

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LE GÎTE À Au-Cu-Mo DE MOP-II (CHIBOUGAMAU, QUÉBEC) :
UN PORPHYRE ARCHÉEN DÉFORMÉ

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR
SYLVAIN LÉPINE

JANVIER 2009

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche est le fruit d'une longue histoire d'amour entre toute l'équipe de SOQUEM INC. district Chibougamau et moi. Durant sept étés de terrains (2000 à 2006) ces gens formidables m'ont enduré, formé et surtout fait énormément confiance. Gros merci à Pierre Folco (ex-directeur régional) celui qui m'a offert ce sujet de recherche, Laury Schmitt (géologue de projet), Jean-François Pouliot (ex-géologue de projet), Philippe D'Amboise (technicien principal), à la très patiente Christiane Compartino (secrétaire), à Roger Laforge (assistant géologue) et Yoland Côté (assistant géologue). La direction de SOQUEM m'a donné un bon support financier et technique alors merci à Yvon Trudeau (directeur adjoint et responsable du bureau de Chibougamau) et Pierre Bertrand (directeur général).

Un immense merci à Michel Jébrak, l'homme aux milles idées et milles passions qui a accepté de me diriger et qui m'a donné un appui inconditionnel malgré son emploi du temps plus que chargé.

Un gros merci à Olivier Côté-Mantha (UQAC) pour les discussions nocturnes sans fin sur la stratigraphie, structure et métallogénie de Chibougamau. Ton point de vue a beaucoup influencé mon travail.....Merci à François Baillargeon (UQAM) qui m'a beaucoup aidé dans le chapitre de la géothermométrie. Merci aussi à Michelle Laithier (UQAM) pour son support technique lors de la préparation d'affiches. Merci au fond québécois de la recherche sur la nature et les technologies et au CONSOREM pour le soutien financier.

La première version de ce document a été grandement améliorée grâce aux correcteurs, donc merci à Réal Daigneault et Stéphane Faure.

Il serait impossible de ne pas mentionner le nom de mes proches qui m'ont soutenu au cours de ces années. Merci à mon père Denis, ma mère Francine, ma sœur Émilie, ma petite puce Florence.... merci aussi à ma copine Geneviève Carignan qui en plus d'avoir enduré mes sauts d'humeurs, a rehaussé considérablement la qualité de ce document.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES SYMBOLES.....	xii
RÉSUMÉ.....	xiii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I	
MISE EN CONTEXTE ET HISTORIQUE DES TRAVAUX.....	3
1.1 Localisation géographique.....	3
1.2 Historique des travaux.....	4
1.3 Objectifs du travail.....	8
1.4 Méthodologie.....	8
CHAPITRE II	
CONTEXTE GÉOLOGIQUE.....	11
2.1 Géologie régionale	11
2.1.1 Cadre stratigraphique.....	11
2.1.2 Évolution structurale.....	14
2.2 Cadre géologique local.....	17
2.2.1 Volcanites mafiques massives et coussinées.....	18
2.2.2 Gabbro.....	21
2.2.3 Brèches	21
2.2.4 Intrusion felsique porphyrique à phénocristaux de quartz et feldspath.....	23
2.2.5 Volcanites foliées.....	23
2.2.6 Schiste à talc-chlorite-carbonates.....	26

CHAPITRE III

PÉTROGRAPHIE, ALTÉRATION ET MINÉRALISATION DE L'INTRUSION

PORPHYRIQUE.....	28
3.1 QFP frais.....	30
3.2 QFP altéré.....	33
3.2.1 QFP silicifié.....	33
3.2.2 QFP silicifié et séricitisé.....	42
3.2.3 QFP chloritisé.....	43
3.3 Mylonite à Qtz-Sr.....	50
3.4 Dyke blanc.....	58
3.5 Dyke rose.....	65
3.6 Rhyolite.....	71

CHAPITRE IV

GÉOCHIMIE.....	72
4.1 Introduction.....	72
4.2 Composition de l'intrusion porphyrique.....	74
4.2.1 Roches effusives.....	69
4.2.2 Roches intrusives.....	70
4.3 Géochimie des unités définies dans l'intrusion felsique.....	77
4.3.1 QFP silicifié et QFP silicifié et séricitisé.....	77
4.3.2 QFP chloritisé.....	77
4.3.3 Mylonite à Qtz-Sr.....	77
4.3.4 Dyke blanc.....	79
4.3.5 Dyke rose.....	79

CHAPITRE V

CARTOGRAPHIE	82
5.1 Introduction.....	82
5.2 Cartographie de la topographie du mort-terrain et du socle.....	83
5.2.1 Topographie de la couverture quaternaire.....	83

5.2.2 Topographie du socle.....	83
5.3 Plan niveau 250m ± 25m.....	87
5.3.1 Cartographie des lithologies.....	87
5.3.2 Cartographie de l'altération et de la déformation.....	89
5.3.3 Cartographie des zonalités métalliques.....	96
5.3.4 Cartographie des unités décrites au chapitre III.....	103
5.4 Section composite 239300 mE ± 50m.....	104
5.4.1 Cartographie des lithologies.....	104
5.4.2 Cartographie de l'altération et de la déformation en section.....	106
5.4.3 Cartographie des zonalités métalliques.....	113
5.4.4 Cartographie des unités décrites au chapitre III.....	120
CHAPITRE VI	
CARTOGRAPHIE DES DIFFÉRENTS TYPES DE MINÉRALISATION	121
6.1 Introduction.....	121
6.2 Description des différents types de minéralisation aurifère et statistiques.....	121
6.2.1 Description des différents types de minéralisation.....	121
6.2.2 Distribution des teneurs en or.....	123
6.3 Cartographie des différents types de minéralisation au niveau 250m ± 25m.....	129
6.4 Cartographie des différents types de minéralisation en coupe 239300 mE ± 50m.....	131
CHAPITRE VII	
GÉOTHERMOMÉTRIE UTILISANT LA CHLORITE.....	133
7.1 Introduction.....	133
7.2 Principes de la géothermométrie utilisant la chlorite.....	134
7.2.1 Caractéristiques de la chlorite.....	134
7.2.2 Calibration empirique du géothermomètre.....	135
7.2.3 Sélection de la méthode la plus appropriée au chlorite du gîte MOP-II.....	136
7.3 Résultats de la géothermométrie des chlorite de MOP-II.....	138

7.4 Résumé des résultats	145
CHAPITRE VIII	
DISCUSSION.....	148
8.1 Revue des observations.....	148
8.1.1 Revue des caractéristiques de chacune des unités.....	148
8.1.2 Revue des zonalités d'altération, de minéralisation et des métaux.....	150
8.2 Paragenèse.....	151
8.2.1 Paragenèse des unités.....	151
8.2.2 Paragenèse de la minéralisation.....	154
8.3 Comparaison de MOP-II avec d'autres types de gisement d'or.....	156
8.3.1 Gîte d'or orogénique.....	156
8.3.2 SMV riche en or.....	157
8.3.3 Porphyre à or-cuivre-molybdène.....	158
CHAPITRE IX	
CONCLUSION.....	162
APPENDICE A	
TABLEAUX ET CARTES DE MEB RELIÉS AU CHAPITRE 3.....	165
APPENDICE B	
ANALYSES À LA MICROSONDE ET DONNÉES LITHOGÉOCHIMIQUES.....	175
RÉFÉRENCES.....	190

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Localisation de la ville de Chibougamau.....	3
1.2 Localisation de la propriété de MOP-II.....	4
1.3 Interprétation des différentes zones de hautes chargeabilités et des zones de cisaillement.....	5
2.1 Géologie de la région de Chibougamau.....	16
2.2 Localisation de l'intrusion porphyrique.....	19
2.3 Géologie du gîte et patron de forage.....	20
2.4 Gabbro chloritisé.....	21
2.5 Brèche à fragments de QFP.....	22
2.6 Brèche à fragments de chert.....	22
2.7 Brèche à fragments de quartz avec matrice fortement séricitisée.....	22
2.8 Volcanites foliées non minéralisées.....	24
2.9 Volcanites foliées minéralisées.....	24
2.10 Microphotographie montrant les chlorites à texture mica fish.....	24
2.11 Microphotographie montrant les bandes riches en séricite.....	25
2.12 Microphotographie d'une section contenant 5% de carbonates.....	25
2.13 Microphotographie montrant des grains de rutile.....	25
2.14 Microphotographie montrant différents aspects des grains de pyrite.....	25
2.15 Schiste à talc-chlorite.....	26
2.16 Microphotographie d'un schiste à talc-chlorite.....	27
2.17 Veines de pyrite-sphalérite-chalcopyrite	27
3.1 Carte des unités.....	29
3.2 Échantillons représentatifs du QFP frais.....	31
3.3 Microphotographie d'une section riche en FP.....	32
3.4 Microphotographie d'un phénocrystal à chlorite-rutile.....	32
3.5 Échantillons représentatifs du QFP altéré.....	36
3.6 Section de forage montrant le QFP silicifié.....	37

3.7	Microphotographie d'une section de matrice du QFP silicifié.....	38
3.8	Analyse d'une section de matrice au MEB.....	38
3.9	Grains de pyrite subautomorphes contenant des inclusions de silicate et de chalcopyrite.....	39
3.10	Phénocristaux de quartz fracturés.....	39
3.11	Section de forage montrant une veine de pyrite massive encaissée à l'intérieur de l'unité grise.....	40
3.12	Microphotographie d'un grain de pyrite cataclaté.....	40
3.13	Observations faites à l'intérieur des veines de pyrite massives.....	41
3.14	Différents faciès de la minéralisation du QFP silicifié et séricitisé.....	45
3.15	Veinules de pyrite-chalcopyrite du QFP silicifié et séricitisé.....	46
3.16	Veinules de molybdénite du QFP altéré.....	47
3.17	Fantôme de plagioclase du QFP silicifié et séricitisé.....	48
3.18	Veinule de molybdénite plissée.....	48
3.19	Sections de forage du QFP chloritisé.....	49
3.20	Section de forage de la mylonite à Qtz-Sr.....	53
3.21	Microphotographie de la mylonite.....	54
3.22	Phénocristaux de quartz dissous de la mylonite.....	55
3.23	Différents faciès de la minéralisation de la mylonite.....	56
3.24	Altération de l'éponte des veines de la mylonite.....	57
3.25	Section de forage montrant le dyke blanc (contacts francs).....	60
3.26	Section de forage montrant le dyke blanc (contacts graduels).....	61
3.27	Chlorite et carbonates d'un dyke blanc.....	62
3.28	Matrice d'un dyke blanc.....	63
3.29	Grains de pyrite zonés d'un dyke blanc.....	64
3.30	Section de forage d'un dyke rose.....	67
3.31	Analyse de carbonates d'un dyke rose.....	68
3.32	Analyse d'une section de matrice d'un dyke rose.....	69
3.33	Grain d'or et de bismuth natif à l'intérieur de grains de pyrite d'un dyke rose.	70
4.1	Localisation des échantillons lithogéochimiques pris à l'intérieur du gîte MOP-II.....	73

4.2	Diagramme de classification des roches intrusive de Streckeisen et al. 1979.....	75
4.3	Diagramme d'affinité alcaline $\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ Vs SiO_2 pour les roches plutoniques.....	75
4.4	Diagramme Y Vs Zr pour les roches plutoniques.....	76
4.5	Diagramme Zr vs TiO_2	76
4.6	Analyse d'une zone minéralisée.....	78
4.7	Diagramme montrant le pourcentage de SiO_2 , Al_2O_3 , CaO et Na_2O de chacune des unités.....	80
4.8	Diagramme montrant le pourcentage de K_2O , MgO , Fe_2O_3 et CO_2 de chacune des unités.....	81
5.1	Carte isocontour de la topographie du secteur du gîte.....	84
5.2	Représentation 3D de la topographie du socle.....	85
5.3	Agrandi de la figure 5.2.....	86
5.4	Carte géologique du niveau 250m.....	88
5.5	Carte de la séricite au plan niveau 250m	90
5.6	Carte de la silice au plan niveau 250m	91
5.7	Carte de la chlorite au plan niveau 250m.....	92
5.8	Carte des carbonates au plan niveau 250m.....	93
5.9	Carte de la déformation au plan niveau 250m.....	94
5.10	Carte des altérations du niveau 250m.....	95
5.11	Carte de la molybdénite au plan niveau 250m.....	98
5.12	Carte de la chalcopyrite au plan niveau 250m.....	99
5.13	Carte de la pyrite au plan niveau 250m.....	100
5.14	Carte des teneurs en or au plan niveau 250m.....	101
5.15	Carte des zonalités métalliques du plan niveau 250m.....	102
5.16	Carte géologique de la section 239300 mE.....	105
5.17	Carte de la séricite de la section 239300 mE	107
5.18	Carte de la silice de la section 239300 mE	108
5.19	Carte de la chlorite de la section 239300 mE	109
5.20	Carte des carbonates de la section 239300 mE	110
5.21	Carte de la déformation de la section 239300 mE	111

5.22	Carte des altérations de la section 239300 mE.....	112
5.23	Carte de la molybdénite de la section 239300 mE.....	115
5.24	Carte de la chalcopyrite de la section 239300 mE.....	116
5.25	Carte de la pyrite de la section 239300 mE.....	117
5.26	Carte de l'or de la section 239300 mE.....	118
5.27	Carte des zonalités métalliques du niveau 250m.....	119
5.26	Carte des unités décrites au chapitre III.....	120
6.1	Moyenne des teneurs en or (type 1 à 4).....	124
6.2	Moyenne des teneurs en or (type 5 à 7).....	125
6.3	Description des types de minéralisation 1 à 3.....	126
6.4	Description des types de minéralisation 4 à 6.....	127
6.5	Description du type de minéralisation 7.....	128
6.6	Carte des différents types de minéralisation au niveau 250 m.....	130
6.7	Carte des différents types de minéralisation à la section 239300 mE.....	132
7.1	Comparaison des températures calculées selon Cathelineau (1988) et Kranodiotis et MacLean (1987).....	139
7.2	Comparaison des températures calculées selon Jowett, E.C (1991) et Kranodiotis et MacLean (1987).....	139
7.3	Composition des chlorites.....	140
7.4	Résultats de l'échantillon 1.....	141
7.5	Résultats de l'échantillon 2.....	142
7.6	Résultats de l'échantillon 3.....	143
7.7	Résultats de l'échantillon 4.....	144
7.8	Résumé des températures calculées.....	146
7.9	Diagramme P/T montrant les résultats calculés.....	147
8.1	Paragenèse des unités.....	155

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1.1 Résumé de l'information disponible concernant le gîte MOP-II.....	7
1.2 Exemple de la base de données.....	9
4.1 Numéros d'échantillons lithogéochimiques correspondant à chacune des unités.....	72
8.1 Résumé de l'altération de chacune des unités.....	148
8.2 Comparaison de MOP-II avec d'autres types de gisement d'or.....	161

LISTE DES SYMBOLES

Au	Or
Ab	Albite
Bi	Bismuth
Bx	Brèche
Cc	Calcite
Cp	Chalcopyrite
Cu	Cuivre
Dol	Dolomite
Dol Fe	Dolomite ferrifère
Diss	Dissémination
FP	Phénocristaux de feldspath
Mo	Molybdénite
Pl	Plagioclase
Py	Pyrite
QFP	Porphyre à phénocristaux de quartz et de feldspath
QP	Phénocristaux de quartz
Qtz	Quartz
Si	Silice
Sr	Séricite
Vnle	Veinule
Vn	Veine

RÉSUMÉ

Le gîte MOP-II est situé à 5 kilomètres au nord-ouest de la ville de Chibougamau, dans la Sous-Province de l'Abitibi. Cette dernière est comprise dans la province du Supérieur. Ce gîte est encaissé à l'intérieur d'une intrusion porphyrique à phénocristaux de quartz et de feldspath de composition tonalitique. Cette intrusion s'est mise en place entre les basaltes de la Formation de Gilman et les roches ultramafiques du Filon-couche de Roberge. La forte altération hydrothermale en silice, séricite, chlorite et carbonates oblitère les caractéristiques primaires du porphyre et rend difficile l'identification du contact entre la tonalite et les faciès volcaniques felsiques adjacents. D'autres lithologies sont observées comme : des brèches, des gabbros et des roches fragmentaires très déformées (tuf à lapilli intermédiaire?).

L'étude pétrographique a permis d'identifier sept unités à l'intérieur du porphyre. L'unité QFP frais représente la tonalite fraîche. À l'intérieur du QFP silicifié, les feldpaths sont visibles et les veinules minéralisées ne sont pas plissées. À l'intérieur du QFP silicifié et séricitisé, les phénocristaux de feldspath sont complètement séricitisés et les veinules minéralisées sont légèrement plissées. Le QFP chloritisé contient de la chlorite en veinules, une forte proportion de calcite, et les veinules de molybdénite observées à l'intérieur de cette unité sont fortement plissées. Une mylonite à quartz et séricite dont les textures primaires du porphyre sont complètement oblitérées par une forte quantité de séricite verte tardive est observée. Les veinules minéralisées contenues à l'intérieur de cette unité sont complètement transposées dans le sens de la schistosité principale. Deux familles de dykes felsiques fortement altérées en séricite, albite et dolomite ferrifère sont identifiées soient : les dykes blancs et les dykes roses.

L'étude minéralogique a permis d'identifier sept types de minéralisations aurifères et cuprifères : **1)** les veinules à Qtz-Py-Cp-Sr associées à la séricite verte de deuxième génération, **2)** les veinules à Qtz-Chl-Py-Cp, **3)** les veines décimétriques à Py-Cp±Bi, **4)** les disséminations à Py-Cp associées aux faciès fortement silicifiés **5)** les disséminations à Py-Cp observées à l'intérieur des faciès fortement chloritisés **6)** les veines de quartz **7)** les brèches à fragments de porphyre minéralisé et à fragments de veines de quartz minéralisées.

Une zonalité des différents faciès d'altération et de minéralisation a clairement été définie. Le cœur du gîte est altéré en séricite et silice (altération phyllique). Les principales enveloppes aurifères se situent au cœur. La périphérie du gîte est altérée en chlorite et carbonates (altération propylitique) et contient le principal de la minéralisation en cuivre et molybdène. À l'extérieur des enveloppes minéralisées, un halo pyriteux stérile est observé.

Le gîte MOP-II est interprété comme un porphyre à or-cuivre-molybdène déformé.

Mots clés : porphyre, or, cuivre, Abitibi, archéen, Chibougamau

INTRODUCTION

Les intrusions felsiques des ceintures de roches vertes archéennes du Bouclier Canadien contiennent d'importants gisements d'or. Plusieurs types de gîtes ont été reconnus à l'intérieur ou intimement reliés à ces roches tels que : les gîtes d'or orogénique ou mésothermaux (Robert 1996; Groves *et al.*, 1998), les amas de sulfures massifs volcanogènes riches en or (Dubé 2007), les gîtes d'or associés à des intrusions porphyriques (Eckstrand *et al.*, 1996). Le travail qui suit a été mené dans le cadre d'une maîtrise en sciences de la Terre à l'UQÀM. Il a comme but de mieux comprendre la mise en place du système minéralisateur du gîte MOP-II.

Ce gîte est situé à 5km au nord ouest de la ville de Chibougamau (figure 1.2), dans la Province du Supérieur (Goodwin et Ridler 1970) et à l'extrémité est de la zone volcanique nord (segment Matagami Chibougamau) (Ludden *et al.* 1986). La région de Chibougamau est reconnue pour ses minéralisations filoniennes à cuivre et or atypiques, interprétées comme l'expression d'un système porphyrique (Pilote *et al.* 1998). Ces gisements sont, pour la plupart, encaissés à l'intérieur des faciès anorthositiques du Complexe du lac Doré et intimement reliés à une phase particulière du pluton de Chibougamau (Daigneault et Allard, 1990).

Le gîte MOP-II est encaissé à l'intérieur d'une intrusion intermédiaire à felsique porphyrique à phénocristaux de quartz et de feldspath de nature tonalitique. Celle-ci a subi une forte altération hydrothermale en silice, séricite, chlorite et carbonates. Le porphyre se présente sous forme de dyke ayant environ 500m de largeur par 1,5 km de long. Il s'est mis en place entre la péridotite du Filon-couche de Roberge et les basaltes de la Formation de Gilman. Au sud du gîte, le contact entre la péridotite et le porphyre est marqué par la faille de McAdam. Cette zone de déformation fait de 2 à 15m de largeur et a une attitude de N240°/70°. D'autres faciès sont aussi présents, tels que : des brèches à fragments de porphyre altéré et minéralisé, des gabbros, des volcanites rhyodacitiques ainsi que des roches fragmentaires fortement déformées (tufs intermédiaires) et des gabbros. La minéralisation se présente sous forme de disséminations, de veinules et de veines qui contiennent des quantités variables d'or natif, de chalcopryrite, de molybdénite, de pyrite et de minéraux de bismuth.

Ressources Flanagan Mc Adam, Muscocho Exploration Ltd et Noranda ont découvert le gîte en 1979. Dix ans plus tard, Flanagan Mc Adam et Muscocho Exploration Ltd. avaient creusé une rampe d'exploration et complété près de 30 000m de forage. Le modèle visé était des zones de cisaillement décimétriques à métriques à fort pourcentage de pyrite et à fortes teneurs en or. Ces zones semblaient discontinues, d'orientations inconnues et très difficiles à suivre. De plus, les teneurs aurifères n'étaient pas nécessairement restreintes aux zones de cisaillement, mais aussi associées aux stockwerks et aux disséminations. Suite aux mauvais résultats obtenus lors de la campagne de forage en 1979, de la faible teneur du gîte (205 743t à 10,53 g/t Au, Flanagan McAdam Ress. Inc – Muscocho Exp Ltd, 1988) et de la baisse du prix de l'or, les travaux ont pris fin en 1989. En 1999, SOQUEM INC. obtient 100% des intérêts sur le gîte. La stratégie est alors d'échantillonner systématiquement tous les forages pour l'or, le cuivre, l'argent, le plomb et le zinc afin de mieux comprendre la distribution des métaux. Le but était de définir un gros volume de roche économique à plus faible teneur (1g/t). Après 6000m de forage, de nouvelles zones aurifères ont été interceptées, mais le gîte reste encore mal compris.

Les questions posées au début de ce travail étaient : 1) est-ce que la minéralisation et l'altération de l'intrusion de MOP-II sont restreintes aux zones de cisaillement ? 2) est-ce qu'il existe une zonalité des faciès d'altération ? 3) est-ce qu'il y a une zonalité des différents métaux tel que l'or, le cuivre et le molybdène ? 4) est-ce que la faille de Mc Adam a servi de conduit pour les fluides minéralisateurs ?

Le texte qui suit débute par l'historique des travaux, les objectifs et les méthodes de travail. Le chapitre II traite du cadre stratigraphique régional et de la géologie locale du gîte. Le chapitre III apporte une description des différentes unités observées à l'intérieur de l'intrusion porphyrique. Le chapitre IV traite de la géochimie des unités. La cartographie des différents faciès d'altération, des zonalités métalliques et différents types de minéralisation sont présentés aux chapitres V et VI. Le chapitre VII traite de la géothermométrie utilisant la chorite. Une discussion axée sur la comparaison de MOP-II avec d'autres types de gisement d'or permet de conclure sur la nature porphyrique du système (chapitre VIII).

CHAPITRE I

MISE EN CONTEXTE ET HISTORIQUE DES TRAVAUX

1.1 Localisation géographique

Le gîte MOP-II est localisé dans le canton McKenzie à 5 km au nord-ouest de la ville de Chibougamau (Figures 1.1 et 1.2). Sa position géographique se situe aux coordonnées 49 degrés 57 minutes 30 secondes de latitude Nord et 74 degrés 25 minutes de longitude Ouest. À partir de la ville de Chibougamau, la propriété est accessible par des routes de gravier ainsi que par de multiples sentiers de véhicule tout-terrain.

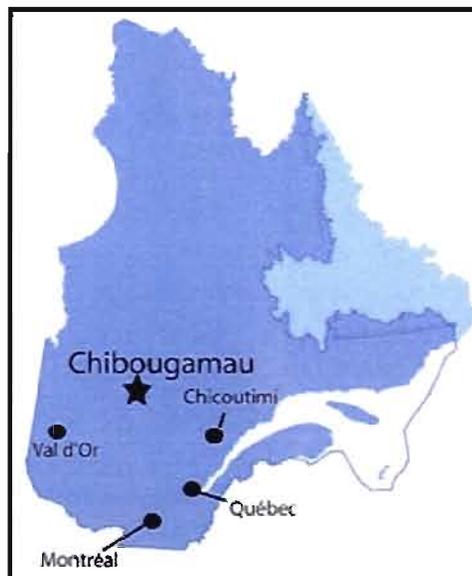


Figure 1.1 Localisation de la ville de Chibougamau

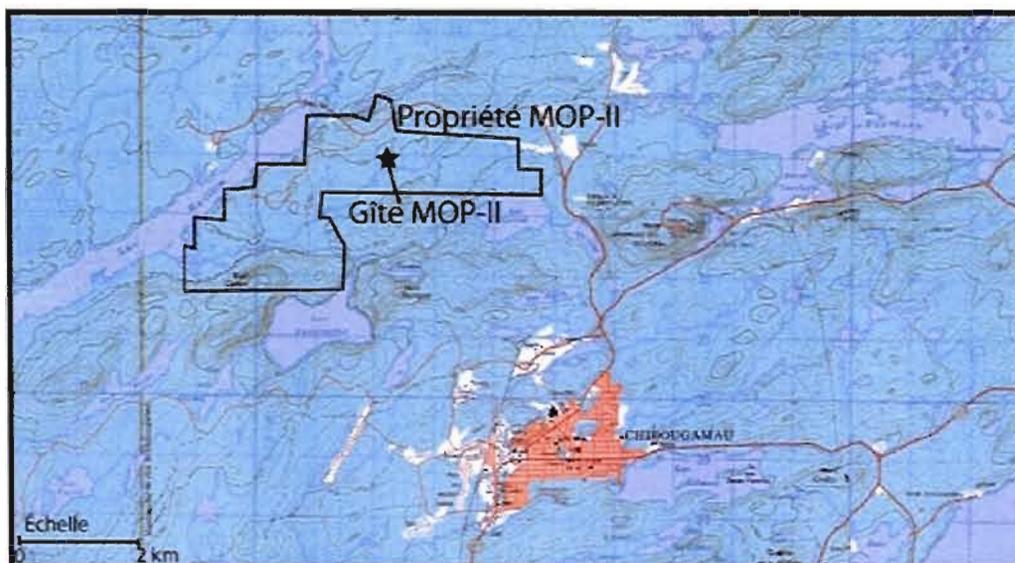


Figure 1.2 Localisation de la propriété et du gîte MOP-II

1.2 Historique des travaux

Le gîte MOP-II est une découverte faite par les compagnies d'exploration Flanagan Mc Adam, Muscocho Exploration Ltd et Noranda. Les premiers travaux remontent à 1978. Suite aux levés électromagnétiques aéroportés exécutés par le ministère de l'Énergie et des Ressources, la compagnie Flanagan McAdam a optionné, à la compagnie Mattagami Lake Mines, plusieurs propriétés afin de couvrir et d'expliquer ces anomalies. La propriété MOP-II située au sud du lac Gwillim, fut la deuxième à être acquise par la compagnie Flanagan. Le nom MOP-II provient de cette propriété (**M**attagami Lake Mines **O**ption **P**roperty).

En 1979, des levés électromagnétiques et magnétiques au sol sont exécutés dans la partie ouest de la propriété. Deux trous de forages (total 757 pieds) ont été faits dans le but d'expliquer ces anomalies (trous MOP2-1 et 2).

En 1981, une portion de la grille a été ajoutée dans le but de couvrir le nord de la propriété. Un levé Max-Min a permis de définir de nouvelles cibles. Quatre sondages (MOP2-3 à 6) pour un total de 1934 pieds ont été forés. En décembre 1981, un levé de mise à la masse a été

exécuté à l'intérieur de deux de ces trous. En 1984, la compagnie Flanagan McAdam a fait d'autres levés électromagnétiques et magnétiques sur la même grille. Les cibles générées ont été couvertes par 14 trous de forage (MOP2-7 à 20) pour un total de 8 229 pieds.

En 1985 et 1986, une grille a été coupée sur le gîte et trente kilomètres sont alors couverts par un levé de polarisation provoquée. Deux zones de haute chargeabilité ont été définies : la North Zone et la South Zone (figure 1.3). Une campagne de douze trous de forage (86-MOP2-1 à 12) a été menée, pour un total de 3 230 mètres.

En 1987, 34 kilomètres ont été couverts par un levé de polarisation provoquée afin de trouver l'extension des zones définies ci-haut. C'est alors qu'une nouvelle zone de haute chargeabilité (New South Zone) fut découverte à l'intérieur du Filon-couche de Roberge (figure 1.3). Dans la même année, 29 trous de forage (87-MOP2-1 à 29) ont été faits pour un total de 7930 mètres.

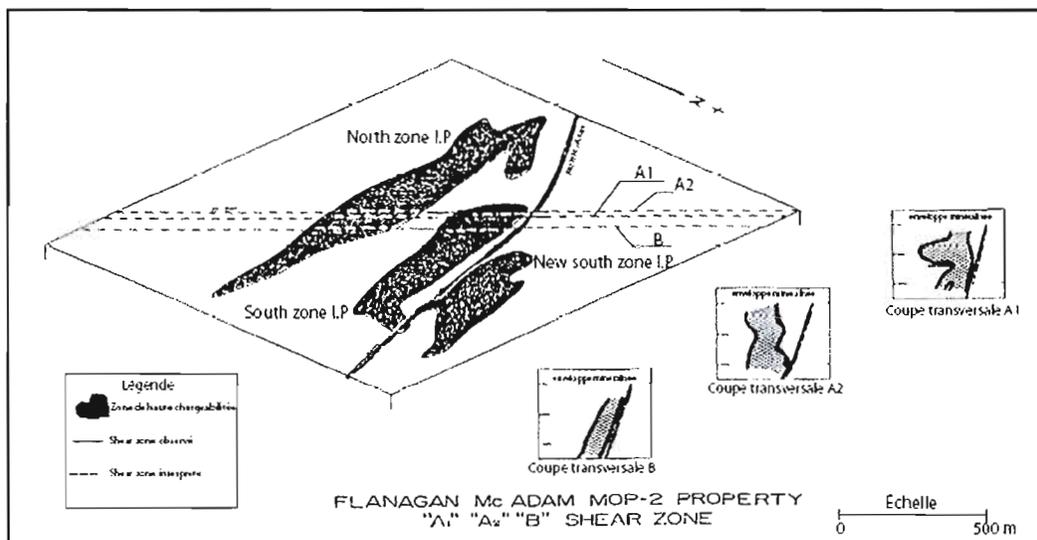


Figure 1.3 : Schéma des différentes zones de hautes chargeabilités et des zones de cisaillement. (modifié de Cashin 1988)

En 1988, les compagnies possédant les droits sur le gîte MOP-II sont : Flanagan McAdam (43 1/3%), Muscocho Exploration Ltd. (43 1/3%) et Noranda (13 1/3%). Durant cette année,

65 trous de forage (88-MOP2-1 à 65) ont été exécutés pour un total de 11 500 mètres. Ces trous ont vérifié les Zones South et New South. En novembre, une rampe d'exploration a été excavée afin de tester en profondeur les zones minéralisées interceptées subséquentement. Ces zones nommées A1, A2 et B étaient interprétées comme des zones de cisaillement décimétriques à métriques contenant de 5 à 35 % pyrite d'orientation N315° à fort pendage vers le nord (figure 1.3). À l'intérieur de la rampe, 23 trous (88-MOP2-UG1 à 23) ont été forés. Ces derniers présentent une longueur variant entre 26 et 121 m avec une plongée subhorizontale. Une cartographie détaillée de la rampe a aussi été faite durant cette année. Une réinterprétation des zones minéralisées suggère que l'orientation moyenne des zones de cisaillement est est-ouest à est-nord-est (Medd, 1989) et non nord-ouest comme décrit par Cashin 1988.

En 1989, trois trous (89-MOP2-1 à 3) sont exécutés au nord-est de la rampe. L'objectif de ces travaux était de tester une zone de haute chargeabilité associée avec une zone de haute résistivité. Comme les 3 trous ont rapporté de très faibles valeurs en or, la campagne de forage a subitement pris fin. De plus, à cause de la baisse du prix de l'or et du faible tonnage du gîte (205 743t à 10,53 g/t Au, Flanagan McAdam Ress. Inc – Muscocho Exp Ltd, 1988), la compagnie Flanagan McAdam a arrêté les travaux.

De 1997 à 1999, SOQUEM INC. a jalonné une série de claims et a obtenu 100 % des intérêts sur ce gîte. En 2000, il y a signature d'une convention d'option entre SOQUEM INC. et Ressources Itaminéraque inc. Cette dernière société, a la possibilité d'acquérir des intérêts en contrepartie d'un investissement en travaux d'exploration. Durant cette année, SOQUEM INC. récupère 8 anciens forages de Flanagan McAdam et effectue un rééchantillonnage (440 éch. pour 1 334 m) afin de vérifier la fiabilité des teneurs rapportées. Les forages récupérés sont les suivants : (89-MOP-2-1 et 2, 88-MOP2-49, 88-MOP2-50, 88-MOP2-55, 88-MOP2-56, 88-MOP2-57 et 88-MOP2-60. Les autres ne sont plus disponibles.

