.90	15.55	5.74	2.17	0.92	1.22	12.78	13.73	9.17	8.52	15.50
An	12.36	20.43	20.93	17.54	13.05	16.10	36.74	39.55	36.39	33.38	38.85
Di _{wo}	11.52	6.55	8.86	23.47	5.15	24.57	15.43	15.57	17.49	19.50	13.82
Di _{en}	8.57	4.43	6.02	16.41	3.71	17.63	10.27	10.30	11.85	13.25	9.39
Di _{fs}	1.82	1.61	2.16	5.08	0.97	4.74	4.03	4.15	4.29	4.73	3.36
Hy _{en}	35.82	18.96	20.10	16.12	20.23	18.87	8.03	6.64	9.61	9.47	7.16
Hy _{fs}	7.60	6.91	7.21	4.99	5.30	5.07	3.15	2.68	3.48	3.38	2.56
Ol _{fo}	15.34	11.35	16.28	8.24	36.74	6.77	4.86	3.41	3.70	3.43	4.87
Ol _{fa}	3.59	4.55	6.44	2.81	10.61	2.00	2.10	1.52	1.48	1.35	1.92
Mt	1.80	3.46	2.33	1.79	2.54	1.63	1.32	1.18	1.28	1.30	1.11
Il	0.52	1.46	1.13	0.94	0.50	0.80	0.87	0.81	0.79	0.77	0.62
Ap	0.02	0.15	0.10	0.07	0.08	0.05	0.07	0.05	0.05	0.07	0.05
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Tableau 1: Résultats analytiques pour les échantillons prélevés le long de la Coupe D3 dans le filon-couche Delta 3 (figure 3.3); éléments majeurs (oxydes) et calculs normatifs CIPW.

S= sédiment, G= gabbro, Het= hétérogène, P= pyroxénite, CO= cumulat à olivine, Peg= pegmatite, b.f.= bordure figée

$MGV = Mg^{+} / (Mg^{+} + Fe^{+})$ cationique

Fe(S) %: Quantité de fer dans les sulfures.

Les oxydes ont été analysés au CRM, Québec, par XRF, les éléments traces par AA.

#éch.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
mètres	167.3	174.8	176.8	179	179	183.2	188	199.7	219.7	237
faciès	G	G Het	G Het	Peg	Peg	G Het	G Het	G Het	Rod	CO
SiO ₂	48.50	48.90	49.20	47.10	41.20	49.30	49.70	49.60	47.80	40.00
Al ₂ O ₃	17.00	17.50	17.90	14.70	13.20	16.70	16.30	14.70	20.10	4.83
Fe ₂ O ₃	7.36	6.43	6.29	9.94	14.00	7.25	7.07	6.64	4.74	10.20
MgO	9.31	8.84	8.65	9.16	8.12	9.55	9.90	10.90	8.10	31.50
CaO	14.00	14.80	14.10	13.20	11.10	14.10	14.70	15.00	14.40	5.19
Na ₂ O	1.59	1.31	1.27	1.61	1.21	1.70	1.29	1.15	1.73	0.10
K ₂ O	0.14	0.11	0.52	0.10	0.35	0.10	0.09	0.09	0.24	0.01
TiO ₂	0.31	0.32	0.33	0.41	0.30	0.29	0.25	0.24	0.17	0.13
MnO	0.13	0.13	0.12	0.15	0.13	0.15	0.15	0.14	0.09	0.13
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
P.A.F.	2.46	2.19	2.25	2.65	6.94	2.22	2.08	1.94	2.42	8.13
Total	100.8	100.5	100.6	99.1	96.6	101.4	101.5	100.4	99.8	100.3
Fe(S) %	0.505	0.015	0.07	2.22	7.64	0.012	0.045	0.025	0.00	0.022
MGV	54.74	54.33	54.65	53.87	69.48	53.24	54.93	58.74	59.57	72.76
S %	0.38	0.03	0.06	1.61	5.31	0.03	0.07	0.04	<0.01	0.04
Y ppm	9	9	7	12	7	8	6	8	3	4
Zr ppm	27	30	29	37	26	27	20	19	13	17

Calculs normatifs CIPW

# éch.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Or	0.85	0.66	3.14	0.62	2.30	0.60	0.54	0.54	1.46	0.06
Ab	13.75	11.32	10.97	14.21	11.39	14.59	11.04	9.93	15.08	0.92
An	39.70	42.44	42.48	34.00	32.88	38.19	38.86	35.40	47.77	13.81
Di _{wo}	13.01	13.54	12.00	14.24	11.76	13.63	14.54	16.90	10.75	5.89
Di _{en}	8.49	9.02	8.01	8.47	5.67	8.98	9.72	11.66	7.46	4.44
Di _{fs}	3.62	3.52	3.11	5.05	5.91	3.67	3.75	3.87	2.40	0.85
Hy _{en}	7.40	10.74	11.53	6.61	2.06	7.78	11.89	12.40	3.24	8.80
Hy _{fs}	3.16	4.19	4.48	3.94	2.15	3.18	4.59	4.12	1.04	1.69
Ol _{fo}	5.47	1.91	1.72	6.11	10.35	5.16	2.34	2.56	7.06	50.48
Ol _{fa}	2.57	0.82	0.74	4.02	11.90	2.33	0.99	0.94	2.51	10.68
Mt	1.32	1.15	1.12	1.86	2.90	1.28	1.24	1.19	0.86	2.08
Il	0.60	0.62	0.64	0.81	0.63	0.56	0.48	0.47	0.33	0.27
Ap	0.05	0.05	0.07	0.07	0.08	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Tableau 1 (suite): Résultats analytiques pour les échantillons prélevés le long de la Coupe D3, dans le filon-couche Delta 3 (figure 3.3); éléments majeurs (oxydes) et calculs normatifs CIPW.

S= sédiment, G= gabbro, Het= hétérogène, P= pyroxénite, CO= cumulat à olivine, Peg= pegmatite, B.f.= bordure figée, Rod= rodingite.

MGV= $Mg^{+1} / (Mg^{+} + Fe^{+})$ cationique.

Fe(S) %: Quantité de fer dans les sulfures.

Les oxydes ont été analysés au CRM, Québec par XRF, les éléments traces par AA.

# éch.	0	2	3	4	4.5	5	6	7	8	9
faciès	S	*P	*CO	*CO	CO	*P	*G	*G	*G	*G
dist.m.	-	4.87	25.48	29.87	50	60.19	74.9	104.86	124.84	139.82
<i>ppm</i>										
Co	13.0	85.4	59.9	153.4	136.0	60.9	43.6	32.8	36.5	83.3
Cr	176.0	1777.5	2510.8	4112.2	3400.0	3458.9	674.6	389.6	435.4	418.0
Cu	71.0	105.0	96.0	644.0	387.0	91.0	55.0	28.0	12.0	67.0
Ni	92.0	677.6	457.1	1942.5	1400.0	469.9	123.9	111.0	172.4	165.4
Se	-	1.6	<1	3.6	-	<1	1.4	<1	<1	3.1
Sc	-	32.5	52.6	18.9	-	57.4	43.1	39.7	44.7	48.1
Zn	93.0	307.3	249.6	287.9	91.0	297.4	252.8	215.0	234.1	242.8
S %	0.94	0.09	0.04	0.24	0.11	0.03	0.02	0.03	<0.01	0.04
<i>ppb</i>										
Os	-	<3	<3	<3	-	<3	<3	-	<3	<3
Ir	-	0.9	0.4	0.9	-	0.9	0.5	-	1.1	1.2
Ru	-	9.1	<5	38.0	-	32.0	<5	-	<5	5.4
Rh	<6	3.0	3.0	14.0	<6	<1	<1	<6	6.0	<1
Pt	<6	11.0	17.0	45.0	26.0	18.0	25.0	<6	59.0	64.0
Pd	12.0	<5	43.0	90.0	74.0	25.0	31.0	9.0	33.0	25.0
Au	<5	1.2	2.5	2.5	9.0	4.6	1.9	<1	2.4	15.2
<i>ppm</i>										
La	-	1.88	2.45	1.44	-	1.74	2.67	2.19	1.87	1.78
Ce	-	7.11	9.55	8.37	-	7.80	8.51	7.80	7.69	5.84
Nd	-	3.67	3.02	<1	-	2.22	3.98	2.90	2.63	2.70
Sm	-	0.99	0.99	0.62	-	0.91	1.03	0.88	0.85	0.83
Eu	-	0.55	1.78	0.24	-	0.39	0.48	0.48	0.44	0.42
Tb	-	0.30	0.33	0.15	-	0.33	0.32	0.21	0.23	0.23
Yb	-	0.99	1.01	0.53	-	0.89	0.87	0.81	0.77	0.72
Lu	-	0.16	0.18	0.09	-	0.16	0.17	0.15	0.15	0.14
ΣETR	-	15.64	19.30	11.44	-	14.43	18.03	15.41	14.63	12.67
La/Yb	-	1.91	2.44	2.70	-	1.96	3.05	2.71	2.42	2.49

Tableau 2: Résultats analytiques pour les éléments traces des échantillons provenant de la coupe D3, du filon-couche différencié Delta-3 (figure 3.4).

*: Échantillons dont les éléments traces ont été analysés par INAA à l'UQAC.

Pour les autres échantillons, les éléments traces, ainsi que le Pd, le Pt et l'Au, ont été analysés au CRM, Québec, par AA.

Les EGP (complets) ont été analysés à l'INRS, Québec par INAA.

ld= limite de détection, - = non déterminé

CO= Cumulat à olivine, P= Pyroxénite, G= Gabbro, Het= Hétérogène,

B.f.= Bordure figée, S= Sédiments, Rod= Rodingite, Peg= Pegmatite.

ETR= Éléments du groupe des terres rares.

el	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21
	*G	*G	*G, Het	*G, Het	*Peg	*Peg	*G, Het	*G, Het	*G, Het	*G, Het	CO
dist.m.	149.81	167.28	174.8	176.8	178.95	179	183.21	187.96	199.74	219.74	237.19
<i>ppm</i>											
Co	36.6	61.4	28.9	32.1	108.6	272.2	25.9	34.0	33.6	27.1	99.0
Cr	289.4	99.9	78.9	80.8	56.1	49.4	68.3	90.2	186.1	18.4	4300.0
Cu	120.0	572.0	292.0	191.0	2000.0	6200.0	233.0	326.0	308.0	56.0	2.0
Ni	173.0	1063.2	95.4	152.7	4178.1	10907.7	173.0	473.5	146.1	70.4	1400.0
Se	3.3	<1	<1	<1	4.5	24.9	<1	<1	<1	<1	-
Sc	40.9	37.3	37.0	37.6	40.8	35.2	<10	46.4	47.8	32.1	-
Zn	292.4	317.2	275.2	279.0	334.9	364.2	290.2	311.2	378.1	223.2	60.0
S %	0.03	0.38	0.03	0.06	1.61	5.31	0.03	0.07	0.04	<0.01	0.04
<i>ppb</i>											
Os	<3	3.0	<3	<3	7.0	15.0	<3	<3	<3	<3	<3
Ir	0.7	0.7	<0.1	<0.1	4.2	11.0	0.1	1.0	0.6	<0.1	2.3
Ru	<5	<5	26.0	13.0	22.0	67.0	<5	<5	<5	<5	<5
Rh	5.0	21.0	6.0	3.0	41.0	60.0	5.0	10.0	17.0	16.0	7.0
Pt	68.0	42.0	<5	<5	152.0	716.0	<5	45.0	13.0	<5	11.0
Pd	37.0	86.0	<5	<5	577.0	836.0	15.0	64.0	43.0	<5	<5
Au	6.3	12.3	1.5	2.3	17.0	47.6	2.3	4.8	2.3	<1	<1
<i>ppm</i>											
La	1.53	1.46	1.61	1.76	2.00	1.28	1.43	0.85	0.74	0.70	-
Ce	5.02	5.22	5.77	6.46	7.24	3.64	4.16	2.61	2.81	1.90	-
Nd	1.84	2.12	1.35	0.97	0.84	1.16	0.94	0.73	1.05	<1	-
Sm	0.69	0.61	0.66	0.69	0.85	0.53	0.56	0.48	0.45	0.31	-
Eu	0.48	0.30	0.46	0.48	0.42	0.30	0.34	0.39	0.37	0.12	-
Tb	0.18	0.20	0.22	0.21	0.14	0.21	0.09	0.22	0.15	0.12	-
Yb	0.62	0.56	0.69	0.63	0.82	0.50	0.58	0.54	0.45	0.34	-
Lu	0.13	0.11	0.12	0.11	0.16	0.09	0.11	0.10	0.09	0.06	-
ΣETR	10.50	10.57	10.87	11.30	12.46	7.70	8.20	5.91	6.11	3.56	-
La/Yb	2.46	2.59	2.33	2.79	2.45	2.57	2.45	1.59	1.64	2.09	-

Tableau 2 (suite): Résultats analytiques pour les éléments traces des échantillons provenant de la coupe D3, du filon-couche différencié Delta-3 (figure 3.4).

*: Échantillons dont les éléments traces ont été analysés par INAA à l'UQAC.

Pour les autres échantillons, les éléments traces, ainsi que le Pd, le Pt et l'Au, ont été analysés au CRM, Québec, par AA.

Les EGP (complets) ont été analysés à l'INRS, Québec par INAA.

ld= limite de détection, - = non déterminé

CO= Cumulat à olivine, P= Pyroxénite, G= Gabbro, Het= Hétérogène,

B.f.= Bordure figée, S= Sédiments, Rod= Rodingite, Peg= Pegmatite.

ETR= Éléments du groupe des terres rares.

# éch	Indice Tranhée							
	A	B	C	D	E	F	G	H
faciès	G	G	G Het	G/Peg	G/Peg	G/Peg	G Het	G Het
SiO ₂	48.7	48.2	47.2	43.9	46.2	44.4	-	-
Al ₂ O ₃	16.4	16.3	12.6	14.3	15	12.4	-	-
Fe ₂ O ₃	6.43	6.31	9.14	11.4	10.2	13.1	-	-
MgO	8.72	9.5	12.8	9.55	9.51	10.6	-	-
CaO	16.5	16	14.5	15.1	16	14.8	-	-
Na ₂ O	1.31	1.54	0.73	0.7	0.7	0.45	-	-
K ₂ O	0.08	0.07	0.07	0.06	0.07	0.05	-	-
TiO ₂	0.37	0.28	0.38	0.4	0.33	0.37	-	-
MnO	0.12	0.12	0.16	0.15	0.14	0.15	-	-
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	-	-
PAF	1.47	1.93	2.47	2.85	2	2.39	-	-
Total	100.13	100.28	100.08	98.45	100.19	98.75	-	-
MGV	53.90	56.48	54.70	41.94	44.56	41.09	-	-
<i>ppm</i>								
Co	43	43	61	126	589	115	14	11
Cr	528	446	256	202	157	152	200	13
Cu	180	121	19	3600	3475	1415	251	232
Ni	199	200	352	300	12045	3315	236	355
S(%)	0.09	0.01	0.14	2.07	6.00	1.00	0.55	1.94
<i>ppb</i>								
Au	10	5	<5	-	117	24	3	<5
Pd	8	6	<2	-	5406	229	8	9
Pt	50	<5	20	-	496	87	<15	<15

Tableau 3: Résultats analytiques pour éléments majeurs et traces des échantillons provenant de l'indice minéralisé 3.1a (figure 3.5), filon-couche différencié Delta 3.

G= gabbro, Het= hétérogène, Peg= pegmatite.

MGV= $Mg^{+}/(Mg^{+} + Fe^{+})$ cationique

Les oxydes ont été analysés au CRM, Québec, par XRF.

Les éléments traces ont été analysés au CRM, Québec, par AA.

- = non-déterminé

#éch	Delta-3					Delta-4		
	1	*2	*3	4	5	6	7	8
<i>ppm</i>	<i>G Het</i>	<i>Peg</i>	<i>Peg</i>	<i>Peg</i>	<i>Peg</i>	<i>Rod</i>	<i>CO</i>	<i>CO</i>
Co	76.0	130.6	283.2	303.0	206.0	-	160.0	318.0
Cr	1381.0	223.0	327.7	422.0	428.0	-	4300.0	1100.0
Cu	965.0	2600.0	1000.0	1100.0	1100.0	-	461.0	4500.0
Ni	733.0	5729.7	11201.0	8100.0	6700.0	-	4000.0	7500.0
Se	-	6.0	14.6	-	-	-	-	-
S(%)	0.9	1.7	5.5	5.0	2.8	-	1.2	3.9
<i>ppb</i>								
Os	-	-	6.0	25.0	18.0	-	7.0	14.0
Ir	-	-	5.1	18.0	18.0	-	5.0	8.0
Ru	-	-	31.0	107.0	102.0	-	26.0	40.0
Rh	-	-	24.0	100.0	100.0	-	15.0	34.0
Pt	100.0	100.0	216.0	448.0	625.0	360.0	265.0	583.0
Pd	130.0	130.0	600.0	741.0	964.0	714.0	578.0	1257.0
Au	30.0	30.0	56.9	40.4	105.0	25.0	11.0	147.0

Tableau 4: Résultats analytiques des éléments traces pour les échantillons provenant de l'indice minéralisé 3.2 (figure 3.7), filon-couche différencié Delta 3.

G= gabbro, Het= hétérogène, Peg= pegmatite, Rod = rodingite, CO= cumulat à olivine.

Les oxydes ont été analysés par XRF et les éléments traces, par AA au CRM, Québec.
Les EGP (analyses complètes) ont été analysés par INAA, à l'INRS, Québec.

*: éléments traces analysés par INAA, UQAC.