Durant cette même année trois nouveaux forages (1206-01-01 à 1206-01-03) totalisant 1 240 m ont été faits à l'est et à l'ouest du gîte afin de trouver d'autres zones minéralisées dans l'extension du gîte. En 2001, SOQUEM INC. a effectué une coupe de ligne de 28 km

suivie de levés de polarisation provoquée (27,5 km) et de magnétométrie (26,3 km). En 2004, Ressources Itaminéraque inc. a effectué une étude pétrographique et une modélisation 3D du gîte. Suite à ceci, 17 trous de forage ont été implantés (1206-04-04 à 1206-04-20) d'une longueur totale de 4 897.6 mètres. Une liste des documents disponibles à l'étude du gîte MOP-II est présentée à l'intérieur du tableau 1.1.

Catégorie	Description
Trous de forage	<ul style="list-style-type: none"> — Les carottes de 28 trous de forage : (1206-00-01 à 03, 1206-04-04 à 20, 89-MOP-2-1 et 2, 88-MOP2-49, 88-MOP2-50, 88-MOP2-55, 88-MOP2-56, 88-MOP2-57 et 88-MOP2-60) — Les descriptions géologiques (log) de 169 trous de forage = (MOP-2-1 à 20, 86-MOP2-1 à 12, 87-MOP2-1 à 29, 88-MOP2-1 à 65, 88-MOP2-UG1 à 23, 89-MOP2-1 à 3, 1206-01-01 à 1206-01-03, 1206-04-04 à 1206-04-20).
Rapports géologiques	<ul style="list-style-type: none"> — Rapport de forage de l'année 1987 par Flanagan McAdam — Rapport de forage de surface de l'année 1988 par Flanagan McAdam — Rapport d'exploration sous-terrain de l'année 1988 par Flanagan McAdam — Rapport d'exploration de surface de l'année 1989 par Flanagan McAdam — Rapport d'exploration de surface de l'année 2000 par SOQUEM INC. — Rapport de forage de surface de l'année 2004 par SOQUEM INC.
Études	<ul style="list-style-type: none"> — Étude pétrographique de Ressources Itaminéraque 2004 avec 44 sections polies — Modélisation 3D des teneurs aurifères de Ressources Itaminéraque 2004

Tableau 1.1 : Résumé de l'information sur le gîte MOP-II

1.3 Objectifs du travail

Ce travail a trois objectifs principaux :

- 1) Définir les différentes phases présentes à l'intérieur de l'intrusion porphyrique (présence de dyke?) et créer différentes unités en fonction des faciès d'altération. Cartographier ces différentes phases et unités afin de définir les zonalités d'altération;
- 2) Décrire les différentes formes que prend la minéralisation en or, en cuivre et en molybdène et définir, s'il y a lieu, des zonalités métalliques;
- 3) Définir le type de minéralisation : zone de cisaillement aurifère, porphyre à or-cuivre-molybdène ou racine épigénétique d'un amas sulfuré riche en or?

1.4 Méthodologie

Pour répondre au premier objectif du projet, quatre étapes ont été nécessaires :

- 1- Observer la carotte des 28 trous de forages entreposés chez SOQUEM INC (été 2005 et 2006).
- 2- Définir différentes unités observées à l'intérieur de l'intrusion porphyrique (chapitre III). Prendre des échantillons lithogéochimiques (total de 25 échantillons analysés pour les éléments majeurs et traces) à l'intérieur de chacune des unités (chapitre IV). Ces échantillons ont été analysés au laboratoire ALS CHEMEX à Val d'Or.
- 3- Mettre en plan les différents faciès d'altération à partir de la base de données de SOQUEM INC (chapitre V). Comme la majorité des carottes de forage a été détruite, (141 forages /169 forages) la seule façon de cartographier l'altération est de faire une base de donnée à partir des journaux de sondage. Ceci a été fait par SOQUEM en 2004. Chaque intervalle « homogène » a été classifié de 1 à 5 pour chacun des différents faciès d'altération décrits (silicification, séricitisation, chloritisation et carbonatation) et aussi pour le pourcentage de chalcoppyrite, de pyrite et de molybdénite observé. Comme par exemple, un intervalle ayant cette description

«intrusion porphyrique contenant 15% de veinules de chlorite et réagissant faiblement au HCL» aurait été classé 1/5 pour la carbonatation et 5/5 pour la chloritisation. Le tableau 1.2 montre un exemple de cette base de données. À l'intérieur des 169 sondages, 7847 intervalles ont été caractérisés.

Forage	De (m)	À (m)	Silicification	Chloritisation	Séricitisation	Carbonatation
1206-04-05	0	2,4	0	0	0	0
1206-04-05	2,4	30	1	1	2	1
1206-04-05	30	75,6	0	0	0	0
1206-04-05	75,6	139	0	5	0	1
1206-04-05	139	240,5	3	1	5	1

Tableau 1.2 : Exemple de la base de données qui a servit à cartographier les différents faciès d'altération.

Des mailles par interpolation ont été créées pour chaque faciès d'altération à l'aide des logiciels Map Info et Discover. Ces cartes sont présentées au chapitre 5 :

- Figures 5.5 à 5.9 pour la zonalité des altérations au plan niveau 250m \pm 25m;
 - Figures 5.11 à 5.14 pour la zonalité des métaux au plan niveau 250m \pm 25m;
 - Figures 5.17 à 5.21 pour la zonalité des altérations à la section 239300mE \pm 50m;
 - Figures 5.23 à 5.26 pour la zonalité des métaux à la section 239300mE \pm 50m.
- 4- Faire une synthèse de ces différentes cartes afin de présenter une vue du gîte MOP-II en plan (plan niveau 250m : figure 5.10 pour l'altération et figure 5.15 pour la minéralisation) et en section (section 239300 mE : figure 5.22 pour l'altération et figure 5.28 pour la minéralisation).
- 5- À l'aide de ces cartes, présenter une cartographie des unités définies à l'étape #2.

Pour répondre au deuxième objectif, trois étapes ont été nécessaires :

- 1- Décrire 150 échantillons ayant rapportés des teneurs fortement anormales en or (> 500 ppb Au) et cuivre (> 1 000 ppm Cu). Par la suite, établir les différents types de minéralisation d'or, de cuivre et de molybdène.;

- 2- Mettre en plan les différentes zonalités minéralogiques (Au, Cu, Mo) en utilisant à la fois : la base de donnée de SOQUEM INC. et la cartographie des différents types de minéralisation décrits précédemment (chapitre VI);
- 3- Avec l'étude à la microsonde des différentes générations de chlorite observées à l'intérieur des sections polies, estimer la température de formation des zones minéralisées et de métamorphisme des unités (chapitre 7). Ces analyses ont été faites à l'université Mc Gill, à l'aide d'une microsonde de type JEOL 8900.

Les observations faites à l'intérieur de cette thèse sont rassemblées à l'intérieur du tableau 8.2. Cette synthèse permettra de faire ressortir les ressemblances et les différences entre MOP-II et les gîtes porphyriques, les gîtes d'or orogéniques et les sulfures massifs volcanogènes riches en or afin de répondre à l'objectif 3.

CHAPITRE II

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

2.1 Géologie régionale

2.1.1 Cadre stratigraphique

La région de Chibougamau se situe à l'intérieur de la Province du Supérieur (Goodwin & Ridler, 1970), dans la Sous-province de l'Abitibi, à l'extrémité est de la zone volcanique nord (segment Matagami Chibougamau) (Ludden *et al.*, 1986).

Le gîte MOP-II est encaissé à l'intérieur d'un centre volcanique majeur comprenant deux cycles distincts (figure 2.1). Ces cycles forment le Groupe de Roy et passent chacun de mafique à felsique. Sur celui-ci repose en discordance la séquence volcano-détritique du Groupe d'Opémisca.

Le premier cycle comprend deux formations. À la base, la Formation d'Obatogamau forme d'importantes épaisseurs (jusqu'à 4km) de basaltes massifs et coussinés porphyriques d'affinités tholéitiques (Daigneault et Allard, 1990). Au-dessus, se trouve la Formation de Waconichi composée de rhyolite et de volcanoclastites felsiques. Cette dernière est interprétée par Allard et Gobeil (1984) comme étant le produit de plusieurs petits centres volcaniques felsiques ponctuels.

Le deuxième cycle comprend aussi deux formations, soit celles de Gilman et de Blondeau. La première se compose essentiellement de basalte coussiné aphyrique. La Formation de Gilman peut être divisée en deux membres : le Gilman supérieur constitué de basalte d'affinité tholéiitique et le Gilman inférieur composé d'andésite à affinité calco-alcaline (Leclerc *et al.*, 2006). La Formation de Blondeau est, pour sa part, composée de volcanoclastites intermédiaires à felsiques. Les principaux faciès reconnus sont des tufs felsiques, des grès volcanogènes, des shales graphiteux et des laves rhyodacitiques.

La transition entre le Groupe de Roy et d'Opémisca se fait par la Formation de Bordeleau (Dimroth *et al.*, 1883). Cette dernière se compose de tufs, de grès feldpathique et de conglomérats riches en fragments de laves porphyriques felsiques (Daigneault, 1991). Le Groupe d'Opémisca comprend les Formations de Stella, Haüy et Chebistuan qui sont constituées de roches épiciastiques avec quelques coulées de laves andésitiques.

La Formation de Blondeau est l'hôte de trois filons-couches différenciés nommé Complexe de Cummings (Duquette, 1976). Ce dernier comprend de la base au sommet : le Filon-couche de Roberge, de Venture et de Bourbeau. Une description des différentes intrusions est faite ci-dessous.

- Roberge : Cette intrusion se compose de dunite, de pyroxénite et de wehrlite. Cette dernière est observée dans le mur du gîte MOP-II.
- Venture : Cette intrusion se compose de pyroxénites, gabbros foliées et poikilitiques et localement des gabbros granophyriques.
- Bourbeau : Cette intrusion est la plus évoluée, se composant de pyroxénite, leucogabbro, ferrodiorite et gabbro à quartz.

Une autre intrusion majeure est présente à Chibougamau. Il s'agit du Complexe du lac Doré mis en place à la base de la Formation de Waconichi (Chown *et al.*, 1998). Cette intrusion anorthositique stratiforme s'est formée à partir d'un magma tholéiitique semblable à celui qui a produit les basaltes de la Formation d'Obatogamau (Chown *et al.*, 1998). La stratigraphie détaillée du Complexe est présentée dans Daigneault et Allard, (1990) et montre une variété

de faciès passant de péridotite à granophyre. L'anorthosite est de loin le faciès le plus présent. Ce dernier est l'hôte de nombreux gisements filoniens à cuivre-or exploités de 1954 à aujourd'hui.

La région contient plusieurs intrusions felsiques. Une classification de ces granitoïdes a tout d'abord été proposée par Racicot et al. (1984) et modifiée par Chown *et al.*, (1990) et (1992); et Chown et Mueller, (1992).

Il existe trois catégories de pluton : les plutons synvolcaniques (pré-tectoniques), les plutons syntectoniques et les plutons post-tectoniques. Les plutons synvolcaniques sont généralement des tonalites-diorites. Les plutons syntectoniques sont généralement des tonalites, granodiorites et des monzodiorite. Les intrusions post-tectoniques sont généralement des granodiorites ou des syénites-carbonatites (Chown et al., 1998).

Dans le cadre d'une étude comme celle-ci, traitant de la métallogénie d'une intrusion felsique, il est primordial de faire une brève description du pluton de Chibougamau. Le pluton de Chibougamau occupe la zone axiale de l'anticlinal de Chibougamau. Cette intrusion est d'affinité calco-alcaline et est daté à 2717 Ma (Krogh, 1982). Le pluton de Chibougamau est aussi associé à plusieurs dykes qui recoupent les unités du pluton ainsi que l'anorthosite du Complexe du Lac Doré. Ces dykes sont le sujet de plusieurs études (Blecha, 1966, Maillet, 1978). La relation de recoupement entre ces dykes et les veines de sulfures encaissées à l'intérieur de l'anorthosite suggère qu'une phase particulière du pluton de Chibougamau soit associée à ces minéralisations (Pilote, 1998).

La région a aussi plusieurs familles de dykes porphyriques encaissés à l'intérieur des unités appartenant au deuxième cycle volcanique. Dans le secteur Richardson, Daigneault et Allard (1990) décrivent des dykes porphyriques à phénocristaux de quartz et de feldspath à l'intérieur de la Formation de Gilman. Ces dykes sont interprétés comme étant des conduits nourriciers pour les roches felsiques de la Formation de Blondeau (Daigneault et Allard, 1990). Comme nous le verrons plus loin, il y a de fortes ressemblances entre l'intrusion de MOP-II et ces dykes.

2.1.2 Évolution structurale

Les roches volcaniques et sédimentaires de la région de Chibougamau forment un large synclinorium encaissé à l'intérieur de gneiss tonalitique (figure 2.1) (Dimroth *et al.*, 1984). La verticalisation des couches est dû aux grands plis régionaux E-W. Les synclinaux renferment des roches sédimentaires plus jeunes et sont associés à une schistosité de plan axiale (Daigneault, 1991). Le cœur des anticlinaux est, pour sa part, occupé par des plutons précoces ou des failles longitudinales E-W (Chown *et al.*, 1998).

L'orogénie kénoréenne a métamorphisé les roches de la région au faciès des schistes verts (Duquette, 1970). Chown *et al.* (1992) ont suggéré une période de déformation liée à cette orogène entre 2705 et 2690 millions d'années.

La région de Chibougamau a subi les 4 phases de déformation suivantes (Daigneault, 1991) :

- D1 : Phase responsable du plissement pré-déformation régionale générant de grandes flexures d'orientation N-S sans toutefois créer de schistosité.
- D2 : Phase dite de la déformation régionale responsable des plis E-W et de la schistosité de flux reliée à ces grandes structures.
- D3 : Phase représentant la suite de la déformation régionale D2. Elle se caractérise par la présence d'un clivage de crénulation NE subvertical manifesté à l'intérieur des couloirs de déformation.
- D4 : Phase reliée à l'orogénèse Grenvillienne. Elle affecte considérablement les unités situées de 2 à 5 km du front de Grenville.

Quatre familles de failles ont été reconnues dans la région (Daigneault et Allard, 1984, Dimroth *et al.*, 1984). La description de ces failles est tirée de Chown *et al.* (1998).

- 1- Les failles E-W sont très répandues à travers la Sous-province de l'Abitibi. Elles ont une largeur qui varie de 100 à 1000m. Les mouvements interprétés sont majoritairement inverses et représentent le stade final de raccourcissement associé à la déformation régionale D2.
- 2- Les failles SE-NW se retrouvent principalement à l'intérieur du camp minier de Chibougamau. Ces dernières sont interprétées comme étant des failles synvolcaniques reprise par la déformation régionale. Elles peuvent avoir une largeur de plus de 300m.
- 3- Les failles NE-SW sont plus jeunes que les deux premières. La principale est la faille Gwillim qui fait 150km de longueur.
- 4- Les failles NNE-SSW sont les plus jeunes et sont associées à l'orogénèse grenvillienne. Elles deviennent de plus en plus abondantes à l'approche du front de Grenville.

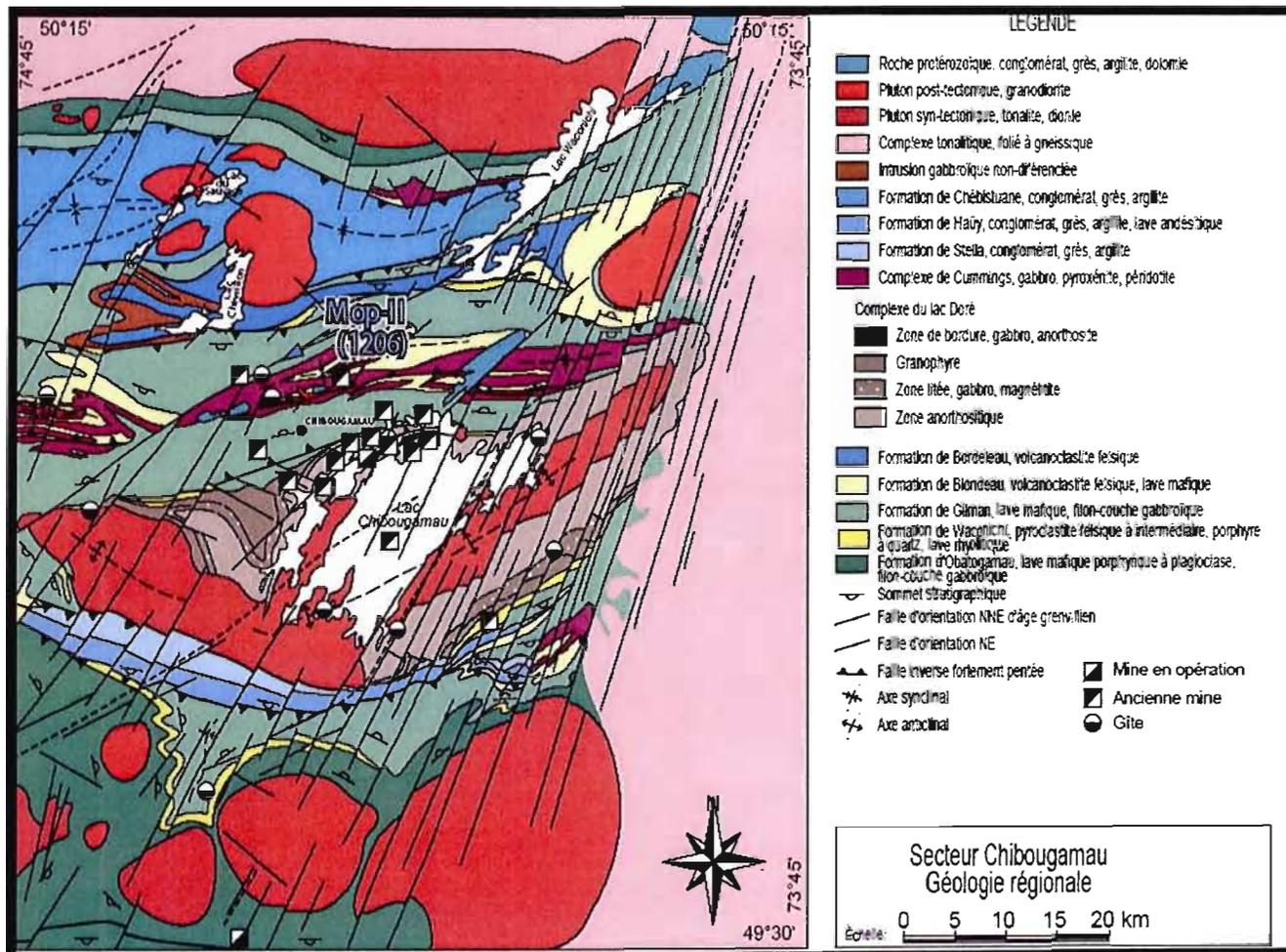


Figure 2.1 : Géologie de la région de Chibougamau et position des mines en opération, fermé et des principaux gîtes. (figure de SOQUEM INC. Modifié de Daigneault et Allard, 1990)

2.2 Cadre géologique local

Le gîte Mop-II est localisé sur le flanc nord de l'anticlinal de Chibougamau, à environ un kilomètre au nord du synclinal de Chibougamau (figure 2.2). Une description du contexte géologique local est présentée du nord vers le sud. Le dépôt polymétallique (Au-Cu±Mo) est situé à trois kilomètres au sud-est de la mine Gwillim (production : 247 787 t à 3.69 g/t Au et réserves : 306 629 t à 10,3 g/t Au). Bouchard (1986) a décrit les lithologies, les structures et les types de minéralisations présentes dans l'immédiat de la mine. Le gisement de Gwillim est encaissé à l'intérieur de la Formation de Gilman. Différentes unités y sont observées: des laves basaltiques et andésitiques, des dykes gabbroïques, des dykes felsiques porphyriques, des horizons de tufs et de brèches (Bouchard, 1986). La faille du Lac Gwillim, une structure majeure, sépare le gisement Gwillim du gîte MOP-II. Cette faille a été reconnue sur une distance de 100 km et montre un déplacement apparent senestre de quelques kilomètres de part et d'autre de la faille (Daigneault, 1991). Selon Bouchard (1986), cette faille est tardive aux minéralisations syn-orogéniques décrites à la mine Gwillim.

Dans le secteur du gîte MOP-II, la stratigraphie est mal définie. Ceci s'explique par le faible pourcentage d'affleurement disponible. Les bordures est, nord et ouest de l'intrusion porphyrique, dans lequel le gîte MOP-II est encaissé, sont décrites (en forage) comme une zone de mélange. Cette zone contient une concentration variable de dykes felsiques porphyriques qui recourent les unités volcaniques et pyroclastiques appartenant aux Formations de Gilman et de Blondeau (figure 2.2). En s'approchant du cœur du gîte, la lithologie prédominante est une roche intrusive felsique porphyrique à quartz et feldspaths (figures 2.2 et 2.3). Cette intrusion a été reconnue sur 1,5 km x 0,3 km. La géologie du gîte sera décrite en détail à la section 2.2.1. ainsi qu'à l'intérieur des chapitres subséquents. L'extrémité sud du gîte est délimitée par la faille McAdam. Cette dernière représente une zone fortement déformée, altérée contenant plusieurs lithologies. On y observe des lambeaux de QFP, de basalte, de tuf et de pyroxénite. La faille a une attitude moyenne de N240°/70°. La présence d'unité appartenant à la Formation de Blondeau est douteuse dans le gîte MOP-II. À cause de la déformation reliée à la faille McAdam, certaines unités sont difficiles à

identifier. Le mur de cette faille est principalement constitué de pyroxénite appartenant au Filon-couche de Roberge.

Sur le flanc sud du synclinal de Chibougamu, à 1,5 km au sud-est du gîte MOP-II, le gîte Berrigan (ressources : 840 974 tm à 2,4 g/t Au et 4,12 % Zn) est encaissé à l'intérieur du Filon-couche de Roberge. Selon Pilote (1998), les roches mafiques à ultramafiques du complexe de Cummings sont des unités à fort potentiel pour la recherche de gîtes d'or, ceci à cause de la grande compétence et du comportement rhéologique de ces unités.

L'enveloppe contenant des teneurs aurifères anormales est présentée en pointillé rouge sur la figure 2.3. Le nord de l'intrusion porphyrique présente des teneurs anormales en cuivre. Dans le cadre de cette étude, les limites physiques du gîte seront les suivantes :

- Limite est = forage 1206-00-01
- Limite ouest = forage 1206-04-19
- Limite sud = la faille de Mc Adam
- Limite nord = Contact intrusion felsique et zone de mélange.

2.2.1 Volcanites mafiques massives et coussinées :

Ces roches sont observées principalement dans la partie nord du gîte. La roche est généralement à grains fins de couleur vert moyen à vert foncé. Les principaux faciès observés sont massifs et coussinés Cashin (1988). Les bordures de coussin sont généralement moyennement chloritisées, carbonatées et épidotisées. Les amygdules observées près des bordures de coussin, sont remplies de calcite et d'épidote. La matrice est faiblement à fortement altérée en chlorite. Plusieurs familles de fractures montrent un remplissage en calcite, en quartz et en hématite.

Localement, on y observe des zones de cisaillement fortement altérées en silice, en ankérite, en séricite, en chlorite et localement en fuschite. Ces cisaillements forment la « North Zone gold mineralization » décrite par Cashin (1987) (figure 1.3).

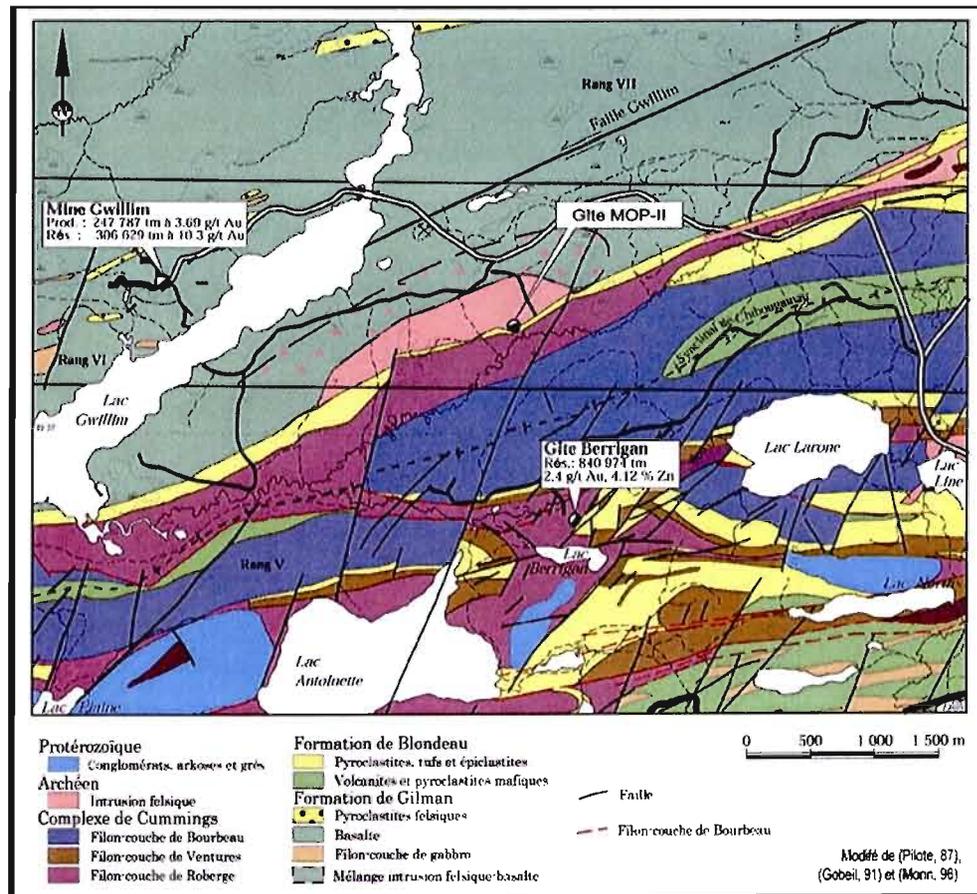


Figure 2.2 : Le gîte MOP-II est situé à 1 km au nord du synclinal de Chibougamau. La faille du Lac Gwllim sépare MOP-II du gisement de la mine Gwllim, encaissé dans la Formation de Gilman. À 1,5 km au sud, le gîte Berrigan est encaissé dans la formation de Roberge.

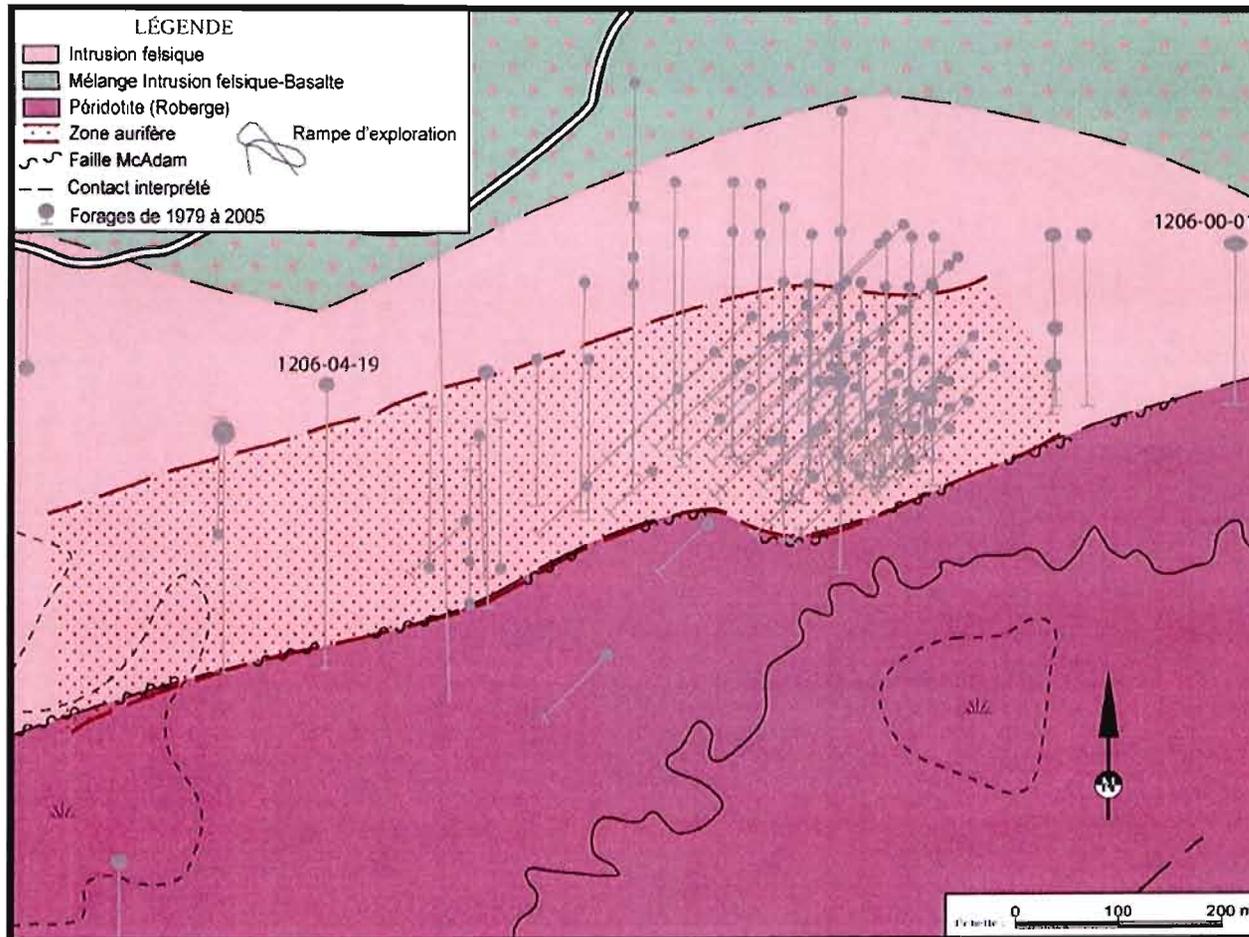


Figure 2.3 : Le gîte MOP-II est encaissé à l'intérieur d'une intrusion porphyrique à phénocristaux de quartz et feldspath. Ce QFP est compris entre les unités volcaniques et volcanoclastiques mafiques de la Formation de Gilman et les unités ultramafiques du Filon-couche de Roberge. Le contact sud du gîte est marqué par la faille de McAdam qui forme une virgation au niveau du gîte.

2.2.2 Gabbro

Ce faciès se présente sous forme de dykes ayant généralement une largeur de 1 à 5 m. La roche est à grains fins à moyens, de couleur vert moyen à foncé et localement magnétique. Les pyroxènes, qui avaient une grosseur de 1 mm et qui représentaient 20% de la roche, sont complètement altérés en chlorite. Ceci donne un aspect « tacheté » au gabbro (figure 2.4). La schistosité y est très faiblement développée. Très peu de minéralisation est décrite à l'intérieur de cette unité lithologique.



Figure 2.4: Gabbro chloritisé encaissé dans un horizon de QFP séritisé

2.2.3 Brèches

Cette unité de brèche se compose de 3 à 25 % de fragments de roche anguleux à subanguleux. La nature des fragments est très diversifiée : roche intrusive felsique porphyrique (figure 2.5), volcanite felsique, chert (figure 2.6), volcanite mafique et même de quartz (figure 2.7). La taille des fragments est aussi très variable, de 1 à > 10 cm de diamètre.

Selon Cashin (1987), il existe une zonalité dans l'unité de brèche, du nord vers le sud. Généralement, les brèches à fragments felsiques sont observées au nord du gîte et les brèches à fragments mafiques, au sud adjacents à la faille McAdam.

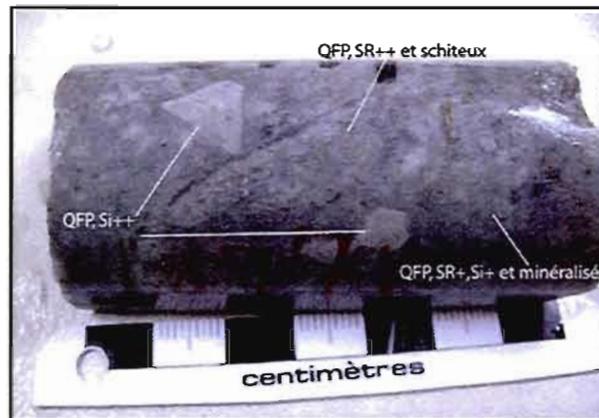


Figure 2.5 : Brèche à fragments de QFP

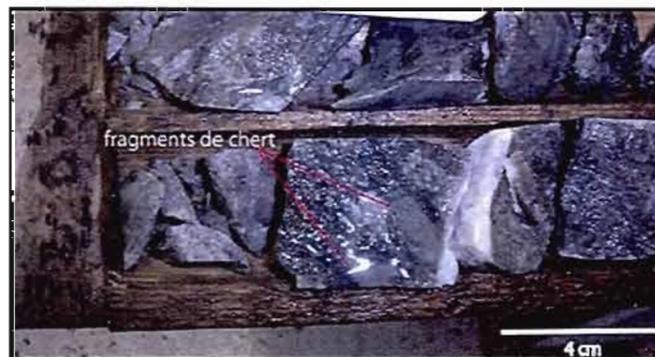


Figure 2.6 : Brèche à fragments de chert



Figure 2.7 : Brèche à fragments de quartz minéralisés avec matrice fortement séricitisée

2.2.4 Intrusion felsique porphyrique à phénocristaux de quartz et feldspath

La minéralisation aurifère de MOP-II est principalement encaissée à l'intérieur de cette roche felsique. Cette intrusion a subi une altération hydrothermale très pénétrative qui lui a causée une silicification, une séricitisation, une carbonatation et une chloritisation très intense. Étant donné la complexité pétrographique de cette unité, un chapitre (chapitre III) est consacré à la description complète de celle-ci.

2.2.5 Volcanites foliées

Cette unité est constituée d'une roche rubanée verte foncée à verte pomme très déformée. Elle représente une zone de cinq à dix mètres de largeur. Cette dernière est située entre l'intrusion porphyrique et la faille de McAdam. Cette unité fait donc la transition entre l'enveloppe minéralisée et le mur stérile du gîte. Les teneurs aurifères sont très variables et irrégulières à l'intérieur de ces volcanites. Dans les rapports de forage des différentes compagnies, cette unité porte différents noms : « tuf intermédiaire, tuf mafique, ou volcanite mafique ». Ceci est dû au niveau de déformation très élevé qui rend l'identification du protolithe très difficile (figures 2.8 et 2.9). Pour cette raison, dans le cadre de cette étude, nous allons garder le terme descriptif « volcanites foliés ». En micrographie on observe le très fort degré de déformation de cette unité. Les bandes vertes foncées sont composées de chlorite, quartz et séricite. Les grains de chlorite montrent des textures de mica fish (figure 2.10). Comme les échantillons (prélevés en forage) ne sont pas orientés, il est impossible d'en tirer des conclusions sur la cinématique de cette zone de déformation. Les bandes vertes pommes sont principalement composées de séricite verte ayant une biréfringence très élevée dans les couleurs de rose orangé à bleu (figure 2.11).



Figure 2.8 : Volcanites foliées non minéralisées

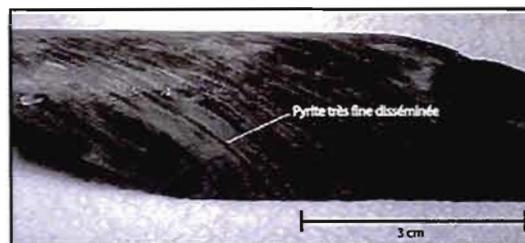


Figure 2.9 : Volcanites foliées contenant 15% de pyrite finement disséminée.

Les volcanites foliées sont fortement carbonatées. En microscopie, on observe de 5 à 10% de calcite et carbonates ferromagnésiens disséminés principalement à l'intérieur des zones riches en chlorite (figure 2.12). De plus, elle contient une teneur en zirconium et titane relativement élevée (164 ppb Zr et 0,55% TiO_2), à comparer aux autres unités observées à l'intérieur du gîte (environ 100 ppb Zr et 0,28% TiO_2). En lumière réfléchiée, on observe environ 5% de rutile très finement disséminé à l'intérieur de la matrice (figure 2.13).

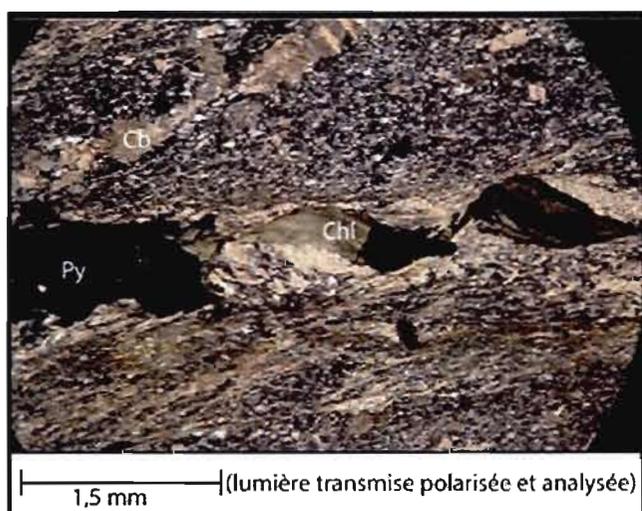


Figure 2.10 : Microphotographie montrant les chlorites à texture mica fish.

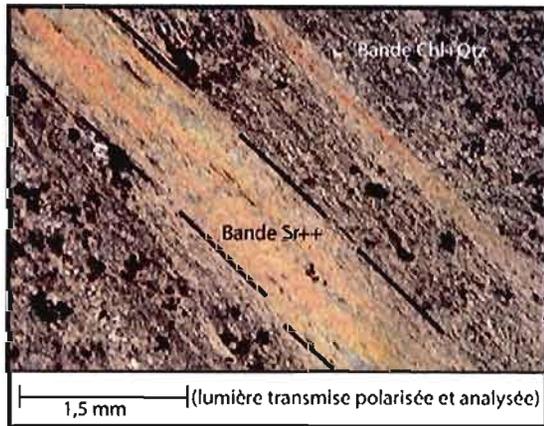


Figure 2.11 : Microphotographie montrant les bandes riches en séricite alternant avec des zones constituées de chlorite-quartz.

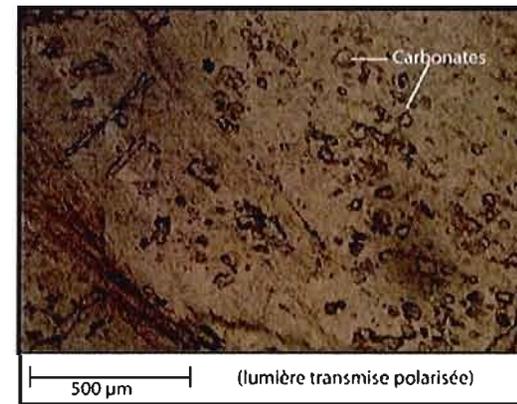


Figure 2.12 : Microphotographie d'une section contenant 5% de carbonates disséminés.

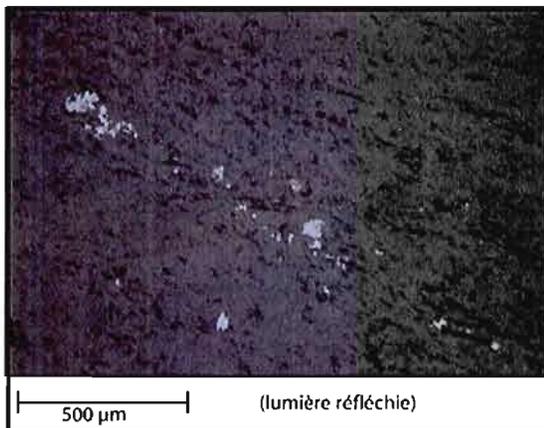


Figure 2.13 : Photo montrant des grains de rutiles finement disséminés à l'intérieur de la matrice.

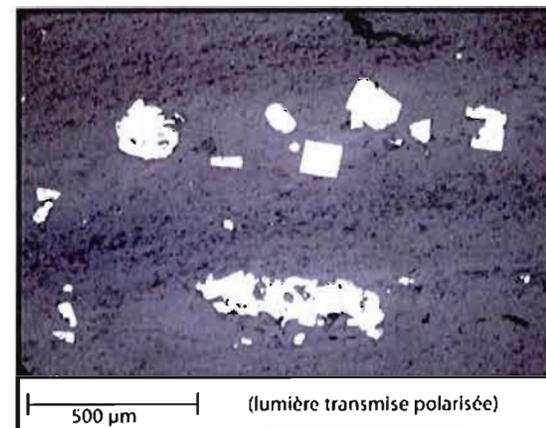


Figure 2.14 : Microphotographie montrant différents aspects des grains de pyrite.

Le cortège métallique est essentiellement composé de pyrite qui forme environ 3% de l'unité et de rares traces de chalcopryrite. Les grains de pyrites se présentent sous différentes textures : automorphe à xénomorphe, avec ou sans inclusions de silicates (figure 2.14). Ces derniers ont une taille moyenne de 50 à 500 μm .

2.2.6 Schiste à talc-chlorite-carbonates

Cette roche à grains fins, noire est principalement composée de talc, de chlorite et de carbonates et se présente sous forme de veines (figure 2.15). La schistosité y est très bien développée. Le protolithe de cette unité est une roche ultramafique appartenant au Filon-couche de Roberge, qui forme la partie basale du Complexe de Cummings.

Les teneurs anormales en or et métaux de bases sont rares mais pas absentes à l'intérieur de cette unité. Des teneurs en or sont observées à l'intérieur du trou de forage 88-MOP-2-57 où l'échantillonnage a rapporté 1,4 g/t Au sur 3 m. Ceci correspond à un schiste à talc-chlorite \pm magnétite contenant de 5 à 20% de pyrite (figure 2.16). De plus, une section de 1,5m interceptée à l'intérieur du trou de forage 1206-04-19 a rapporté 1,4 g/t Au, 0,1%Cu et 0,6%Zn/ 1,5m à l'intérieur du schiste à talc-chlorite (figure 2.17).

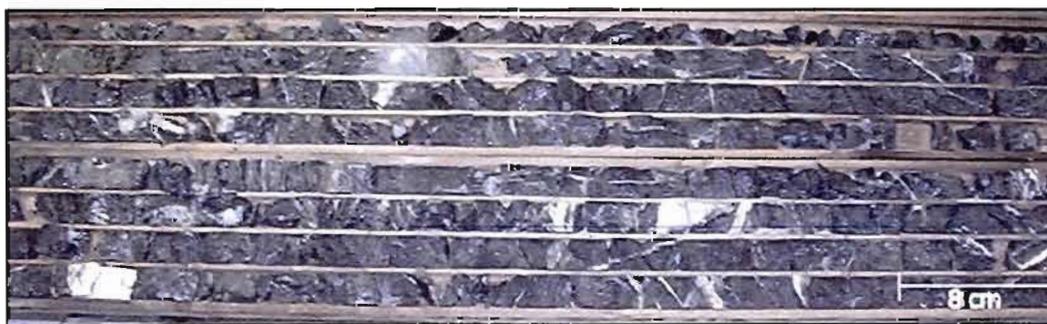


Figure 2.15 : Schiste à talc-chlorite contenant plusieurs veines d'épaisseur millimétrique à centimétrique de calcite

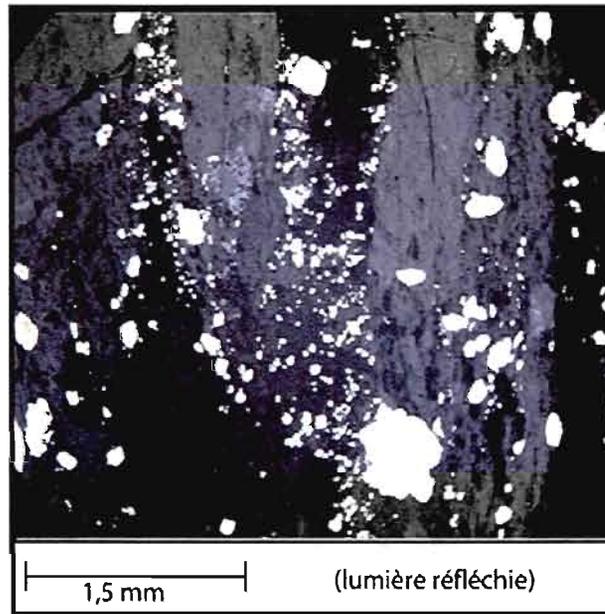


Figure 2.16: Microphotographie d'un schiste à talc-chlorite contenant de la pyrite fine xénomorphe. L'échantillon provient d'une section qui a rapporté 3,3 g/t Au sur 0,73m.

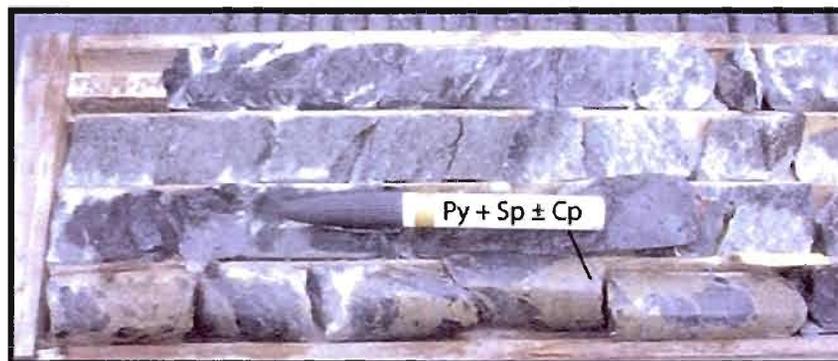


Figure 2.17: Section de forage contenant des veines centimétriques de pyrite-sphalérite-chalcopryrite à l'intérieur de la péridotite altérée.

CHAPITRE III

ALTÉRATION ET MINÉRALISATION DE L'INTRUSION PORPHYRIQUE ET DES DYKES

L'intrusion porphyrique à phénocristaux de quartz et de feldspath a subi une silicification, une séricitisation, une carbonatation et une chloritisation intense. Selon la nature et l'intensité de l'altération, la couleur et la dureté de la roche varient. La couleur est le critère qui est le plus facile à caractériser et à reconnaître, soit sur une photo de roche ou une description de forage. L'intrusion a été divisée en cinq unités principalement basées sur ce critère. Les noms de ces dernières sont : QFP frais, QFP silicifié, QFP silicifié et séricité, QFP chlorité et mylonite à Qtz-Sr. De plus, deux familles de dykes felsiques ont été identifiés : dyke blanc et dyke rose. Ce chapitre contient la description pétrographique et métallogénique complète de chacune de ces unités et dykes.

La figure 3.1 montre la cartographie de ces unités en plan (plan niveau 250m \pm 25m). Comme expliqué à l'intérieur de la section 1.4, la cartographie des unités formées à l'intérieur de l'intrusion a nécessité plusieurs étapes. Le chapitre V présente les cartes de bases qui ont servi à faire la figure 3.1. Cette carte est présentée au début de ce chapitre afin de permettre au lecteur d'avoir une idée de la disposition spatiale des unités décrites dans les pages subséquentes.

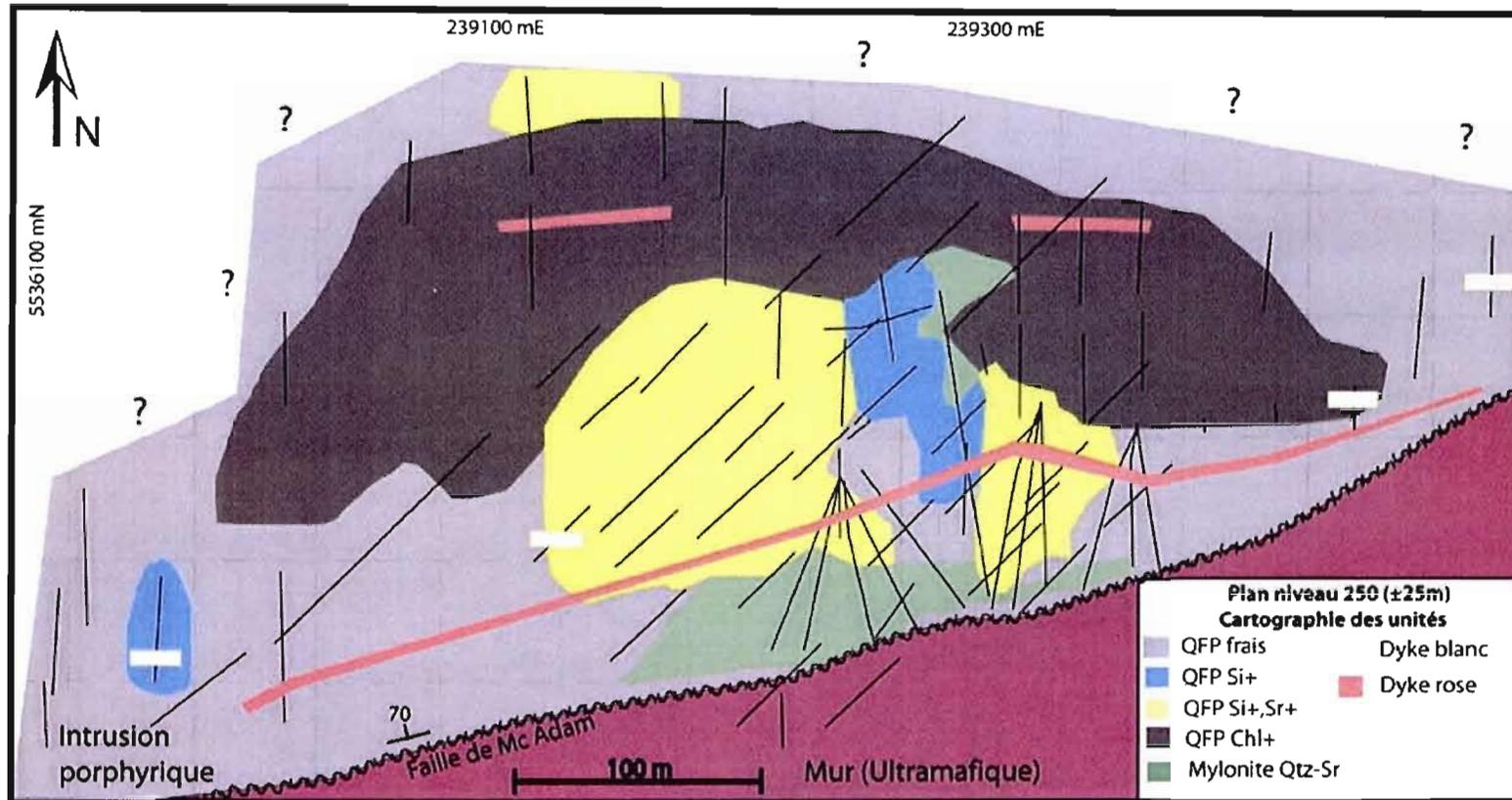


Figure 3.1 : Plan niveau (250 m ± 25m). Au cœur du gîte, nous observons les unités suivantes : QFP silicifié, QFP silicifié et séricité. Dans la partie nord, le QFP chlorité a une forme en croissant. Le dyke rose forme une bande continue au sud. Les dykes blancs sont observés à l'intérieur de plusieurs forages dans la partie sud du gîte.

3.1 QFP frais

Cette unité regroupe les roches d'apparences fraîches. Peu de forage montre le QFP peu altéré. Ces roches felsiques porphyriques à phénocristaux de quartz et de feldspath (QFP) ont généralement une couleur noire (figure 3.2 B) à grise foncée (figure 3.2 A). Elles contiennent de 15 à 30% de phénocristaux de feldspath (FP) automorphes, légèrement damouritisés, d'une grosseur de 1 à 5 mm (figure 3.3). Les phénocristaux de quartz (QP), deux fois moins abondants, ont une grosseur variant entre 1 et 10 mm. En faible quantité, on observe des phénocristaux composés d'un mélange hétérogène de chlorite et de rutile d'une grosseur variant entre 100 µm et 1mm. Les cristaux de rutile se disposent plus ou moins le long des plans de clivage (figure 3.4). Ceux-ci peuvent provenir de l'altération de la biotite ou de minéraux titanifères tel que l'ilménite.

La matrice, finement grenue (< 0,05mm), est composée de quartz + plagioclase ± séricite ± carbonates ± chlorite (appendice A9). Les minéraux accessoires présents sont l'apatite, la monazite et le zircon. Ces derniers sont présents à l'intérieur de toutes les unités et ne seront pas répétés dans la description des unités subséquentes.

Cette unité contient très peu de minéraux métalliques. Des traces de pyrite subautomorphe très fine (<500 µm) et de chalcopyrite (<500 µm) y sont observées. Le degré de déformation est très faible. Le QFP frais ne présente pas de schistosité de flux pénétrative. Lorsque l'altération en silice, séricite et chlorite devient plus intense, l'intrusion se transforme en QFP altéré.

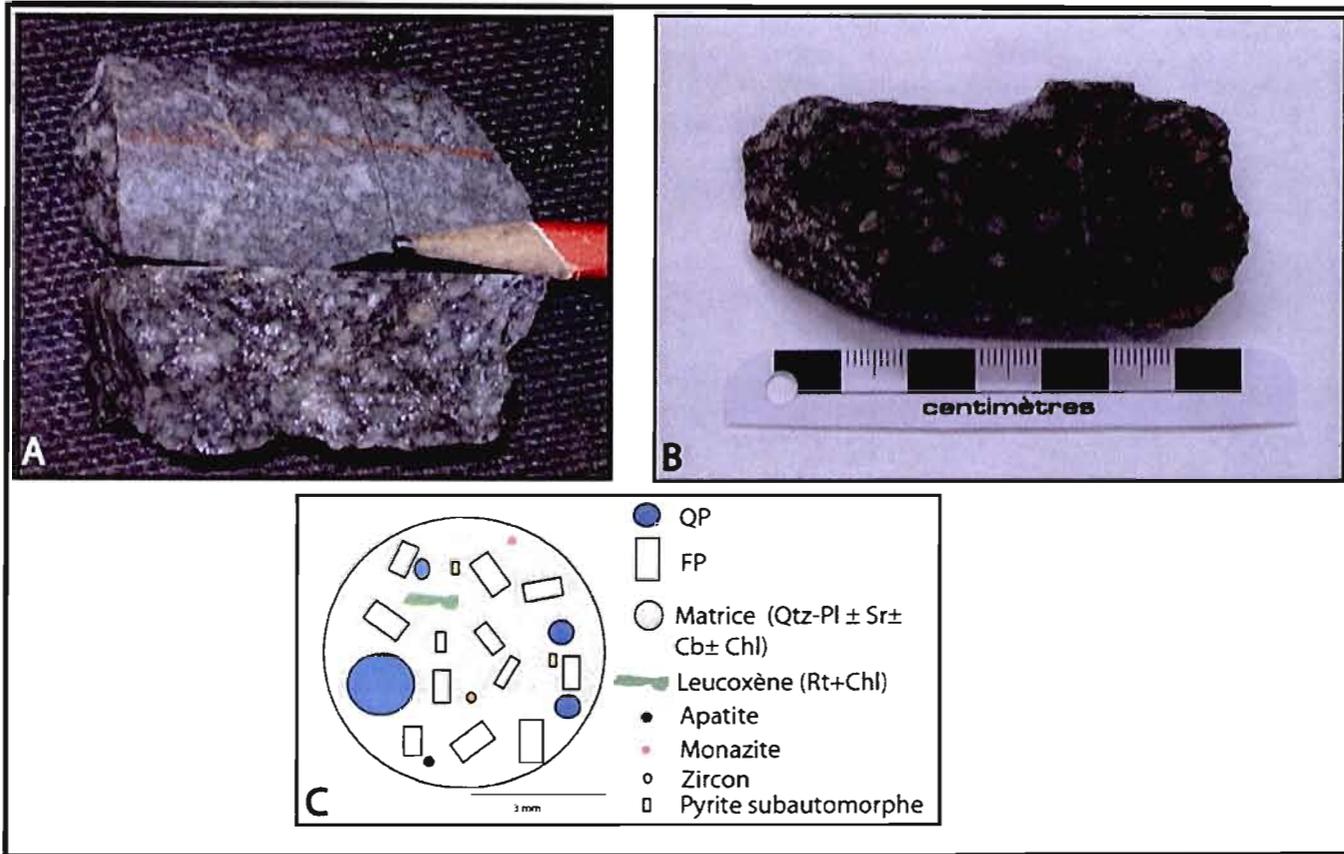


Figure 3.2 : A et B) Échantillons représentatifs du QFP frais. C) Portrait robot d'une lame mince résumant l'ensemble des observations faites à l'intérieur de cette unité.

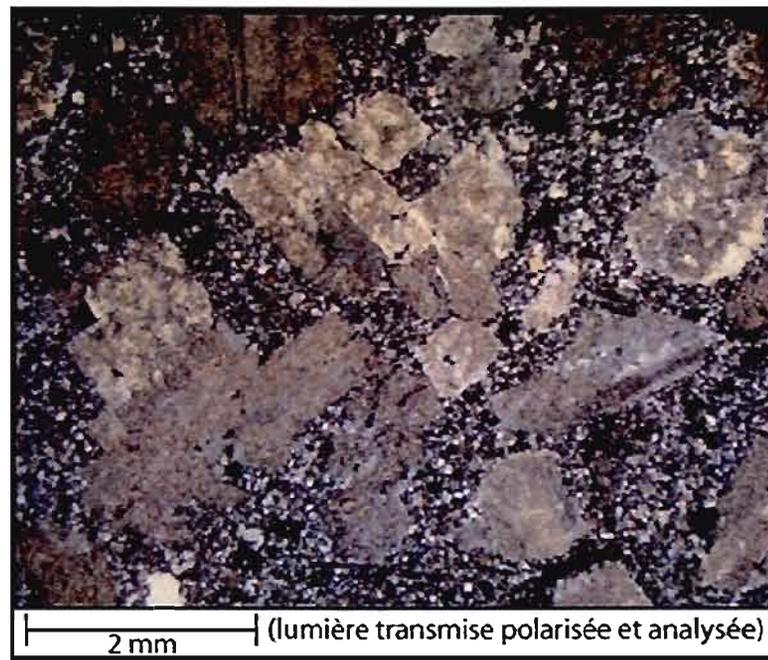


Figure 3.3 : Microphotographie d'une section riche en FP. Les feldspaths sont légèrement altérés en séricite (début de damouritisation).

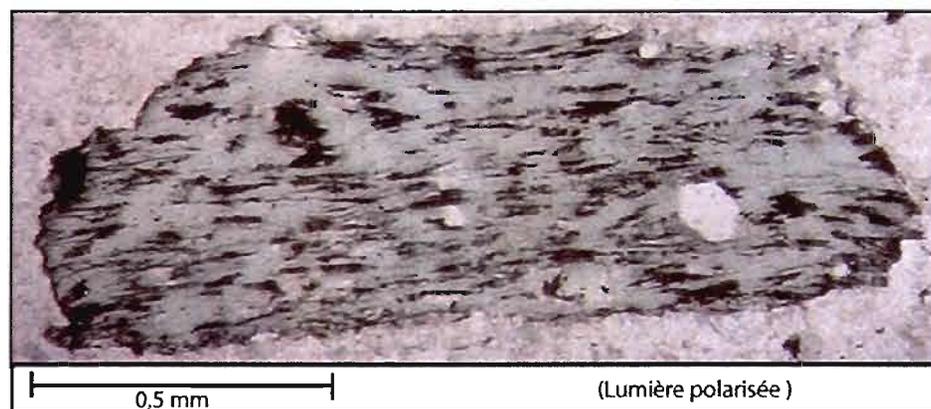


Figure 3.4 : Fantôme de minéraux mafique (biotite?) transformé en chlorite et rutile. Remarquer les cristaux de rutile (minéraux opaques) disposés le long des clivages.

3.2 QFP altéré

Cette unité rassemble la majorité des roches présentes dans le gîte MOP-II. La transition entre cette unité et la précédente se caractérise par la disparition progressive des phénocristaux de feldspath remplacés par la séricite (damouritisation), une silicification très intense de la matrice et une chloritisation d'intensité variable. La roche prend alors une couleur gris claire à foncée, dépendant du type et de l'intensité de l'altération. Trois sous-unités sont incluses à l'intérieur de cette unité: 3.2.1 - QFP silicifié (figure 3.5 A et 3.6) 3.2.2 - QFP silicifié et séricitisé (figure 3.5 B) et 3.3.3 - QFP chloritisé (figure 3.5 C). Le passage d'une sous-unité à une autre se fait généralement de façon progressive. Il est souvent très difficile de classer les faciès intermédiaires. Conséquemment, la majorité des roches du gîte a un aspect gris fortement silicifié, moyennement séricitisé et faiblement chloritisé qui est un intermédiaire des trois sous-unités décrites ci-dessous.

3.2.1 QFP silicifié

Cette sous-unité rassemble les roches porphyriques de couleur grise foncée à grise pâle dont les phénocristaux de feldspath sont encore visibles macroscopiquement et dont la matrice est très dure. Le pourcentage et la grosseur des phénocristaux de feldspath, quartz et mélange à chlorite et rutile sont les mêmes que ceux de l'unité précédente.

La matrice se compose principalement de quartz et de feldspath microcristallin ayant une grosseur inférieure à 100 μm (figures 3.7 et 3.8). Ces plagioclases sont très riches en sodium ce qui leurs donnent une composition très près de l'albite. La chlorite et la séricite forment de petits amas disséminés observés en traces. La quantité de carbonates (calcite et dolomite ferrifère) est très variable. Ceux-ci forment entre 1 et 10% de la matrice et se présentent sous deux formes : finement disséminés (50 μm) et en veinules millimétriques (principalement la calcite). Cette unité est peu déformée. Seulement quelques clivages de fracture à espacement décimétrique à métrique sont observés. Les phénocristaux de quartz, par contre, montrent des signes de déformation ductile et cassant. En effet, certains quartz ont une extinction

roulante qui est le fruit d'une déformation ductile. D'autres sont fracturés et les fractures sont occupées par la calcite (figure 3.10)

Minéralisation

La minéralisation se présente sous trois formes : en disséminations, en veinules millimétriques et en veines centimétriques à décimétriques.

Disséminations :

La minéralisation disséminée contient de 1 à 5 % de pyrite avec des traces de chalcopryrite fine. Les grains de pyrite ont une taille variant entre 200 µm et 1 mm. Cette dernière est subautomorphe et contient des inclusions de silicates et de chalcopryrite (figure 3.9). Les grains de chalcopryrite xénomorphes ont une grosseur variant entre 200 µm et 1 mm, et eux aussi contiennent des inclusions de silicates. Ces disséminations rapportent des teneurs en or très variables (entre 5 et > 1000 ppb Au; voir chapitre VI).

Veinules :

Cette unité est l'hôte de plusieurs générations de veinules millimétriques minéralisées. Les deux principales sont des veinules à chlorite + pyrite + quartz recoupées par des veinules à quartz + pyrite + chalcopryrite (figure 3.5 A 1). Ces veinules rapportent généralement de 200 ppb à 2 g/t Au sur 1,5 m (exemple : échantillon 20091 forage 1206-04-08 = 1,5 g/t Au sur 1.5m).

Veines :

Le gîte MOP-II contient un nombre très important de veines de pyrite massive ± chalcopryrite de largeur centimétrique à décimétrique (figures 3.11 et 3.13). Ces veines recoupent toutes les unités décrites à l'intérieur de ce chapitre. La composition moyenne de ces dernières est de 85% pyrite, 10% quartz, 1% séricite, 1% chlorite avec des traces à 3% chalcopryrite et des traces de carbonates, rutile, molybdénite, sphalérite, bismuth natif, pilsénite (Bi_4Te_3)*, bismuthinite, et or natif. La pyrite est plus grossière que celle retrouvée en dissémination avec une grosseur variant entre 200 µm et 5 mm. Elle est automorphe et très pure avec très

peu d'inclusions de silicates (figures 3.13 D et E). Les plus gros grains de pyrite (< 2 mm) sont souvent fracturés (figure 3.12). La chalcopyrite se présente sous différents aspects. Lorsque présente en traces, elle forme des amas millimétriques entre les grains de pyrite (figure 3.13 E), ou elle est en fines inclusions à l'intérieur des grains de pyrite. Lorsque présente en quantité plus importante (1 à 3%), elle se loge dans les fractures créées à l'intérieur des grains de pyrite (figure 3.12).

Le quartz montrent une texture fibreuse accompagné de chlorite, séricite, carbonates et rutile dans les ombres de basse pression des grains de pyrite (3.13 B). La bismuthinite, la pilsénite, le bismuth natif, la molybdénite et la sphalérite sont principalement localisés à l'intérieur des grains de pyrite.

La distribution de l'or a fait l'objet d'une étude pétrographique exécutée par la compagnie Ressources Itaminéraques, en 2004. Les conclusions de cette étude sont que l'or se présente sous trois formes :

- 1- En inclusion d'une grosseur de 1 à 20 μm dans les grains de pyrite de faible taille (< 2 mm). À l'intérieur de la pyrite plus grossière (2 mm et +), les grains d'or sont plus gros ($\leq 40 \mu\text{m}$) et généralement localisés le long de fractures ou même au contact pyrite-gangue. Cet or est pur;
- 2- En inclusions (1 à 15 μm) à l'intérieur des grains de chalcopyrite. L'or contient alors une bonne quantité d'argent et est caractérisé comme de l'électrum faiblement argentifère;
- 3- À l'intérieur de la matrice, en grains de 3 à 15 μm . Les deux types d'or sont observés (or pur et électrum).

Lorsque les plagioclases deviennent complètement altérés en séricite, la roche est classée à l'intérieur de la prochaine sous-unité (QFP silicifié et séricitisé).