- = non déterminé

		Indice 3.1a													3.1b		3.2			
Coupe D2		#1	#2, tranchée							#3			#4							
# éch.	1	1	D		E			F	1	2	3	1	*14	*15	*2	*3	4	5		
S%	-	0.96	2.06	-	-	15.70	2.09	1.38	-	2.15	2.87	3.00	1.17	1.16	1.61	5.31	1.65	5.53	5.00	2.83
Fe%	-	-	7.01	-	-	-	-	8.80	-	8.62	7.90	-	-	-	9.94	14.00	7.15	10.80	12.40	6.52
<i>ppm</i>																				
Co	-	91	126	1800	680	1100	131	124	1000	133	175	202	114	137	101	224	131	327	303	206
Cu	103	1360	3600	3900	3400	3400	1400	1600	7500	2300	3100	2200	288	731	2000	6200	2600	1000	1100	1100
Ni	1278	2133	3000	33200	22500	10000	3800	3380	31000	4000	4900	5500	3600	1600	4178	10907	5729	11201	8100	6700
Zn	-	50	59	84	63	106	46	80	48	61	95	91	56	44	51	68	54	553	55	46
Cr	273	125	202	89	82	169	172	279	7	227	190	2	234	114	107	41	265	393	422	428
Ag	-	-	-	1.3	0.8	0.7	1.5	<0.5	2.8	-	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	2.2	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
<i>ppb</i>																				
Os	3.0	-	-	-	-	33.0	-	-	-	8.0	8.0	9.0	3.0	<3	7.0	15.0	6.0	25.0	18.0	22.0
Ir	0.1	-	-	8.0	34.0	20.0	-	-	11.0	5.3	7.4	5.6	3.7	1.5	4.2	11.0	5.1	18.0	18.0	19.0
Ru	5.0	-	-	-	-	178.0	-	-	-	72.0	82.0	67.0	53.0	37.0	22.0	67.0	31.0	107.0	102.0	94.0
Rh	0.1	6.3	-	-	-	72.0	6.0	-	-	15.0	32.0	28.0	22.0	4.0	41.0	60.0	24.0	100.0	100.0	100.0
Pd	3	140	100	1190	11700	3926	256	140	17300	229	596	775	838	165	577	836	600	741	964	1775
Pt	7	66	85	1160	600	1059	83	40	800	87	285	298	302	76	152	716	216	448	625	641
Au	2.0	27.3	15.0	150.0	180.0	103.0	19.0	15.0	330.0	20.0	14.0	28.0	17.0	9.0	36.0	83.0	40.0	58.0	105.0	114.0
Ni/Cu	12.4	1.6	0.8	8.5	6.6	2.9	2.7	2.1	4.1	1.7	1.6	2.5	12.5	2.2	2.1	1.8	2.2	11.2	7.4	6.1
Pd/Ir	26.0	-	-	148.8	344.1	196.3	-	-	1572.7	43.2	80.5	138.4	226.5	110.0	137.4	76.0	117.6	41.2	53.6	93.4

Tableau 5: Résultats analytiques partiels des échantillons prélevés le long de l'horizon stratiforme minéralisé dans le Delta-3, par site échantillonné.

Les analyses des EGP (complets), ont été analysés à l'INRS, Québec, par INAA.

Tous les autres éléments furent analysés par AA (Absorption atomique) au CRM, Québec.

Les indices minéralisés sont localisés sur la carte de la figure 3.1.

- = non déterminé

*=Échantillons dont les éléments traces ont été analysés par INAA, à l'UQAC.

	indice 3.1a		indice 3.1b	indice 3.2
	tranchée	#3 et 4		
nb. d'éch.	4 éch.	3éch	2éch.	4éch.
%				
S	36.23	36.21	36.13	36.16
Fe	54.97	52.57	50.93	51.43
Co	0.23	0.27	0.19	0.25
Cu	3.35	2.48	4.35	3.60
Ni	5.22	8.47	8.40	8.57
<i>ppb</i>				
Os	105.55	100.79	129.55	176.62
Ir	67.77	91.81	84.54	150.69
Ru	812.05	1161.14	474.74	829.76
Rh	90.31	474.18	663.94	797.75
Pt	1711.83	5513.66	4141.54	5096.18
Pd	4786.26	14272.32	9315.21	11915.30
Au	291.90	346.98	686.17	858.48
Cu/Pd	6999.20	1737.63	4669.78	3021.33
Cu/Ir	494320.88	270123.08	514549.33	238901.06
Ni/Cu	1.56	3.42	1.93	2.38
Ni/Pd	10906.22	5934.56	9017.51	7192.43
Pd/Ir	70.63	155.45	110.19	79.07
$\Sigma Pd/\Sigma Ir$	6.59	14.62	19.54	14.70

Tableau 6: Résultats analytiques recalculés à 100% sulfures pour la moyenne des échantillons provenant des indices minéralisés échantillonnés dans le filon-couche Delta 3.

Ces indices sont localisés à la figure 3.1.

$$\Sigma Pd/\Sigma Ir = (Pd+Pt)/(Ir+Os+Ru).$$

87-86	Basanites		Delta 1C						Delta 2C		
			Dyke P			Dyke P.					
# cch.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
dist.m.	7.3	46.9	52.3	82.7	86.7	88.2	99.9	105.9	111.6	116.9	135.2
l (cm)	15.24	10.16	22.9	20.32	3.0	33.02	17.8	3.0	12.7	3.0	30.48
faciès	Bas	Bas	G	G	B.f.P	P	G	B.f.P	G	B.f.P	CO
SiO ₂	44.20	40.70	49.70	49.40	47.90	49.60	49.60	46.50	45.40	45.00	39.80
Al ₂ O ₃	13.20	9.71	14.60	13.90	11.20	5.73	15.50	7.00	13.90	5.30	4.70
Fe ₂ O _{3t}	15.20	16.80	9.32	9.17	11.60	12.80	8.16	10.10	8.40	9.82	11.70
MgO	5.22	6.58	8.45	9.67	12.70	16.90	8.77	23.20	9.66	25.50	31.60
CaO	11.20	15.30	13.70	13.80	11.70	11.30	12.80	8.33	21.10	7.72	3.08
Na ₂ O	2.95	0.75	2.00	1.59	1.10	0.23	2.04	0.24	0.19	0.28	0.11
K ₂ O	0.36	0.28	0.38	0.23	0.55	0.09	0.35	0.04	0.01	0.04	0.02
TiO ₂	5.36	5.76	0.76	0.58	0.74	0.75	0.47	0.33	0.37	0.44	0.25
MnO	0.22	0.26	0.20	0.16	0.20	0.20	0.15	0.15	0.27	0.16	0.16
P ₂ O ₅	0.72	0.85	0.06	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	0.02	0.04	0.01
PAF	1.75	1.88	1.58	1.81	2.44	2.70	1.95	5.19	1.64	6.07	9.32
Total	100.38	98.87	100.75	100.36	100.19	100.36	99.83	101.12	100.96	100.37	100.75
MGV	22.90	25.24	43.87	47.62	48.56	53.23	48.10	66.45	49.79	69.12	69.96
Y,ppm	-	40	17	16	19	14	11	9	10	9	6
Zr,ppm	-	670	65	45	54	50	43	27	32	33	18

Calculs normatifs CIPW

Q	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Or	2.19	1.73	2.28	1.32	3.36	0.55	2.13	0.25	-12.15	0.25	0.13
Ab	25.66	6.64	17.21	13.03	9.62	2.02	17.77	2.14	0.00	2.54	1.03
An	22.32	23.33	30.24	29.16	24.81	14.85	33.04	18.84	37.50	14.01	13.57
Ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00
Lc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.54	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Di _{wo}	12.51	21.01	16.04	15.38	14.53	17.87	13.37	10.17	28.50	11.15	1.36
Di _{en}	6.40	11.20	9.81	8.22	9.30	11.96	8.50	7.49	18.31	8.37	1.02
Di _{fs}	5.79	9.11	5.36	6.67	4.28	4.59	4.03	1.71	8.41	1.66	0.20
Hy _{en}	0.55	4.61	6.22	4.58	13.68	31.64	8.96	28.25	0.00	23.61	18.54
Hy _{fs}	0.50	3.74	3.40	3.71	6.29	12.13	4.25	6.43	0.00	4.69	3.63
Ol _{fo}	4.44	0.93	3.77	7.38	6.81	0.00	3.52	17.55	4.55	25.22	47.30
Ol _{fa}	4.47	0.83	2.27	6.60	3.46	0.00	1.84	4.40	2.14	5.52	10.22
Mt	2.95	3.32	1.79	2.78	2.27	2.51	1.58	2.01	1.60	1.99	2.45
Il	10.46	11.45	1.47	1.07	1.45	1.48	0.92	0.66	0.70	0.89	0.53
Ap	1.75	2.11	0.14	0.11	0.15	0.15	0.10	0.10	0.05	0.10	0.03
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Tableau 7: Résultats analytiques des éléments majeurs et calculs normatifs CIPW, pour les échantillons provenant du forage 87-86, zone minéralisée D8. Les oxydes ont été analysés au CRM, Québec par XRF, les éléments traces par AA.

l= longueur de carotte de forage échantillonnée et analysée. (MGV= $Mg^{+}/Mg^{+} + Fe^{+}$)

G= Gabbro, CO= Cumulat à olivine, P= Pyroxénite, B.f.= Bordure figée, Bas= Basanite.

87-86	Delta 2C					Delta 1C			Dyke P		Gr		Delta 2C'	
	# éch.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	23	27	28	
dist.m.	142.6	155.2	171.8	176.9	180.4	191.4	200.0	233.0	236.8	247.5	261.1	264.0		
l(cm)	30.48	35.6	25.4	15.24	3.0	33.02	17.8	38.1	30.48	17.8	30.48	30.48		
faciès	CO	CO	CO	CO	B.f.P	G	G	G	P	Gr	P	P		
SiO ₂	41.30	40.30	33.50	39.40	45.80	49.00	48.90	50.40	46.20	64.00	44.90	45.10		
Al ₂ O ₃	3.76	4.37	11.70	2.80	9.73	15.10	15.00	14.80	9.30	16.40	8.73	10.70		
Fe ₂ O ₃	10.90	11.90	14.10	11.60	11.40	8.38	8.62	9.15	11.30	5.64	12.00	11.80		
MgO	31.60	29.80	24.80	33.70	17.30	8.93	8.91	9.32	16.90	3.55	18.80	16.90		
CaO	2.99	4.06	4.74	0.35	11.50	14.20	14.10	11.40	10.10	1.29	8.78	7.98		
Na ₂ O	0.10	0.10	0.12	0.10	0.30	1.71	1.45	1.60	0.43	4.96	0.48	0.56		
K ₂ O	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.24	0.37	1.23	0.46	1.26	0.14	0.92		
TiO ₂	0.36	0.21	3.40	0.17	0.31	0.52	0.58	0.69	0.54	0.81	0.54	0.66		
MnO	0.19	0.16	0.38	0.17	0.21	0.15	0.15	0.15	0.17	0.06	0.18	0.17		
P ₂ O ₅	0.03	0.02	0.22	0.01	0.01	0.04	0.05	0.05	0.04	0.11	0.04	0.05		
PAF	9.18	9.27	8.25	10.90	3.68	1.80	1.87	2.23	3.44	2.69	4.13	4.13		
Total	100.42	100.21	101.23	99.21	100.27	100.07	100.00	101.02	98.88	100.77	98.72	98.97		
MGV	71.42	68.34	60.26	71.47	56.68	47.88	47.12	46.76	56.32	35.18	57.46	55.25		
Y	5	5	27	<3	9	14	15	14	3	21	3	6		
Zr	22	17	110	16	18	40	46	55	34	200	35	58		

Calculs normatifs CIPW

Q	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.52	0.00	0.00
Or	0.07	0.13	0.13	0.07	0.19	1.45	2.25	7.40	2.88	7.65	0.88	5.80
Ab	0.94	0.94	1.11	0.97	2.66	14.84	12.65	13.82	3.85	43.14	4.34	5.05
An	10.83	12.70	24.07	1.91	26.27	33.65	34.36	30.18	23.39	5.84	22.72	25.54
Ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	3.69	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.93	0.00	0.00
Diwo	2.25	3.99	0.00	0.00	13.92	16.00	15.62	11.36	12.27	0.00	9.84	6.80
Dien	1.71	2.97	0.00	0.00	9.51	10.16	9.79	7.16	8.41	0.00	6.80	4.64
Difs	0.31	0.63	0.00	0.00	3.32	4.82	4.89	3.49	2.88	0.00	2.24	1.64
Hyen	26.30	19.60	4.84	31.64	17.82	7.04	9.31	13.57	21.10	9.09	22.10	19.71
Hyfs	4.76	4.16	1.08	5.82	6.21	3.34	4.65	6.61	7.24	5.90	7.26	6.98
Olfo	41.44	42.04	43.77	45.21	12.42	3.93	2.65	2.07	10.55	0.00	14.82	14.38
Olfa	8.27	9.84	10.80	9.17	4.78	2.05	1.46	1.11	3.99	0.00	5.37	5.61
Mt	2.28	2.50	2.91	2.51	2.26	1.62	1.12	1.77	2.26	1.09	2.43	2.38
Il	0.76	0.44	7.04	0.37	0.62	1.01	1.14	1.34	1.09	1.58	1.10	1.34
Ap	0.08	0.05	0.57	0.03	0.02	0.10	0.12	0.12	0.10	0.27	0.10	0.13
Total	100.00	99.99	100.01	100.00	100.00	100.01	100.01	100.00	100.01	100.01	100.00	100.00

Tableau 7 (suite): Résultats analytiques des éléments majeurs et calculs normatifs CIPW, pour les échantillons provenant du forage 87-86, zone minéralisée D8. Les oxydes ont été analysés au CRM, Québec par XRF, les éléments traces par AA.

G= Gabbro, Gr= Granophyre, CO= Cumulat à olivine, P= Pyroxénite, B.f.= Bordure figée.

	Sédiment		Delta 1C		2C'
forage	77-24		77-24		77-29
dist.m.	101.9	102.7	111.6	114.9	66.5
l(cm)	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5
faciès	S	S	G	G	CO
SiO ₂	64.90	60.70	49.70	48.90	47.60
Al ₂ O ₃	17.30	17.60	14.30	14.20	4.46
Fe ₂ O ₃	5.40	6.80	8.00	8.80	9.33
MgO	1.50	1.80	8.90	9.30	25.10
CaO	0.60	1.10	12.50	13.40	7.61
Na ₂ O	2.90	2.60	2.30	1.50	<0,1
K ₂ O	3.90	3.70	0.1	0.30	0.02
TiO ₂	0.50	0.60	0.50	0.60	0.26
MnO	0.00	0.00	0.20	0.10	0.17
P ₂ O ₅	0.10	0.00	0.00	0.10	0.01
PAF	2.50	3.00	1.90	2.00	5.75
Total	99.60	97.90	98.30	99.20	100.31

Y ppm	8	6	3	6	3
Zr ppm	200	160	51	51	24

Tableau 7 (suite): Résultats analytiques des éléments majeurs et calculs normatifs CIPW, pour les échantillons provenant des forages 77-24, zone minéralisée D9, et 77-29, zone minéralisée D8. Les oxydes ont été analysés au CRM, Québec par XRF, les éléments traces par AA.
G= Gabbro, CO= Cumulat à olivine, S= Sédiment.

87-86	Basanites		Delta 1C							Delta 2C						
	# éch.	1	2	3	4	Dyke		Dyke		9	10	11	12	13	14	15
dist.m.	7.34	46.93	52.3	82.69	86.71	88.16	99.85	106	111.6	116.9	135.2	142.6	155.2	171.8	177	
<i>ppm</i>																
Ba	249	90	135	82	223	31	153	14	14	8	14	18	6	11	7	
Co	33	69	40	43	47	76	37	69	28	89	100	114	129	80	118	
Cu	68	502	143	134	27	187	125	97	41	43	13	13	210	262	18	
Ni	53	62	109	146	329	216	122	863	107	1100	1400	1600	1700	233	1600	
Zn	136	109	80	73	73	92	111	56	41	49	68	83	63	47	94	
Cr	-	28	170	217	998	94	196	2500	171	3000	4000	4600	3900	237	4100	
S %	0.01	0.48	0.04	0.06	0.05	0.19	0.03	0.01	0.04	0.09	0.03	0.05	0.04	0.02	0.06	
<i>ppb</i>																
Ir	<0.1	-	0.2	-	0.5	-	-	-	-	1.0	1.7	2.1	2.1	<0.1	1.8	
Os	<3	-	<3	-	<3	-	-	-	-	<3	<3	<3	7.0	<3	<3	
Ru	18.0	-	<5	-	<5	-	-	-	-	<5	24.0	<5	<5	<5	<5	
Rh	<1	<6	<1	<6	19.0	<6	<6	<6	<6	49.0	7.0	52.0	15.0	3.0	21.0	
Pt	11.0	<6	15.0	40.0	12.0	7.0	17.0	<6	17.0	<5	14.0	<5	40.0	<5	23.0	
Pd	<5	7.0	<5	15.0	20.0	6.0	8.0	8.0	7.0	33.0	<5	<5	164.0	<5	25.0	
Au	<5	<5	<5	<5	2.0	<5	<5	<5	<5	9.0	2.0	<1	9.0	7.0	1.0	
*Résultats analytiques par INAA, UOAC.																
# éch.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Fe %	10.68	-	6.69	-	8.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>ppm</i>																
Co	34.4	-	41.7	-	56.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cr	55.8	-	122.4	-	1047.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ni	<50	-	110.3	-	407.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sb	0.13	-	0.25	-	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Se	24.58	-	<1	-	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Th	18.17	-	0.84	-	0.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Zn	136.2	-	256.9	-	271.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
La	93.18	-	4.25	-	3.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ce	259.96	-	14.96	-	11.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nd	97.19	-	5.10	-	6.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sm	15.60	-	1.52	-	1.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Eu	6.36	-	0.76	-	0.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tb	0.23	-	0.50	-	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Yb	2.28	-	1.28	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Lu	0.36	-	0.24	-	0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
La/Yb	40.9	-	3.3	-	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ΣETR	475.2	-	28.6	-	25.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tableau 8: Résultats analytiques des éléments traces pour les échantillons de la coupe 87-86. La première partie des résultats a été analysée au CRM, Québec par AA. ld= limite de détection, - = non déterminé.