* Tiré de l'étude pétrographique de Ressources Itaminéraque inc. 2004

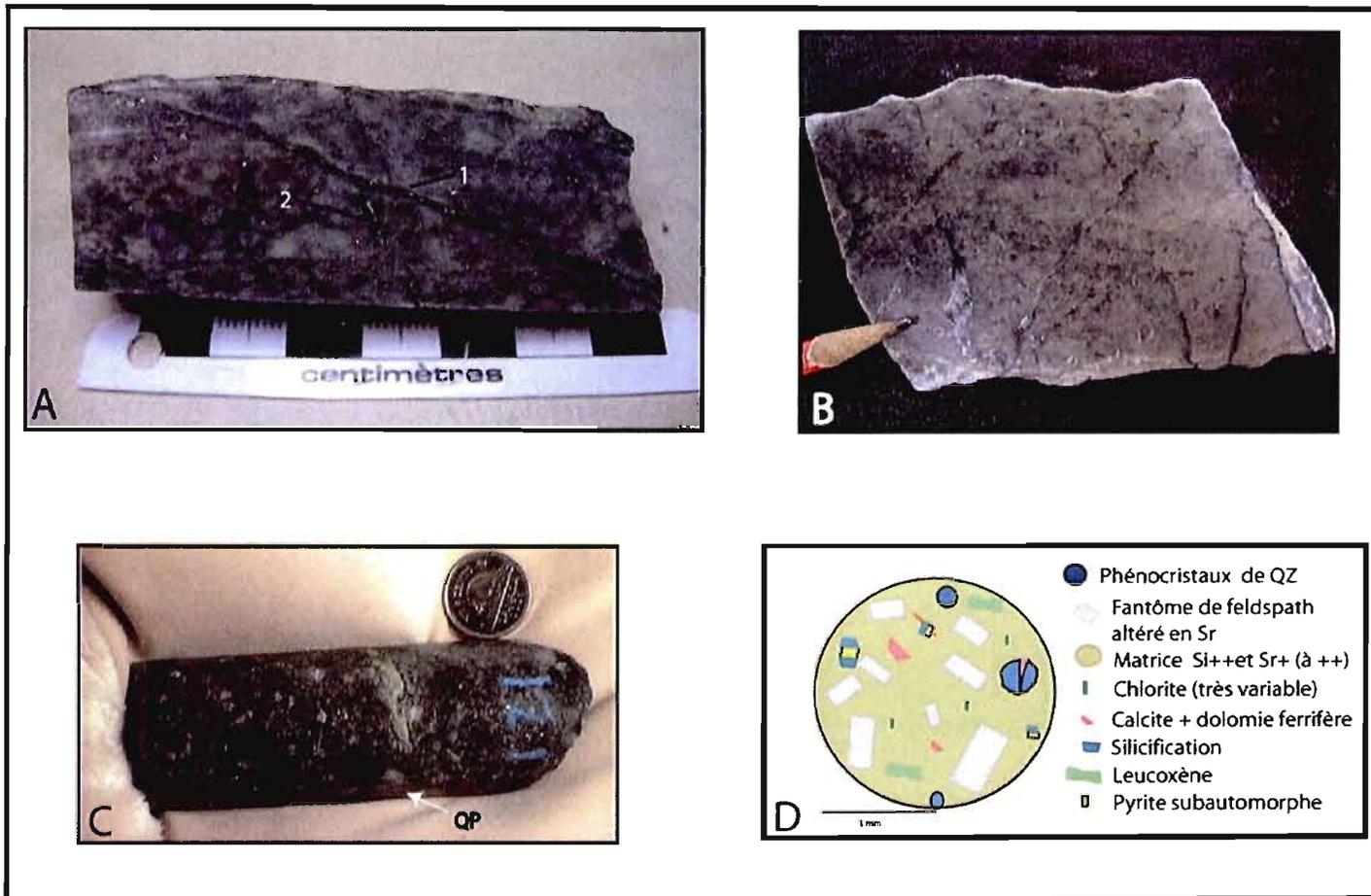


Figure 3.5 : Échantillons représentatifs du QFP altéré. Les différentes variations sont illustrées. A) QFP silicifié avec veinules minéralisées à (1) Qtz+Py±Cp et (2) Chl+Py+Qtz B) Unité QFP silicifié et séricitisé C) Unité QFP chloritisé. D) Portrait robot d'une lame mince illustrant l'ensemble des observations faites à l'intérieur de cette unité.



Figure 3.6 : Section de forage montrant le QFP silicifié.

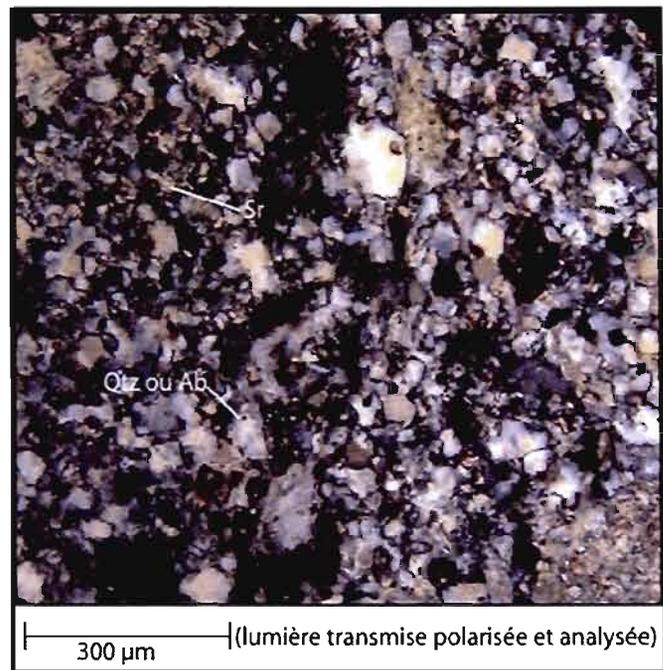


Figure 3.7 : Microphotographie d'une section de matrice du QFP altéré. Le quartz et l'albite forment l'essentiel de la matrice.

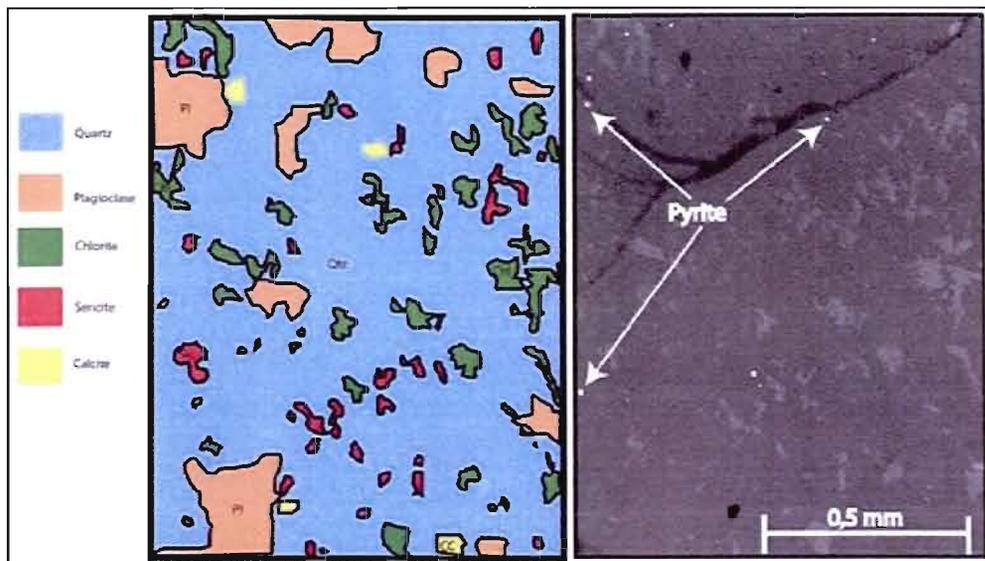


Figure 3.8 : Analyse d'une section de matrice faite à l'aide du MEB. La matrice est principalement composée de quartz et d'albite. Les autres minéraux présents sont la chlorite, la séricite, la calcite et la pyrite.

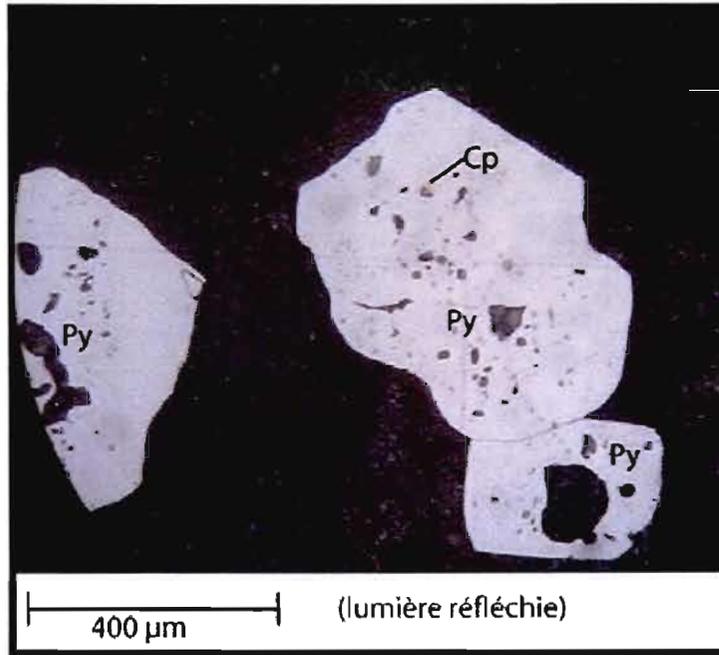


Figure 3.9 : Grains de pyrite subautomorphe contenant des inclusions de silicate et de chalcopyrite.

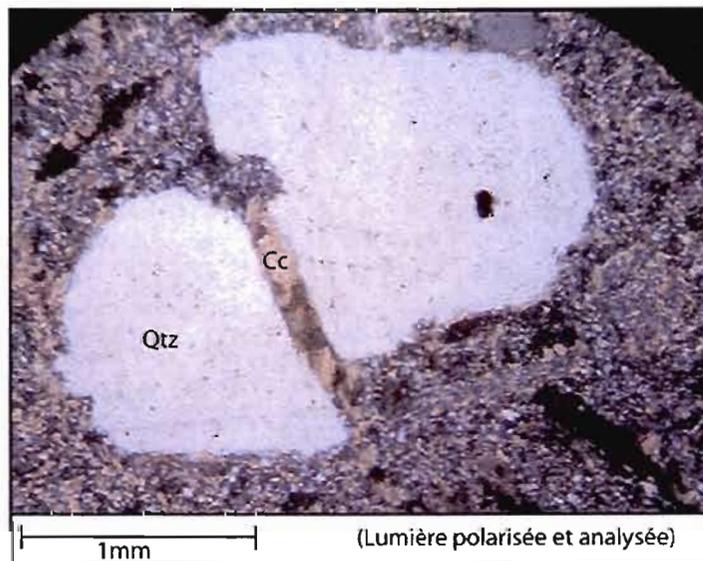


Figure 3.10 : Phénocristaux de quartz fracturé avec remplissage de calcite dans les fractures



Figure 3.11 : Section de forage montrant une veine de pyrite massive encaissée à l'intérieur du QFP silicifié.

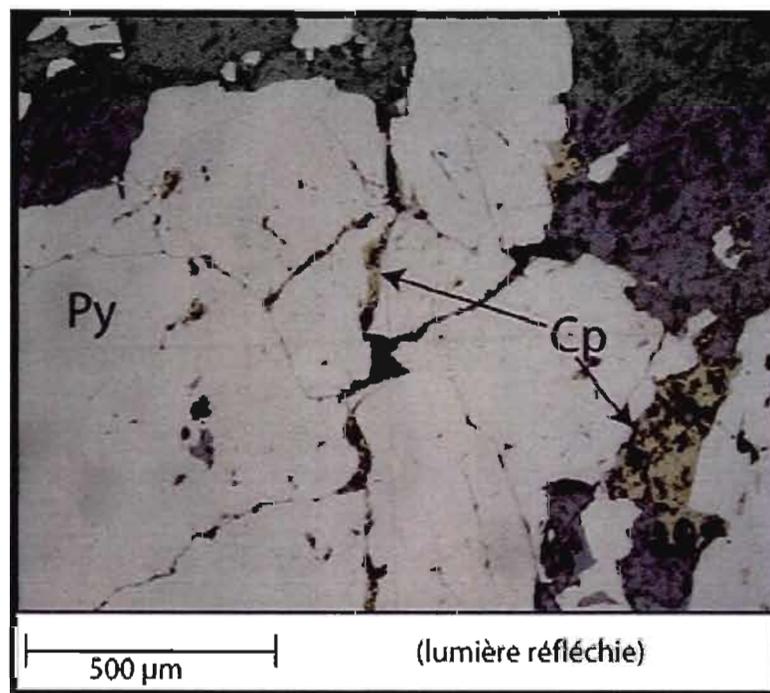


Figure 3.12 : Microphotographie d'un grain de pyrite cataclaté avec de la chalcopryte qui remplit les fractures

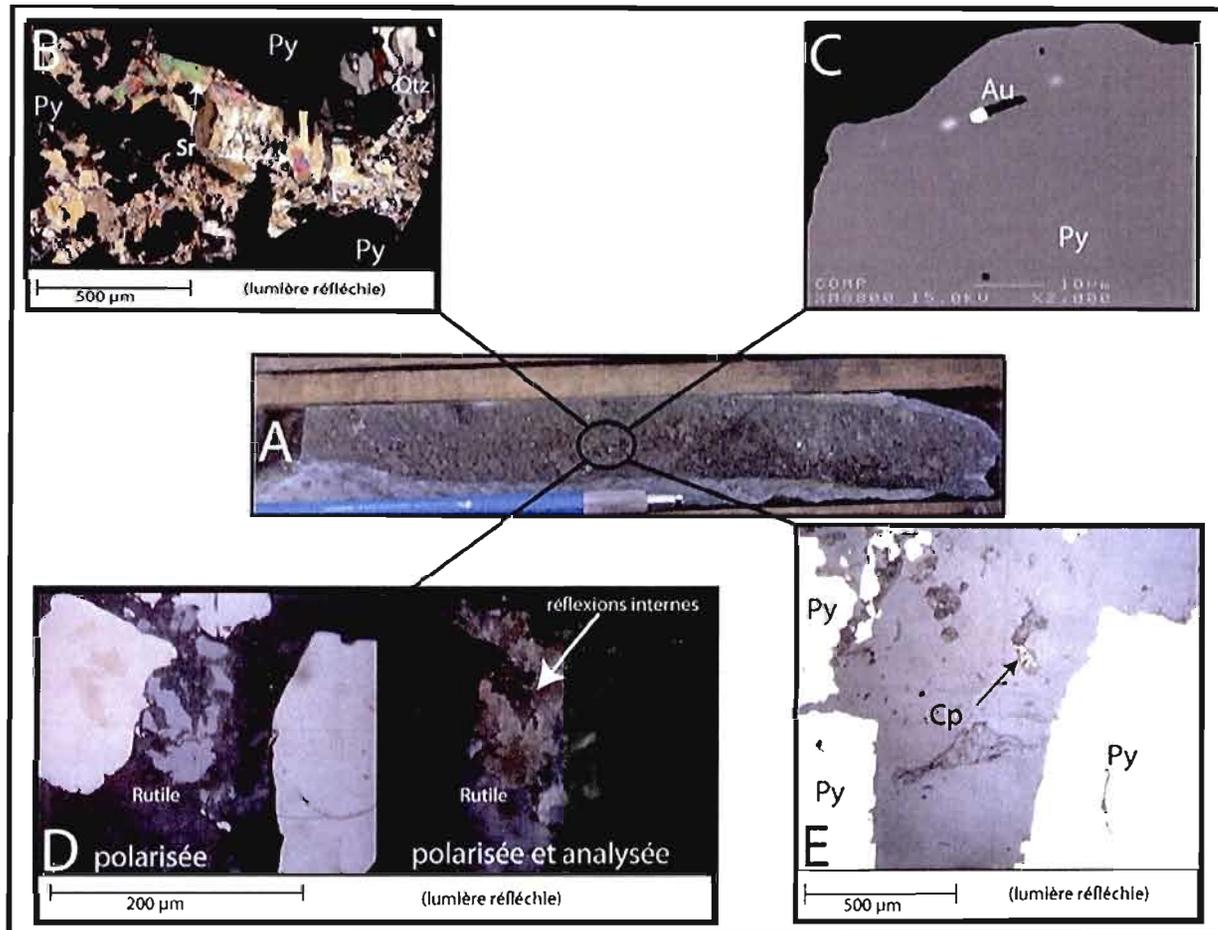


Figure 3.13 : Ensemble des observations faites à l'intérieur des veines de Py massives encaissées à l'intérieur du QFP silicifié. A) Veine de Py massive B) Assemblage de Qtz + Sr + Chl ± Cb entre les grains de Py C) L'or forme de fines inclusions (< 10µm) à l'intérieur des grains de Py automorphe (photo prise à la microsonde) D) Rutile à l'intérieur des zones minéralisées formant des amas de 100µm. Faible quantité d'inclusion à l'intérieur des grains de pyrite. E) Cp formant de petits amas (entre 100 à 300µm) disséminée entre les grains de Py.

3.2.2 QFP silicifié et séricitisé

Lorsque la séricitisation devient plus intense, la roche devient grise claire blanchâtre. En macroscopie, aucun feldspath n'est visible (figure 3.5 B). En microscopie, il y a de 15 à 30% de fantômes de plagioclase partiellement à complètement remplacés par la séricite. Cette séricite est de couleur blanche, finement grenue (< 50 µm) et sous lumière polarisée prend une couleur rose légèrement bleutée (figure 3.17). La proportion de phénocristaux de quartz et de cristaux composés de chlorite et rutile est similaire à celle de l'unité QFP silicifié. La matrice est principalement composée de silice, séricite et d'albite microcristalline (figures 3.7, 3.17 et appendice A7). Cette unité est plus déformée que les unités précédentes. Lorsque la roche devient fortement altérée en séricite, la schistosité de flux devient de plus en plus pénétrative (figure 3.14 C).

Minéralisation

Les minéralisations aurifères et cuprifères se présentent sous trois principales formes : en disséminations, en veinules millimétriques et en veines centimétriques à décimétriques.

Disséminations

Les disséminations sont principalement composées de 1 à 20% de pyrite et des traces à 10% de chalcopryrite finement disséminée (figure 3.14 A). Les grains de pyrite et de chalcopryrite ont une grosseur moyenne de 200 µm.

Contrairement aux disséminations observées à l'intérieur de l'unité précédente, celles-ci rapportent de fortes teneurs en or et en cuivre. Les meilleurs teneurs en or rapportées sont de l'ordre de 1g/t sur 1.5m (ex. échantillon 20035 trou de forage 1206-04-08). Les fortes teneurs en cuivre sont de l'ordre de 0,3% sur 1.5m (ex. échantillon 18943 forage 1206-04-05).

Veinules

Les veinules ont une largeur qui varie entre 1mm (figure 3.15 A et D) et 1cm (figure 3.14B). Ces dernières contiennent en moyenne 70% de quartz, 20% de pyrite, 2% de chlorite, des traces à 5% de chalcopryrite avec des traces de séricite, carbonates, rutile, pilsénite (Bi_4Te_3),

sulfure de bismuth et or (figure 3.15 A). Les grains de pyrite sont plus gros que ceux observés en dissémination. En effet, ils ont une grosseur variant de 500 μm à 2 mm. Ces derniers ont des textures très variées passant d'automorphe à xénomorphe. Certains cristaux contiennent des inclusions de silicates, chalcopryrite, sulfure et tellures de bismuth et or (figure 3.15 E). Ces veinules sont affectées par la schistosité principale. Les veinules orientées à fort angle par rapport à la schistosité sont transposées et réorientées (figure 3.14 B). Ces dernières peuvent rapporter de fortes teneurs en or. Ainsi, l'échantillon montré sur la figure 3.14 B a rapporté 993 ppb Au / 1,5 m (échantillon 20823 forage 1206-04-09)

Un autre type de veinule est observé à l'intérieur du gîte MOP-II. Il s'agit de microveinules de molybdénite (figure 3.16). Celles-ci font en moyenne 100 μm de large. Elles contiennent aussi du quartz, de la pyrite, de la chalcopryrite, de la séricite et du rutile, et elles sont fortement plissées (figure 3.18). Les veinules de molybdénite sont principalement encaissées dans cette unité ainsi qu'à l'intérieur du QFP chloritisé. Aucune veinule de molybdénite n'a été observée à l'intérieur d'autres types de roches décrites au chapitre II. Cependant, le molybdène n'a pas été analysé systématiquement comme l'or et cuivre. Il est donc très difficile d'estimer le potentiel économique de cette substance.

Veines

Les veines centimétriques à décimétriques observées dans cette unité sont semblables aux veines observées à l'intérieur de l'unité précédente (figure 3.14 C). Lorsque l'intrusion contient plus de 5% de chlorite, la roche est caractérisée comme appartenant à l'unité QFP chloritisé.

3.2.3 QFP chloritisé

Cette unité est celle qui contient le plus de chlorite. La chlorite affecte progressivement cette unité jusqu'au point où la chloritisation très pénétrative oblitère complètement les textures primaires du porphyre (figure 3.5 C). La chlorite se présente donc sous trois formes : disséminée, en veinule et massive.

Dissémination :

Lorsque présente en faible quantité (trace à 5%) elle est en amas millimétriques disséminés visibles macroscopiquement ou non (figure 3.19 A). À l'intérieur des unités fortement séricitisées (QFP silicifié et dyke blanc) celles-ci se localisent principalement dans les ombres de pression des sulfures.

Veinules :

Les veinules millimétriques de chlorite sont nombreuses et se présentent en stockwerk (figure 3.19 B).

Massive :

Dans la partie nord du gîte (figure 3.1) la chloritisation devient très pénétrative et forme des bandes centimétriques à décimétriques de chlorite semi-massive à massive (figure 3.19 C). Ces bandes ont des contacts francs avec l'unité encaissante.

Minéralisation

Deux types de minéralisation est observés à l'intérieur du QFP chloritisé. Les disséminations à pyrite et chalcoppyrite (1 à 5% Py et 1 à 15% Cp disséminée) rapportent de fortes teneurs en or et cuivre (voir chapitre VI; type de minéralisation 5). Les veinules minéralisées contiennent généralement de 1 à 30% de molybdénite. Ces microveinules sont souvent fortement plissées (figures 3.16 et 3.18). Lorsque la roche devient complètement séricitisée (séricite verte grossière), elle prend une couleur verdâtre et est classée dans la prochaine unité.

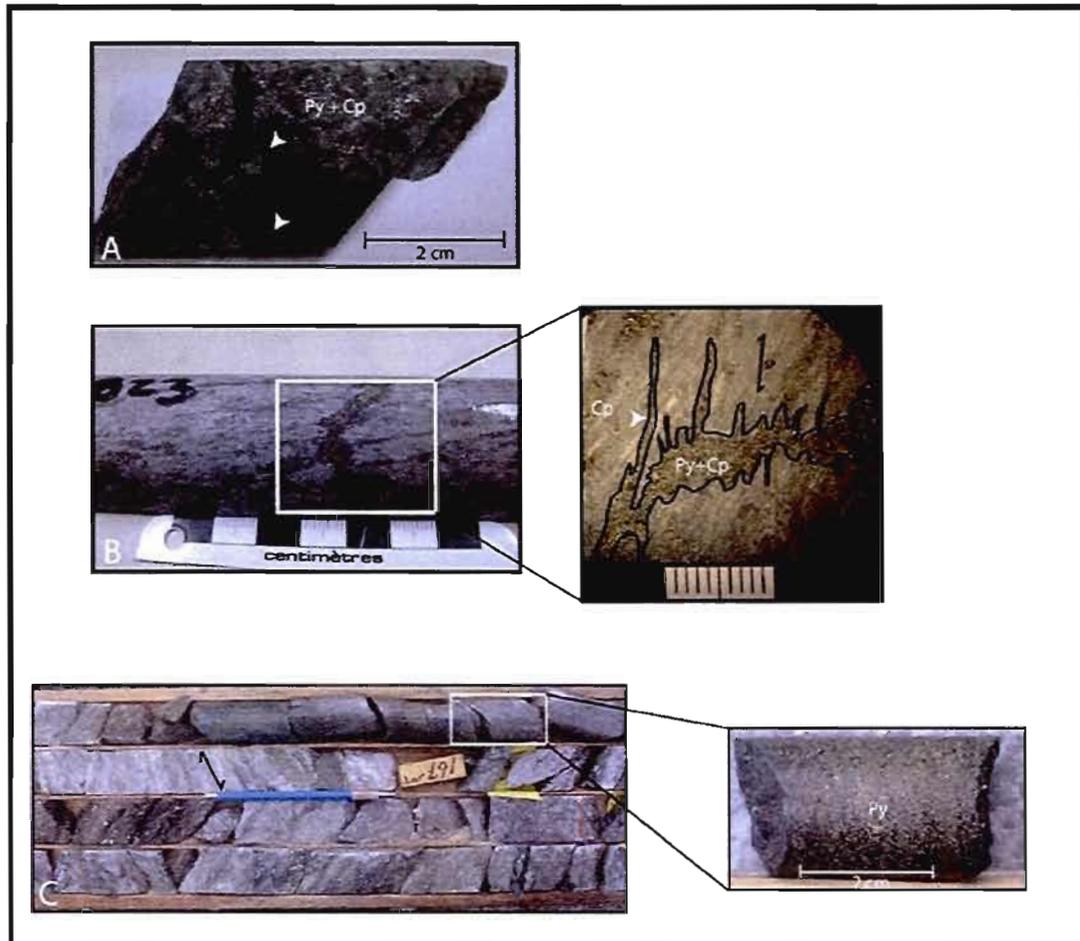


Figure 3.14 : Différents faciès de minéralisation aurifères et cuprifères observés à l'intérieur du QFP séricitisé et silicifié. A) Pyrite et chalcopyrite finement disséminée. B) À l'intérieur des faciès moyennement séricitisés, les veines de pyrite et chalcopyrite sont transposées et réorientées dans le sens de la schistosité principale. C) Cette unité est l'hôte de veines de pyrite massive de largeur centimétrique à décimétrique. Les zones fortement séricitisées présentent une schistosité de flux très pénétratives.

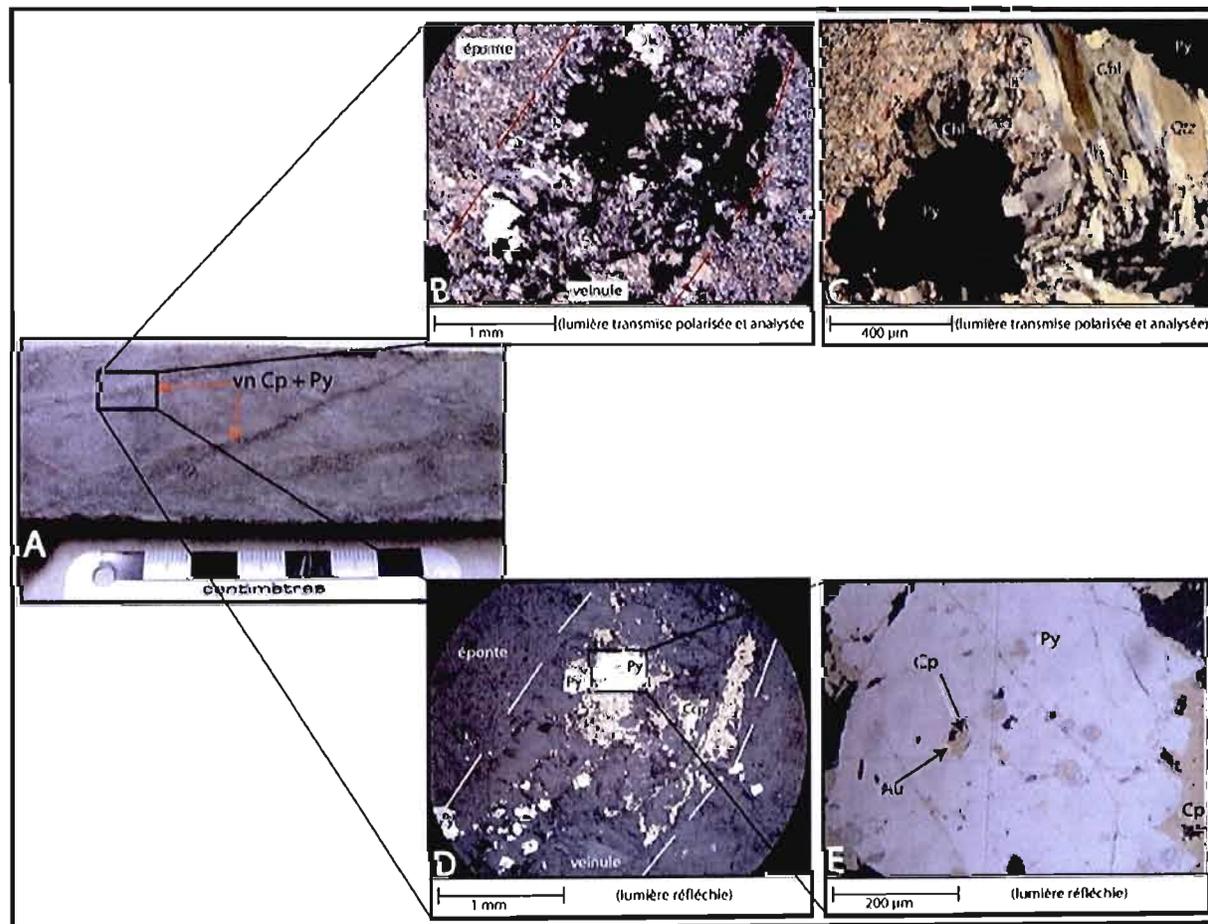


Figure 3.15 : Veinules de Cp+Py observées à l'intérieur du QFP silicifié et séricitisé. A) Les veinules se recoupent mutuellement. B et C) La gangue des veinules se compose de Qtz+Chl+Sr qui se présente en flocons plissés à l'intérieur des ombres de basse pression des grains de sulfure. D) Les principaux minéraux métalliques présents sont la Py et la Cp. E) L'or et la Cp sont présents en fine inclusions à l'intérieur des grains de Py.

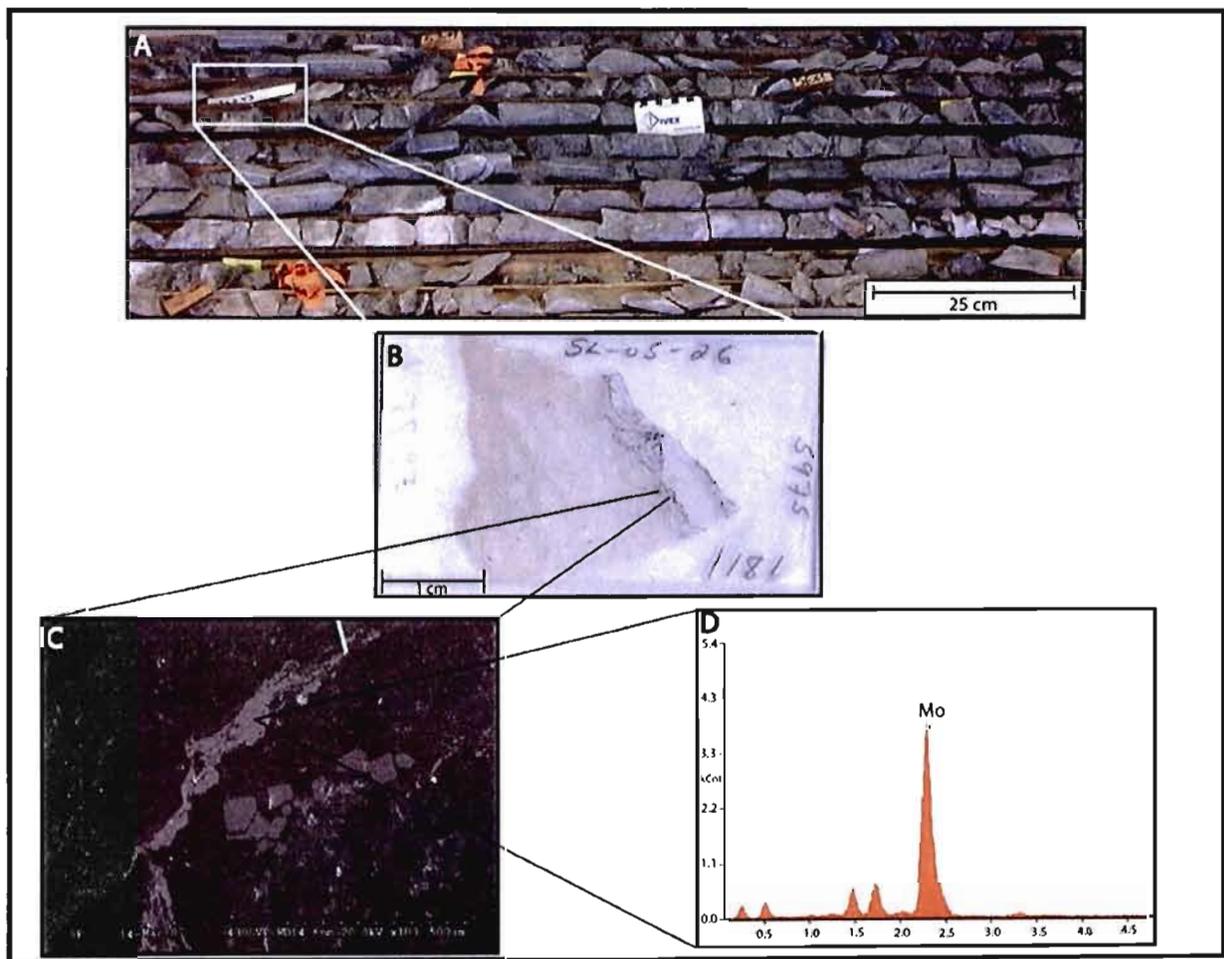


Figure 3.16 : Le QFP altéré est l'hôte de microveinules (70 μm) de molybdénite plissée. A) Section de forage montrant la position de l'échantillon SL-05-26. B) Lame mince contenant la veinule (fine bande noir plissée) de molybdénite. C et D) Analyse au MEB de cette veinule confirmant la présence de molybdénite.