#échant.	2C Delta 1C				Dyke	Granophyre						Delta 2C'		Sed
	16	17	18	19		20	21	22	23	24	25	26	27	
dist.m.	180.4	191.4	200	233	236.8	239.7	245.67	247.5	253.74	256.82	258.85	261.12	264	267
<i>ppm</i>														
Ba	5	41	95	257	143	-	-	406	-	-	-	39	226	562
Co	64	37	33	33	72	-	-	9	-	-	-	87	76	10
Cu	119	97	64	143	196	4112	604	72	7600	8.87%	4860	98	376	276
Ni	539	121	103	105	602	-	-	21	-	-	-	761	708	51
Zn	87	59	63	66	108	-	-	47	-	-	-	109	124	47
Cr	1600	334	326	268	1600	-	-	164	-	-	-	1900	1500	-
S %	0.01	0.06	0.06	0.06	0.03	3.08	0.9	0.06	1.22	14.97	2.02	0.01	0.05	1.59
<i>ppb</i>														
Ir	0.6	-	0.2	-	-	0.4	9.7	<0.1	3.6	-	0.8	1.0	0.8	-
Os	<3	-	<3	-	-	5.0	10.1	<3	5.7	-	6.7	<3	<3	-
Ru	<5	-	<5	-	-	5.2	63.2	17.0	12.0	-	5.0	<5	26.0	-
Rh	5.0	<6	<1	<6	6.0	2.9	51.8	<1	28.8	-	1.4	<1	<1	<6
Pt	23.0	22.0	12.0	8.0	7.0	348.8	116.2	11.0	1084.1	-	3250.1	<5	21.0	<6
Pd	<5	34.0	<5	6.0	15.0	925.7	196.4	<5	3122.0	-	17464.8	<5	15.0	<6
Au	9.0	<5	<5	<5	<5	67.8	5.4	<5	252.2	1130.0	28.5	<5	6.0	<5
*Résultats analytiques par INAA. UOAC														
87-86	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Re %	8.32	6.11	-	6.74	8.30	6.81	6.48	3.90	4.71	18.60	12.03	8.55	8.53	5.07
<i>ppm</i>														
Co	76.3	43.2	40.4	38.4	71.9	80.3	30.4	12.9	36.6	331.3	35.6	83.7	74.3	11.3
Cr	1640.2	252.5	260.1	249.3	1604.2	352.9	353.5	78.2	240.9	122.8	1879.6	1880.2	1531.6	88.6
Ni	682.6	154.3	130.2	142.6	567.5	5460.2	1002.9	<50	995.1	30123.3	3261.7	893.4	804.0	45.2
Sb	<0.1	<0.1	-	0.39	0.19	0.72	0.31	<0.1	0.29	16.70	13.53	0.18	0.12	0.26
Se	<1	<1	<1	<1	<1	14.21	7.26	5.72	5.80	140.46	15.67	<1	<1	7.12
Th	0.17	0.19	0.56	0.42	0.28	15.63	13.52	14.12	11.69	8.51	2.25	0.51	0.80	15.52
Zn	313.2	214.4	183.3	225.9	308.9	83.0	125.5	56.3	167.1	854.1	309.6	285.6	320.9	91.5
La	0.61	2.52	2.04	3.21	1.73	37.00	36.90	26.40	18.22	16.66	8.88	2.06	2.71	25.56
Ce	3.67	9.24	10.56	11.76	7.58	69.00	66.11	68.00	35.08	28.64	19.22	9.08	11.71	69.39
Nd	<1	2.15	1.91	4.03	1.33	23.43	21.72	21.56	12.55	6.17	4.16	2.90	4.17	19.66
Sm	0.49	1.08	0.82	1.25	0.88	4.90	4.65	3.49	3.46	1.95	1.89	0.98	1.24	3.34
Eu	0.27	0.58	0.606	0.75	0.56	1.04	1.13	1.20	1.01	0.54	0.51	0.47	0.78	0.85
Tb	0.22	0.41	0.131	0.29	0.23	<0.5	<0.5	0.68	0.54	0.19	0.35	0.23	0.46	0.44
Yb	0.69	0.98	0.896	1.21	0.86	0.97	1.26	1.85	1.10	0.48	0.99	0.97	1.09	1.11
Lu	0.13	0.18	0.188	0.21	0.18	0.23	0.30	0.30	0.28	0.12	0.22	0.18	0.22	0.18
La/Yb	0.9	2.6	2.3	2.7	2.0	38.1	29.3	14.3	16.6	35.1	9.0	2.1	2.5	23.1
ΣETR	6.1	17.1	17.2	22.7	13.3	136.6	132.1	123.5	72.2	54.7	36.2	16.9	22.4	120.5

Tableau 8 (suite): Résultats analytiques des éléments traces pour les échantillons de la coupe 87-86. La première partie des résultats a été analysée au CRM, Québec, par AA.

Delta 2B					Delta- 4					
# Gr.	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
FeO	14.09	13.95	13.74	13.87	16.02	15.86	15.52	16.02	16.16	15.98
MnO	0.23	0.24	0.20	0.22	0.24	0.24	0.25	0.24	0.26	0.25
SiO ₂	40.23	39.94	39.80	39.21	39.71	39.86	40.37	40.12	40.25	40.47
MgO	45.31	45.32	45.70	45.41	44.03	44.02	44.42	44.04	43.73	43.89
CaO	0.11	0.11	0.12	0.11	0.08	0.09	0.10	0.09	0.08	0.10
NiO	0.13	0.12	0.13	0.13	0.24	0.24	0.22	0.24	0.23	0.25
Total	100.	99.6	99.6	98.9	100.3	100.3	100.9	100.3	100.6	100.9
% cationique										
Fe	0.292	0.292	0.288	0.294	0.337	0.333	0.324	0.335	0.338	0.333
Mn	0.005	0.005	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Si	1.004	1.002	0.997	0.993	0.999	1.002	1.007	1.004	1.008	1.010
Mg	1.686	1.694	1.707	1.710	1.651	1.650	1.652	1.643	1.633	1.633
Ca	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
Ni	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005	0.003	0.005	0.005	0.005	0.005
Total	2.992	2.998	3.002	3.007	3.000	2.995	2.994	2.995	2.991	2.988
Fo	84.83	84.96	85.29	85.03	83.05	83.18	83.62	82.65	82.42	82.62
Fa	15.18	15.04	14.72	14.97	16.95	17.82	16.39	17.36	17.59	17.38
nb.	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2

Tableau 9: Composition de grains d'olivine dans des cumulats à olivine provenant des intrusions ultramafiques Delta 2B' et Delta 4.

nb= nombres d'analyses par grain

Les analyses furent effectuées avec la micro-sonde électronique de l'Université McGill (temps de comptage 25 sec.).

intrusion Delta 2C											
#grain	éch. 87-86-14					éch. 87-86-15					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
FeO	32.14	31.81	32.45	32.73	32.78	26.61	33.01	32.84	32.39	33.70	31.54
Fe2O3	31.54	26.13	18.82	18.37	18.86	14.14	18.07	16.08	17.82	19.75	29.59
MnO	1.48	1.59	1.97	1.91	1.87	0.92	1.65	1.75	1.50	1.72	1.26
ZnO	0.55	0.58	0.67	0.66	0.59	0.18	0.52	0.50	0.25	0.50	0.67
Al2O3	8.48	9.02	10.76	10.85	10.87	15.59	9.64	9.77	9.07	8.25	9.02
MgO	0.37	0.41	0.59	0.61	0.62	4.64	0.83	0.80	1.26	0.62	0.52
Cr2O3	22.98	27.81	30.38	30.05	29.68	37.08	31.61	32.11	33.68	29.67	27.14
TiO2	1.83	1.61	2.83	3.14	3.12	0.52	3.53	3.75	3.24	4.35	0.69
Total	99.42	99.02	98.52	98.37	98.45	99.72	98.93	97.64	99.24	98.61	100.46

% cationique, 4 Oxygène

Fe+2	0.979	0.968	0.979	0.989	0.989	0.751	0.997	1.001	0.972	1.028	0.948
Fe+3	0.865	0.715	0.511	0.499	0.512	0.359	0.490	0.441	0.481	0.542	0.800
Mn	0.046	0.049	0.060	0.059	0.057	0.026	0.050	0.054	0.045	0.053	0.038
Zn	0.015	0.016	0.018	0.018	0.016	0.004	0.014	0.013	0.007	0.013	0.018
Al	0.364	0.387	0.458	0.462	0.462	0.620	0.410	0.420	0.384	0.355	0.382
Mg	0.020	0.023	0.032	0.033	0.034	0.233	0.044	0.044	0.068	0.034	0.028
Cr	0.662	0.800	0.867	0.858	0.847	0.990	0.901	0.925	0.956	0.856	0.771
Ti	0.050	0.044	0.077	0.085	0.085	0.013	0.096	0.103	0.087	0.119	0.019
Total	2.953	2.9593	2.9267	2.9187	2.919	2.987	2.9073	2.9002	2.913	2.8827	2.98595

Fe#	97.96	97.73	96.84	96.78	96.72	76.30	95.74	95.82	93.50	96.82	97.17
Cr#	64.52	67.40	65.44	65.01	64.69	61.48	68.74	68.79	71.35	70.70	66.88

Tableau 10: Composition de spinelles chromifères provenant des cumulats à olivine de l'intrusion 2C.

#1 et 2: petits grains partiellement inclus dans de l'olivine

#3, 4 et 5: grains dans des clinopyroxènes.

#6 à 11: grains dans de l'olivine

*Analysé par la microsonde de l'Université McGill (Camebax, 15kv.).

Fe#: $Fe+2/(Fe+2 + Mg+2)$ Cr#: $Cr/(Cr + Al)$

#grain	intrusion Delta 2C'					intrusion Delta-4			
	éch. 77-29-1					Coupe D3, éch. 20			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FeO	31.78	31.47	30.96	33.58	31.55	23.15	29.50	20.30	22.75
Fe2O3	30.59	30.63	31.17	26.68	29.10	16.38	37.68	11.55	12.97
MnO	1.19	1.17	1.31	1.38	1.20	0.09	0.73	0.18	0.38
ZnO	0.37	0.62	0.37	0.64	0.42	0.11	0.41	0.09	0.16
Al2O3	8.84	9.17	8.23	6.12	9.24	13.71	8.93	16.26	15.00
MgO	0.60	0.53	0.53	0.41	0.58	7.67	1.77	9.50	7.53
Cr2O3	26.19	25.17	25.87	27.16	27.63	35.76	17.90	39.16	38.30
TiO2	0.94	0.81	0.66	3.65	0.63	1.65	0.94	1.25	1.14
Total	100.50	99.63	99.10	99.67	100.39	98.60	97.96	98.33	98.25

% catonique, 4 Oxygènes

Fe+2	0.954	0.953	0.946	1.030	0.946	0.652	0.908	0.559	0.640
Fe+3	0.826	0.834	0.857	0.736	0.785	0.415	1.089	0.286	0.328
Mn	0.036	0.036	0.041	0.043	0.036	0.002	0.021	0.005	0.011
Zn	0.010	0.017	0.010	0.017	0.011	0.003	0.010	0.002	0.004
Al	0.374	0.391	0.355	0.265	0.390	0.545	0.362	0.631	0.594
Mg	0.032	0.029	0.029	0.023	0.031	0.385	0.091	0.466	0.376
Cr	0.743	0.720	0.747	0.788	0.783	0.953	0.491	1.019	1.018
Ti	0.025	0.022	0.018	0.101	0.017	0.042	0.025	0.031	0.029
Total	2.977	2.982	2.984	2.904	2.986	2.95813	2.97724	2.96954	2.97179

Fe#	96.73	97.07	97.04	97.86	96.81	62.88	90.87	54.53	62.95
Cr#	66.51	64.81	67.82	74.86	66.74	63.62	57.54	61.77	63.15

Tableau 10 (suite): Composition de spinelles chromifères provenant des cumulats à olivine de l'intrusion 2C' et Delta 4.

#1 à 4: grains dans des clinopyroxènes

#5: grain dans de la hornblende.

#6: grain dans de l'olivine

#7 et 8: grains dans de l'olivine

#8 et 9: grains dans clinopyroxènes

*Analysé par la microsonde de l'Université McGill (Camebax, 15kv.).

Donaldson-est										
#grain	éch.172-15, Sm						éch. 172-8, CO			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FeO	28.10	26.33	31.10	31.56	30.63	31.13	30.77	30.43	30.96	30.65
Fe2O3	13.01	12.67	9.87	10.36	7.39	11.01	4.40	4.59	4.54	3.83
MnO	0.83	0.62	1.18	1.13	1.24	1.13	1.54	1.36	1.46	1.35
ZnO	0.09	0.09	0.59	0.60	0.58	0.63	1.95	0.95	2.01	1.55
Al2O3	0.79	0.78	2.06	2.68	2.33	2.58	19.43	20.65	20.64	20.08
MgO	2.58	3.98	0.10	0.10	0.08	0.13	1.21	2.07	1.33	1.70
Cr2O3	53.05	54.28	52.76	52.06	54.28	50.70	37.29	37.54	35.67	38.43
TiO2	1.12	1.17	0.91	0.96	0.78	0.98	0.66	0.63	0.76	0.56
Total	99.57	99.92	98.57	99.45	97.31	98.29	97.25	98.22	97.37	98.15

% cationique, 4 Oxygènes

Fe+2	0.860	0.795	0.965	0.968	0.960	0.965	0.855	0.846	0.853	0.846
Fe+3	0.362	0.348	0.291	0.301	0.222	0.324	0.151	0.134	0.154	0.126
Mn	0.026	0.019	0.038	0.036	0.040	0.036	0.045	0.039	0.043	0.039
Zn	0.004	0.003	0.018	0.018	0.018	0.019	0.054	0.026	0.560	0.043
Al	0.034	0.033	0.091	0.117	0.104	0.114	0.793	0.826	0.837	0.808
Mg	0.141	0.215	0.006	0.006	0.005	0.007	0.062	0.105	0.068	0.086
Cr	1.540	1.555	1.567	1.528	1.629	1.507	1.022	1.007	0.970	1.037
Ti	0.031	0.032	0.026	0.027	0.022	0.028	0.017	0.016	0.020	0.014
Total	2.998	3.000	3.002	3.001	3.000	3.000	2.999	2.999	3.505	2.999

Fe#	85.91	78.71	99.38	99.38	99.48	99.28	93.24	88.96	92.62	90.77
Cr#	97.84	97.92	94.51	92.89	94.00	92.97	56.31	54.94	53.68	56.21

Tableau 10 (suite): Composition de spinelles chromifères provenant d'une coulée minéralisée à Donaldson-Est.

#1 à 6: grains zonés situés à l'interface entre des sulfures massifs et des sulfures disséminés dans un cumulat à olivine.

#7 à 10: grains de chromites zonés dans des olivines

*Analysé par la microsonde de l'Université McGill (Camebax, 15kv.).

Merenskyite

# grain	Fe	Cu	Ni	Te	Pt	Pd	Ag	Sb	Bi	S	As	Total
1	0.08	0.10	6.10	45.03	-	29.65	2.27	11.52	5.11	0.07	-	99.93
2	2.00	0.13	9.40	58.43	0.83	21.01	1.90	0.44	5.50	-	-	99.64
3	3.30	-	9.70	56.16	0.69	21.16	1.70	0.40	5.44	-	-	98.55
4	1.93	-	9.00	57.86	0.67	22.21	2.00	0.48	5.43	-	-	99.58
5	1.93	0.10	13.76	47.45	-	20.80	1.42	11.01	3.31	0.15	-	99.92

Sudburyite

6	-	-	1.20	1.68	0.05	46.46	3.57	45.99	0.65	-	0.06	99.66
7	-	-	1.63	1.55	0.04	46.26	3.64	44.89	1.47	-	0.12	99.60
8	-	-	1.38	1.65	0.01	46.46	3.38	44.77	1.50	-	0.13	99.28
9	-	-	8.10	2.86	0.03	44.27	3.77	46.05	0.56	-	0.13	105.77

Sperrylite

10	1.24	1.84	0.13	0.09	33.02	-	-	0.15	0.01	1.65	61.81	99.92
11	0.41	0.07	0.77	-	33.73	0.08	-	0.33	-	-	64.59	99.98
12	1.03	0.06	1.19	0.15	33.32	0.03	-	0.26	-	-	63.94	99.98

Kotulskite

13	2.09	2.74	1.71	46.46	0.04	31.48	2.39	7.61	5.44	-	-	99.96
14	2.03	2.50	1.62	43.42	0.02	32.15	2.18	10.88	4.93	-	-	99.73

Testiobiopalladinite

15	0.19	0.13	0.41	35.88	0.38	30.33	2.30	18.23	12.00	-	-	99.85
16	-	-	23.30	28.13	0.02	18.77	1.35	27.39	0.61	-	-	99.57

Grain #1: Sm. D9: [Pd_{0.8} Ni_{0.16} Ag_{0.04}]₃ [Te_{0.7} Sb_{0.2} Bi_{0.14}]
 Grains #2, 3 et 4: Sm. D9: [Pd_{0.6} Ni_{0.3} Ag_{0.1}] [Te_{0.95} Bi_{0.0} Sb_{0.02}]₂
 Grain #5: Veines. D9: [Pd_{0.6} Ni_{0.4}] [Te_{0.77} Sb_{0.17} Bi_{0.03}]₂
 Grain #6: Sm. D8: [Pd_{0.91} Ag_{0.06} Ni_{0.02}] [Sb_{0.95} Te_{0.03} Bi_{0.02}]
 Grains #7 et 8: Sm. D8: [Pd_{0.92} Ni_{0.08}] [Sb_{0.94} Bi_{0.03} Te_{0.03}]
 Grain #9: Sm. D8: [Pd_{0.8} Ni_{0.14} Ag_{0.04}] [Sb_{0.97} Te_{0.03}]
 Grain #10: Sm. D9: PtAs₂
 Grains #11 et 12: Veines D9: PtAs₂
 Grains #13 et 14: Sm. D9 Pd [Te_{0.8} Bi_{0.1} Sb_{0.1}]
 Grain #15: Veines. D9 [Pd_{0.9} Pt_{0.04} Ni_{0.01}] [Sb_{0.6} Bi_{0.4}] Te
 Grain #16: Sm. D8: [Pd, Ni]_{1.6} SbTe ??

Tableau 11: Composition, en pourcentages atomiques, de quelques minéraux d'EGP localisés dans les sulfures massifs (Sm), et les veines appartenant aux zones minéralisées D8 et D9.

*Analyses effectuées à la micro-sonde de l'Université McGill, Montréal.

- = sous la limite de détection.