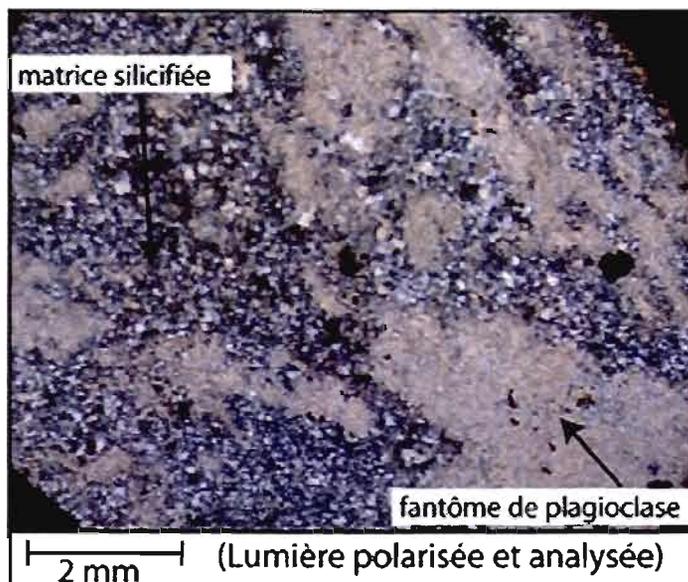


Figure 3.17: Microphotographie prise à l'intérieur du QFP silicifié et séricité. Les phénocristaux de feldspath sont complètement remplacés par la séricite. La matrice est surtout composée de quartz.

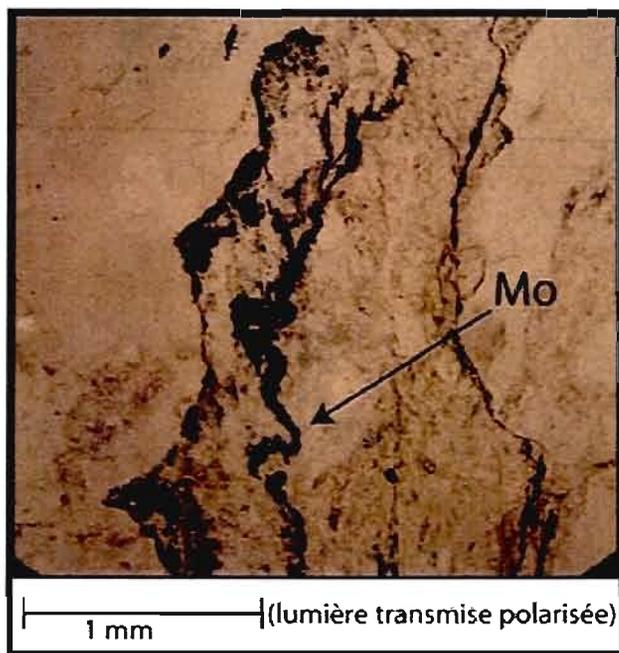


Figure 3.18: Microphotographie montrant une veinule de molybdénite plissée.

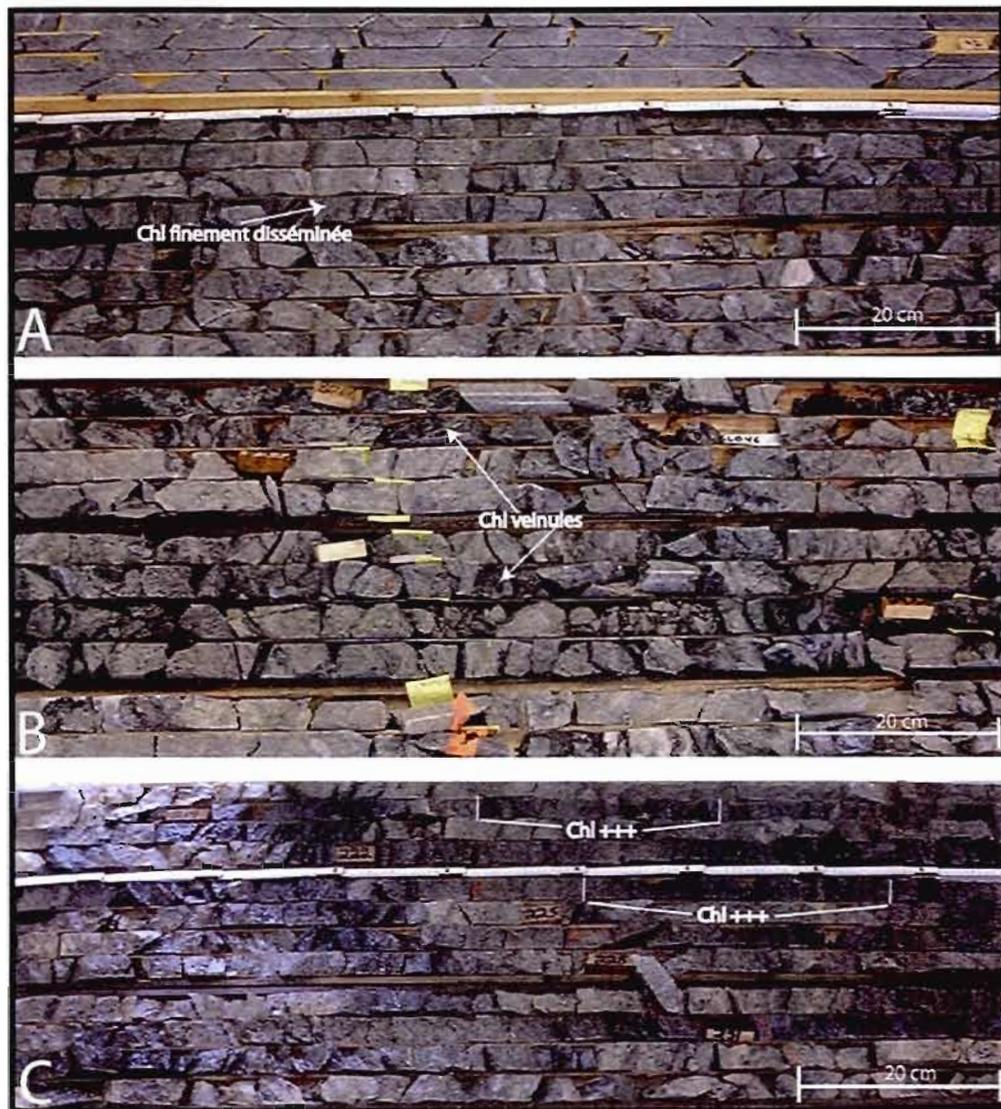


Figure 3.19 : Sections de forage montrant les différents aspects du QFP chloritisé. A) La chlorite finement disséminée rend la roche légèrement plus foncée. B) Roche affectée par un stockwerk de chlorite. C) Lorsque très pénétrative, la chloritisation forme des bandes centimétriques à décimétriques de chlorite semi-massive à massive.

3.3 Mylonite à quartz-séricite

Au cœur du gîte, plus précisément à l'intérieur des zones fortement minéralisée, une forte altération en séricite oblitère complètement les textures primaires du porphyre. La roche prend alors une couleur verte pomme pâle à foncée et devient très tendre (figure 3.20 A et B). Macroscopiquement, aucun phénocrystal de plagioclase n'est observé. En microscopie, on observe des traces de fantômes de phénocristaux de feldspath. Cette unité contient de 1 à 10% de phénocristaux de quartz ayant une grosseur variant entre 500 μm à 2 mm (figure 3.20 C et appendice A8).

La matrice, très fine ($< 50 \mu\text{m}$), est formée d'environ 50% séricite et 50% quartz \pm albite (figure 3.21 A et B). En plus de la séricite blanche décrite à l'intérieur de l'unité précédente, cette unité contient une séricite verte. Cette dernière est plus grossière (entre 50 μm et 1 mm) et possède une biréfringence plus élevée prenant des teintes de vert, rose et bleu foncé sous lumière polarisée et analysée (figure 3.22 C). Cette unité contient moins de carbonates comparativement aux autres unités.

Le degré de déformation est généralement moyen à élevé à l'intérieur de cette unité. Une schistosité de flux moyennement à fortement pénétrative est développée ce qui donne aux micas une texture lépidoblastique. Les phénocristaux de quartz sont aussi affectés par cette déformation. Certains sont dissous, broyés ou recristallisés (figure 3.22 A). Étant donné les observations faites dans cette unité : réduction de la taille des grains de quartz, disparition des phénocristaux de feldspath et présence de schistosité bien développée, cette dernière est appelée mylonite à séricite-quartz.

Minéralisation

Comme dans les unités précédentes, la minéralisation se présente sous trois formes : en disséminations, en veinules et en veines.

Disséminations

Les disséminations se composent de 1 à 20 % de pyrite et des traces à 10 % de chalcopyrite finement disséminée. Les grains de pyrite et de chalcopyrite ont une grosseur moyenne de 200 μm . La pyrite est automorphe et contient très peu d'inclusions (3.23 A). La chalcopyrite pour sa part, contient beaucoup d'inclusions de silicate et, à certains endroits, semble épouser la forme cubique de la pyrite (figure 3.23 A). Ces disséminations métalliques rapportent des teneurs en or variant entre 20 et 500 ppb Au.

Veinules :

Les veinules ont une largeur variant entre 500 μm et 3 mm. Les observations minéralogiques faites dans ces veines sont les mêmes que celles faites à l'intérieur des veinules du QFP silicifié et séricitisé. Cependant, ces veinules altèrent fortement la roche encaissante en séricite (figure 3.24). Cette séricite correspond à la séricite grossière verte (figure 3.24 C). Pour une veinule de sulfure de 1 mm, on observe une éponte altérée d'une largeur variant entre 5 mm à 1 cm (figure 3.24 A et B). Ces veinules sont généralement parallèles entre elles et aussi parallèles à la schistosité principale (figure 3.23 B). À certains endroits, on observe des veinules subsidiaires qui divergent d'une veinule centrale plus grosse (figure 3.24 A). En microscopie, plusieurs observations nous montrent que cette séricite verte recoupe les autres faciès d'altération (figures 3.24 A et figure 3.27 C). Il est évident que cette séricitisation est tardive.

Veines :

Les veines de pyrite massive centimétriques à décimétriques observées à l'intérieur de cette unité sont semblables aux veines observées dans le QFP silicifié. Toutefois, ces veines associées à l'unité mylonitique à Qtz-Sr sont souvent recoupées par des veines de quartz. Ces bandes de quartz plissées sont situées au centre de la veine de sulfure et sont en alternance avec des bandes riches en pyrite (figure 3.23 C). De plus, il y a une diminution de la granulométrie des grains de pyrite en bordure des veines de sulfure encaissée à l'intérieur de cette unité (figure 3.23 C).

Ces veines rapportent les plus fortes teneurs en or observées à l'intérieur du gîte MOP-II. Les teneurs varient entre 1 g/t à 20 g/t Au (exemple : l'échantillon 20896 (figure 3.23 C) pris à l'intérieur du forage 1206-04-09 qui a rapporté 18 g/t Au et 61 ppm Cu sur 1 m). Les teneurs en cuivre sont très variables à l'intérieur de ces zones. Dans le cadre de cette étude, aucune veine de pyrite massive n'a rapporté des teneurs supérieures à 0,1 % Cu.

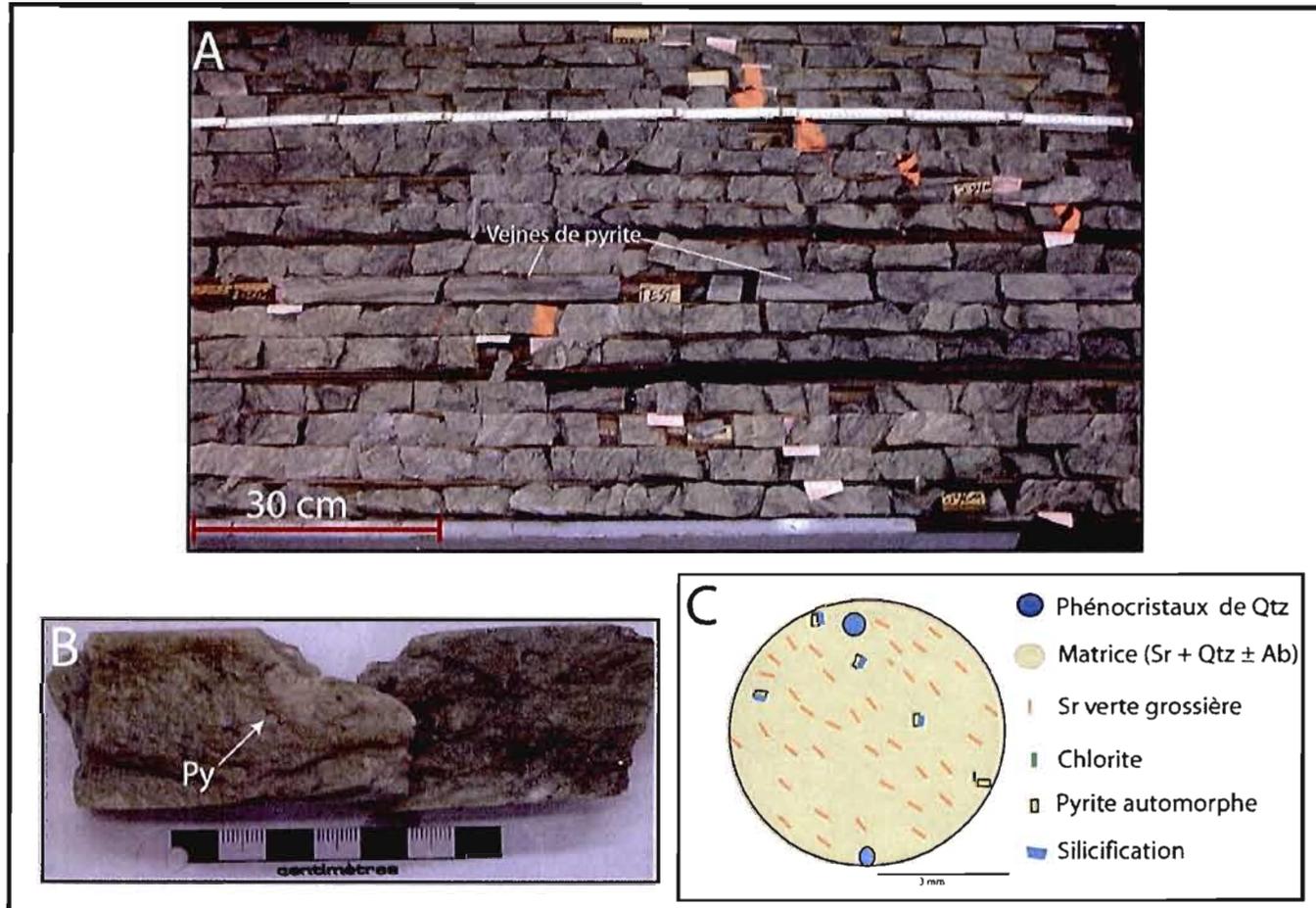


Figure 3.20 : A) Section de forage montrant la schistosité pénétrative affectant la roche de cette unité. Celle-ci contient beaucoup de veines de pyrite millimétrique à centimétrique. Les rubans oranges mettent en évidence les échantillons pris sur une longueur de 1.5m ayant rapporté 1 g/t et plus. B) Le QFP prend une couleur verte pomme. C) Portrait robot résumant l'ensemble des observations faites à l'intérieur de cette unité.

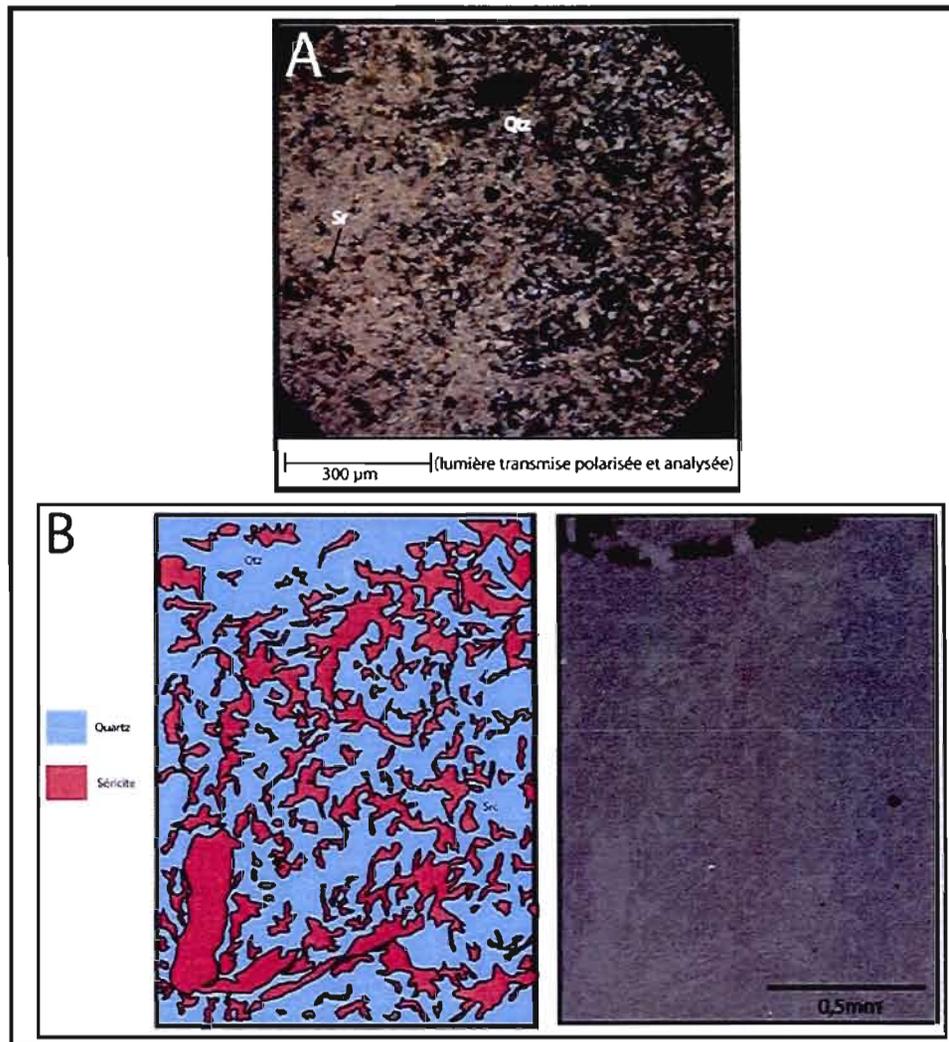


Figure 3.21 : A) Microphotographie représentative de la matrice. B) Analyse d'une section de matrice faite à l'aide du MEB. La matrice est composée de 50% séricite, 50% (quartz + albite). Certains grains de séricite (coin inférieur gauche) peuvent avoir une grosseur de 1mm. Les données brutes sont présentées à l'appendice A8.

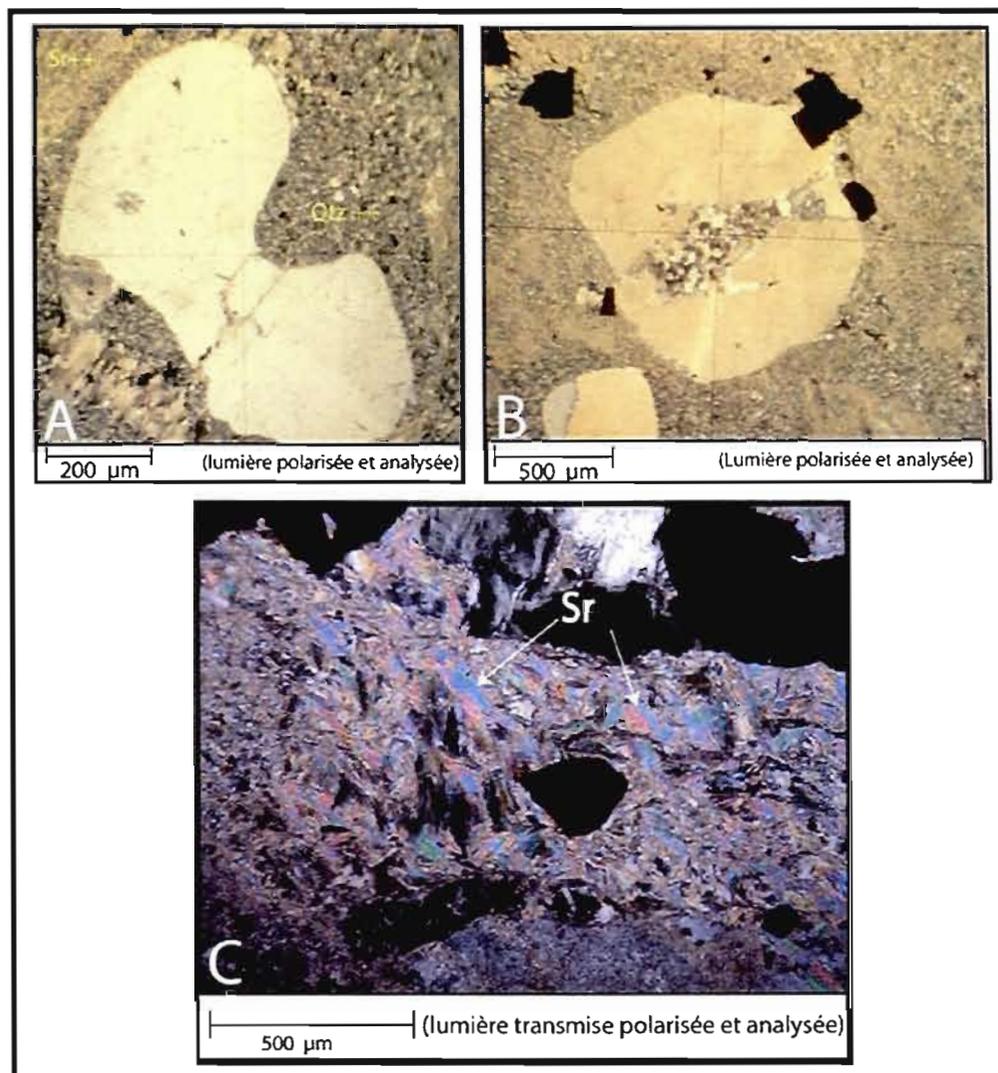


Figure 3.22 : A) Phénocristaux de quartz dont les bords sont dissous et recristallisés sous forme de cristaux microcristallins à l'intérieur de l'ombre de basse pression. B) QP montrant des structures de résorption. C) Séricite grossière observée en grande quantité à l'intérieur de la mylonite à Qtz-Sr.

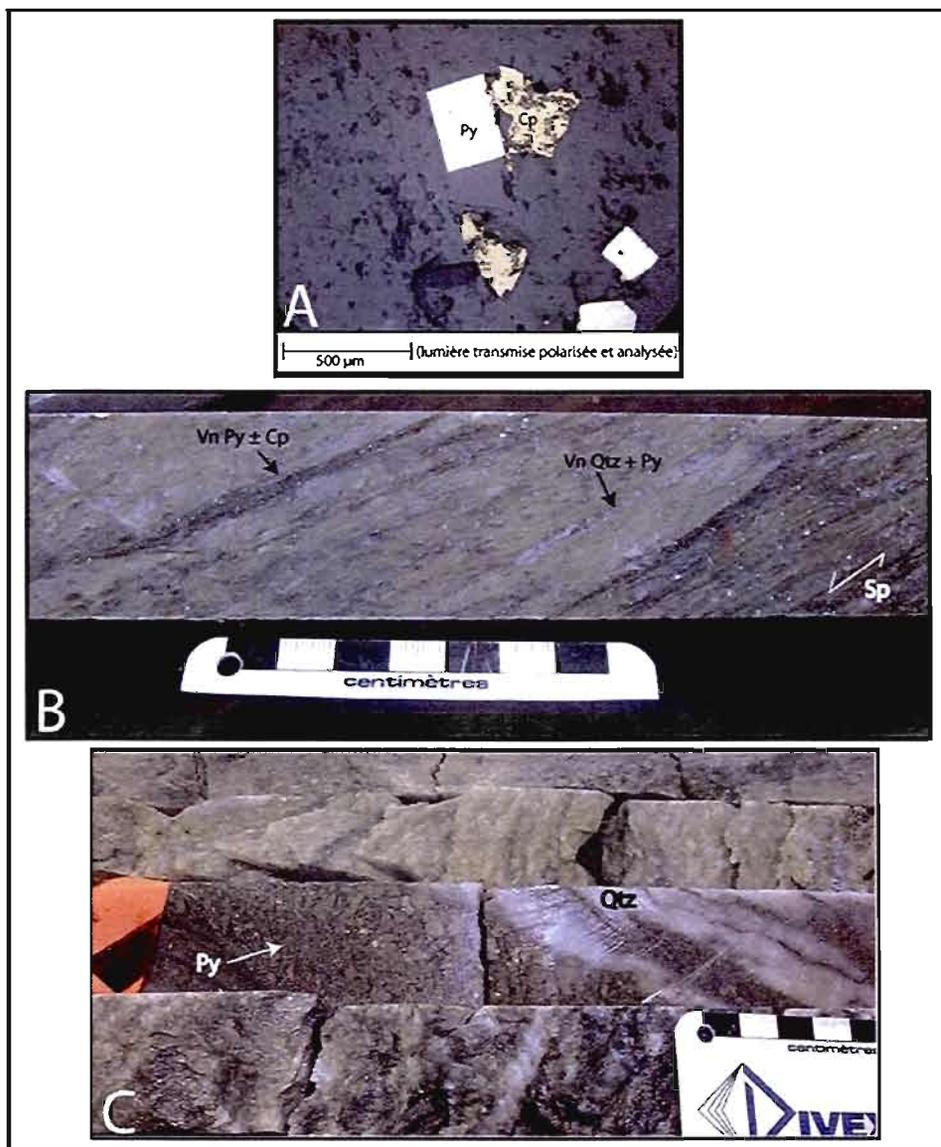


Figure 3.23 : Photos montrant les différents faciès de la minéralisation observés à l'intérieur de l'unité mylonitique. A) Les grains de pyrite disséminés sont automorphe et contiennent très peu d'inclusions. Les grains de chalcopyrite, contiennent des inclusions de silicates et semblent épouser la forme d'un grain de pyrite. B) Les veinules minéralisées sont parallèles à la schistosité principale (SP). C) Les veines de pyrite massive sont aussi parallèles à la schistosité et contiennent des bandes centimétriques de quartz.

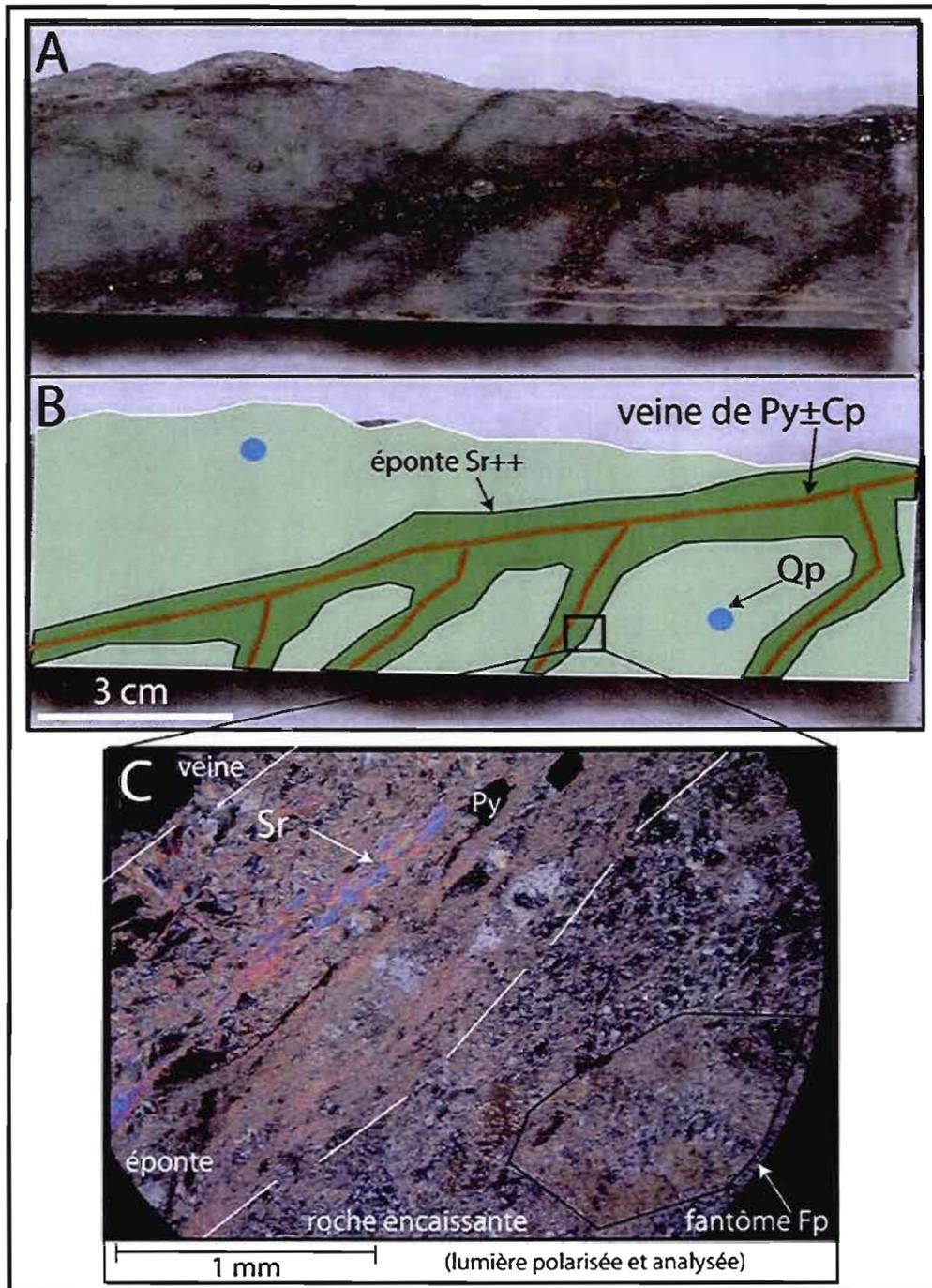


Figure 3.24 : Microphotographies et schémas montrant l'altération des épontes associée aux veinules minéralisées. A et B) Mylonite contenant des veinules de quartz + pyrite ± chalcopryrite dont l'éponte est fortement altérée en séricite. C) Cette séricite correspond à la séricite verte grossière. Les FP de la roche encaissante sont fortement altérés et il en reste que des fantômes.

3.4 Dyke blanc

À l'intérieur du gîte, des dykes blancs aphitiques sont observés. Ceux-ci ont une largeur qui varie de 1 à 10 m. Les contacts avec les autres unités sont irréguliers, parfois francs (figure 3.25 A) ou parfois graduels (figure 3.26 A). Cette roche porphyrique contient 10% de phénocristaux de feldspath qui ont en moyenne 5 mm de largeur. Ces derniers ont subi une forte damouritisation qui les rend impossible à voir macroscopiquement (figure 3.25 B). Les phénocristaux de quartz qui forment de 2 à 5 % de la roche ont une grosseur moyenne de 1 mm. Les bordures de ces quartz sont floues ce qui les rends aussi très difficiles à voir macroscopiquement (figure 3.27 A).

La matrice finement grenue ($< 500 \mu\text{m}$) est composée de quartz + plagioclase (principalement albite) + séricite + chlorite + carbonates (figure 3.28). Cette unité contient les deux types de séricite. La séricite de première génération forme de petites baguettes finement disséminées dans la matrice tandis que la séricite grossière occupe les ombres de pression des grains de pyrite (figure 3.27 C). La chlorite se présente en grain de $500 \mu\text{m}$ et est présente à l'intérieur des ombres de pression des grains de pyrite (figures 3.27 A et C). Outre la chlorite et la séricite, les ombres de pression des grains de pyrite contiennent aussi du quartz et des carbonates.

Ces dykes contiennent une forte proportion de carbonates. Deux types ont été reconnus : calcite et dolomite ferrifère. La calcite qui forme 1% de la matrice se présente en amas millimétriques disséminés et en veinules. La dolomite ferrifère, observée en plus grande proportion (5%), se présente essentiellement en amas millimétrique disséminé. À l'aide de test de coloration des carbonates il est possible de mettre en évidence les petits cristaux de carbonates disséminés dans la roche (Élu et al., 1999). La recette et le guide de couleur est disponible à l'appendice A3. La figure 3.27 B montre le résultat de ce test appliqué sur une roche de cette unité. Huit analyses quantitatives au MEB ont été faites sur ces dolomites (appendice A1). Le rapport moyen Mg/Fe à l'intérieur des dolomites ferrifères de cette unité est de 1,16.

Minéralisation

Les dykes blancs contiennent de 1 à 5% de pyrite automorphe. Les cristaux de pyrite ont une grosseur moyenne de 500 μm à 2 mm. Ces grains porphyroblastiques montrent des ombres de pression sans toutefois montrer de rotation (figure 3.27 C). Ceci suggère que la pyrite est de croissance syn à tardi-cinématique. Cette pyrite contient généralement beaucoup d'inclusions de silicates, de chalcoppyrite, d'apatite, de zircon et d'ilménite (appendice A4). Ces inclusions sont disposées en auréole et donnent un aspect zoné aux grains de pyrite (figure 3.29). La chalcoppyrite, présente en traces, forme des amas de <1 mm dans les ombres de pressions des grains de pyrite (figures 3.29 A et B). De plus, elle est aussi observée finement disséminée à l'intérieur de la matrice. Cette unité contient aussi de petites veinules de pyrite telle que décrite dans le QFP silicifié et des veines de quartz+calcite+chlorite \pm pyrite.

Les teneurs en or rapportées de ces dykes sont moyennement anormales (entre 100 et 500 ppb Au). Certains échantillons contenant plus de 3 % de pyrite et de dolomite disséminées rapportent de fortes teneurs en or exemple : figure 3.26 B dont l'échantillon 116098 a donné 2 g/t Au / 1.2m. À certains endroits, des teneurs en or > 1g/t sont rapportées en périphérie de cette unité, soit dans le mur ou le toit (3.25 A et 3.26 A)

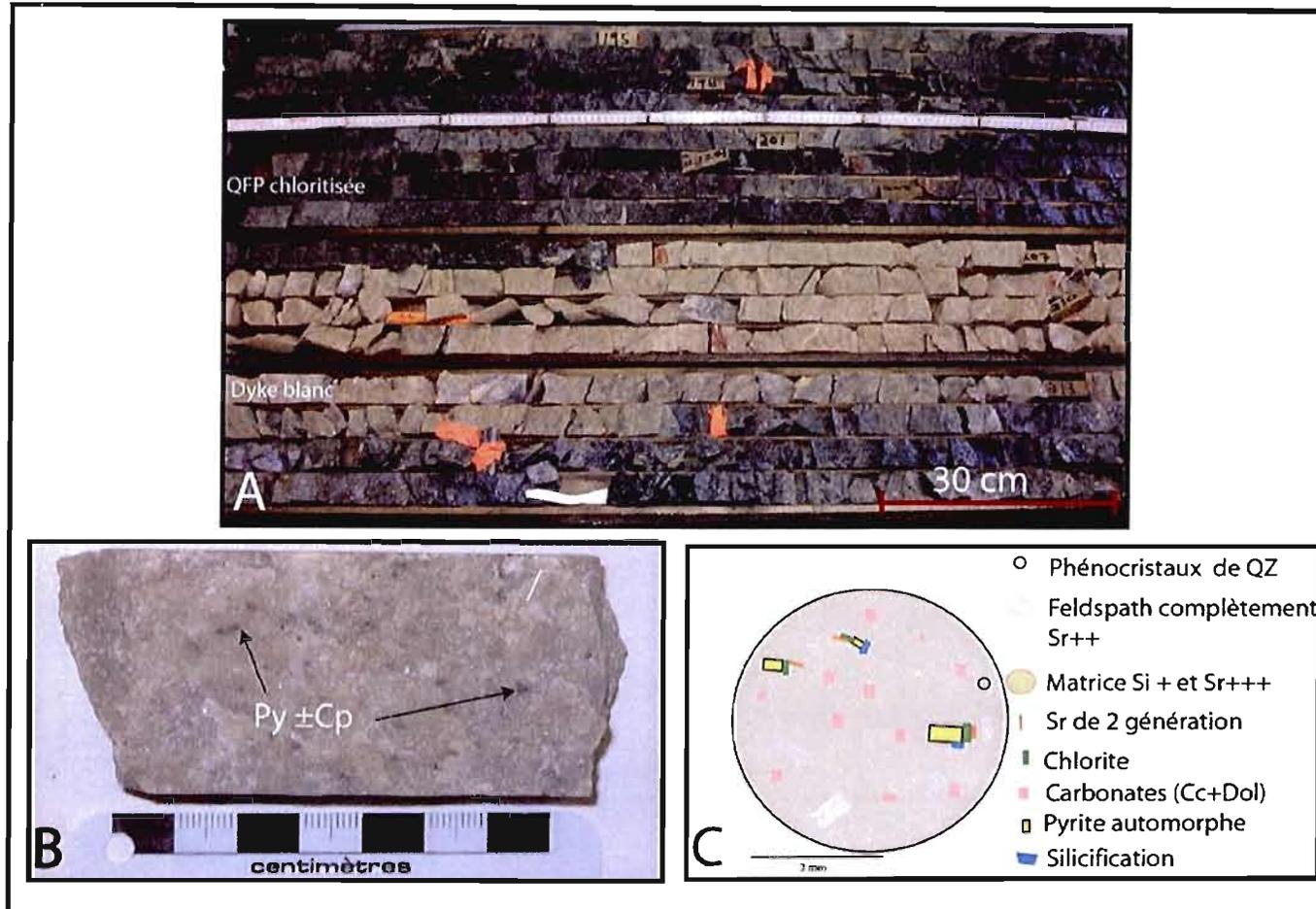


Figure 3.25 : A) Contacts francs avec le QFP chloritisé. Les rubans oranges mettent en évidence les échantillons ayant rapportés 1 g/t Au et + sur 1,5m. B) Photo montrant l'aspect en macroscopie C) Portrait robot d'une lame mince résumant l'ensemble des observations faites à l'intérieur de ces dykes.

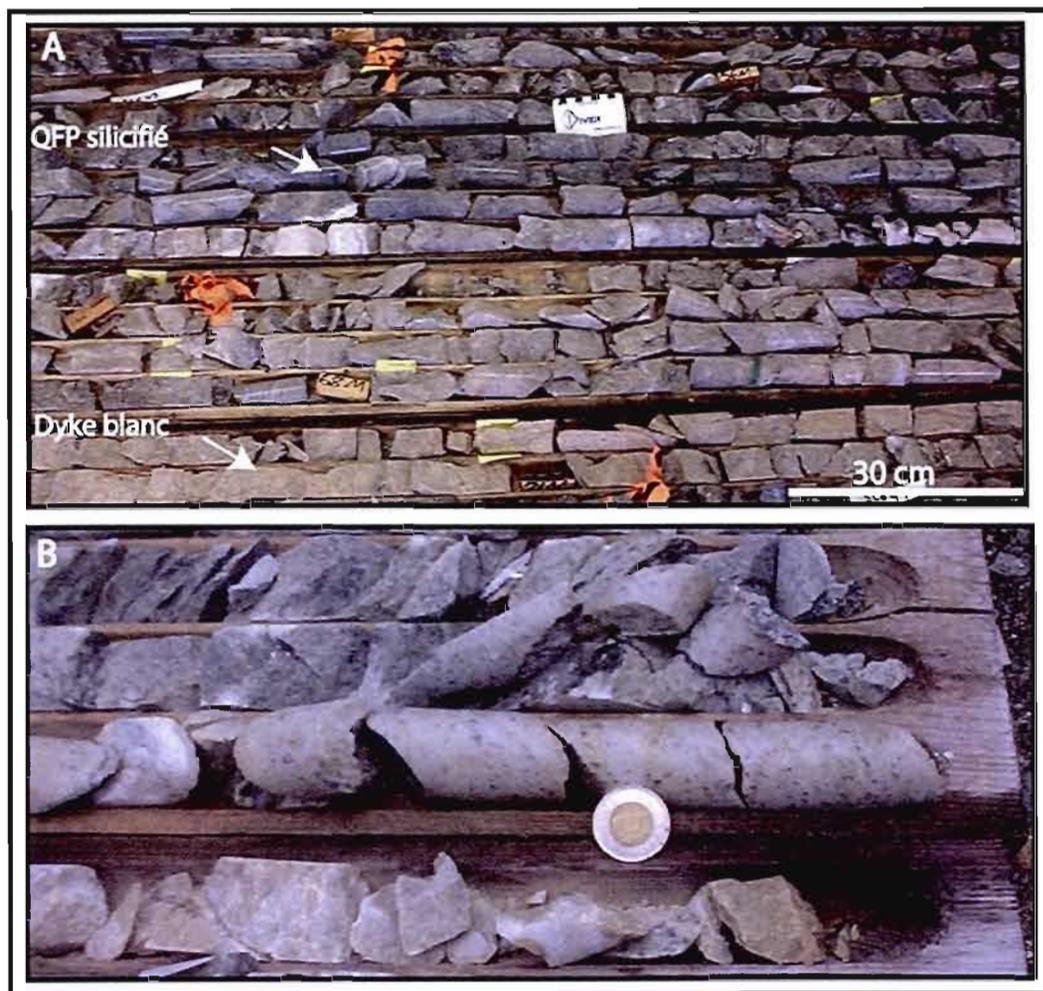


Figure 3.26 : A) Section de forage montrant le contact graduel entre les dykes blancs et le QFP silicifié. Les rubans oranges mettent en évidence les échantillons ayant rapportés 1 g/t Au et + sur 1,5m. B) Zone minéralisée ayant rapportée 2g/t au sur 2m.

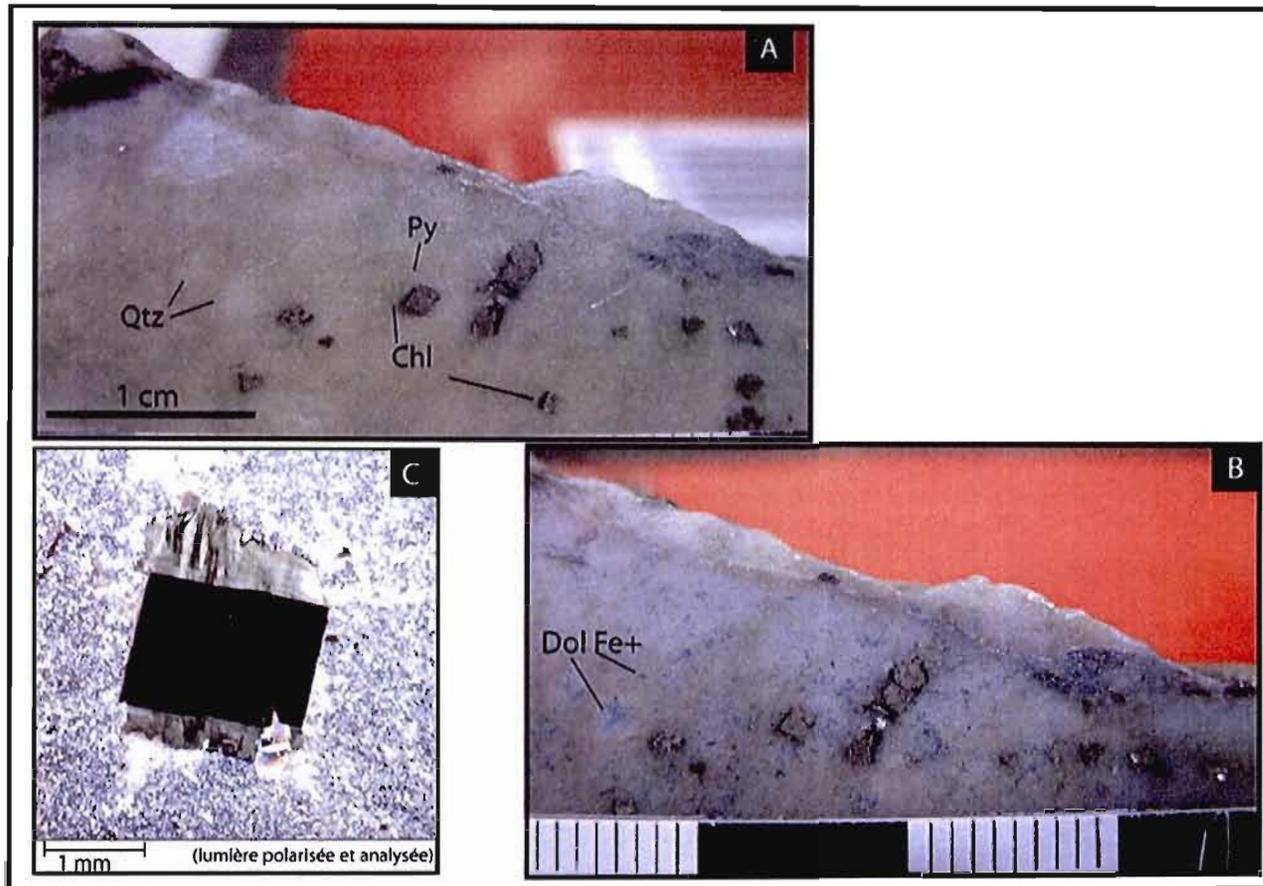


Figure 3.27 : Photos montrant la présence de chlorite dans les ombres de pression des grains de pyrite automorphe. Les phénocristaux de quartz sont petits (1 à 2mm) et ont des bordures floues ce qui les rends difficiles à percevoir. A) Photo prise avant la coloration des carbonates B) photo prise après la coloration montrant le fort pourcentage de dolomite ferrifère finement disséminée (petits points bleus). C) Microphotographie d'un grain de pyrite automorphe porphyroblastique à croissance syn-cinématique. L'ombre de pression est comblé par de la chlorite et de la séricite. La séricite grossière recoupe la chlorite.

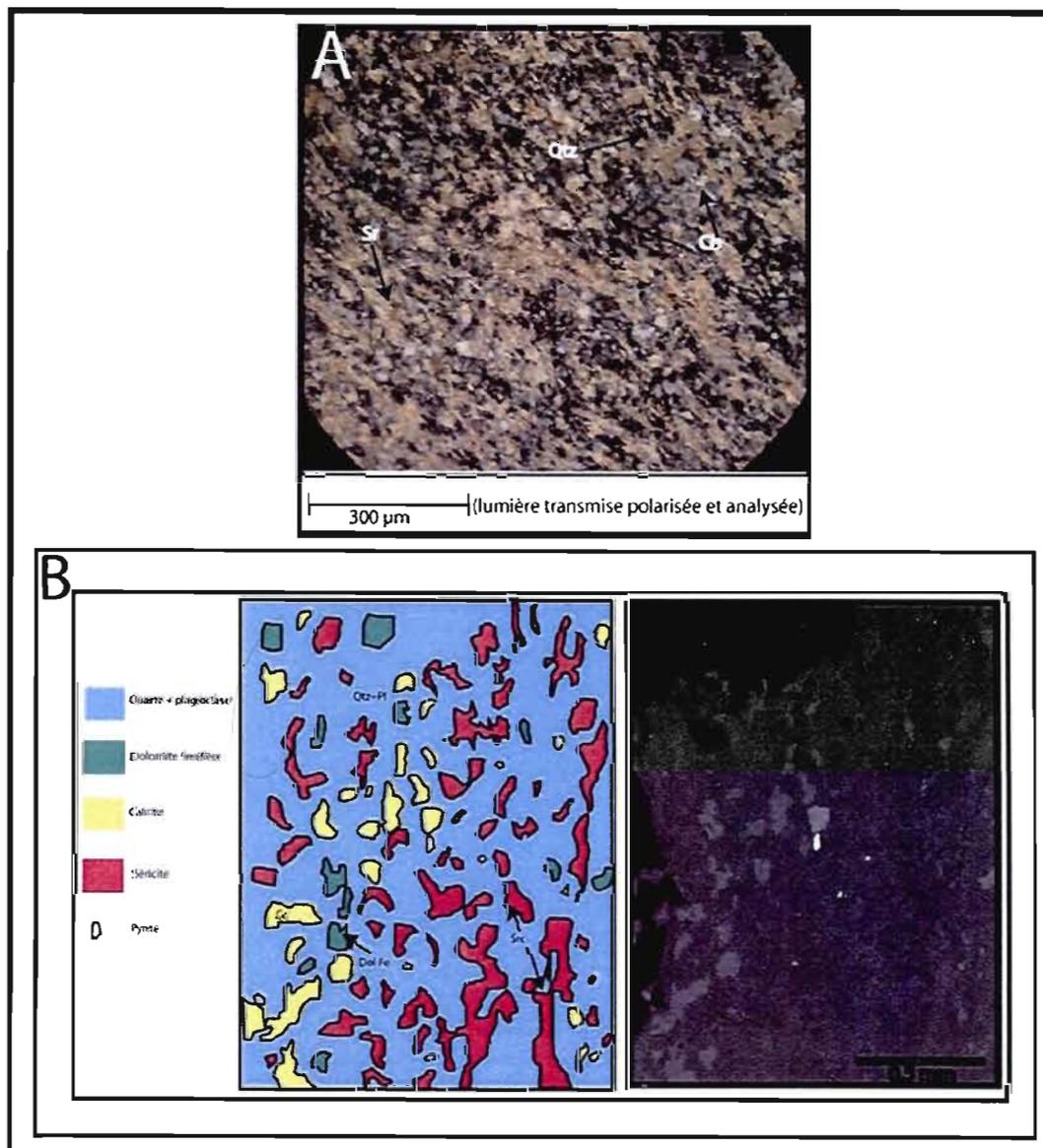


Figure 3.28 : A) Microphotographie représentative de la matrice. B) Analyse d'une section de matrice faite à l'aide du MEB. La matrice est composée de quartz + plagioclase + séricite + dolomite ferrifère + calcite. Les données brutes sont présentées à l'appendice A6.

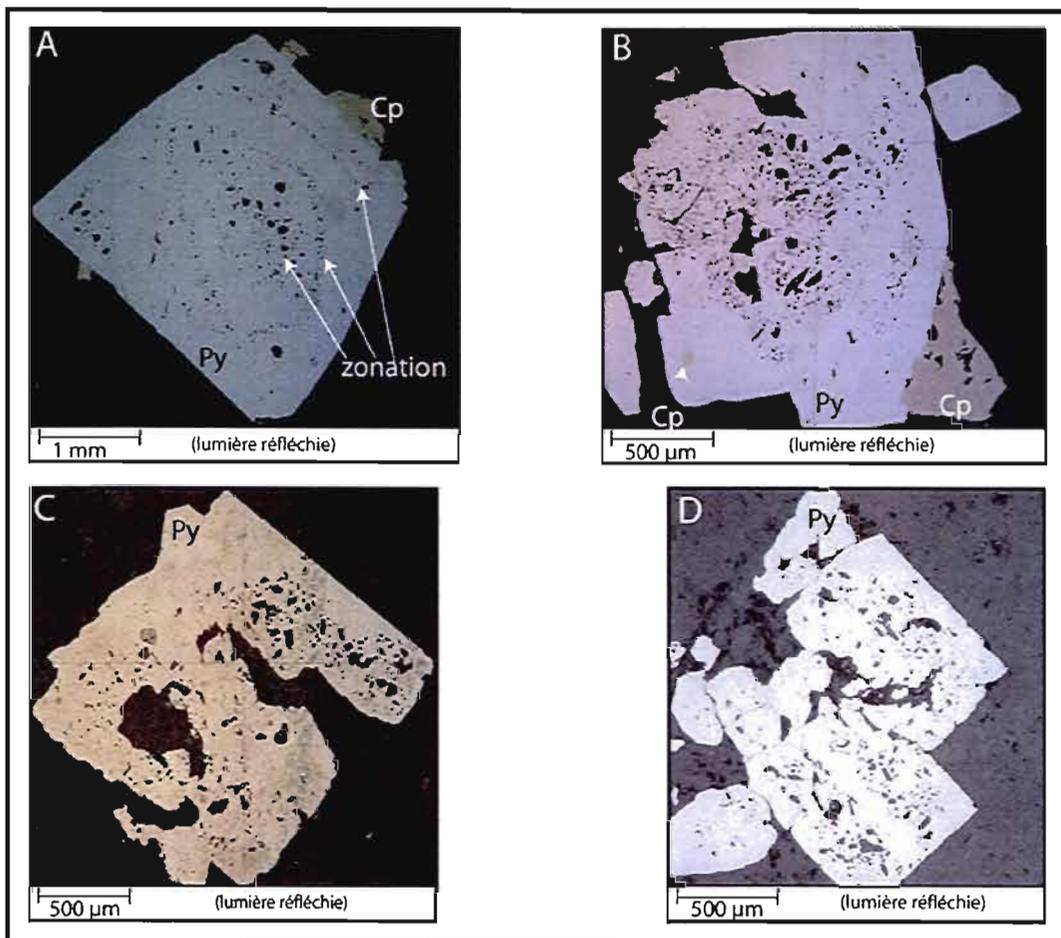


Figure 3.29 : A à D) Microphotographies de grains de pyrite zonés contenant beaucoup d'inclusions de silicates, apatite, zircon, ilménite et chalcopryrite. Les grains de chalcopryrite se loge très souvent dans les ombres de pressions des grains de pyrite.

3.5 Dyke rose

Une deuxième famille de dyke a été observée à l'intérieur du gîte MOP-II. Ces dykes ont des contacts graduels avec les autres unités et ont une épaisseur générale de 2 à 5 m (figure 3.30 A). Ils contiennent la même proportion de phénocristaux de quartz et de feldspath que le QFP frais mais les feldspaths ne sont visibles qu'en lame mince seulement (figure 3.33 D).

Ces dykes ont une couleur rose saumon à rose foncée qui est le fruit de deux faciès d'altération soient : 1) la carbonatation et 2) l'albitisation.

1) Tout comme les dykes blancs, les dykes roses ont subis une forte carbonatation. La matrice contient 5 % de calcite disséminée et 10 % de dolomite ferrifère finement disséminée (figures 3.31 A et 3.32). Les grains de calcite ont en moyenne de 50 à 100 μm lorsque présentés sous forme de dissémination. Lorsque présents sous forme de veinules, les grains peuvent avoir plusieurs millimètres. Les grains de dolomite ferrifère ont une grosseur moyenne de 10 μm et moins (figure 3.31 A). Cinq analyses au MEB ont été fait sur ces carbonates ferromagnésiens (appendice A2). Ces derniers ont un rapport moyen Mg/Fe de 2,7 ce qui correspond à une dolomite ferrifère.

2) On observe une grande proportion d'albite à l'intérieur de la matrice qui se présente en deux grosseurs de cristaux. Premièrement, les cristaux de 1 mm forment de 10 à 15 % de la matrice et sont entourés de séricite et de carbonates ferromagnésiens (figure 3.31), et deuxièmement les microcristaux (< 50 μm) représentent 30% de la matrice et cohabitent avec les micrograins de quartz. En résumé, la matrice se compose principalement de cristaux de 1mm d'albite et d'un mélange de microcristaux d'albite + dolomie ferrifère + quartz + séricite \pm calcite (figure 3.32).

Minéralisation :

La minéralisation observée dans cette unité se compose principalement de traces à 5% de pyrite et de chalcopryrite finement disséminée. Les grains de pyrite ont une grosseur moyenne

de 500 μm à 2 mm. À l'intérieur des zones fortement anormales en or, de fines inclusions (10 à 50 μm) d'or sont observées dans les grains de pyrite (figure 3.33 A et C). La chalcopryrite, pour sa part, se situe principalement en bordure des grains de pyrite mais (figure 3.33 C), lorsque les grains de pyrite sont fortement cataclasés, la chalcopryrite se loge dans ces fractures (figure 3.33 B).

Les teneurs en or sont très imprévisibles à l'intérieur de ces dykes. À l'est du gîte (forages 1206-04-15, 16 et 17) ils rapportent des teneurs $< 1\text{g/t}$ tandis qu'à l'ouest, (forage 1206-00-02) cette unité rapporte de très faibles teneurs en or (entre 10 et 100 ppb). Certains forages ont rapportés des teneurs fortement anormales en molybdène (ex. forage 1206-05-25 : 447 ppm / 2.7m et de 591 ppm / 3m .

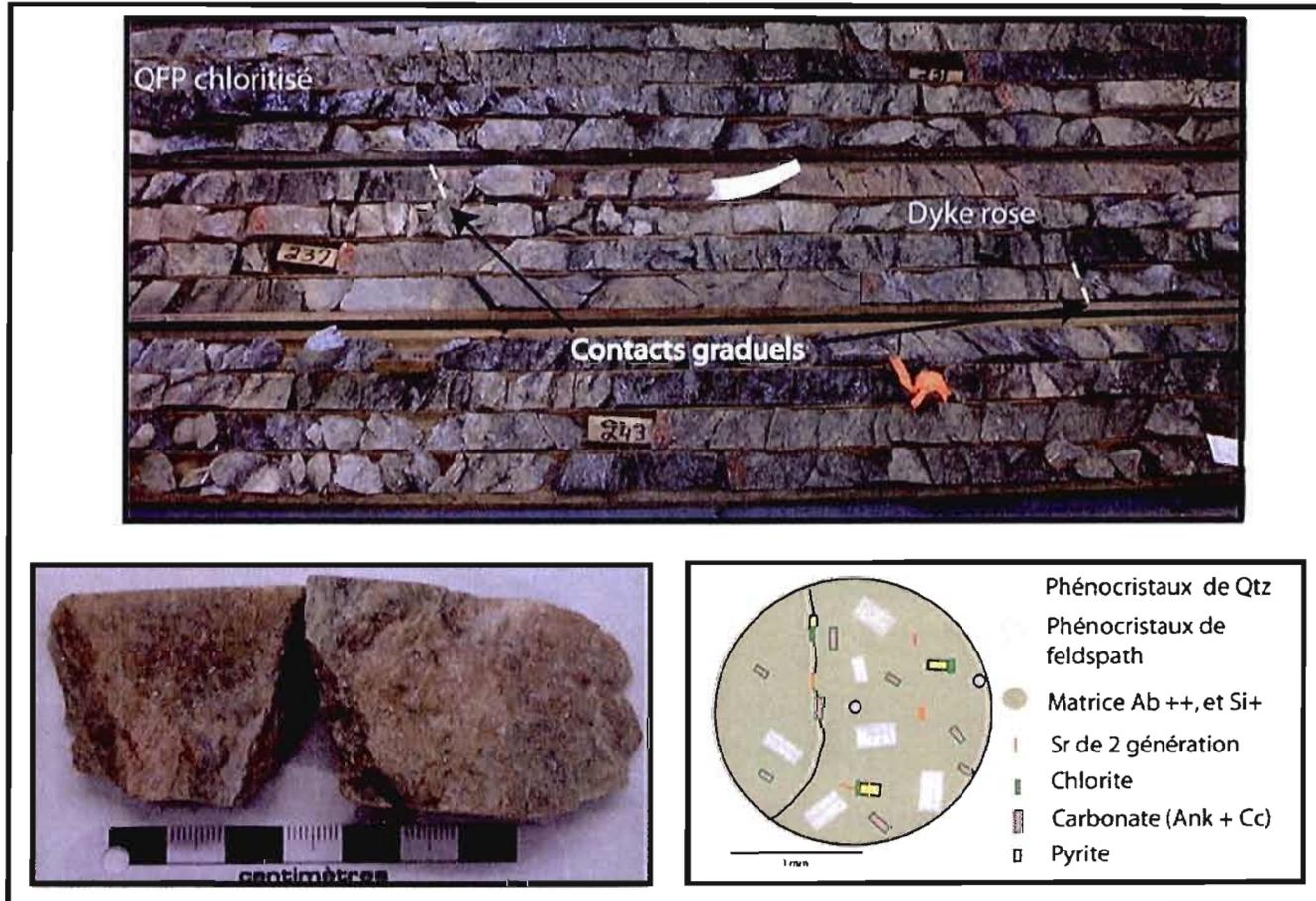


Figure 3.30 : A) Section de forage montrant les contacts flous avec le QFP chloritisé. Le ruban orange met en évidence l'échantillon ayant rapporté 1 g/t Au et + sur 1,5m. B) Photo montrant l'aspect en macroscopie C) Portrait robot d'une lame mince résumant l'ensemble des observations faite à l'intérieur de cette unité.

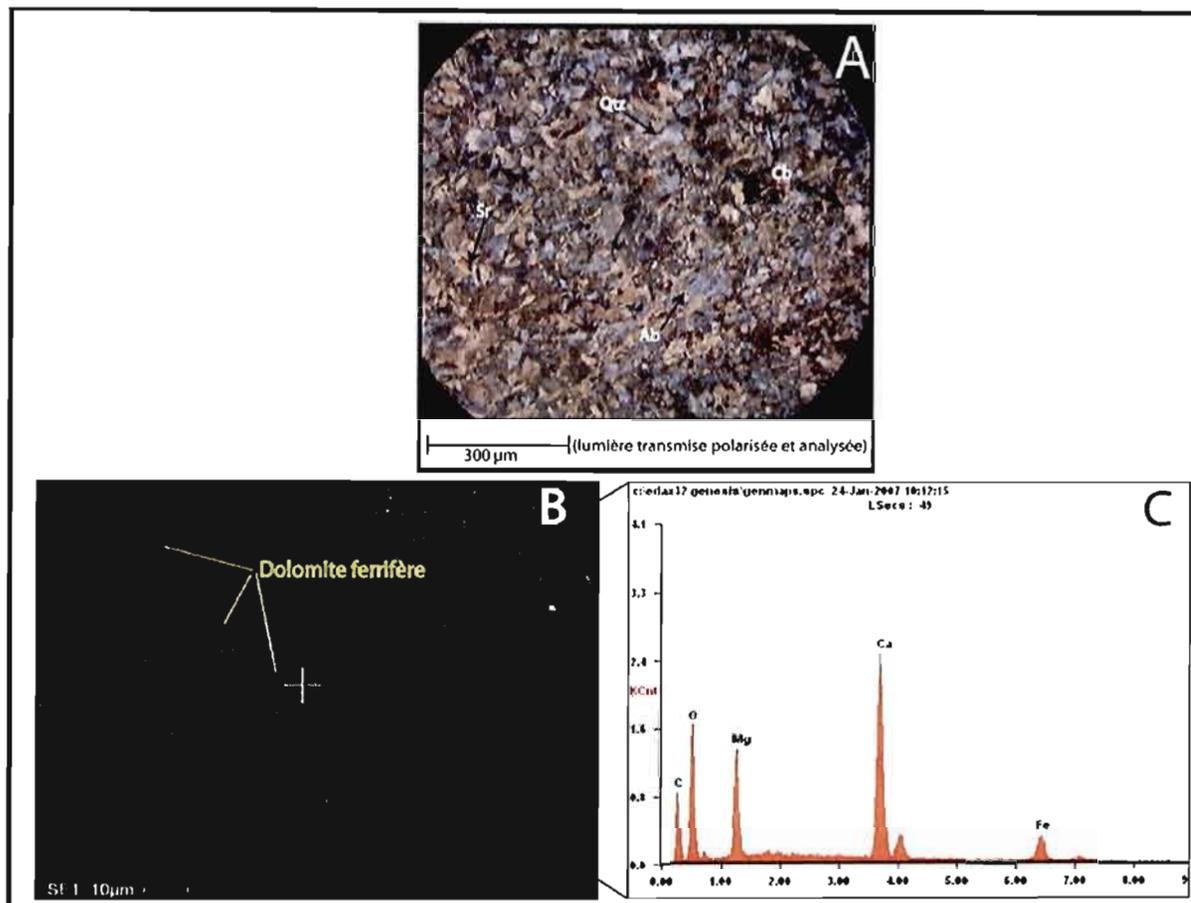


Figure 3.31 : A) Microphotographie de la matrice montrant le fort pourcentage de carbonate, d'albite, de séricite et de quartz. B) Microphotographie prise au MEB montrant la faible grosseur des grains de carbonates. C) Spectre d'analyse de cette dolomite ferrifère.

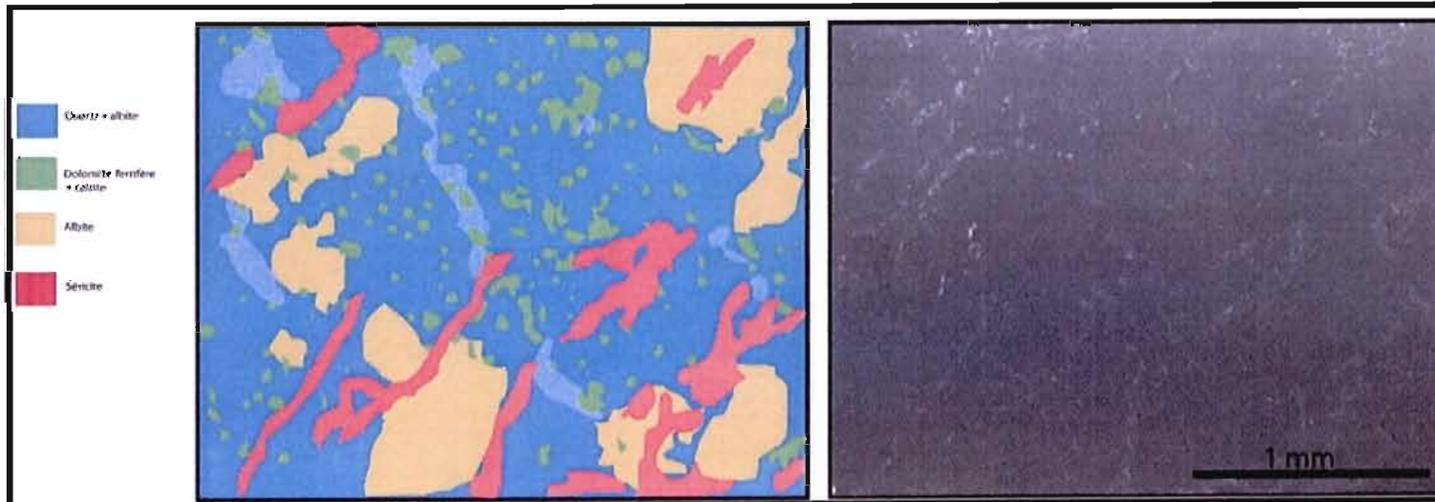


Figure 3.32 : Analyse d'une section de matrice faite au MEB. La matrice se compose d'un fond riche en quartz et albite, de gros cristaux d'albite (1mm) et de quartz et de 15% de carbonates disséminés. La séricite forme des bandes qui recourent les cristaux d'albite et de quartz. Les données brutes sont présentées à l'appendice A5.