Chalcopyrite

	#	Fe	Cu	Pt	Pd	Sb	Bi	S	Total
Sm D9	1	25.74	24.90	-	-	0.01	0.04	49.26	99.95
	2	25.57	23.65	0.01	0.01	-	0.01	50.71	99.96
	3	25.45	24.46	-	-	0.02	0.05	49.99	99.97
	4	25.12	24.58	0.02	0.03	0.01	-	50.20	99.96
	5	25.46	23.43	-	0.01	-	0.04	51.03	99.97
	6	25.61	23.76	0.02	-	-	0.02	50.56	99.97
Sm D8	7	24.87	24.26	-	-	0.01	0.02	50.79	99.95

Pentlandite

	#	Fe	Co	Cu	Ni	Pd	S	Bi	Total
Sm D9	1	19.28	0.54	-	27.70	0.01	52.45	0.02	100.00
	2	28.37	0.40	0.01	24.16	-	47.06	-	100.00
	3	24.50	0.48	0.20	24.30	0.00	50.68	0.01	100.17
	4	18.89	0.34	0.00	23.24	0.00	57.49	0.04	100.00
	5	26.56	0.50	-	24.71	0.02	48.18	0.02	99.99
	6	24.54	0.38	-	27.38	0.01	47.64	0.02	99.97
	7	25.09	0.44	-	27.05	0.02	47.38	0.02	100.00

Pyrrhotite

	#	Fe	Ni	Pt	Pd	S	Bi	Total
Sm D9	1	46.37	0.31	0.01	0.01	53.27	0.03	100.00
	2	46.74	0.22	0.01	0.01	52.98	0.03	99.99

Pyritee

	#	Fe	Cu	Co	Ni	Pd	S	Bi	Total
Sm D9	1	32.15	0.01	1.50	0.07	0.02	66.20	0.02	99.97
	2	33.67	0.01	0.74	0.03	0.03	65.48	0.02	99.98
	3	34.09	0.02	0.00	0.28	0.01	65.52	0.03	99.95
V D9	4	33.00	0.06	1.27	0.04	-	65.50	0.30	100.17

Tableau 12: Composition, en % atomique, des principales phases sulfurées identifiées dans les lentilles de sulfures massifs (Sm) et les veines de sulfures (V), appartenant aux zones minéralisées D8 et D9.
- = inférieur à la limite de détection

Analyses effectuées avec la micro-sonde électronique de l'Université McGill (temps de comptage 40 sec.).

#grain	éch. 77-29-5, lentille de sulfures massifs D8								
	1-a	1-b	2-a	2-b	2-c	3-a	3-b	3-c	4
FeO	30.55	28.16	29.02	28.40	28.48	28.73	27.31	27.17	28.31
MnO	0.27	0.25	0.41	0.33	0.28	0.32	0.32	0.22	0.27
TiO ₂	1.54	1.40	1.43	1.72	1.83	1.62	1.83	1.64	2.05
SiO ₂	36.01	36.63	36.17	36.06	36.52	36.35	36.14	36.36	35.99
F	0.00	0.29	0.19	0.32	0.00	0.21	0.25	0.41	0.15
Al ₂ O ₃	14.00	13.76	13.98	13.83	12.93	13.92	13.58	13.91	13.66
MgO	5.17	5.55	5.35	5.31	5.65	5.60	5.32	5.37	5.35
Cl	0.18	0.17	0.22	0.22	0.16	0.16	0.18	0.15	0.18
K	9.12	9.05	9.11	9.25	8.94	9.02	9.25	9.03	9.09
OH	3.77	3.75	3.75	3.73	3.71	3.76	3.70	3.72	3.73
Total	100.61	99.01	99.63	99.17	98.50	99.69	97.88	97.98	98.78
% cationique, 22 Oxygènes									
Fe	4.061	3.766	3.879	3.813	3.715	3.694	3.825	3.662	3.804
Mn	0.037	0.034	0.055	0.045	0.038	0.044	0.043	0.031	0.037
Ti	0.184	0.168	0.172	0.208	0.223	0.223	0.194	0.198	0.247
Si	5.722	5.859	5.782	5.788	5.904	5.846	5.787	5.861	5.783
F	0.000	0.146	0.098	0.164	0.000	0.126	0.106	0.207	0.074
Al	2.623	2.593	2.634	2.617	2.463	2.589	2.613	2.643	2.587
Mg	1.224	1.324	1.275	1.270	1.362	1.282	1.330	1.289	1.282
Cl	0.049	0.046	0.060	0.059	0.044	0.048	0.043	0.040	0.048
K	1.849	1.847	1.858	1.894	1.843	1.909	1.831	1.856	1.862
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Total	17.75	17.78	17.81	17.86	17.59	17.76	17.77	17.79	17.72

Tableau 13: Composition de grains de biotites provenant d'inclusions de roches gabbroïque dans la lentille de sulfures massifs D8, zone minéralisée D8.

Grain #1: Grain en contact avec les sulfures dans une inclusion gabbroïque.

Grains #2, 3 et 4: Grains dans une inclusion gabbroïque.

Les analyses furent effectuées avec la micro-sonde électronique de l'Université de McGill (temps de comptage 25 sec.).

#	faciès	dist.	Cr	Zn	As	Sb	Se	S/Se
77-29		mètres	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	*e3
1	CO	66.45	4048.8	59.2	ld	0.90	<5	-
2	P	67.79	3944.3	44.3	ld	0.62	<5	-
3	Sm	68.26	39.1	93.7	3.13	2.20	73.2	4.03
4	Sm	68.67	38.3	54.0	1.33	1.68	78.9	3.38
5	Sm	69.34	32.0	58.2	1.13	-	95.4	3.11
6	Sm	69.92	20.3	132.4	0.61	0.54	73.3	4.15
9	Sm	71.93	26.6	276.6	ld	ld	69.9	3.97
11	Sm	72.85	33.7	171.8	ld	ld	82.3	3.96
13	Sm	73.84	31.0	101.7	ld	ld	79.6	3.82
15	Sm	74.71	372.1	75.1	ld	ld	76.9	4.14
16	Sm	75.21	123.2	ld	2.69	0.11	77.1	4.12
18	Sm	76.12	231.2	55.2	7.6	0.13	84.3	3.78
19	Sm	76.58	288.3	42.0	11.77	-	75.5	3.75
21	Sm	77.60	83.8	107.5	4.54	1.44	79.5	3.79
22	Gr+Sm	78.06	868.7	28.7	2.45	5.30	21.6	5.28
23	Psd	78.64	1764.2	16.9	5.41	1.00	10.9	2.36
24	Psd	79.40	1819.5	74.1	4.3	0.75	ld	-
25	Psd	80.16	1097.8	62.0	ld	2.22	12.1	4.06
26	GVsd	80.92	894.5	129.7	1.26	1.32	12.6	2.84
27	GVsd	81.69	716.5	7.1	0.97	1.53	ld	-
28	GVsd	82.45	365.4	134.8	6.56	6.46	11.1	2.17

87-86- zone minéralisée

21	Gr+g	239.6	350.9	83	0.99	0.72	14.2	2.17
22	Gr+g	245.7	353.5	125.5	0.46	0.30	7.3	1.24
24	Gr+g	253.7	240.8	167.1	4.96	0.30	5.8	2.10
25	Gr+V	256.8	122.8	854.1	4.81	16.71	140.46	1.07
26	P+V	258.8	1879.6	309.1	1.9	13.53	15.67	1.29

Th	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	La/Yb	ΣETR
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
0.4	1.99	4.22	3.08	1.17	0.18	0.12	0.55	0.05	3.6	11.4
0.3	1.45	2.04	2.13	1.08	0.16	0.17	0.55	0.08	2.6	7.7
3.7	19.07	18.53	13.34	2.16	0.36	0.05	ld	ld	-	53.5
4.4	7.45	3.18	1.98	1.15	0.22	ld	0.24	0.02	31.0	14.2
3.0	5.36	10.55	<0,1	0.62	0.22	ld	0.13	ld	42.2	16.9
2.2	5.30	ld	2.77	0.83	0.14	ld	0.06	0.01	88.3	9.1
3.9	3.30	ld	ld	0.48	0.06	ld	0.10	0.01	33.0	4.0
2.6	1.77	3.20	2.62	0.17	0.08	ld	ld	ld	-	7.8
3.3	2.50	ld	ld	0.37	0.04	ld	0.08	0.01	31.3	3.0
1.7	2.77	3.81	1.06	0.33	0.09	ld	ld	ld	-	8.1
0.5	3.00	0.41	2.11	0.60	0.22	0.04	ld	ld	-	6.4
0.8	2.78	0.00	1.34	ld	0.08	ld	0.10	0.01	27.8	4.3
2.8	6.28	9.64	2.05	0.71	0.19	0.11	0.14	<0,01	46.5	19.1
ld	4.24	ld	ld	0.58	0.34	0.13	0.16	0.02	26.5	5.5
4.9	11.34	11.39	11.48	1.50	0.73	ld	0.38	0.05	29.8	36.9
0.6	1.75	1.01	1.85	0.92	0.21	0.04	0.45	0.06	3.9	6.3
0.5	1.38	0.79	4.87	1.16	0.25	0.13	0.81	0.08	1.7	9.5
2.2	1.52	1.44	0.59	0.67	0.12	ld	0.65	0.05	2.3	5.0
3.0	3.84	5.31	1.21	1.12	0.26	0.02	0.45	0.04	8.5	12.3
4.7	10.81	12.06	7.90	2.33	0.57	ld	0.64	0.08	16.9	34.4
4.9	13.24	12.40	12.05	2.21	0.58	ld	0.53	0.04	25.0	41.1

15.66	37	69	23.43	4.9	1.04	ld	0.97	0.23	38.1	136.6
13.55	36.9	66.11	21.72	4.65	1.13	ld	1.26	0.3	29.3	132.1
11.77	18.22	35.08	12.55	3.46	1.01	0.54	1.1	0.28	16.6	72.2
8.28	16.8	29.43	8.45	1.99	0.53	0.19	0.15	0.12	112.0	57.7
2.38	8.88	19.22	4.16	1.89	0.51	0.35	0.99	0.22	9.0	36.2

Tableau 14: Résultats analytiques partiels pour les échantillons provenant de la lentille de sulfures massifs et ses encaissements, zone minéralisée D8 (Forages 77-29 et 87-86). Tous les éléments ont été déterminés par INAA, UQAC.

Gr=Granophyre, G= Gabbro, P= Pyroxénite, CO= Cumulat à olivine, g= gouttelettes, V= veines, sd= sulfures disséminés, Sm= sulfures massifs.

ld= limite de détection, - = non déterminé

	Facies	dist.	l	Fe	S	Ni	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Cu	Co	Ni/Cu	Pd/Ir	Σ Pd/ Σ Ir	
77-29		m.	cm.	%	%	%	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	%	ppm				
1	CO	66.45	182.9	7.35	1.73	0.22	5.0	2.1	15.6	13.9	91.1	154.9	8.0	0.029	86.2	7.6	73.8	10.8	
2	P	67.80	81.3	6.66	0.61	0.15	5.0	1.0	9.2	6.0	59.2	173.1	12.8	0.190	46.8	0.8	173.1	15.3	
3	Sm	68.26	12.7	38.7	29.48	5.92	8.0	13.1	54.0	136.3	792.0	1064.4	6.0	0.600	1312.0	9.9	81.3	24.7	
*4	Sm	68.65	38.1	36.9	26.60	6.26	-	20.8	-	-	1140.0	1044.0	15.8	0.710	1464.7	8.8	50.2	-	
5	Sm	69.34	43.2	38.6	29.70	8.70	14.2	12.5	56.9	115.4	792.9	652.8	14.3	1.350	1715.1	6.4	52.2	17.3	
6	Sm	69.92	81.3	37.3	30.44	7.26	16.8	16.3	52.0	165.6	1251.3	746.4	16.7	0.990	1841.0	7.3	45.8	23.5	
*7	Sm	70.66	91.4	-	28.68	6.70	-	-	-	-	1140.0	292.0	20.0	0.940	1320.0	7.1	-	-	
*8	Sm	71.32	61.0	-	30.30	6.55	-	-	-	-	600.0	176.0	10.0	0.763	1340.0	8.6	-	-	
9	Sm	71.90	61.0	36.9	27.75	6.98	23.8	20.2	103.3	204.8	761.8	250.5	23.7	1.325	1685.2	5.3	12.4	6.9	
*10	Sm	72.39	30.5	-	25.06	8.43	-	-	-	-	1260.0	500.0	15.0	1.325	1780.0	6.4	-	-	
11	Sm	72.85	61.0	41.8	32.63	8.06	40.3	34.5	199.5	248.3	534.4	202.3	13.8	0.463	1454.0	17.4	5.9	2.7	
*12	Sm	73.35	43.2	-	28.97	6.33	-	-	-	-	680.0	162.0	25.0	0.863	1250.0	7.3	-	-	
13	Sm	73.84	48.3	41.5	30.42	5.73	22.9	32.1	140.9	271.6	1203.8	98.2	8.1	0.600	1109.6	9.5	3.1	6.6	
*14	Sm	74.19	30.5	-	28.63	5.93	-	-	-	-	220.0	54.0	10.0	0.888	1130.0	6.7	-	-	
15	Sm	74.71	56.0	39.3	31.84	10.48	116.0	109.2	660.7	611.6	255.9	261.2	14.6	0.455	1957.0	23.0	2.4	0.6	
16	Sm	75.21	43.2	39.6	31.78	7.34	71.2	103.3	532.6	685.5	1815.7	104.7	11.9	0.600	1635.6	12.2	1.0	2.7	
*17	Sm	75.64	78.7	-	31.36	7.18	-	-	-	-	160.0	90.0	10.0	1.150	1380.0	6.2	-	-	
18	Sm	76.12	43.2	41.1	31.89	6.97	87.6	135.8	759.6	725.8	1172.1	286.4	19.7	1.838	1605.6	3.8	2.1	1.5	
19	Sm	76.58	43.2	38.9	31.00	6.19	109.2	101.4	673.5	528.1	694.8	553.9	31.0	0.510	1053.0	12.1	5.5	1.4	
*20	Sm	77.11	69.0	-	27.32	6.25	-	-	-	-	1120.0	4750.0	60.0	0.463	1260.0	13.5	-	-	
21	Sm	77.60	35.6	35.5	30.01	6.32	114.7	177.2	1084.7	847.5	793.7	2741.3	212.7	1.480	1517.2	4.3	15.5	2.6	
22	Gr+Sm	78.06	56.0	23.5	11.41	2.35	17.2	24.0	137.1	135.6	480.3	3904.5	36.3	1.038	573.3	2.3	162.7	24.6	
23	Psd	78.64	61.0	14.02	2.60	0.57	-	25.7	-	-	240.0	330.0	31.6	0.430	186.9	1.3	-	-	
24	Psd	79.40	91.4	14	2.23	0.74	12.6	12.7	73.5	76.8	292.9	482.2	33.7	0.800	206.0	0.9	38.0	7.8	
25	Psd	80.16	61.0	20.5	4.92	1.17	-	25.5	-	-	<15	34.0	34.8	0.800	312.5	1.5	-	-	
26	GVsd	80.92	91.4	18.9	3.58	0.80	30.2	29.5	158.9	174.3	565.9	878.7	15.8	1.920	284.5	0.4	29.8	6.6	
27	GVsd	81.70	61.0	15.64	1.89	0.52	-	14.7	-	-	660.0	1320.0	62.1	0.880	202.5	0.6	89.8	-	
28	GVsd	82.45	91.4	14.06	2.42	1.03	12.7	22.6	132.7	134.4	400.3	5808.4	51.4	1.070	462.6	1.0	257.0	37.0	
<i>87-86, zone minéralisée</i>																			
21	Gr+g	239.60	30.5	9.73	3.08	0.55	<5	0.4	5.2	2.9	348.8	925.7	67.8	0.411	80.3	1.3	2314.3	227.6	
22	Gr+g	245.70	30.5	9.3	0.90	0.10	10.1	9.7	63.2	51.8	116.2	196.4	5.4	0.604	30.5	0.2	20.2	3.8	
24	Gr+g	253.70	30.5	6.73	1.22	0.10	5.7	3.6	12.0	28.8	1084.1	3122.0	252.2	0.760	36.6	0.1	867.2	197.5	
25	Gr+V	256.80	3.0	26.6	15.00	3.01	-	-	-	<0.1	-	-	1130.0	8.870	331.3	0.3	-	-	
26	P+V	258.80	3.0	17.2	2.02	0.33	6.7	0.8	<5	1.4	3250.1	17464.8	28.5	0.486	35.6	0.7	21831.0	2762.0	

Tableau 15. Résultats analytiques partiels pour éléments économiques, des échantillons provenant de la lentille D8 (Forages 77-29 et 87-86).

Analyses des éléments économiques et EGP, par I.N.A.A., UQAC. (ld= limite de détection, - = non déterminé).

* Pour ces échantillons, tous les éléments furent analysés par INAA, Chimitec, Québec. Le Cu est déterminé par AA, Chimitec, Québec.

Gr=Granophyre, G= Gabbro, P= Pyroxénite, CO= Cumulat à olivine, g= gouttelettes, V= veines, sd= sulfures disséminés, Sm= sulfures massifs.

77-24									77-24										
Facies	dist	Cr	Zn	As	Sb	Se	S/Se		Th	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	La/Yb	ΣETR
	mètres	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	*e3		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
OO	S	101.90	72.2	59.3	ld	0.06	7.7	0.73	17.6	28.28	78.28	40.59	3.57	1.13	0.49	0.91	0.19	31.1	153.4
0	S+V	102.72	87.0	191.3	ld	0.05	5.2	2.49	16.3	27.17	75.43	26.61	3.73	1.04	0.64	0.85	0.18	32.0	135.7
1	Gsd	103.86	947.9	341.5	5.45	0.5	<5	-	0.5	2.76	3.89	9.50	1.65	0.39	0.35	1.60	0.22	1.7	20.4
2	Sm	104.24	92.7	273.9	8.08	2.95	122.1	2.29	5.4	5.52	ld	ld	0.62	0.08	0.09	ld	ld	-	6.3
3	Sm	104.55	53.6	118.5	4.06	2.2	121.9	2.23	3.7	7.15	2.16	7.56	0.76	0.15	ld	ld	ld	-	17.8
4	Sm	105.13	87.6	250.3	2.81	2.15	97.0	2.33	6.5	10.99	ld	7.99	1.22	ld	ld	ld	ld	-	20.2
5	Sm	105.42	117.5	144.8	3.7	1.8	71.6	2.54	6.5	13.00	9.47	6.36	1.60	0.43	ld	0.43	0.07	30.2	31.4
6	Sm	105.54	32.8	86.7	4.35	1.61	138.5	2.15	ld	2.64	ld	2.13	0.25	ld	ld	ld	ld	-	5.0
7	P+Sm	105.92	704.8	259.5	2.45	0.6	63.5	1.98	3.4	8.33	2.80	8.47	1.51	0.32	0.12	0.78	0.12	10.7	22.5
8	Sm	106.22	36.3	72.0	0.6	ld	100.5	3.09	2.0	0.91	ld	ld	0.08	0.05	ld	ld	ld	-	1.0
9	Sm	106.54	42.7	95.1	ld	ld	92.6	3.57	ld	1.16	ld	ld	0.38	ld	ld	ld	0.04	-	1.6
10	Sm	107.14	113.3	188.4	3.61	0.54	108.8	2.06	5.8	10.80	7.43	ld	1.46	0.32	ld	0.45	0.13	24.0	20.6
11	Sm	107.44	75.5	124.5	ld	ld	93.0	3.52	ld	0.97	ld	1.42	0.13	ld	ld	ld	ld	-	2.5
12	Sm	107.82	84.6	215.2	1.2	ld	185.4	1.60	2.2	5.02	ld	9.01	0.94	0.19	ld	0.26	0.02	-	15.4
13	Sm	108.28	28.3	84.5	ld	ld	101.3	3.37	ld	0.62	ld	ld	0.23	ld	ld	ld	ld	-	0.9
14	Sm	108.66	24.2	121.4	ld	ld	131.3	2.64	ld	0.41	ld	ld	0.22	ld	ld	ld	ld	-	0.6
15	Sm	109.12	67.8	172.4	ld	ld	119.3	2.84	ld	2.79	ld	1.47	0.48	0.00	ld	ld	ld	-	4.7
16	Gr+Sm	109.67	230.1	553.9	2.64	2.43	61.3	2.44	12.2	18.92	28.64	11.54	4.20	0.74	ld	0.85	0.27	22.3	65.2
17	Gsd	110.34	1068.2	-	-		<5	-	1.0	5.45	2.00	-	1.68	0.65	0.20	1.31	0.18	4.2	11.5
18	G	111.18	416.0	-	0.44	0.17	<5	-	1.0	8.74	12.18	11.53	2.03	0.87	0.36	1.54	0.20	5.7	37.5
19	G	111.56	311.7	257.8	ld	0.3	<5	-	0.7	4.15	13.02	7.38	1.15	0.65	0.44	1.11	0.21	3.7	28.1
20	G	114.60	313.5	241.2	ld	0.2	<5	-	0.7	4.15	13.35	7.94	1.20	0.65	0.36	1.15	0.22	3.6	29.0
80-77									80-77										
32	G+V	195.16	333.0	80.4	ld	1.25	<5	-	1.3	1.84	9.92	<4	1.91	0.49	0.22	1.11	0.16	1.7	15.7
37	G+V	198.27	319.2	-	ld	0.4	<5	-	0.6	4.14	9.74	4.22	2.06	0.61	0.30	1.02	0.18	4.1	22.3

Tableau 16: Résultats analytiques pour éléments traces des échantillons provenant de la lentille de sulfures massifs et de ses encaissements, zone minéralisée D9.

Tous les échantillons ont été analysés par INAA, UQAC.

S= Siltstone, Gr=Granophyre, G= Gabbro, P= Pyroxénite, g= gouttelettes, V= veines, sd= sulfures disséminés, Sm= sulfures massifs. ld= limite de détection, - = non déterminé

	facies	dist.	l	Fe	S	Ni	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Cu	Co	Ni/Cu	Pd/Ir	$\Sigma Pd/\Sigma Ir$	
77-24		meters	cm	%	%	%	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	%	ppm				
•00	S	101.90	30.48	3.5	0.60	0.09	ld	ld	6.8	ld	4.2	<5	1.3	0.020	11.6	4.4	-	-	
•0	S+V	102.70	30.48	6.7	1.30	0.14	ld	ld	5.2	ld	12.0	36.0	9.2	1.060	33.6	0.1	>360	-	
1	Gsd	103.86	43.20	16.3	0.20	0.10	5.0	0.5	7.4	1.1	107.2	532.4	7.9	0.090	55.7	1.1	1064.8	49.6	
*2	Sm	104.24	30.48	38.4	27.93	5.21	-	<0.1	-	-	2320.0	8240.0	22.7	0.850	1330.1	6.1	>82400	-	
3	Sm	104.55	30.48	37.1	27.23	4.07	6.0	1.1	<5	21.8	2585.7	6452.4	25.5	0.750	969.3	5.4	5865.8	1273.0	
*4	Sm	104.80	25.40	32.4	22.64	5.05	-	13.0	-	-	2760.0	9800.0	45.4	2.660	1430.6	1.9	753.8	-	
*5	Sm	105.12	35.56	29.5	18.20	4.13	-	<0.1	-	-	4500.0	6990.0	37.8	0.730	1054.9	5.7	>69900	-	
6	Sm	105.51	43.20	40.4	29.82	5.16	12.9	3.1	8.7	44.9	2466.0	6425.1	24.1	0.250	1288.6	20.6	2072.6	360.0	
7	P+Sm	105.92	30.48	27.5	12.59	2.52	<3	2.0	12.8	20.9	1200.8	2974.7	39.6	0.975	676.9	2.6	1487.4	282.1	
*8	Sm	106.22	33.02	46.0	31.00	5.95	-	33.2	-	-	300.0	660.0	20.1	0.600	1606.7	9.9	19.9	-	
9	Sm	106.68	30.48	42.9	31.01	7.51	15.5	22.5	47.2	334.3	651.1	746.5	15.7	0.538	1263.5	14.0	33.2	16.4	
10	Sm	107.14	30.48	34.9	22.38	2.70	19.9	5.8	16.3	99.5	5480.4	3980.7	60.8	3.180	655.5	0.9	686.3	225.3	
*11	Sm	107.44	30.48	37.0	32.70	7.89	-	30.9	-	-	1220.0	2100.0	17.7	0.430	2317.8	18.3	68.0	-	
12	Sm	107.80	43.18	72.9	29.71	6.76	29.4	32.8	78.8	406.6	597.2	182.3	12.3	2.438	1549.8	2.8	5.6	5.5	
*13	Sm	108.25	43.18	45.4	34.14	4.84	-	60.6	-	-	20.0	264.0	73.5	0.500	1273.3	9.7	4.4	-	
14	Sm	108.66	30.48	45.4	34.65	6.09	20.6	23.8	44.0	392.5	81.3	369.4	10.6	0.963	1458.6	6.3	15.5	5.1	
15	Sm	109.12	63.50	49.8	33.92	6.55	29.5	43.2	114.0	434.7	1081.4	1013.0	9.8	2.188	1691.9	3.0	23.4	11.2	
16	Gr+Sm	109.65	38.10	19.8	14.95	1.89	<3	0.3	11.2	1.3	135.2	234.7	54.2	5.620	511.2	0.3	782.3	32.2	
17	Gsd	110.34	121.90	10.5	0.83	0.21	<3	1.1	<5	6.8	243.8	1476.7	6.3	0.073	84.2	2.9	1342.5	-	
18	G	111.15	43.18	7.1	0.01	0.01	<3	0.6	<5	2.2	36.6	18.0	1.2	0.010	42.4	1.0	30.0	-	
•19	G	111.56	30.48	6.3	0.01	0.01	ld	0.63	ld	ld	28.0	12.0	<0,2	0.007	39.9	1.2	19.0	-	
•20	G	114.90	30.48	6.4	0.01	0.02	ld	0.61	ld	ld	37.0	8.6	2.3	0.008	43.0	2.2	14.1	-	
80-77																			
32	G+V	195.16	5.00	10.8	4.55	1.78	7.4	1.7	<5	10.1	2207.0	3371.4	235.4	1.250	281.8	1.4	1983.2	613.0	
37	G+V	196.35	5.00	7.9	0.76	0.19	<3	0.4	7.6	1.7	333.5	776.0	23.6	0.480	62.9	0.4	1940.0	138.7	

Tableau 17: Résultats analytiques partiels pour éléments économiques, des échantillons provenant de la lentille de sulfures massifs et de ses encaissant, zone minéralisée D9 (Forages 77-24 et 80-77).

Les éléments économiques et EGP ont été déterminés, par INAA à l'UQAC.

* Pour ces échantillons, le Pt et Pd ont été déterminés par INAA., le Cu et le S, par A.A., à Chimitec, Québec.

• Ces échantillons ont été analysés au CRM, Québec, par AA.

S= Siltstone, Gr=Granophyre, G= Gabbro, P= Pyroxénite, g= gouttelettes, V= veines, sd= sulfures disséminés, Sm= sulfures massifs.

ld= limite de détection, - = non déterminé.

		Dist.	Cu	Ni	S	Pd	Pt	Au	Ni/Cu	Pd/Pt
80-77	faciès	mètres	%	%	%	ppb	ppb	ppb		
1	S+V	172.67	0.300	0.175	1.02	190	3234	83	0.6	0.1
2	S+V	173.43	0.890	0.641	3.55	1080	2716	31	0.7	0.4
3	Sm	174.19	6.750	0.750	10.55	960	1401	147	0.1	0.7
4	Psd	175.87	0.013	0.029	0.05	30	88	8	2.2	0.3
5	Psd	175.72	0.048	0.044	0.06	60	68	3	0.9	0.9
6	Psd	176.54	0.013	0.064	0.02	30	67	4	4.9	0.4
7	Sm	177.27	11.250	2.630	23.08	1500	3409	182	0.2	0.4
8	Gr sd	177.97	0.038	0.054	0.05	40	97	12	1.4	0.4
9	Gr sd	178.77	0.017	0.024	0.05	20	21	1	1.4	1.0
10	Gsd	179.68	0.151	0.040	0.02	90	176	35	0.3	0.5
11	G+V	180.59	0.201	0.053	0.23	340	528	56	0.3	0.6
12	G+V	181.51	0.216	0.037	0.35	230	472	37	0.2	0.5
13	G	182.42	0.056	0.020	0.23	40	76	12	0.4	0.5
14	G	183.18	0.105	0.025	0.38	130	188	48	0.2	0.7
15	G	183.79	0.129	0.031	0.33	70	172	61	0.2	0.4
16	G	184.40	1.185	0.036	0.39	90	164	20	0.0	0.5
17	G	184.86	0.045	0.031	0.2	50	56	18	0.7	0.9
18	G	185.32	0.062	0.015	0.09	40	18	1	0.2	2.2
19	G	185.93	0.215	0.088	0.62	130	610	23	0.4	0.2
20	G	186.54	0.083	0.023	0.13	40	73	11	0.3	0.5
21	G+V	187.15	0.293	0.116	0.8	380	1245	16	0.4	0.3
22	G+V	187.76	0.278	0.117	0.8	450	704	20	0.4	0.6
23	G	188.37	0.089	0.051	0.32	60	71	6	0.6	0.8
24	G	189.10	0.082	0.019	0.11	30	86	1	0.2	0.3
25	G	189.80	0.028	0.078	0.05	70	37	2	2.8	1.9
26	G+V	190.29	0.221	0.043	0.26	110	243	13	0.2	0.5
27	G	190.80	0.014	0.010	0.04	10	3	1	0.7	3.3
28	G+V	191.41	0.990	0.105	1.29	930	903	60	0.1	1.0
29	G	192.18	0.034	0.005	0.02	15	5	7	0.1	3.0
30	G	193.24	0.007	0.005	0.02	15	2	1	0.7	7.5
31	G	194.37	0.008	0.004	0.62	45	35	9	0.5	1.3
32	G+V	195.16	1.250	1.780	4.55	2525	2855	287	1.4	0.9
33	G	195.74	0.005	0.004	0.02	15	2	1	0.8	7.5
34	G+V	196.35	0.880	1.040	2.88	570	810	86	1.2	0.7
35	G+V	196.90	0.534	0.046	3.4	150	141	112	0.1	1.1
36	G+V	197.51	0.074	0.027	0.12	30	112	23	0.4	0.3
37	G+V	198.27	0.480	0.180	0.76	300	693	40	0.4	0.4

Tableau 18: Résultats analytiques partiels pour les échantillons provenant du forage 80-77, zone minéralisée D9.

Tous les éléments ont été analysés à Chimitec, Québec

S= Siltstone, Gr=Granophyre, G= Gabbro, P= Pyroxénite.

g= gouttelettes, V= veines, sd= sulfures disséminés, Sm= sulfures massifs.

Zone minéralisée D8									
#Forage	77-29							87-86	
faciès	CO	P	PS	PI	Total	Ci	Gsd+V	Gr+g	V+gr
nb.éch.	1	1	6	5	11	1	3	3	1
L	0,3m	0,3m	10m.	4,6m.	14,6m	0,5m.	4,3m	15,7m	0,1m.

%

Fe	58.23	43.94	53.88	53.8	53.84	52.88	36.54	42.78	49.43
S	36.36	35.82	36.27	36.27	36.27	36.19	35.56	35.64	35.98
Ni	4.62	8.81	8.58	8.62	8.6	7.45	11.63	4.59	5.86
Cu	0.61	11.16	1.09	1.14	1.11	3.29	15.84	16.87	8.66
Co	0.18	0.28	0.18	0.18	0.18	0.18	0.43	0.11	0.06

ppb

Os	63.1	176.2	25.1	115.9	66.3	54.6	229.1	212.2	119.4
Ir	44.1	58.7	25.6	145.9	80.3	76.1	275.7	163.4	14.3
Ru	327.9	540.2	120.5	864.5	458.7	434.9	1566.0	964.0	89.1
Rh	292.1	352.3	228.9	789.2	483.6	430.1	1642.8	968.4	24.9
Pt	1914.7	3476.1	1076.4	1093.8	1084.3	1523.4	5389.6	13383.2	57897.6
Pd	3255.5	10164.0	610.9	940.6	760.7	12384.5	33876.0	36423.0	311119.7
Au	168.1	751.6	16.8	69.4	40.7	115.1	483.3	2778.0	507.7
As	10.5	29.4	1.3	5.2	3.1	7.8	59.2	57.9	34.7
Sb	19.1	37.0	0.8	0.5	0.7	16.8	40.0	9.6	241.0
Cu/Pd	1873.7	10979.9	17844.0	12120.6	14591.6	2656.6	4675.9	4631.7	278.3
Cu/Ir	1.38E+05	1.90E+06	4.25E+05	7.81E+04	1.38E+05	4.32E+05	5.74E+05	1.03E+06	6.08E+06
Ni/Cu	7.6	0.8	7.9	7.6	7.7	2.3	0.7	0.3	0.7
Ni/Pd	14191.2	8667.8	140460.0	91648.5	113052.3	6015.6	3433.1	1260.2	188.4
Pd/Ir	73.8	173.1	23.8	6.4	9.5	162.7	122.9	222.9	21833.0
$\Sigma Pd/\Sigma Ir$	11.9	17.6	9.9	1.8	3.0	24.6	19.0	37.2	1657.2

Table 19. Teneurs en métaux recalculées à 100% sulfures, pour les minéralisations de la zone D8.

PS= partie supérieure des sulfures massifs, PI= partie inférieure des sulfures massifs

Ci= contact inférieur au sulfures massifs, Total= moyenne pour les sulfures massifs, g= gouttelettes de sulfures

G= gabbro, Gr= ganophyre, sd=sulfures disséminés, V= veines, P= pyroxénite, CO= cumulat à olivine

 $\Sigma Pd/\Sigma Ir = (Pd+Pt)/(Ir+Ru+Os)$.

N.B. Lors du calcul de normalisation à 100% sulfures, nous avons soustrait une certaine

quantité de Ni, de Co et de Cu afin de compenser pour la quantité de ces éléments qui sont

contenus dans les silicates,

Per (Ni=1000ppm, Cu=50ppm, Co=50ppm)

Gab (Ni=50ppm)

Zone minéralisée D9									
#Forage	77-24							80-77	
faciès	S	S+V.	G+sd.	PS	PI	Total	Ci	Gsd	V+G
nb.éch.	1	1	1	3	5	8	1	1	2
L	0.3m	0.3m	0,1m	3.1m.	2.4m.	5.5m.	0.5m.	1.5.	
%									
Fe	56.48	32.34	29.91	55.87	54.24	54.85	45.03	51.14	36.70
S	36.31	35.14	35.44	36.3	36.24	36.26	35.77	36.16	35.55
Ni	5.84	3.78	17.72	6.3	6.95	6.71	4.52	9.15	11.42
Cu	1.3	28.65	15.95	1.37	2.42	2.02	13.45	3.18	16.07
Co	0.08	0.09	0.99	0.16	0.16	0.16	1.22	0.37	0.26
ppb									
Os	-	-	885.9	10.8	27.8	21.5	12.0	130.7	98.8
Ir	6.5	2.7	88.6	3.7	29.4	19.7	0.7	47.9	16.0
Ru	440.9	140.6	1311.1	19.4	69.1	50.5	26.9	217.8	208.1
Rh	-	-	194.9	48.0	384.6	258.4	3.2	296.3	79.2
Pt	272.3	324.4	18993.4	3303.2	2317.3	2687.0	323.5	10622.1	16429.4
Pd	324.2	973.1	94328.9	8332.1	1799.6	4249.3	561.6	64338.0	31292.0
Au	84.3	248.7	1399.7	59.1	30.6	41.3	129.7	274.5	1474.2
As	-	-	965.6	5.9	3.6	4.8	6.3	-	13.6
Sb	-	-	88.6	2.2	0.9	1.5	5.8	-	15.0
Cu/Pd	40099.9	294429.0	1690.9	1644.2	13447.7	4753.8	239481.5	494.3	5135.5
Cu/Ir	2.01E+06	1.06E+08	1.80E+06	3.73E+06	8.25E+05	1.02E+06	1.87E+08	6.64E+05	1.01E+07
Ni/Cu	4.5	0.1	1.1	4.6	2.9	3.3	0.3	2.9	0.7
Ni/Pd	180141.3	38846.1	1878.5	7561.1	38620.6	15791.0	80480.0	1422.2	3649.5
Pd/Ir	50.0	360.4	1064.8	2270.3	61.3	215.5	780.0	1342.4	1958.2
$\Sigma Pd/\Sigma Ir$	<0.7	<6.8	49.6	343.9	32.6	75.7	22.4	189.1	147.8

Table 19 (suite): Teneurs en métaux recalculées à 100% sulfures pour les minéralisations de la zone D9.