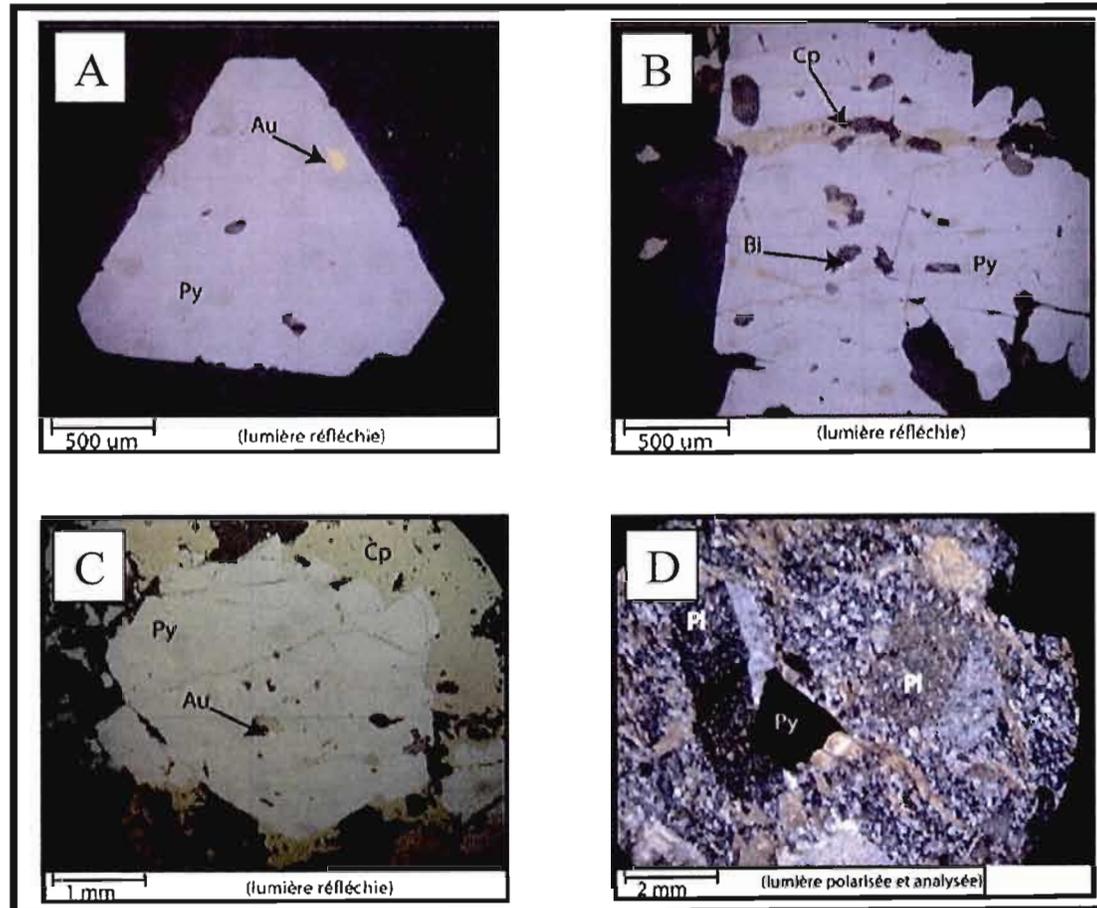


Figure 3.33: A) Grain d'or à l'intérieur d'un cristal de Py automorphe. B) Cristal de Py cataclaté contenant de la Cp à l'intérieur des fractures et un petit grains < 10μm de bismuth natif. C) Cristal de Py entouré de Cp. Un grain d'or est observé en inclusion à l'intérieur de la Py. D) Plagioclase bien conservé à l'intérieur d'un dyke rose.

3.6 Rhyolite

Étant donné la forte altération hydrothermale qu'a subie l'intrusion felsique, il devient très difficile macroscopiquement de faire la distinction entre le porphyre à quartz et feldspath et une éventuelle unité rhyolitique. Cashin (1988) fait la description d'unités rhyolitiques observées dans la partie sud du gîte. La description de cette unité est très semblable au QFP silicifié et séricité. Étant donné l'absence de rhyolite dans les forages disponibles à l'entrepôt et décrits par ce géologue, il est impossible de corréler notre unité QFP silicifié et séricité et les rhyolites décrites par Cashin (1988).

Certaines observations nous permettent de constater la faible profondeur de mise en place de l'intrusion (1 à 2 km): la faible quantité de phénocristaux à l'intérieur de certaines unités, la texture porphyrique de l'intrusion, et la petite taille des phénocristaux. De plus, les roches intrusives et effusives forment une suite volcanique dont les contacts sont très graduels.

CHAPITRE IV

GÉOCHIMIE

4.1 Introduction

Lors de l'été 2005, 25 échantillons lithogéochimiques ont été prélevés à l'intérieur du gîte afin de caractériser chacune des unités (376901 à 376925). SOQUEM INC., en 2000, a prélevé un échantillon de l'intrusion non altéré (QFP frais) à l'intérieur du forage 1206-00-02 (#91315) et un échantillon à l'intérieur du forage 1206-00-02 (#91316). De plus, trois échantillons proviennent de la rampe d'exploration (#91312, #91313, #91314). Le tableau 4.1 présente le numéro d'échantillon correspondant à chacune des unités et la figure 4.1 montre la position de ces derniers à l'intérieur du gîte. Dû à la forte altération des roches, les diagrammes de la section 4.1 et 4.2 sont construits avec des données lithogéochimiques normalisées à 100% anhydre et remises à 100%.

Nom de l'unité	Échantillons lithogéochimiques
QFP frais	91315, 91316
QFP silicifiée + QFP silicifié et séricitisé	376913, 376914, 376915, 376917, 376918, 376919, 376920, 376922, 376923, 916914
QFP chloritisée	376911 et 376912
Dyke rose	376905, 376906, 376907, 376925
Dyke blanc	376908, 376909, 376910, 916912
Mylonite à Qtz-Sr	376901, 376902, 376903, 376904, 376916,
Volcanites foliées	376921

Tableau 4.1 : Numéros d'échantillons lithogéochimiques correspondant à chacune des unités.

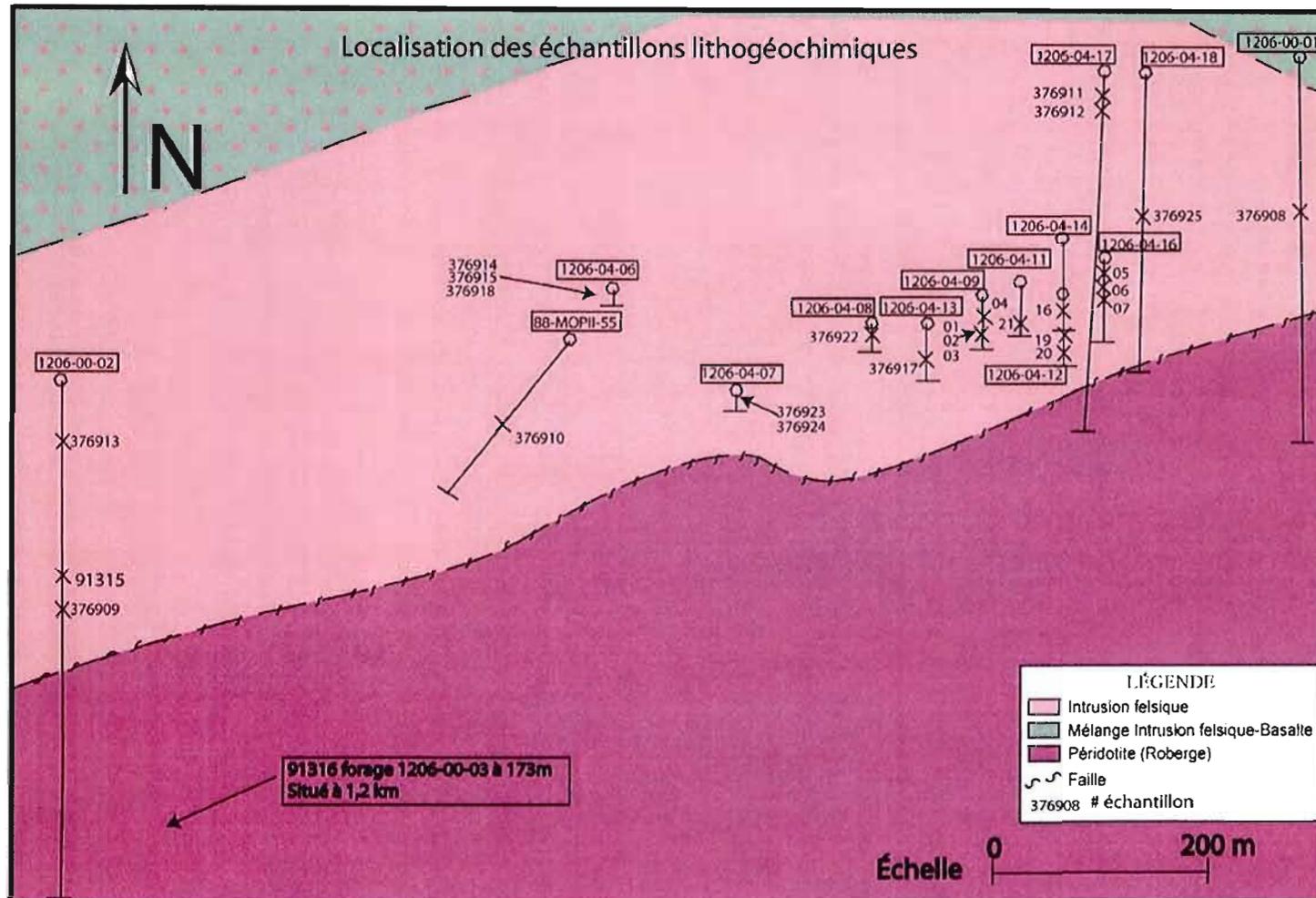


Figure 4.1 : Localisation des échantillons lithogéochimiques pris à l'intérieur du gîte MOP-II.

4.2 Composition chimique de l'intrusion porphyrique

Le porphyre de MOP-II a des teneurs en silice variant entre 66 et 72%. Des tests de coloration des feldspaths, au colbatinitrite de sodium ont été effectués sur les échantillons provenant du QFP frais (trois échantillons : 916915, 916916 et un autre échantillon non analysé). Ceci a permis de constater que l'intrusion porphyrique est composée d'environ 30% de quartz et 70% de feldspath plagioclase. Aucun feldspath potassique n'a été observé. Sur le diagramme de Streckeisen et al. (1979) présenté à la figure 4.2, ces roches sont de composition tonalitique. Sur le diagramme d'affinité alcaline des roches intrusives de Feng et Kerrich (1992) (figure 4.3), ces tonalites se classifient dans le champs de la suite TGGM calco-alcaline. Ceci est cohérent avec le traçage des échantillons de MOP-II sur le diagramme de classification d'affinité magmatique Zr versus Y (limite des champs selon Barrett et MacLean (1999)) qui est présenté à la figure 4.4. Ce graphique, montre que les roches felsiques sont d'affinités calco-alcalines.

Le diagramme Zr vs TiO_2 illustre que les échantillons de MOP-II ont des teneurs en TiO_2 et Zr très semblables soit : entre 0,21 et 0,32 % TiO_2 et 82 et 114 ppm Zr (figure 4.5). Les roches des différentes unités proviennent donc toutes d'une même source magmatique avec un taux de différenciation semblable. L'échantillon 376921 a été prélevé à l'intérieur des volcanites foliées et rapporte des teneurs en TiO_2 et Zr plus élevées, (0,55% TiO_2 et 164 ppm Zr). Ceci nous indique qu'il provient d'une unité plus différenciée.

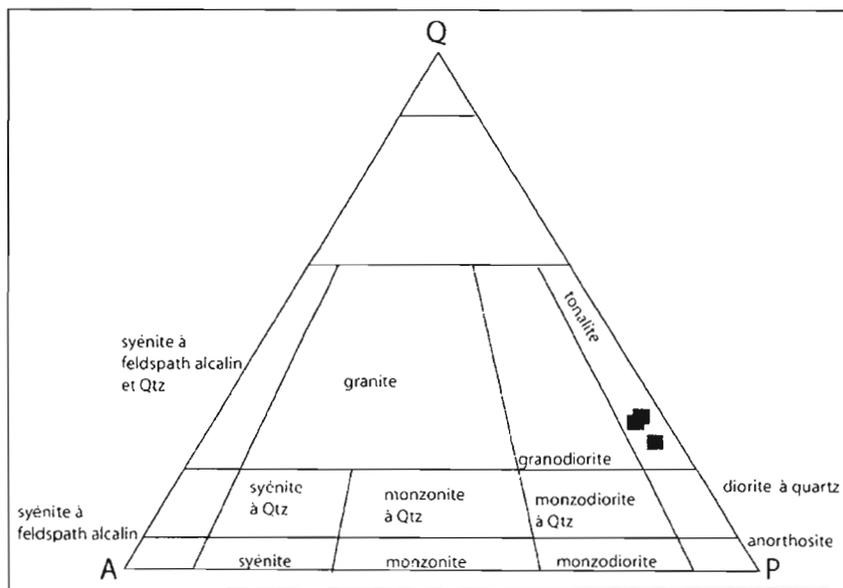


Figure 4.2 : **Diagramme de classification des roches intrusives de Streckeisen et al. 1979.** Les roches fraîches de MOP-II correspondent à des tonalites.

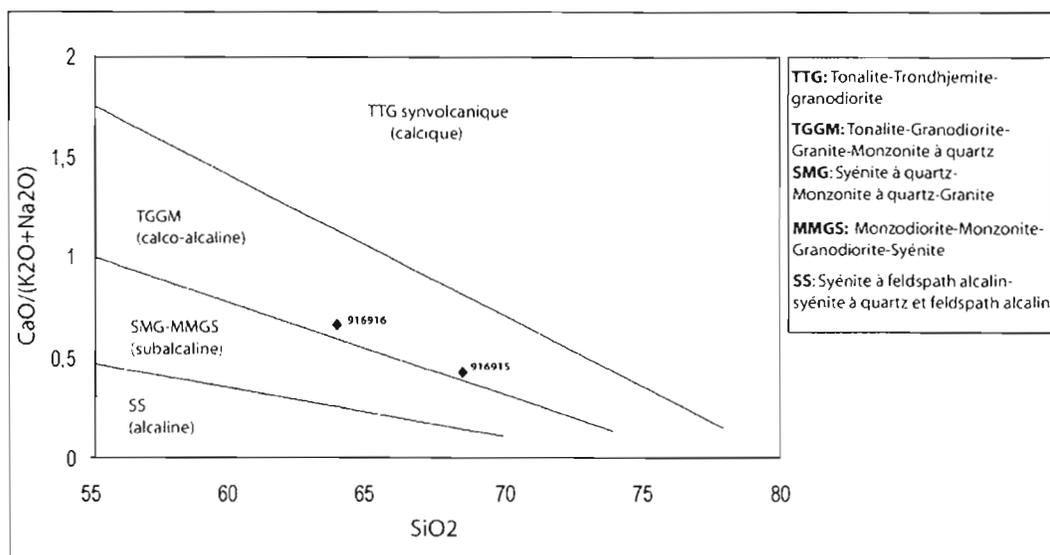


Figure 4.3 : **Diagramme d'affinité alcaline $\text{CaO}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ Vs SiO_2 pour les roches plutoniques.** Les roches intrusives de MOP2 se classifient dans le champ de la suite TGGM calco-alcaline.

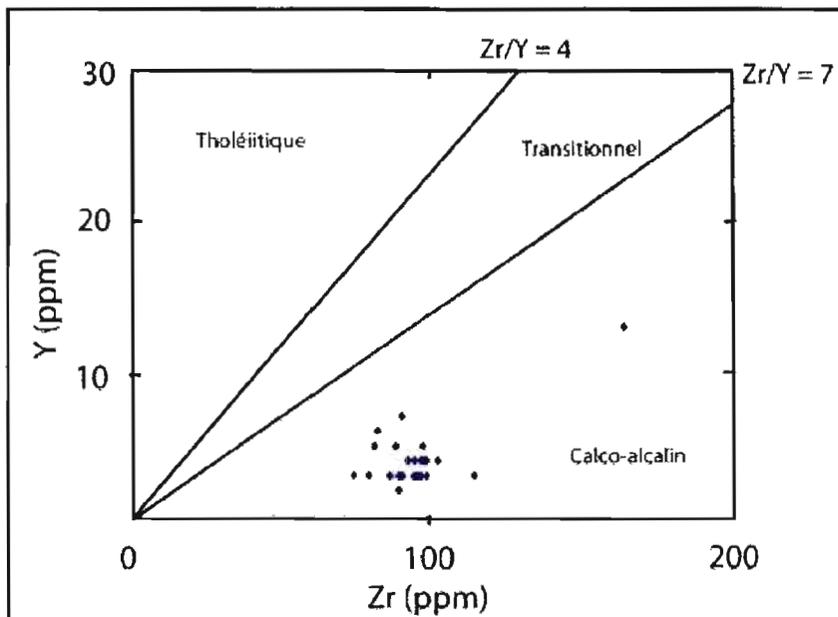


Figure 4.4 : Diagramme Y vs Zr pour les roches plutoniques. Limites des champs selon Barrett et Maclean (1999). Les roches felsiques de MOP-II sont clairement d'affinités calco-alcalines.

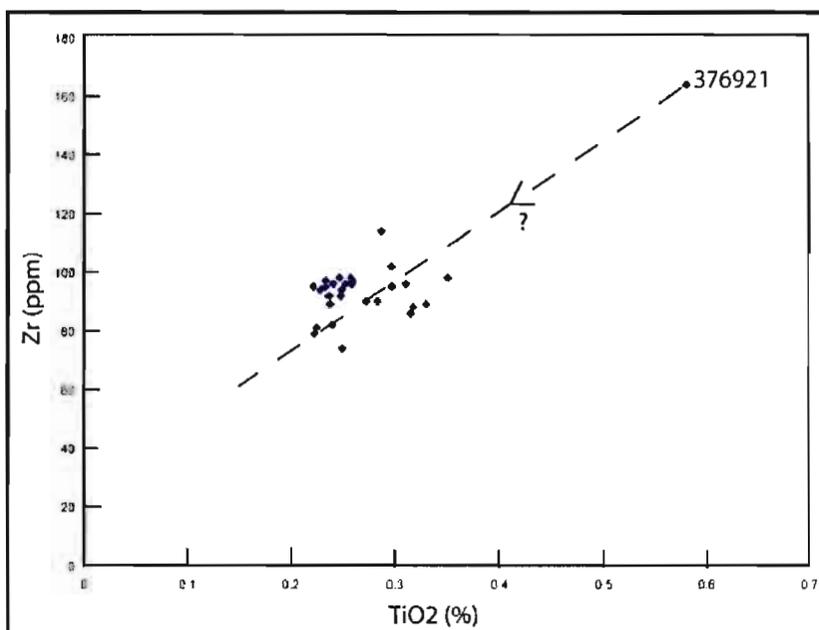


Figure 4.5 : Diagramme Zr vs TiO_2 . Les roches échantillonnées proviennent d'un même magma. L'échantillon 376921 correspond aux volcanites foliées qui proviennent d'un magma plus évolué.

4.3 Géochimie des unités définies dans l'intrusion felsique.

4.3.1 QFP silicifié et QFP silicifié et séricitisé

Pour chacune des unités décrites au chapitre III, la moyenne de chaque élément a été calculée et ces données sont rapportées sur des diagrammes présentés aux figures 4.7 et 4.8. Les unités QFP silicifié et QFP silicifié et séricitisé se démarquent principalement par leur teneur en SiO_2 plus fortes que les autres unités. La moyenne du pourcentage de silice de celles-ci est 2 % plus forte que celles des autres unités (67 % vs 65 %), ce qui est cohérent avec les observations pétrographiques montrant une silicification très intense de la matrice. Le CaO et le CO_2 sont présents en faible quantité (moyenne de 2 % CaO et 1,5% CO_2), dus à la faible carbonatation de ces unités par rapport aux autres. Le pourcentage de K_2O est relativement faible même si certains échantillons contiennent beaucoup de séricite. La séricite de première génération ne semble pas apporter de haute valeur en K_2O comparativement à la séricite verte pomme associée à la mylonite à Qtz-Sr.

4.3.2 QFP chloritisé

Ce qui caractérise le QFP chloritisé est le fort pourcentage de MgO (1,2 %), de CaO (4 %) et de CO_2 (3,75 %), lié à la forte chloritisation et carbonatation (principalement calcite) de cette unité.

4.3.3 Mylonite à Qtz-Sr

Cette unité a une signature géochimique différente des autres unités. Elle contient de faibles teneurs en CaO, CO_2 , Na_2O , MgO et de forte teneur en K_2O . Ceci lié à l'absence de carbonates, de chlorite et de feldspath à l'intérieur de cette unité. Le fort pourcentage de K_2O

(jusqu'à 4,79 %) est lié à la grande quantité de séricite verte pomme observée à l'intérieur de celle-ci.

Le forage 1206-04-09 a intercepté une veine de pyrite semi massive riche en or (jusqu'à 14 000 ppb), encaissée à l'intérieur de la mylonite. Trois échantillons ont été prélevés aux abords et à l'intérieur de celle-ci afin de voir la mobilité des éléments (figure 4.6).

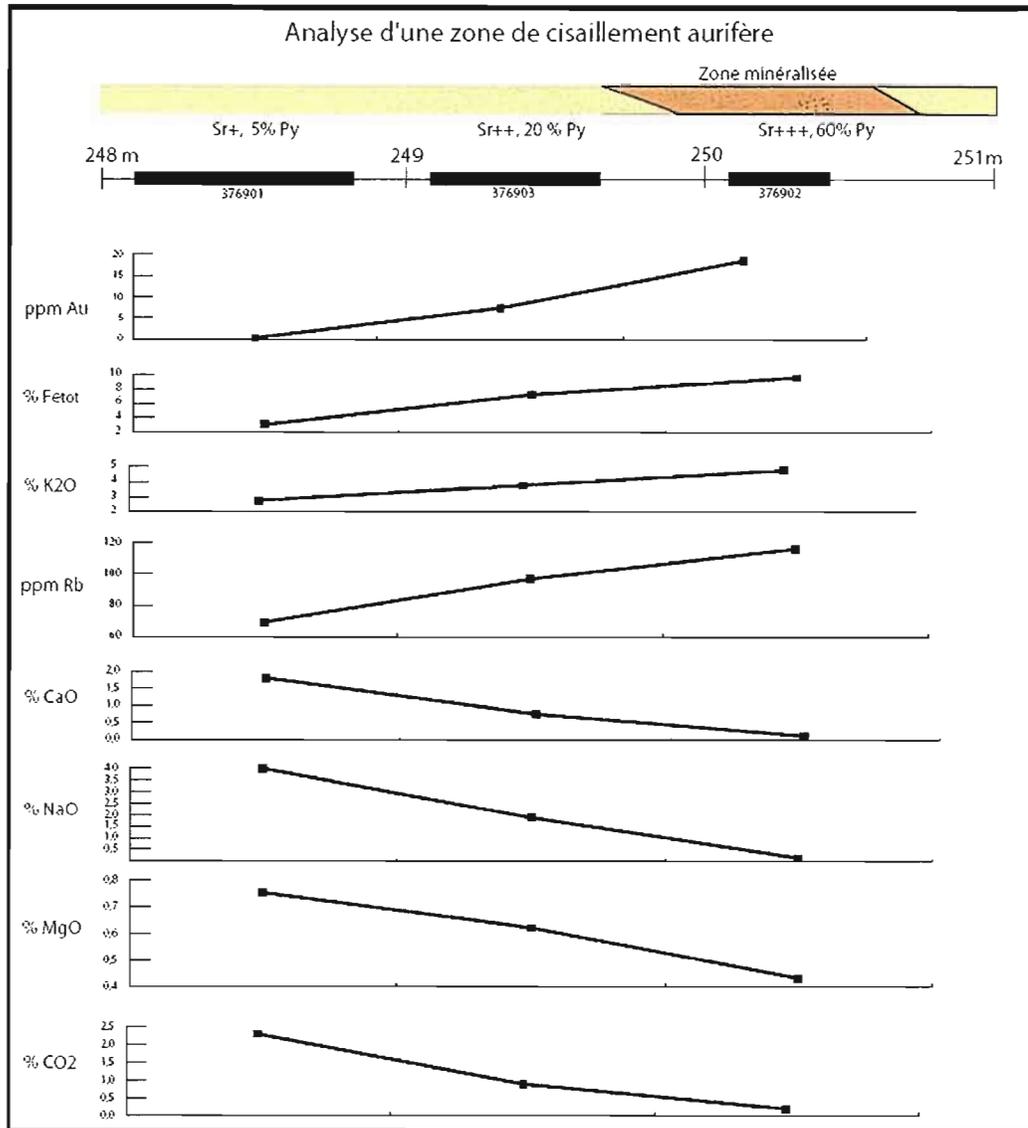


Figure 4.6: Les zones minéralisées encaissées à l'intérieur de l'unité verte montrent un enrichissement en Au, K₂O, Rb et Fe₂O₃ et un appauvrissement en CaO, Na₂O, MgO et CO₂.

La veine est enrichie en or, (de 700 ppb à 18 000 ppb), en Fe_2O_3 , en K_2O , et en Rb et appauvrie en CaO, NaO, MgO et CO_2 . Cette veine contient évidemment beaucoup de pyrite mais aussi beaucoup de séricite verte à l'intérieur des ombres de pression des grains de pyrite. Par ailleurs, ces veines encaissées à l'intérieur de cette unité ne contiennent pas de carbonates, d'albite et de chlorite.

4.3.4 Dyke blanc

Ce qui caractérise ces dykes est le fort pourcentage de CO_2 (moyenne de 3,2%) et de CaO (moyenne de 3,38%). Ceci est lié à la forte quantité de carbonates (dolomite ferrifère et calcite) observée à l'intérieur de cette unité.

4.3.5 Dyke rose

Ces dykes montrent les mêmes caractéristiques géochimiques que les dykes blancs. Malgré la forte albitisation, la teneur en Na_2O n'est pas très élevée. L'albitisation semble s'être fait isochimiquement, c'est-à-dire, sans apport extérieur de Na.

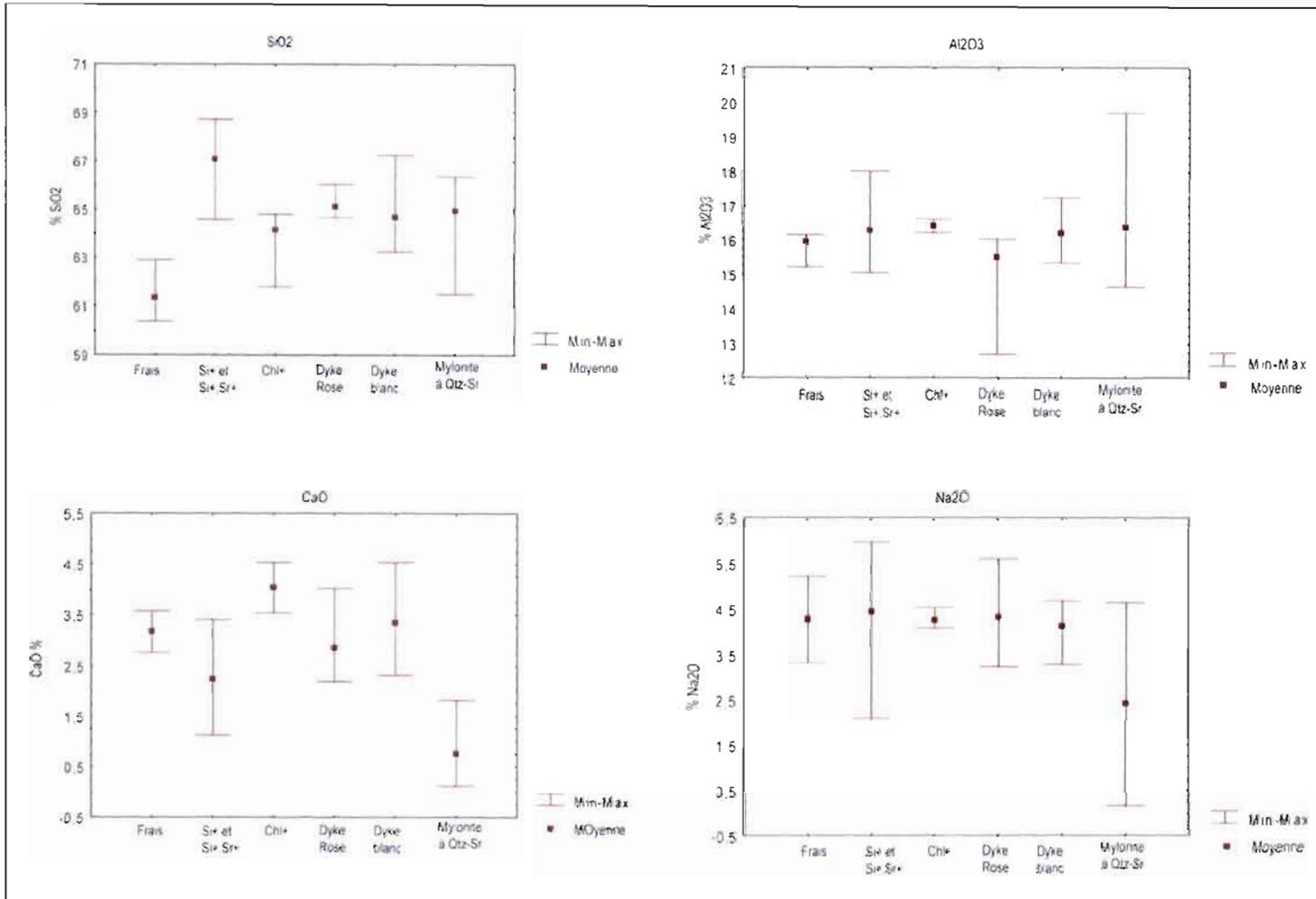


Figure 4.7 : Diagrammes montrant le pourcentage de SiO₂, Al₂O₃, CaO et Na₂O de chacune des unités.

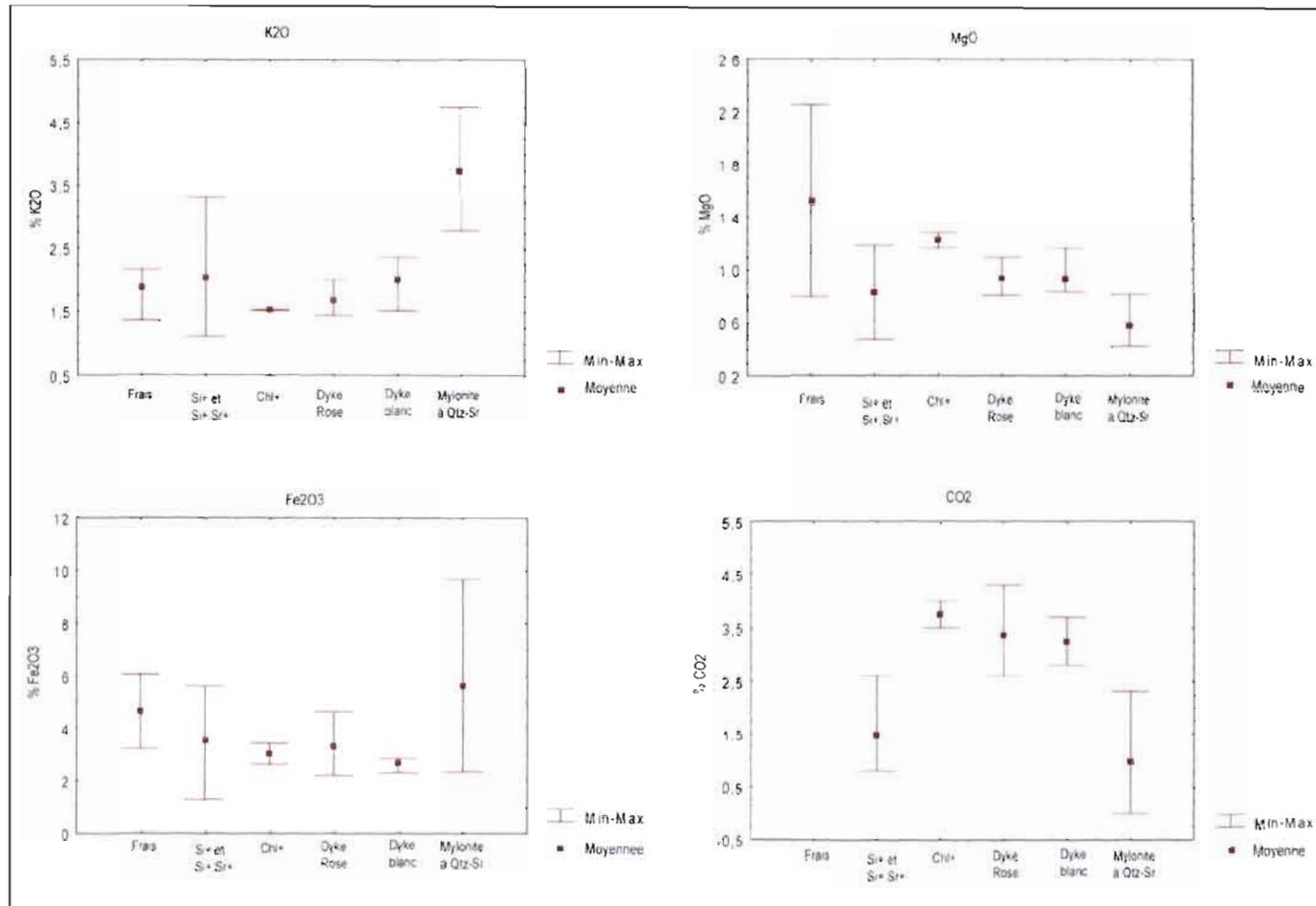


Figure 4.8 : Diagramme montrant le pourcentage de K₂O, MgO, Fe₂O₃ et CO₂ de chacune des unités.