PS= partie supérieure des sulfures massifs, PI= partie inférieure des sulfures massifs

Ci= contact inférieur au sulfures massifs, Total= moyenne pour les sulfures massifs, g= gouttelettes de sulfures

G= gabbro, Gr= ganophyre, sd= sulfures disséminés, V= veines, P= pyroxénite, CO= cumulat à olivine

 $\Sigma Pd/\Sigma Ir = (Pd+Pt)/(Ir+Ru+Os)$

N.B. Lors du calcul de normalisation à 100% sulfures, nous avons soustrait une certaine quantité de Ni, de Co et de Cu afin de compenser pour la quantité de ces éléments qui sont contenus dans les silicates,

Per (Ni=1000ppm, Cu=50ppm, Co=50ppm)

Gab (Ni=50ppm)

# éch.	Katiniq					Lac Cross						Donaldson-Est			
	Kt27	Kt28	Kt29	Kt31	moy	Cr15a	Cr19	C1a	C1b	C2	moy	172-8	172-13	172-14	moy
faciès	COm	COm	COm	COm		COm	COm	COm	COm	COm		COm	COm	COm	
S %	3.4	8.1	6.78	4.6	5.7	18.7	16.3	13.2	16.0	16.1	16.1	3.3	0.8	3.8	2.6
Co %	0.02	0.05	0.04	0.03	0.04	0.08	0.08	0.05	0.07	0.06	0.07	0.03	0.01	0.04	0.03
Cu %	1.06	0.33	0.19	0.68	0.57	0.54	0.05	0.15	1.02	0.54	0.46	0.36	0.10	0.40	0.29
Ni %	1.37	3.88	2.62	1.20	2.27	1.90	1.70	2.27	2.94	1.74	2.11	0.86	0.33	2.89	1.36

ppb

Os	49.0	84.0	110.00	43.0	71.5	80.0	34.0	21.0	13.0	64.3	42.5	26.0	7.8	113.0	48.9
Ir	40.0	72.0	91.00	39.0	60.5	77.0	95.0	17.4	12.5	58.7	52.1	16.0	6.0	97.0	39.7
Ru	198.0	347.0	454.00	182.0	295.3	340.0	420.0	101.0	63.1	428.1	270.4	115.0	29.0	462.0	202.0
Rh	28.0	55.0	56.00	26.0	41.3	220.0	230.0	124.5	128.5	304.8	201.6	23.0	15.0	96.0	44.7
Pt	432.0	761.0	1421.00	677.0	822.8	430.0	440.0	847.7	895.2	211.7	564.9	258.0	107.0	1337.0	567.3
Pd	2517.0	2519.0	2385.00	1938.0	2339.8	1500.0	1200.0	2425.5	2611.4	1074.7	1762.3	783.0	1198.0	3398.0	1793.0
Au	110.0	37.0	63.00	140.0	87.5	21.0	27.0	198.0	214.0	32.0	98.4	34.0	5.0	22.0	20.3

Teneurs recalculées à 100% sulfures

S %	35.71	36.09	36.18	36.06	36.0	36.36	36.40	36.34	36.25	36.35	36.3	36.12	36.02	35.81	36.0
Ni %	14.56	17.40	13.98	9.41	13.8	3.69	3.80	6.26	6.66	3.94	4.9	9.53	14.32	27.45	17.1
Cu %	11.27	1.48	1.01	5.33	4.8	1.05	0.11	0.41	2.31	1.22	1.0	3.99	4.20	3.80	4.0
Co %	0.25	0.24	0.20	0.27	0.2	0.16	0.17	0.15	0.16	0.14	0.2	0.28	0.55	0.38	0.4
Fe %	38.22	44.79	48.63	48.92	45.1	58.74	59.53	56.84	54.62	58.36	57.6	50.08	44.90	32.56	42.5

ppb

Os	520.8	376.6	586.91	337.1	455.4	155.5	75.9	57.8	29.4	145.3	92.8	288.1	338.5	1073.3	566.6
Ir	425.1	322.8	485.54	305.8	384.8	149.7	212.1	47.9	28.3	132.7	114.1	177.3	260.4	921.4	453.0
Ru	2104.4	1555.8	2422.34	1426.9	1877.4	661.0	937.8	278.1	142.9	967.6	597.5	1274.2	1258.6	4388.3	2307.0
Rh	297.6	246.6	298.79	203.8	261.7	427.7	513.6	342.7	290.9	688.9	452.8	254.8	651.0	911.9	605.9
Pt	4591.5	3412.0	7581.82	5307.7	5223.3	836.0	982.5	2333.7	2026.8	478.5	1331.5	2858.7	4643.7	12699.5	6734.0
Pd	26751.6	11294.2	12725.29	15194.1	16491.3	2916.3	2679.5	6677.4	5912.5	2429.1	4123.0	8675.7	51992.6	32275.9	30981.4
Au	1169.1	165.9	336.14	1097.6	692.2	40.8	60.3	545.1	484.5	72.3	240.6	376.7	217.0	209.0	267.6
Ni/Cu	1.3	11.8	13.8	1.8	2.9	3.5	34.6	15.2	2.9	3.2	4.8	2.4	3.4	7.2	4.3
Pd/Ir	62.9	35.0	26.2	49.7	42.9	19.5	12.6	139.4	208.9	18.3	36.1	48.9	199.7	35.0	68.4
ΣPd/ΣIr	10.3	6.5	5.8	9.9	8.0	3.9	3.0	23.5	39.6	2.3	6.8	6.6	30.5	7.0	11.3

Tableau 20: Teneurs en EGP et autre éléments économiques pour les gisements de Katiniq, du Lac Cross et de Donaldson-Est (Picard et Giovenazzo, sous presse)

COm= Cumulat à olivine minéralisé, Sm= Sulfures massifs normaux, SmR= Sulfures massifs remobilisés

V= Veines de sulfures.

Donaldson-Est											
# éch.	172-15	233-2	233-3	233-4	moy	233-5	181-1	179-3	172-5	172-6	moy
	Sm	SmR	SmR	SmR	233-SmR	SmR+V	V	SmR	SmR	SmR	172-SmR
S %	13.0	37.1	38.0	39.8	38.3	35.1	8.9	39.5	31.2	28.5	29.9
Co %	0.08	0.18	0.15	0.41	0.25	0.15	0.05	0.12	0.11	0.17	0.14
Cu %	0.33	0.62	1.77	3.11	1.83	7.62	4.13	0.78	0.62	0.36	0.49
Ni %	3.03	13.10	9.94	10.50	11.18	11.50	6.92	5.71	9.71	6.63	8.17

ppb

Os	138.0	299.0	447.0	581.0	442.3	58.0	3.0	112.0	235.0	116.0	175.5
Ir	117.0	289.0	380.0	484.0	384.3	38.0	0.1	101.0	202.0	102.0	152.0
Ru	626.0	1257.0	2103.0	2925.0	2095.0	261.0	8.2	517.0	1103.0	559.0	831.0
Rh	38.0	1140.0	1100.0	1260.0	1166.7	220.0	2.0	240.0	440.0	260.0	350.0
Pt	1370.0	702.0	2541.0	1595.0	1612.7	5718.0	110.0	1536.0	4528.0	3015.0	3771.5
Pd	4505.0	1954.0	987.0	2191.0	1710.7	12456.0	2078.0	1836.0	1875.0	2525.0	2200.0
Au	25.0	67.0	33.0	86.0	62.0	2100.0	3700.0	23.0	22.0	11.0	16.5

Teneurs recalculées à 100% sulfures

S %	36.28	36.21	36.23	36.17	36.2	35.92	35.25	36.34	36.24	36.30	36.3
Ni %	8.46	12.79	9.48	9.54	10.6	11.77	27.53	5.25	11.28	8.44	9.9
Cu %	0.92	0.61	1.69	2.83	1.7	7.80	16.43	0.72	0.72	0.46	0.6
Co %	0.21	0.18	0.14	0.37	0.2	0.15	0.19	0.11	0.13	0.22	0.2
Fe %	54.14	50.22	52.47	51.09	51.3	44.37	20.59	57.57	51.64	54.58	53.1

ppb

Os	385.1	291.9	426.1	528.0	415.3	59.3	11.9	103.1	272.9	147.7	210.3
Ir	326.5	282.1	362.3	439.9	361.4	38.9	0.4	92.9	234.6	129.9	182.3
Ru	1746.9	1227.0	2004.8	2658.3	1963.4	267.1	32.6	475.7	1281.1	711.9	996.5
Rh	106.0	1112.8	1048.7	1145.1	1102.2	225.1	8.0	220.8	511.0	331.1	421.1
Pt	3823.1	685.2	2422.4	1449.6	1519.1	5850.9	437.7	1413.3	5259.1	3839.9	4549.5
Pd	12571.4	1907.4	940.9	1991.2	1613.2	12745.5	8268.3	1689.3	2177.7	3215.8	2696.8
Au	69.8	65.4	31.5	78.2	58.3	2148.8	14722.3	21.2	25.6	14.0	19.8
Ni/Cu	9.2	21.1	5.6	3.4	6.2	1.5	1.7	7.3	15.7	18.4	16.7
Pd/Ir	38.5	6.8	2.6	4.5	4.5	327.8	20780.0	18.2	9.3	24.8	14.8
ΣPd/ΣIr	6.7	1.4	1.2	0.9	1.1	50.9	193.6	4.6	4.2	7.1	5.2

Tableau 20 (suite): Teneurs en EGP et autre éléments économiques pour les gisements de Katiniq, du Lac Cross et de Donaldson-Est

COM= Cumulat à olivine minéralisé, Sm= Sulfures massifs normaux, SmR= Sulfures massifs remobilisés

V= Veines de sulfures.

Standard AX 90						
labo	UQAC	INRS	CRM	Chimitec		
n	2	2	2	3		
Méthode	INAA	INAA	AA	AA+Leco		
%						
Ni	0.70	—	0.60	0.72	*3 0.2000 0.0028	
Cu	—	—	0.08	0.10		
S	—	—	2.90	4.00		
ppm						
La	0.24	—	<2	—	*1 0.315 0.813 0.597 0.192 0.072 0.049 0.208 0.032	
Ce	4.23	—	<3	—		
Nd	<2	—	<25	—		
Sm	0.32	—	4.00	—		
Eu	0.19	—	<1	—		
Tb	0.14	—	—	—		
Yb	0.39	—	—	—		
Lu	0.07	—	—	—		
As	0.26	—	1.00	—		
Co	235.85	—	227.00	—		
Cr	3862.50	—	4300.00	—		
Se	4.64	—	<10	—		
Th	0.04	—	—	—		
ppb						
Os	2.0	3.7	—	—	*2	*3
Ir	2.7	2.9	—	—	514.0	4.2
Ru	21.0	38.0	—	—	540.0	4.4
Rh	14.0	11.0	6.0	—	690.0	5.6
Pt	119.0	170.0	97.0	—	200.0	1.6
Pd	350.0	400.0	319.0	—	1020.0	8.3
Au	5.1	5.0	5.5	—	545.0	4.4
					152.0	1.2

Tableau 21: Résultats analytiques pour le standard AX-90, dans les laboratoires d'analyses géochimiques utilisés pour cette étude, et valeurs utilisés pour les normalisations.

*1: valeurs pour chondrites, tirées de Taylor et Gorton, 1977.

*2: Valeurs pour chondrites C1, Naldrett et al., 1976.

*3: Valeurs pour le manteau, Barnes et al., 1988.

ANNEXE 2**DESCRIPTIONS MÉGASCOPIQUES ET
PÉTROGRAPHIQUES DES ÉCHANTILLONS PROVENANT
DES CAROTTES DE FORAGE DES
ZONES MINÉRALISÉES D8 ET D9.**

A) ZONE MINÉRALISÉE, D8.

N.B. Toutes les mesures sont en pieds,

l= longueur de l'échantillon en cm,

**= lame-mince polie*

Forage 77-29

***1:** {215' à 221' (l=182.88cm)}: Péridotite.

a) 215' à 216': Péridotite à pyroxène, grains moyens, qui contient 5% de sulfures en position interstitielle aux silicates. La péridotite est composée de 65% de grains d'olivine (<1mm), 10% de hornblende poécilitique, 20% de clinopyroxène, <5% d'orthopyroxènes et <5% de phlogopite. Il y a 2% de la roche qui représente un liquide piégé. La trémolitisation est superposée sur la serpentinitisation.

b) 216' à 217': Péridotite à pyroxène à grains moyens avec un enrichissement graduel en pyroxènes. Contient de 5 à 6% de sulfures disséminés et de nombreux plans de cisaillements serpentinisés perpendiculaires à l'axe de la carotte.

c) 217' à 220': On remarque un enrichissement graduel en pyroxène .

d) 220' à 221': Pyroxénite à olivine, grains moyens, avec 1% de sulfures disséminés.

***2:** {221' à 223.8' (l=81.28cm)}: Pyroxénite à olivine, grains moyens, diminution graduelle dans la granulométrie vers les sulfures massifs et elle devient de couleur gris pâle. Celle-ci est composée de 60% de cristaux de clinopyroxène, <5% d'orthopyroxène et 15% de grains d'olivine. Les olivines sont en d'inclusions dans les clinopyroxènes. On a une bordure figée au contact avec les sulfures massifs (trémolitite) qui contient <5% de sulfures disséminés.

***3:** {223.8' à 224.1' (l=12.7cm)}: Début de la lentille de sulfures massifs. Le contact avec la trémolitite est marqué par un mince [d<2mm] horizon de Cp. Les sulfures massifs contiennent 80% de sulfures dont 5% de Cp, 25% de Pn en amas cms et en minces horizons [d<2cm] et 50% de Po en mosaïque à grains moyens [d=.5-1mm]. La Pn forme des minces horizons (<3mm) perpendiculaire à l'axe de la carotte. Dans la bordure de Cp, il y a plusieurs grains de sudburyite en inclusions partielles dans la Cp. Cette section contient des inclusions [d<1cm] de roche chloritisée (chloritite).

- *4: {224.1' à 226.5' (l=38.1cm)}: Sulfures massifs 80%, avec des inclusions [d<2cm] de composition gabbroïque/granophyrique (d=5cm) ainsi que des silicates isolés (biotite). Les inclusions sont parfois disséquées par des veinules de Cp et elles sont intensément altérées en biotite, quartz, albite et malachite. Les sulfures sont composés de 1-2% de Cp, 30% de Pn, en amas cms, et parfois concentrés en minces horizons et entre les grains de Po, et de 45% de Po en texture granulaire [d=0,5 à 1,5mm]. Quelques MGP se retrouvent en inclusions dans la Po (surtout merenskyite).
- *5: {226.5' à 228' (l=43.18cm)}: Sulfures massifs 85% avec des inclusions de gabbro/granophyre (couleur noire, d<2cm), entourées de Cp et altérées en biotite. Les sulfures sont composés de 3-5% de Cp, de 25% de Pn, en amas cms, parfois concentrés en minces horizons et entre les grains de Po, et de 50% de Po en texture de mosaïque [d=0,5 à 1,5mm].
- 6: {228' à 230.8' (l=81.28cm)}: Sulfures massifs 85%, avec quelques inclusions (d<1,5cm) de composition gabbroïque? à grains moyens, et des silicates (biotite). Les sulfures sont composés de 2-3% Cp, de 30% de Pn, en amas cms, parfois concentrés en minces horizons et entre les grains de Po, et de 50% de Po en mosaïque [d=0,5 à 1,5mm].
- 7: {230.8' à 233' (l=91.44cm)}: Sulfures massifs.
- a) 230.8' à 232.8': Sulfures massifs 85%, avec des inclusions de composition gabbroïque sub-arrondies (d<2cm) et quelques silicates isolés (biotite + zoisite, d<1mm). Les sulfures sont formés de 10% de Cp, 40% de Pn en amas cms, parfois concentrés en minces horizons et entre les grains de Po, et de 30% de Po en texture de mosaïque équigranulaire [d=,5 à 1,5mm].
- b) 232.8' à 233': Horizon ou grosse inclusion de granophyre à grains moyens, avec de la Cp disséminée entre les silicates.
- 8: {233' à 235' (l=60.96cm)}: Sulfures massifs 85%, section assez homogène avec des inclusions [d<2cm] de granophyre biotitisées, avec lesquelles s'associent la Cp. Les sulfures sont composés de 1-2% de Cp, 25-30% de Pn en amas cms, parfois concentrés en minces horizons et entre les grains de Po, et de 50% de Po en texture granoblastique [d=0,5 à 1,5mm]. Cette section s'enrichit en Pn entre 234.5' et 235' (50%).

- *9:** {235' à 237' (l=60.96cm)}: Sulfures massifs 75%, à grains plus fins que les sections précédentes. Les inclusions [d<3cm] sont de composition gabbroïque/granophyre et sont biotitisées, elles sont souvent entourées et en voie de remplacement par de la Cp. Les sulfures sont composés de 5% Cp, 25-30% de Pn, en amas cms, parfois concentrés en minces horizons et entre les grains de Po, et de 40% de Po en texture de mosaïque équigranulaire [d=0,5 mm].
- 10:** {237' à 238' (l=30.48cm)}: Sulfures massifs 75-80%, grains moyens, composés de 1 à 2% Cp, 25 à 30% de Pn en amas cms, parfois concentrés en minces horizons et entre les grains de Po, et de 50% de Po en texture de mosaïque [d=0,5 mm]. On a un horizon (ou une grosse inclusion) de granophyre, grains moyens (é<4cm) qui débute à 237.7' dont les contacts avec les sulfures sont irréguliers mais nets et d'attitude perpendiculaire à l'axe du forage.
- 11:** {238' à 240' (l=60.96cm)}: Sulfures massifs 85%, grains moyens, composés de 1-5% Cp, 30-35% de Pn en amas cms, parfois concentrés en minces horizons (50° à l'axe de la carotte) et entre les grains de Po, et de 50% de Po en mosaïque [d=0,5 mm], les sulfures deviennent à grains plus fins vers 239.5'. Les inclusions de roches ignées sont biotitisées [d<1cm].
- 12:** {240' à 241.5' (l=43.2cm)}: Sulfures massifs, 75-80% avec des petits inclusions [d<3mm] chloriteuses [biotite?], et quelques grosses inclusions de composition gabbroïque/granophyrique [d<5cm]. Une des inclusions à 241' est entourée d'une mince lisière de magnétite [d<1mm] et est traversée de veinules de magnétite. Les sulfures sont composés de 5-10% de Cp, 25-30% de Pn, en amas cms, parfois concentrés en minces horizons et entre les grains de Po, et de 45% de Po en mosaïque [d=0,5 mm].
- *13:** {241.5' à 243' (l=48.26cm)}: Sulfures massifs 80%, avec des inclusions gabbroïques biotitisées. La composition des sulfures est identique à l'échantillon 12.
- 14:** {243' à 244.2' (l=30.48cm)}: Sulfures massifs 80%, avec des inclusions gabbroïques biotitisées. La section est identique l'échantillon 12.

- 15:** {244.2' à 246' (l=55.88cm)}: Sulfures massifs, 85% avec des inclusions gabbroïques [d<0.5cm]. Les sulfures sont composés de 1-2% Cp, 50-55% de Pn en amas cms, parfois concentrés en minces horizons et entre les grains de Po, et de 30% de Po en mosaïque [d=0,5 à 1 mm]. La couleur de cette section est plus pâle en raison de la plus grande quantité de Pn.
- *16:** {246' à 247.5' (l=43.2cm)}: Sulfures massifs 90%, identique à la section décrite auparavant, elle contient parfois de gros amas de Pn [d=2 à 3cm]. Les inclusions gabbroïques sont biotitisées et partiellement remplacées par de la Cp. Contient 55% Po en mosaïque, 30% de Pn, 5% de Cp, 2-3% de cubanite et des traces de sphalérite.
- 17:** {247.5' à 249' (l=78.74cm)}: Sulfures massifs, idem #16.
- 18:** {249' à 250.5' (l=43.2cm)}: Sulfures massifs, 80% de sulfures composés de 10% Cp, 40% de Pn, en amas cms, parfois concentrés en minces horizons et entre les grains de Po, et de 30% de Po en mosaïque [d< 5 mm]. Les inclusions sont gabbroïques [d< 1cm] et biotitisées.
- 19:** {250.5' à 252' (l=43.2cm)}: Débute par un horizon de 3cm, de pyroxénite? noire avec un angle de 45° à l'axe de la carotte, dont le contact est net au début et graduel à l'autre extrémité. Les sulfures sont en filets dans cette pyroxénite et deviennent graduellement plus abondants jusqu'à devenir massifs. Cette section se poursuit par des sulfures massifs 75%, composés de 5% Cp, 30% de Pn, en amas cms, parfois concentrés en minces horizons et entre les grains de Po, et de 40% de Po en texture de mosaïque [d=.5 mm] avec des inclusions ignées biotitisées [1 mm< d<2 cm].
- *20:** {252' à 254' (l=68.96cm)}: Sulfures massifs 75%, idem au précédent, entre 252' et 252.9'. Se poursuit par un horizon de roche cataclastique (5cm) de composition pyroxénitique?, puis une zone de sulfures massifs 85% jusqu'à 254', les inclusions sont biotitisées (d<2cm). Les inclusions sont recristallisées en OxFer, biotite, clinozoisite et malachite. Contient de minces lamines (<2mm) composées d'une alternance de bandes de Cp+Py et de bandes de Po+Pn en cristaux orientés.
- 21:** {254' à 255.2' (l=35.56cm)}:

a) 254' à 254.5': Sulfures massifs 90%, à grains fins, composés de 1% Cp, de 10% de Pn entre les grains de Po, et de 80% de Po en mosaïque [$d=0,1\text{mm}$]. Les inclusions de roches gabbroïques sont biotitisées ($d<2\text{mm}$).

*b) 254.5' à 255.2': Zone cisailée marquée par un enrichissement en Cp, qui se poursuit par des sulfures massifs à grains fins ($<0,1\text{ mm}$). Composée de 60% de sulfures dont 20% Po, 30% Pn et 10% Cp avec des traces de Py. On observe une certaine orientation des petites inclusions de biotite. Les plus grosses inclusions sont de composition gabbroïque et sont transformées en clinzoisite et en carbonates de fer. La Cp entoure et remplace ces inclusions.

22: {255.2' à 257' ($l=55.88\text{cm}$)}

a) 255.2 à 255'10": Contact avec roche 'bizarre' à grains fins de composition gabbroïque à texture diabasique (granophyre?) très altérée (biotitisée).

*b) 255'10" à 257: Débute par une zone de cisaillement remplie de Po faisant un angle de 30° à l'axe de la carotte. Puis se poursuit par une pyroxénite (10cm) à grains fins dont la quantité de sulfures diminue vers 257'. Contient des clinopyroxènes trémolitisés.

23: {257' à 259'($l=60.96\text{cm}$)}: Pyroxénite à grains moyens avec de nombreux plans de cisaillements. Contient 5% de sulfures disséminés et quelques veines de Cp+Po.

24: {259' à 262' ($l=91.44\text{cm}$)}: Pyroxénite avec quelques cisaillements remplis de Cp et 10% de sulfures disséminés.

25: {262' à 264' ($l=60.96\text{cm}$)}: Pyroxénite-mélanogabbro grains moyens, très altérée, avec 5% de sulfures disséminés et quelques horizons (veines) $<1\text{cm}$ de sulfures massifs (Po+Pn+Cp).

26: {264' à 267' ($l=91.44\text{cm}$)}: Pyroxénite-mélanogabbro avec 15% de sulfures disséminés et quelques veines remplies de Cp+Po.

27: {267' à 269' ($l=60.96\text{cm}$)}: Mélanogabbro devenant un mésogabbro biotitisé, grains moyens avec 15% de sulfures disséminés. Contient un cisaillement parallèle à l'axe de la carotte.

*28: {269' à 272' ($l=91.44\text{cm}$)}: Mésogabbro, grains moyens, très altéré, biotitisé, 10% sulfures disséminés. Très altéré en biotite, en zoisite et en trémolite. Les sulfures se

retrouvent en position interstitielle avec 8% Po, 5% Pn, 3% Cp, des traces de cubanite et quelques MGP non-identifiés. Contient aussi quelques veines irrégulières de Cp+Po.

Forage 87-86

- *1: {23'9" à 24'3"}: Basanite massive, assez homogène, couleur vert foncé. Quelques plans de fractures oxydés. Contient 20% phénocristaux d'augite orientés, 1% phénocristaux de titanite. La mésostase est composée de microlithes d'augite (actinote) et de plagioclase (albite), avec du leucoxène disséminé.

- 2: {154' à 154'4"}: Basanite amphibolitisée, contient 2% Po disséminée. Contient des petits phénocristaux de pyroxènes amphibolitisés. Près du contact avec le filon-couche.

- *3: {171'3" à 172'}: Gabbro avec gros phénocristaux de pyroxènes pouvant aller jusqu'à 2 cms . La granulométrie est variable et les plagioclases sont gris. Contient des enclaves de basanites partiellement digérés. Constitué de 45% de plagioclase (Zo+Ab), 40% d'augite (trémolite , biotite), avec des traces d'actinote, de hornblende verte, de titanite et de sulfures (Cp). La texture est sub-ophitique à ophitique.

- 4: {182'5" à 183'}: Gabbro avec des pyroxènes noirs, grains moyens, 50-60% de plagioclases gris. Contient 1% de Po + Cp disséminé.

- *{271' à 271'8"}: Gabbro, très noir, grains moyens. 40% de plagioclases gris, petites veinules de Cp. Contient 25% de plagioclases (Zo+ Ab), 40% augite, 10% orthopyroxène bastitisé, avec 1-2% de chlorite, 2-3% de titanite et des traces de hornblende verte, de zircons et de sulfures. Traversé par des veinules de zoisite et d'albite et des veinules de quartz.

- *{284' à 285'}: Trois bouts de carottes:
 - a).Gabbro, 40% de plagioclases gris et des traces de Cp. Contient une petite zone de cisaillement contenant de la Cp et de la Po. Le contact est au bout de cet section et se termine par un plan de fracture.
 - *5 b).Bordure figée composition ultramafique (picrite), à grains très fins de couleur noire.
 - c).Pyroxénite (picrite), grains très fins.

- *6:** {288'8" à 289'9"}: Pyroxénite, granulométrie variable. Contient 50% de cristaux de clinopyroxènes amphibolitisés, 25% d'orthopyroxènes bastitisés et trémolitisés dans une matrice formé de reliques de plagioclases, 20% (chlorite + zoisite). Contient aussi des traces de hornblende verte, 5% de titanite et <2% de sulfures disséminés et dans les clivages des pyroxènes.
- *7:** {327'5" à 328'}: Gabbro, de couleur blanc-grisatre, qui contient 40% de reliques de plagioclase (Zo + Ab), 40% de clinopyroxènes (diopsidique?), 10% d'orthopyroxènes avec des traces de hornblende verte (actinote?), de titanite et 2-3% de sulfures disséminés (Po et Cp) et situés dans les clivages des pyroxènes.
- 8:** {344' à 344'7}: Contact net entre un mésogabbro, grains moyens, 50% plagioclases et une pyroxénite à grains plus fins, couleur plus verte.
- *{347' à 348'}:** Pyroxénite, avec zones de cisaillements, à grains fins. Contient 50% d'augite, 10% d'orthopyroxène, 10% de hornblende brune, 5% de grains d'olivine (trémolitisé dans les pyroxènes+ hornblende), et des traces de titanite et de sulfures.
- *9:** {366' à 366'5"}: Mésogabbro à deux pyroxènes à grains moyens, rodingitisé. Contient des phénocristaux de clinopyroxènes (10%) et des traces de Cp.
- *10:** {372' à 372'6"}: Contact entre une dunite et un mésogabbro rodingitisé. Le contact est très net et marqué par un mince liséré (2mm) formé de cristaux de diopside perpendiculaire au contact. La bordure figée est picritique et à grains très fins. Contient des clinopyroxènes dans une matrice formée d'antigorite et de chlorite.
- *{383'4" à 384'}:** Péridotite à hornblende, avec des cristaux poécilitiques (d=10mm) de clinopyroxènes, 35% de pseudomorphes d'olivine (Ant +Tr), de 30% clinopyroxènes, 5% d'orthopyroxène (bastite), de 10% de hornblende brune avec auréole de bastite, puis des traces de biotite, de ferrochromite et de sulfures (Po + Cp). La trémolitisation est superposée à la serpentinisation.
- *11:** {443' à 444'}: Mésocumulat à olivine, 30% de cristaux poécilitiques de clinopyroxènes, 60% de pseudomorphes d'olivine (Ant + Tr), 30% augite titanifère, des traces de phlogopite, contient aussi 10% de ferrochromite et <3% de sulfures (Po + Pn). Traversé par des veinules de magnétite.

- *12:** {467'5" à 468'5"}: Mésocumulat à olivine, contenant de nombreuses zones de cisaillements remplies de magnétite. Contient 60% de pseudomorphes d'olivine en inclusion dans des phénocristaux poécilitiques de clinopyroxènes trémolitisé. La roche est très noire et contient 15% d'opaux (ferrochromite + sulfures) disséminés. Quelques veinules de Cp et Po.
- *13:** {508'7" à 509'9"}: Méso/ortho cumulat à olivine avec 15-20% de pyroxènes. Nombreuses zones de cisaillements remplies de magnétite, et veinules de Cp+Po. Présence de quelques minces horizons de cumulat à pyroxène dans l'échantillon. Contient 50% de pseudomorphes d'olivine en inclusion dans des phénocristaux d'augite diopsidique (40%), 10% de ferrochromite et des traces de sulfures (Po + Pn).
- *14:** {563'5" à 564'3"}: Mésocumulat à olivine. Les pyroxènes (50%) sont en phénocristaux poécilitiques (10mm) hypidiomorphes. L'échantillon est traversé par un mince dyke de couleur noire à contact irréguliers. Celui-ci contient des fragments du mésocumulat flottant dans une mésostase formée d'un amas microblastique de chlorite magnésienne et d'antigorite. Des cristaux d'apatite et d'ilménite avec des inclusions de Cp sont aussi présents dans ce dyke.
- *15:** {580' à 580'6"}: Deux petits morceaux de carotte. Adcumulat à olivine, grains très fins, <15% de pyroxène qui contient 75% de pseudomorphes d'olivine serpentinisés dans des phénocristaux poécilitiques de clinopyroxène et de hornblende brune. Traces de carbonates, 5% de ferrochromite et 2% de sulfures disséminés. Contient aussi des microveinules de magnétite.
- *16:** {591'4" à 592'5"}: Deux morceaux de carottes:
- b). Bordure figée ultramafique avec contact très net avec un mésogabbro. La granulométrie devient de plus en plus fine vers le contact. Contient de la trémolite, de la chlorite magnésienne, de la biotite, de la zoisite et de la titanite.
- a). Mélanogabbro, grains fins, composé de pseudomorphes de plagioclases (Zo + Ab), de clinopyroxènes et de biotite verte. Il est rodingitisé.
- *17:** {627'3" à 628'4"}: Gabbro, grains fins, 20% de plagioclases gris, les pyroxènes sont noirs. Contient 30% de reliques de plagioclases (Zo + Ab), 35% de clinopyroxènes (Tr + biotite) et 5% d'orthopyroxène (Bas + Tr). Possède 2 à 3% de sulfures disséminés.

- *18:** {656' à 656'7"}: Gabbro, 25% de plagioclases, grains fins à moyens, semble avoir deux pyroxènes, 10% d'orthopyroxène et 40% de clinopyroxènes. Contient aussi de la biotite verte, des traces de rutile, d'apatite, de titanite et de sulfures disséminés.
- *19:** {763'9" à 765'}: Deux bouts de carottes:
- a). Mésogabbro avec 35% de plagioclase qui devient très altéré vers la mylonite. Traces de Cp+Po disséminés.
- b). Débute avec un plan graphiteux. Roche très noire foliée. Cette mylonite contient des carbonates, de la muscovite, de la chlorite magnésienne, de la zoisite prismatique, de la biotite verte et des amas de quartz granoblastiques. Les sulfures (3%) sont alignés dans les plans de foliation et on y retrouve surtout de la Cp avec de la Po, de la Pn et de la sphalérite. Un peu plus loin, la roche est un gabbro dioritique (granophyre?).
- *20:** {776'8" à 778'}: Pyroxénite à hornblende (dyke), grains moyens, homogène avec 1% de sulfures disséminés. Contient 70% de clinopyroxènes, 10% de hornblende brune, 2% d'olivine en inclusions dans la hornblende et 10% de pseudomorphes de plagioclases (Zo + Ab).
- *21:** {786 à 787.6}: Granophyre, grains fins, de couleur noire avec % de globules de sulfures de forme ovoïde (<1,5cm) et disséminés. La texture est granulaire et le granophyre contient 50%+ plagioclase, 10% quartz, 5% microcline, 5% clinozoisite, 5% chlorite, 10% biotite verte, 5-10% de titanite, des traces de carbonates et d'apatite. Les globules (gouttelettes) de sulfures sont entourées de cristaux de clinozoisite prismatique ou de qtz+plag à grains plus grossiers. Ces globules sont zonées avec un centre plus riche en Po, et de la Pn et de la Cp sur le rebord externe. Quelques grains de MGP et de sphalérite sont présents comme inclusions dans la Cp en bordure.
- *{793'}:** Granophyre, de couleur noire, grains fins avec 5% de gouttelettes de sulfures. Contient 30% de "yeux" de quartz (10-15mm) qui contiennent des mégacristaux de titanite et d'apatite. Autrement idem 788'.
- *22:** {805' à 807'}: Granophyre, grains fins, de couleur noire avec 15% de gouttelettes de sulfures et 5% de sulfures disséminés. Contient des fragments (enclaves?) de sédiments lités recristallisés, riches en leucoxène.

- *23:** {811'8" à 812'5"}: Granophyre de couleur très noire, à grains fins avec des plans graphiteux. Contient 1% de sulfures disséminés (Po + Cp).
- 24:** {831 à 834'}: Granophyre, couleur noir, grains très fins avec 54% de gouttelettes de sulfures et quelques veines de Cp dans des fractures.
- *{841.7 à 842.5'}:** Granophyre à grains fins, de couleur noire avec des veinules de Cp. Les veines contiennent un rebord de quartz et de plagioclase en texture de peigne et un centre de carbonates+ Cp +cubanite +Po+ Pn avec des traces de sphalérite et de MGP (sperrylite? sudburyite?). Il y a une altération en séricite + leucoxène autour des veines (interaction fluide-roche).
- *25:** {842.5 à 843.5'}: Veine riche en Cp dans le granophyre. La veine contient surtout de la Cp accompagnée de cubanite, de Pn, de Po, de sphalérite et de plusieurs grains multiphasés de MGP en inclusions ($d < 0,05$ mm) dans la Cp.
- *26** {849 à 850}: Zone de sulfures en veines, situé au contact entre le granophyre et une pyroxénite très cisailée (schiste). L'horizon de sulfures contient des inclusions de granophyre (30%) dans une matrice formée de Po, de Pn, de Cp et de Py. Des traces de sphalérite et quelques grains de MGP sont aussi présents. La zone schisteuse est une mylonite dans la pyroxénite, formée de carbonates, de muscovite, de chlorite magnésienne et d'amas de quartz granoblastique. Les sulfures sont composés de Po, de Pn, de Cp, de cubanite, de Py et de sphalérite. Celle-ci correspond à la bordure d'une intrusions ultramafique.
- *27:** {856.6' à 857.5'}: Pyroxénite intensément recristallisée. Contient des pyroxènes trémolitisés, de la hornblende brune et de la muscovite avec des traces de sulfures disséminés. Traversée par des veinules de sulfures constituées surtout de Cp et de cubanite avec de la Po, de la Pn, de la Py, de la sphalérite et de l'arsénopyrite.
- 28:** {865.9 à 867.9}: Pyroxénite à hornblende grains fins. Contient moins de 1% de sulfures disséminés.
- *29:** {876' à 876'6"}: Sédiment (siltstone) laminé de couleur gris moyen, recristallisé, avec de la Po et Cp dans les plans de fractures ainsi que de la chlorite et du quartz. Contient un peu de tourmaline en cristaux isolés.

B. ZONE MINÉRALISÉE, D9.

Forage 77-24

- *00:** {331'1" à 334'}: Roche sédimentaire recristallisée, aphanitique, de couleur noire. Contient 1% de sulfures disséminés et un peu de tourmaline en cristaux isolés.
- 0:** {337'6" à 339'}: Roche sédimentaire recristallisée, aphanitique, de couleur noire. Contient 10% Cp+Po en veinules et en disséminations.
- *1:** {340' à 341.4' (l=43.2cm)}: Gabbro cisailé grains fins à moyens, en contact net avec les sulfures massifs. On note un cisaillement au contact (60° de l'axe). Contient des cristaux d'augite (Tr) et de plagioclase (Zo + Ab) avec de nombreux plans de cisaillements remplis de chlorite Fe. Contient <5% de sulfures disséminés.
- *2:** {341.4' à 342.5' (l=30.48cm)}: Début de la lentille de sulfures massifs. Contient environ 80% de sulfures. Les sulfures sont formés de 55% de Po, 30% de Pn, 2% de Cp, 1% cubanite, des traces de Py et de MGP (merenskyite). La Cp forme des amas mms ainsi que des disséminations et elle pave la paroi interne des diverses inclusions de roches ignées, la Pn forme des amas et des minces horizons de dimension <1cm, la Po forme une texture en mosaïque (d=0,5mm) et la Py se présente sous forme de grains xénomorphes. Les inclusions semblent être de composition gabbroïque-granophyrique?, [max: d=4cm] et elles sont de forme sub-arrondie, parfois allongée. Les inclusions sont partiellement remplacées par des carbonates et l'échantillon est traversé par des veinules de quartz et carbonates tardives.
- 3:** {342.5' à 343.5' (l=30.48cm)}: Sulfures massifs 75%, avec 25% d'inclusions et de petits grains de silicates (biotite, zoisite). Les inclusions sont de même composition que la section précédente, de dimension <4cm et sont traversées par des fractures [d<1mm] remplies de Cp. Les sulfures sont composés de 4-5% de Cp, 30% de Pn en amas [d<1cm] et interstitiels [d< 0,1mm] à la Po et 50% de Po en mosaïque [d<.5 mm].
- *4:** {343.5' à 344.3' (l=25.40cm)}: Sulfures massifs 60-65%, les inclusions sont de taille variée {2mm à 4cm} et de même composition que les #2 et #3. Les sulfures sont composés de 15-20% de Cp, de 25% de Pn en amas [d<1 cm] et interstitiels [d< 0,1mm] à la Po et 15% de Po en mosaïque [d<.5mm] avec des traces de sphalérite et de cubanite.

Les inclusions sont très altérées en chlorite +épidote +qtz +malachite mais on observe des textures reliques gabbroïques.

- 5: {344.3' à 345.5' (l=35.56cm)}: Débute par un horizon de 11cm de granophyre? à grains très fins avec des veinules [1cm] de quartz-épidote-carbonate et des veinules de Cp [1cm] avec une marge de Po. Puis une zone de sulfures semi-massifs [50% sulfures, 1-2% Cp, 20% de Pn en amas, et 48% de Po en mosaïque] avec des inclusions de granophyre.
- 6: {345.5' à 347' (l=43.2cm)}: Sulfures massifs 75%, avec des inclusions de gabbro/granophyre [d<2mm et 1cm], les plus grosses sont entourées et en voie de remplacement par de la Cp. Les sulfures sont composés de 1-2% de Cp, 25% de Pn en amas [d<1cm] et interstitiels [d< 0,1mm] à la Po et 35% de Po en mosaïque [d< 0,5mm].
- 7: {347' à 348' (l=30.48cm)}:
- a) 347' à 347.4': 70% de sulfures, composés de 5% Cp, 20% de Pn et 55% de Po en mosaïque. Les inclusions sont granophyriques et altérées en carbonates de fer et en malachite. Il y a quelques grains de biotite qui flottent dans les sulfures.
- *b) 347.4' à 348': Pyroxénite, grains fins avec <2% de sulfures disséminés [d<.5mm], avec des contacts nets aux sulfures massifs. Ce dyke est composé de pseudomorphes de clinopyroxènes trémolitisés. La trémolite est importante au contact même (trémolite).
- 8: {348' à 349.1' (l=33.02cm)}: Sulfures massifs 90%, avec des inclusions gabbroïques de dimension < 5mm. Les sulfures sont composés de 2-3% de Cp, de 25% Pn, et 70% de Po à texture mosaïque équigranulaire [d<0,5mm]. La Pn forme des amas orientés perpendiculairement à l'axe de la carotte [d<2cm].
- *9: {349.1' à 351' (l=30.48cm)}: Sulfures massifs identiques au #8. Contient 95% de sulfures, 50% de Po, 35% de Pn, 2-3% de Cp et des traces de cubanite, de sphalérite et de MEGP. Traversés par des veinules de carbonates + OxFer.
- *10: {351' à 352' (l=30.48cm)}: Sulfures massifs 60%, avec des inclusions de taille variée de composition gabbroïque, entourées de Cp. Les sulfures sont composés de 10% Cp, 35% de Pn en amas cms et 55% de Po en mosaïque accompagnés de cubanite, de magnétite et de MGP en traces. Les inclusions gabbroïques sont remplacées par des carbonates, de la biotite, de la malachite et de la stiplomélane?.

- 11:** {352' à 353' (l=30.48cm)}: Sulfures massifs 90% montrant des variations texturales et compositionnelles dont une alternance de bandes riches en Po grains fins (0,1mm), Pn +inclusions, Pn en amas, Po grains moyens (0,5mm). Les contacts sont graduels et en général, les sulfures sont composés de 1% Cp, de 30-35% de Pn et de 65% de Po. Les inclusions sont de $d < 2\text{mm}$ et de composition gabbroïque/granophyrique.
- 12:** {353' à 354.5' (l=43.18cm)}: Sulfures massifs 80%, formés de 5-10% de Cp concentrée où il y a de grosses inclusions (gabbro, grains moyens), de 30-35% de Pn dispersé et en agrégats qui forment de minces horizons [$d < 2\text{cm}$] et de 40% de Po en mosaïque .
- *13:** {354.5' à 356' (l=43.18cm)}: Sulfures massifs 95% formé de 1-2% de Cp, de 30% de Pn en agrégats [$d = 10\text{mm} - 4\text{cm}$] dispersés et de 55% de Po en mosaïque . Les inclusions sont remplacées par de la Cp, des OxFer, de la zoisite, de la biotite verte et de la malachite.
- 14:** {356' à 357' (l=30.48cm)}: Sulfures massifs idem au #13 contenant des amas [$d = 1\text{cm}$] de Pn et des minces veinules [$d < 5\text{mm}$] de Cp. Vers la fin de cette section il y a quelques minces cisaillements [$d < 1\text{mm}$] dans les sulfures, marqués par un enrichissement en Cp.
- *15:** {357' à 359.1' (l=63.5cm)}: Sulfures massifs 90%, idem au précédent se terminant par un horizon d'inclusions de composition gabbroïque entourées et remplacées par de la Cp. Contient 50% de Po, 40% de Pn, 10% de Cp et des traces de cubanite, de sphalérite et d'hématite.
- *16:** {359.1' à 360.5' (l=38.1cm)}: Gabbro? granophyre, grains fins avec des veinules de Cp. Cette section se termine par une zone de brèche [2cm] avec 20% de sulfures dont 15% de Cp. Le granophyre est altéré en OxFer, Cp et malachite. Plusieurs grains MGP multiphases sont présentes dans la Cp (kotulskite et sperryite).
- *17:** {360.5' à 364' (l=121.92cm)}: Débute par un mésogabbro schisteux (zone de cisaillement) avec $< 1\%$ de sulfures disséminés, qui devient plus riche en plagioclase. Au centre de cette section il y a une zone pegmatitique [2cm] aux contours mal définis. Composée de 40% augite, 50% reliques de plagioclases (Zo+Ab) et 5-10% quartz interstitiel. Les sulfures sont essentiellement composés de Cp finement disséminée. Traversé de veinules de qtz+cb en texture de peigne. Certains plagioclases sont déformés.

18: {364'-365.5' (l=43.18cm)}: Mésogabbro, grains moyens, avec des traces de sulfures disséminés.

19: {366' à 367'}: Mésogabbro, grains moyens, avec des traces de sulfures disséminés.

*20: {376' à 378'}: Gabbro mésocrate. grains moyens, avec des petits cisaillements et <1% sulfures disséminés. Composé de 50% de plagioclase (Zo+ Biotite), 40% d'augite et <5% d'orthopyroxène (Bastite+trémolite). Les sulfures sont finement disséminés entre les silicates (Po+Cp).

Forage 80-77

*1: {565' à 568' (l=91.34cm)}: Siltstone-mudstone laminé, recristallisé, avec veinules cms de quartz-carbonate- sulfures et quelques amas cms de Po et de Py. Contient de nombreux plans de cisaillements remplis par de la chlorite Fe⁺. Les veinules contiennent surtout de la Cp avec de la Po, de la Pn, de la Py et des gros cristaux d'arsénopyrite. Contient un peu de tourmaline en cristaux isolés.

2: {568 à 570' (l=60.96cm)}: Siltstone recristallisé avec des amas et veinules cms de Po et de Py.

*3: {570' à 573' (l=91.44cm)}: Pyroxénite? à grain très fins. Cette intervalle contient trois horizons de sulfures semi-massifs de type brèche. Ces horizons mesurent 3 cm chacun. Vers la fin, les sulfures massifs contiennent des inclusions de granophyre altérées en chlorite et clinzoisite.

4: {573' à 575' (l=60.96cm)}: Pyroxénite?, de couleur verte, à grains très fins. Contient des traces de Cp disséminée.

5: {575' à 578' (l=91.44cm)}: Pyroxénite, grains moyens, contient de l'olivine?, traces de sulfures disséminés.

6: {578' à 580'5" (l=73.66cm)}: Pyroxénite, grains moyens, contient hornblende et biotite, 1% de Cp et Po disséminés.

- *7:** {580'5" à 582'10" (l=73.66cm)}: Horizon de sulfures semi-massifs, 75% sulfures composés de 40% Cp, 20% de Pn granuleuse et interstitielle à la Po et 20% de Po en mosaïque [d=0,5 à 1mm]. Les inclusions sont de composition granophyrique? (d<1cm) entourées et en voie de remplacement par de la Cp .
- 8:** {582'10" à 585" (l=66.04cm)}: Contact net avec la zone de sulfures précédente. Cette section débute par un horizon de granophyre, grains fins, traversé de nombreuses veinules mms de Cp.
- 9:** {585' à 588' (l=91.44cm)}: Granophyre?, grains moyens, très altéré, assez homogène, contient des traces de Cp disséminé.
- 10:** {588' à 591' (l=91.44cm)}: Petite zone de cisaillement à 589'1", qui sépare un granophyre d'un gabbro grains moyens, avec une pegmatite à pyroxène dont le contact semble être parallèle à l'allongement de la carotte. Contient 1% de leucoxène, et 1 à 2% de sulfures disséminés.
- *11:** {591' à 594' (l=91.44cm)}: Mélanogabbro, grains moyens, très cisailé, contient 2-5% de Cp et de Po en veinules ainsi qu'en disséminations. La zone de pegmatite se poursuit, parallèle à l'allongement de la carotte.
- 12:** {594' à 597' (l=91.44cm)}: Mélanogabbro, grains moyens, contient des pyroxènes (d=2-4mm), dans une matrice plus foncée contenant 2-4% de sulfures ainsi qu'en amas cms.
- 13:** {597' à 600' (l=91.44cm)}: Mélanogabbro, grains moyens, semble avoir un contact parallèle à l'allongement de la carotte, contient 5% de Cp et Po en disséminations ainsi qu'en veinules.
- 14:** {600' à 602' (l=60.96cm)}: Mélanogabbro, grains moyens, avec 5% de leucoxène et quelques phénocristaux de pyroxènes. Contient 5% de Cp et 2% de Po disséminés et en veinules.
- 15:** {602' à 604' (l=60.96cm)}: Gabbro avec 15% de plagioclase et 5-10% de leucoxène., Contient 1% de Cp disséminées et en veinules. Il y a des plans de fractures graphiteux parallèles à l'axe de la carotte.

- 16: {604' à 606' (l=60.96cm)}: Gabbro avec 10% de plagioclase et 3% de leucoxène, grains moyens et de couleur gris noir. On trouve 2% de Cp en petites veinules.
- 17: {606' à 607' (l=30.48cm)}: Gabbro, grains moyens, 5% de Cp et Po disséminés.
- 18: {607' à 609' (l=60.96cm)}: Pyroxénite? mélanogabbro, grains moyens, 2% de Cp en petites veinules et disséminée.
- 19: {609' à 611' (l=60.96cm)}: Pyroxénite?mélanogabbro, grains moyens, 5% de Cp en disséminations et en veinules.
- 20: {611" à 613" (l=60.96cm)}: Pyroxénite? mélanogabbro, grains moyens, couleur gris-noir, contient 2% de Cp disséminée.
- 21: {613' à 615' (l=60.96cm)}: Pyroxénite? mélanogabbro, grains moyens, couleur gris-noir, 5% Cp disséminée et en veinules.
- 22: {615' à 617' (l=60.96cm)}: Pyroxénite? mélanogabbro, grains moyens 5% Cp et traces de Po.
- 23: {617' à 619 (l=60.96cm)}: Pyroxénite? mélanogabbro, grains moyens, contient des amas et des veinules de Cp (5%).
- 24: {619' à 621'9" (l=83.02cm)}: Pyroxénite? mélanogabbro, grains moyens, 3% de Cp et Po disséminés.
- *25: {621'9" à 623'7" (l=55.88cm)}: Gabbro à grains fins . à 621'9", contact marqué par un faible cisaillement et une veine riche en Cp. Intensément altéré.
- 26: {623'7" à 625' (l=43.18cm)}: Gabbro, contient 5% de Cp disséminée et en veinules, grains moyens.
- 27: {625' à 627 (l=60.96cm)}: Mélanogabbro, grains moyens, 20% de plagioclase gris, 1-2% de Cp + Po disséminés. Il y a des variations locales dans la quantité de plagioclase.

***28:** {627' à 628'7" (l=48.26cm)}: Mésogabbro, 25-30% de plagioclase gris, grains moyens, couleur gris-noir., contient 1-2% de Cp+Po disséminé. A 628'6", horizon avec 50% de sulfures, composés essentiellement de Cp (35% Cp et 15% Po) en veinules diffuses.

29: {629' à 632' (l=91.44cm)}:

a) 629' à 630': Mésogabbro, 15-20% de plagioclase, grains moyens, veinule de carbonates avec de la Cp au centre [d=1cm], assez homogène.

b) 630' à 630.5': Mésogabbro avec 25% plagioclase, grains moyens, traces de sulfures disséminés.

c) 630.5' à 631.5': Quelques variations texturales dans le gabbro, probablement causées par des altérations.

d) 631.5' à 632': Enrichissement en plagioclase, 35-40%, traces à 2% de Cp disséminé.

30: {632' à 636' (l=121.92cm)}: Mésogabbro, 30-40% de plagioclase, grains moyens, assez homogène, contient 1-2% sulfures disséminés (surtout Cp).

31: {636' à 639.5' (l=106.68cm)}: Mésogabbro [40-45% plagioclases], contient 2% de leucoxène, grains moyens, 1-2% sulfures disséminés.

32 : {#4, 639.5' à 641.1' (l=48.77cm)}: Mésogabbro, grains moyens.

a) 639.5' à 640': contient 35% de plagioclase, 5% de leucoxène et 5% sulfures disséminés (surtout de la Cp). Il y a quelques minces zones de cisaillements [d<1mm].

*b) 640.0' à 640.5': Horizon de veine qui contient 70% sulfures, dont 30% de Cp en veine dans le gabbro. Contient de la Po, de la Pn, de la Cp, de la sphalérite de la Py et plusieurs grains de MEGP.

c) 640.5' à 641.1': Mésogabbro, avec 5% sulfures disséminés.

33: {641.1' à 643.4' (l=70.1cm)}: Mésogabbro, 40-45% de plagioclase, à grains moyens. Il y a quelques minces cisaillements [d<1mm] et 1-2% sulfures disséminés.

34: {643.4' à 645' (l=48.7cm)}: Mésogabbro, grains moyens.

a) 643.4' à 644.5': Mésogabbro, grains moyens, avec 35-40% de plagioclase altéré. Il contient une veinule de 1mm remplie de Cp, et 1-2% de Cp disséminée.

b) 644.5' à 644.6': Veine en contact net avec le gabbro contenant 60% de sulfures dont 30% de Cp et 30% de Po / Pn et Py.

c) 644.6' à 645': Mésogabbro, 35-40% de plagioclase et 5% de leucoxène, contient des traces de sulfures.

35: {645' à 647' (l=60.96cm)}: Mésogabbro, 35-40% de plagioclase, grains moyens avec minces litages et quelques cisaillements [d=3mm], 1-2% sulfures disséminés.

36: {647' à 649' (l=60.96cm)}: Mésogabbro-leucogabbro, 35-40% de plagioclase, grains moyens, 1-2% sulfures disséminés. Il y a un enrichissement dans le contenu en plagioclase entre 648' et 649' [50%].

37: {#9, 649' à 652' (l=91.44cm)}: Mésogabbro-leucogabbro avec minces litages.

a) 649'-650': contient 50-55% de plagioclase, grains moyens, traces de sulfures disséminés.

b) 650' à 650.2': la composition semble être plus pyroxénitique (ou plus altérée?). Contient 5% de Cp disséminée.

c) 650.2' à 651': le gabbro est plus cisailé avec une texture cataclastique, contient 5% de Cp disséminée.

d) 651.0' à 651.5': mésogabbro avec 50% de plagioclase, grains moyens, trace de Cp.

e) 651.5' à 652': le gabbro est de nouveau cisailé, et contient des sulfures en veinules et en position interstitielle aux silicates. Les sulfures forment 30% de cette section et on y reconnaît 25% de Po + Pn + Py et 5% de Cp. A 651.5', une veine de 1cm à 80% sulfures est présente. Ce gabbro devient par la suite plus riche en pyroxène et à grains plus fins.