CHAPITRE V

CARTOGRAPHIE

5.1 Introduction

Ce chapitre contient la cartographie des éléments suivants

- La section 5.2 présente une cartographie de la topographie de la couverture quaternaire et du socle (figures 5.1 à 5.3);
- Les sections 5.3.1 et 5.4.1 montrent une cartographie des lithologies décrites dans le chapitre II en plan (figure 5.4) et en section (5.16) et les sections 5.3.4 et 5.4.4 portent sur la cartographie des unités décrites à l'intérieur du chapitre III aussi en plan (figure 3.1) et en section (figure 5.28);
- Les sections 5.3.2 et 5.4.2 présentent une cartographie des enveloppes d'altération faite avec des mailles par interpolation en utilisant la base de données pour les faciès d'altération suivants : silice (plan = figure 5.6 et section = figure 5.18), séricite (plan = figure 5.5 et section = figure 5.17), carbonates (plan = figure 5.8 et section = figure 5.20) et chlorite (plan = figure 5.7 et section = figure 5.19) et de la déformation (plan = figure 5.9 et section = figure 5.21). Ces données sont ensuite compilées sur la figure 5.10 pour la vue en plan et sur la figure 5.22 pour la vue en section;
- Les sections 5.3.3 et 5.4.3 présentent une cartographie des zonalités métalliques suivantes : or (plan = figure 5.14 et section = figure 5.26), % de chalcopyrrite (plan = 5.12 et section = 5.24), % de molybdénite (plan = 5.11 et section = figure 5.23) et % de pyrite (plan = figure 5.13 et section = figure 5.25). Ces cartes sont aussi faites avec la base de données. Ces données sont ensuite compilées sur la figure 5.15 pour la vue en plan et sur la figure 5.27 pour la vue en section;

5.2 Cartographie de la topographie de la couverture quaternaire et du socle

5.2.1 Topographie de la couverture quaternaire

Le gîte Mop-II se situe à l'intérieur d'un secteur peu montagneux où l'altitude moyenne des forages est de 373 m. Le forage ayant la plus haute élévation est le 86-MOP II-02 (405m) et celui qui a la plus basse élévation est le forage MOP II- 14 avec une altitude de 369 m (outre les forages exécutés à l'intérieur de la rampe). Comme présenté sur la figure 5.1, le centre du gîte se situe dans un secteur plat et relativement peu élevé.

5.2.2 Topographie du socle

Comme énoncé dans l'introduction, le gîte MOP-II n'affleure pas et l'épaisseur de dépôt quaternaire varie beaucoup dans ce secteur : entre 2,4 m (1206-04-05) et 82,6 m (MOP2-10).

L'altitude de la surface du socle est rapportée à la figure 5.2. Cette représentation 3D montre que la zone centrale forme un dôme qui a une altitude de 370 m et qu'une forte dépression est observée à l'ouest du gîte avec une altitude de 327 m (de plus de 40 m).

La figure 5.3 présente un agrandissement de la zone centrale où une dépression du socle d'orientation N075° (d'environ 30 m de largeur et 25 m de profondeur) qui traverse gîte. Cette dernière s'amincie vers l'est et devient plus large et plus profonde vers l'ouest. Ce creux correspond à la zone à chlorite-carbonates définie plus loin dans ce chapitre.

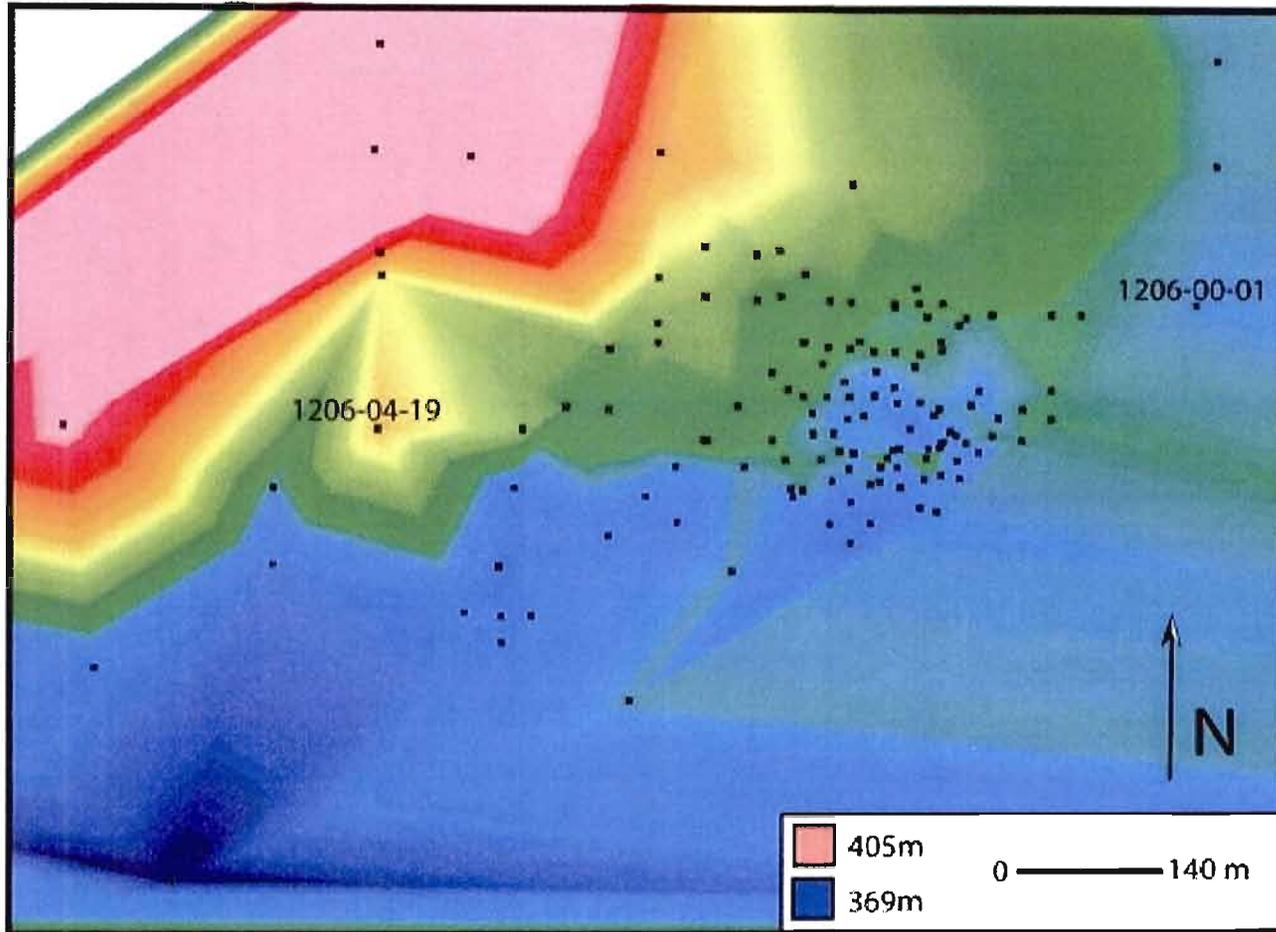


Figure 5.1 : Topographie du secteur du gîte. Le cœur du gîte est situé dans une zone topographique intermédiaire (373 m) entre le haut topographique situé au nord (405 m) et le bas situé au sud ouest du gîte (369 m).

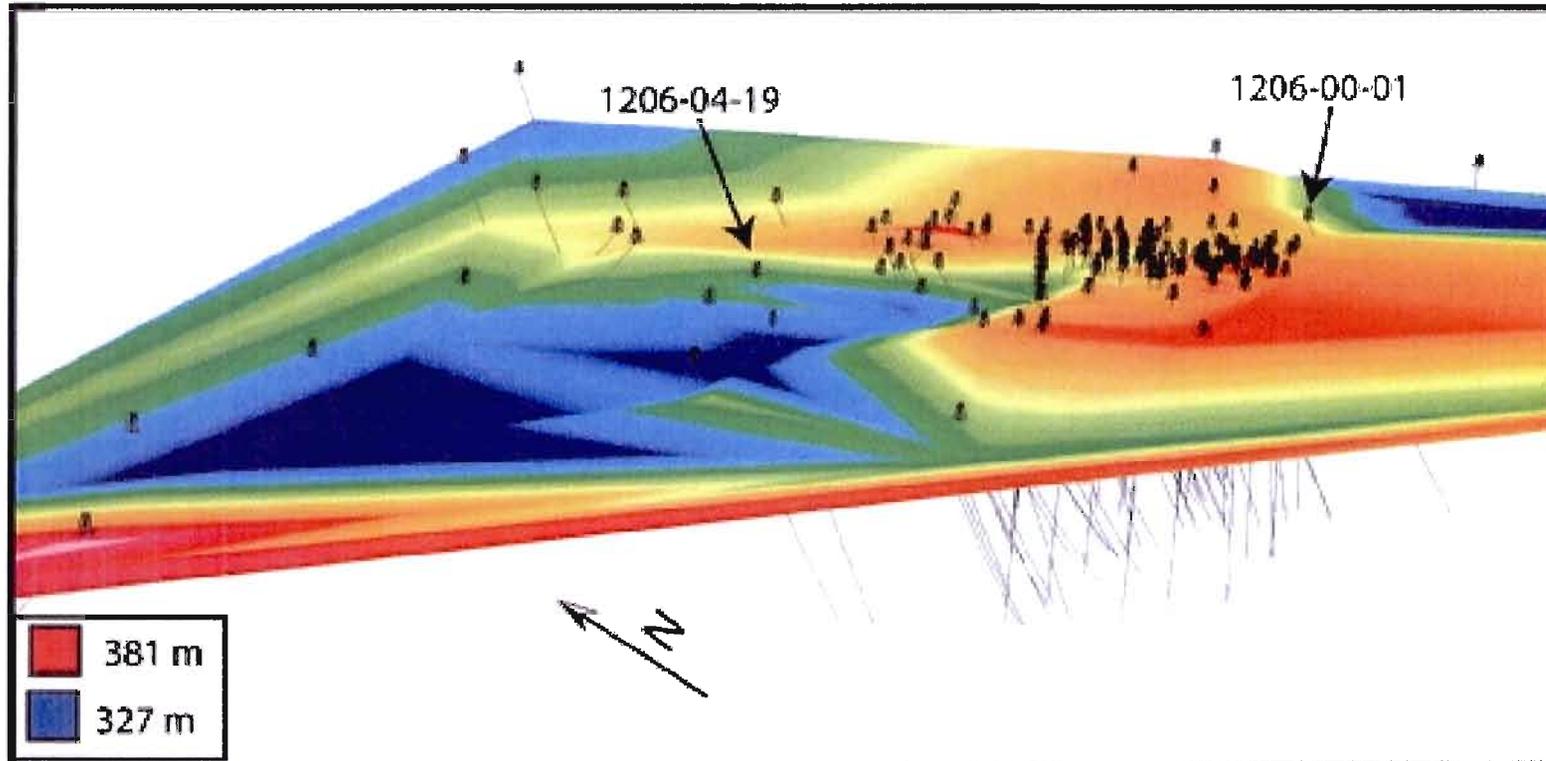


Figure 5.2 : Représentation 3D de la topographie du socle sous la couverture quaternaire. Les isocontours sont faits à partir de l'altitude (en mètre) de la surface du socle. Le cœur du gîte est situé sous une faible épaisseur de mort terrain (environ 3m) et sous une haute topographie du socle (environ 370 m). À l'ouest du gîte, l'épaisseur de mort terrain est beaucoup plus grande (jusqu'à 83 m) relié à un creux topographique du socle (327 m). Les forages 1206-04-19 et 1206-00-01 servent de points de référence.

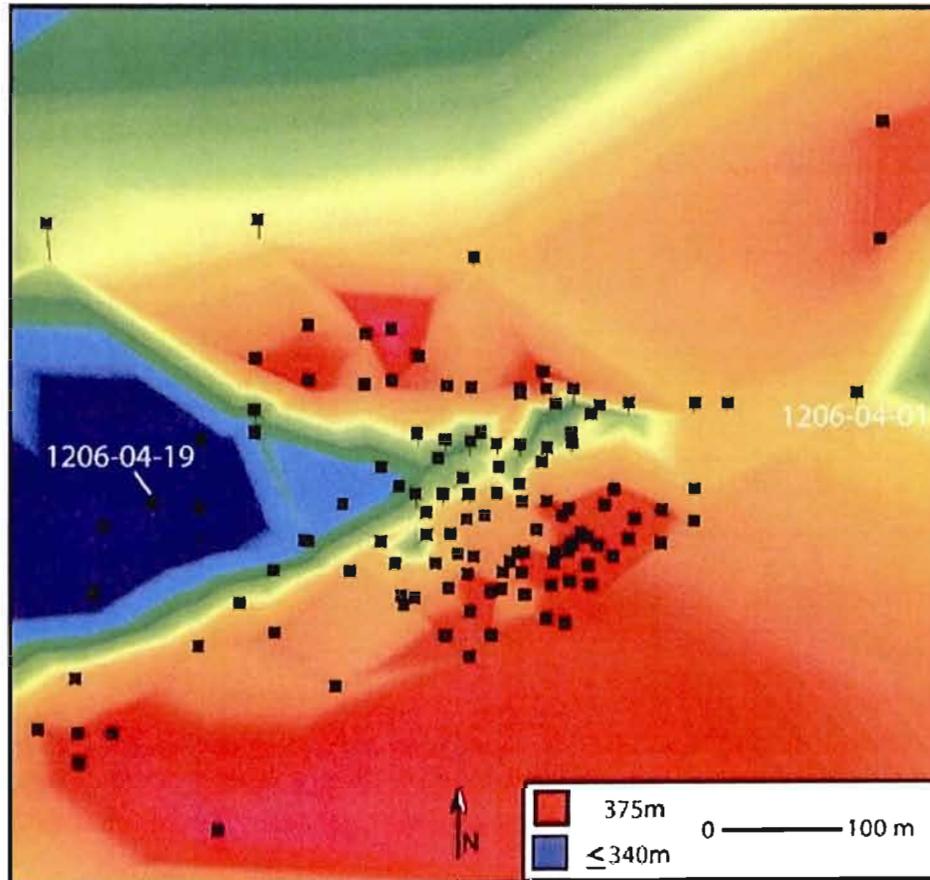


Figure 5.3 : Agrandissement de la figure 5.2 centré le centre du dépôt. Une dépression du socle d'orientation N075° (d'environ 25m) traverse le coeur du gîte.

5.3 Plan niveau (250 m ± 25 m)

Afin de tirer le plus d'informations possibles sur le cœur du gîte, le plan niveau est fait à l'altitude 250m avec une enveloppe de 50m (25m en haut et en bas). À ce niveau apparaît les traces de la majorité des forages de surface ainsi que les forages exécutés à partir de la rampe.

5.3.1 Cartographie des lithologies

Six lithologies peuvent être tracées sur ce plan : l'intrusion porphyrique, les roches ultramafiques du Filon-couche de Roberge (mur du gîte), des lambeaux de basalte, des dykes de gabbro, quatre zones de brèches ainsi que les volcanites foliées décrites à la section 2.2.5 (figure 5.4).

Le contact sud entre le porphyre et la péridotite du Filon-couche de Roberge est sinueux et irrégulier, principalement au cœur du gîte. Très peu de forages nous permettent de tracer précisément ce contact au niveau 250m. À l'intérieur de la péridotite, nous observons des lambeaux métriques de basalte et de QFP. Le contact nord, porphyre-basalte n'est pas intercepté par les forages à ce niveau.

Dans la partie centre-nord du dépôt, quatre zones métriques de brèches recoupent l'intrusion. Celles-ci correspondent à l'unité décrite dans la section 2.2.3. Ces dernières rapportent des teneurs fortement anormales en or (voir chapitre VI). Deux dykes de gabbro sont cartographiés en périphérie nord du gîte et ont une orientation de N070°, soit parallèle à la faille Mc Adam. Une bande relativement étroite (10 m) de volcanites foliées est observée à proximité de la faille de Mc Adam.

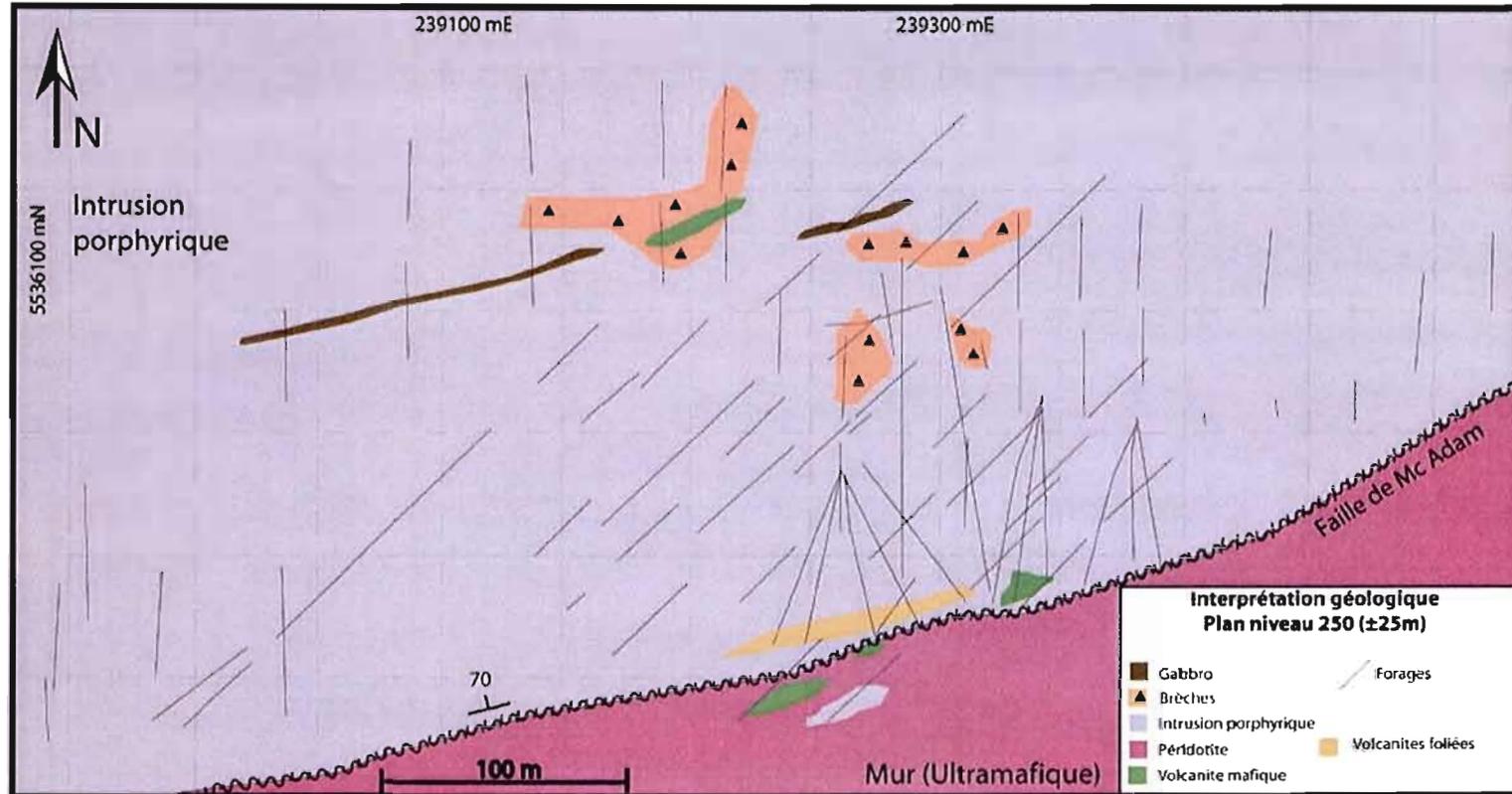


Figure 5.4 : Plan niveau (250 m ± 25m). Au sud, la lithologie observée est la péridotite du Filon-couche de Roberge. Le contact du toit (basalte-porphyre) n'est pas visible sur ce plan. Seulement un horizon de 50m de basalte est présent au nord. À l'intérieur de la péridotite, nous observons quelques lambeaux métriques de basalte et de porphyre. Dans la partie nord du gîte, une zone de brèche recoupe le QFP. Deux dykes de gabbro sont cartographiés en périphérie nord du gîte. Ces derniers ont une orientation approximative de N070°, soit parallèle à la faille Mc Adam.

5.3.2 Cartographie de l'altération et de la déformation

- *Séricite*

La séricite est le principal minéral d'altération qui est omniprésent à l'intérieur du gîte (figures 5.5 et 5.10). Cette séricitisation est particulièrement intense au cœur et à l'extrémité nord-ouest du gîte. De plus, il y a une forte concentration en séricite long de la faille de Mc Adam.

- *Silice*

La silice est principalement concentrée au cœur du gîte (figures 5.6 et 5.10). Contrairement à la séricite, elle n'est pas favorablement concentrée le long de la faille de Mc Adam.

- *Chlorite*

Le cœur du gîte est faiblement chloritisé tandis qu'en périphérie la chloritisation est très pénétrative (figures 5.7 et 5.10). Ce halo de chlorite a une forme en croissant.

- *Carbonates*

À l'intérieur de forages, l'ankérite et la dolomite sont difficiles à reconnaître car seul l'oxydation permet de mettre en évidence ces minéraux (autre le test de coloration). Par opposition, la calcite qui réagit à l'acide chlorhydrique est plus facile à caractériser. À l'intérieur des journaux de sondage, le type de carbonate n'est pas systématiquement précisé, pour cette raison, la cartographie (figures 5.8 et 5.10) ne discrimine pas le type de carbonate. Les zones de forte carbonatation forment un demi-cercle en périphérie du gîte qui épouse la même forme que celle définie par la chlorite.

- *Intensité de la déformation*

Les zones fortement déformées se concentrent le long de la faille Mc Adam, au nord-est et au nord-ouest du gîte. La déformation a particulièrement affectée les zones chloritisées et séricitisées (figures 5.9 et 5.10).

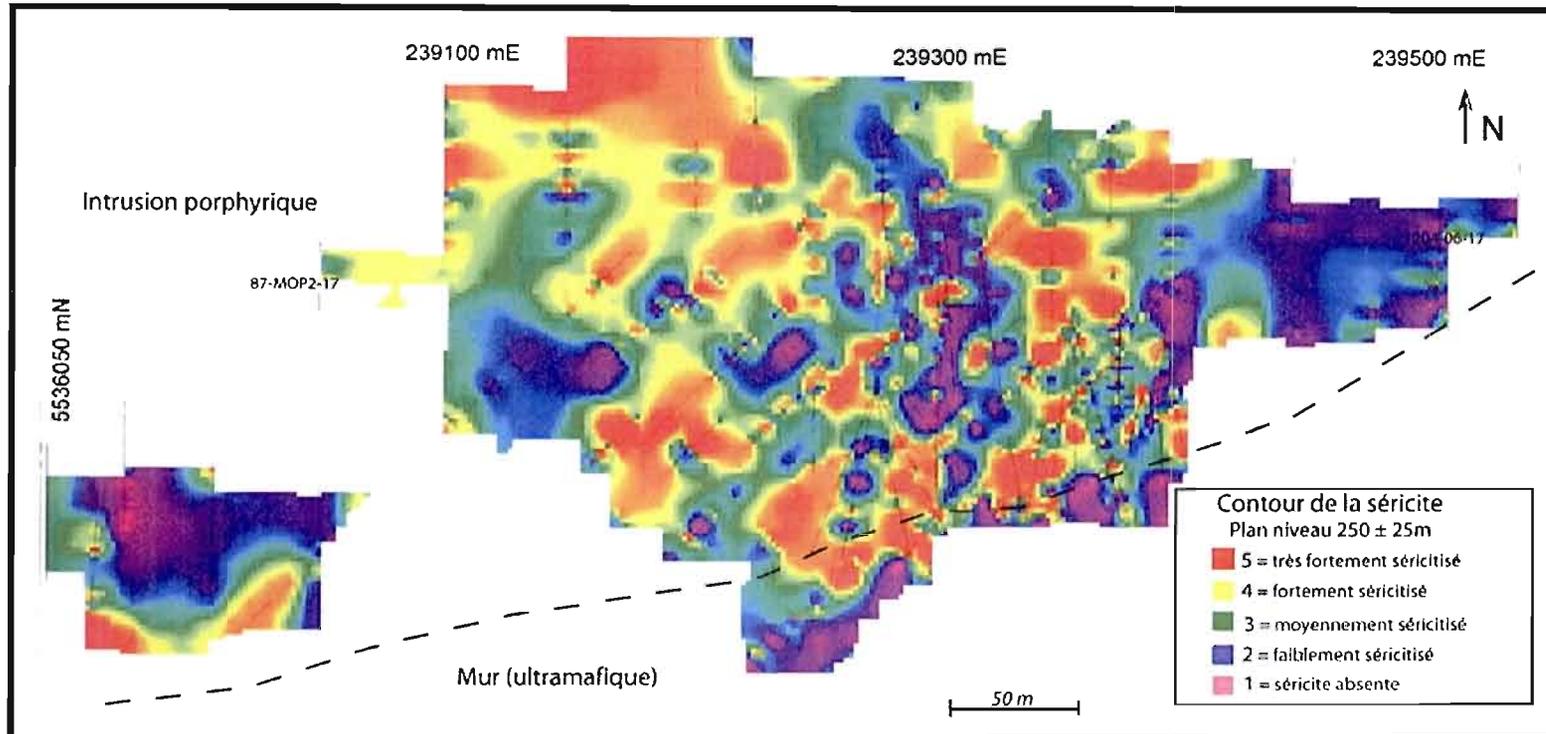


Figure 5.5 : Plan niveau 250 m montrant les contours de l'intensité de l'altération en séricite. À ce niveau, la séricite est observé partout à l'intérieur du gîte.

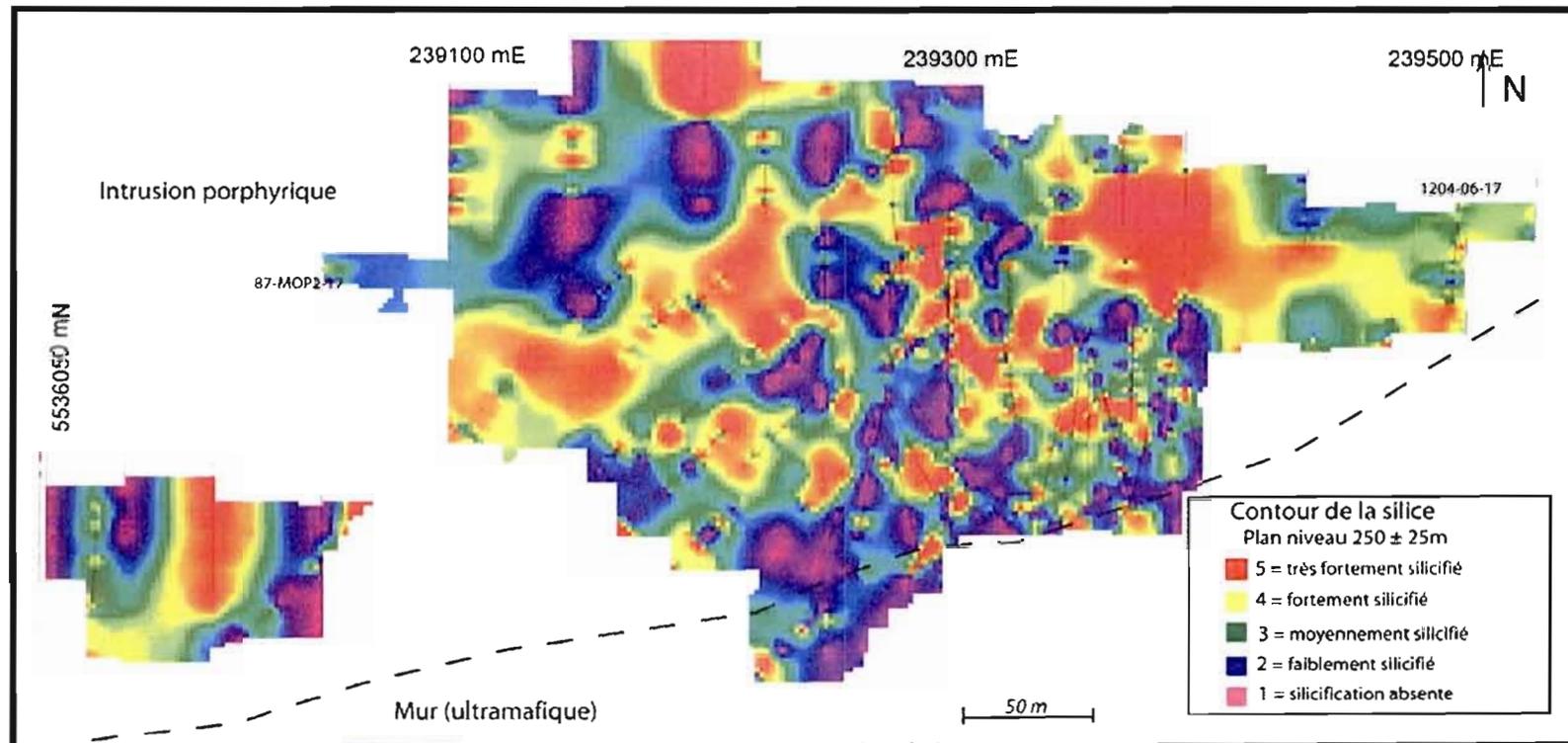


Figure 5.6 : Plan niveau 250 m montrant les contours de l'intensité de l'altération en silice. Contrairement à la séricite, la silice n'est pas fortement concentrée près de la faille Mc Adam.

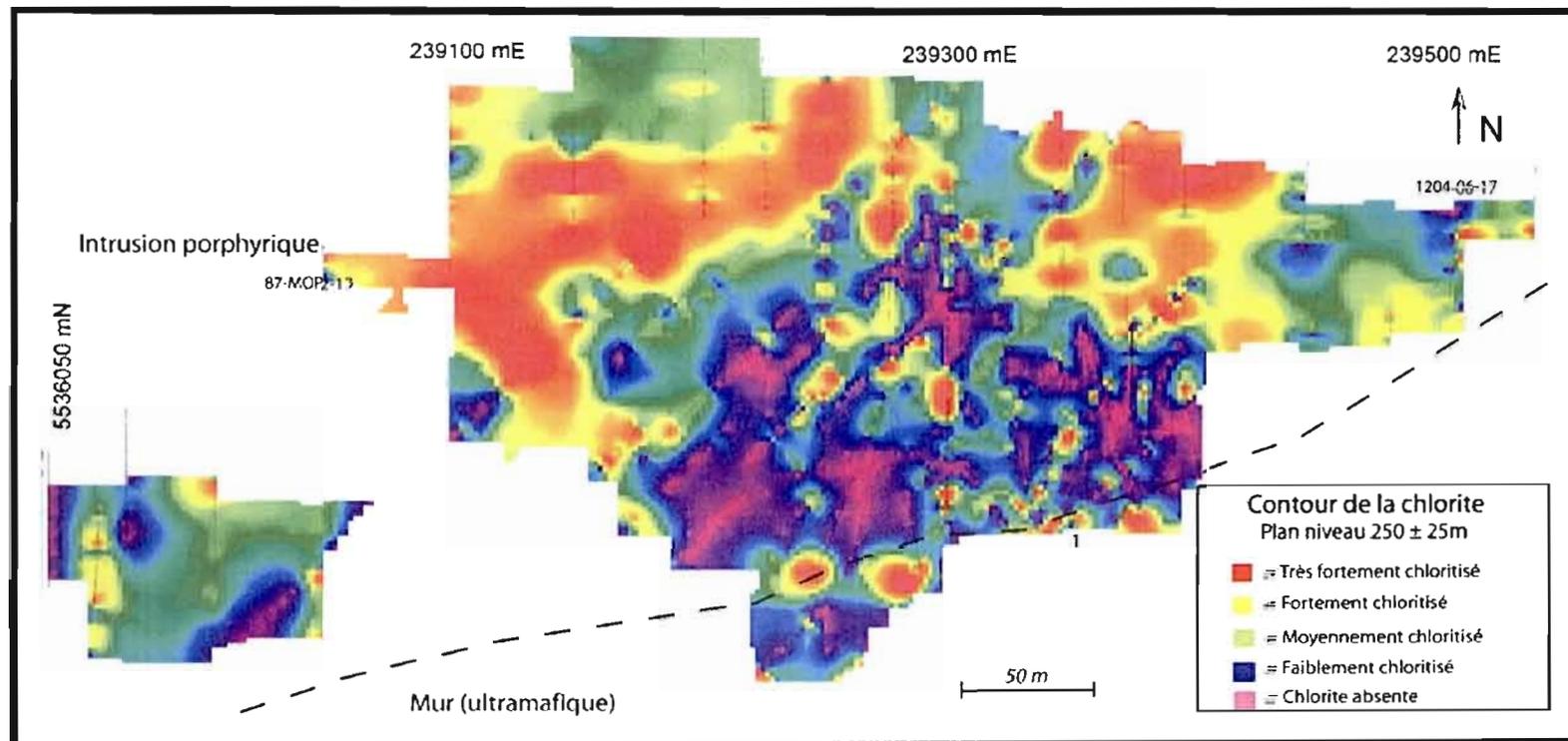


Figure 5.7 : Plan niveau 250 m montrant les contours de l'intensité de l'altération en chlorite. Les zones fortement chloritisées se situent à l'extérieur du gîte. Par opposé, le cœur contient peu de chlorite.

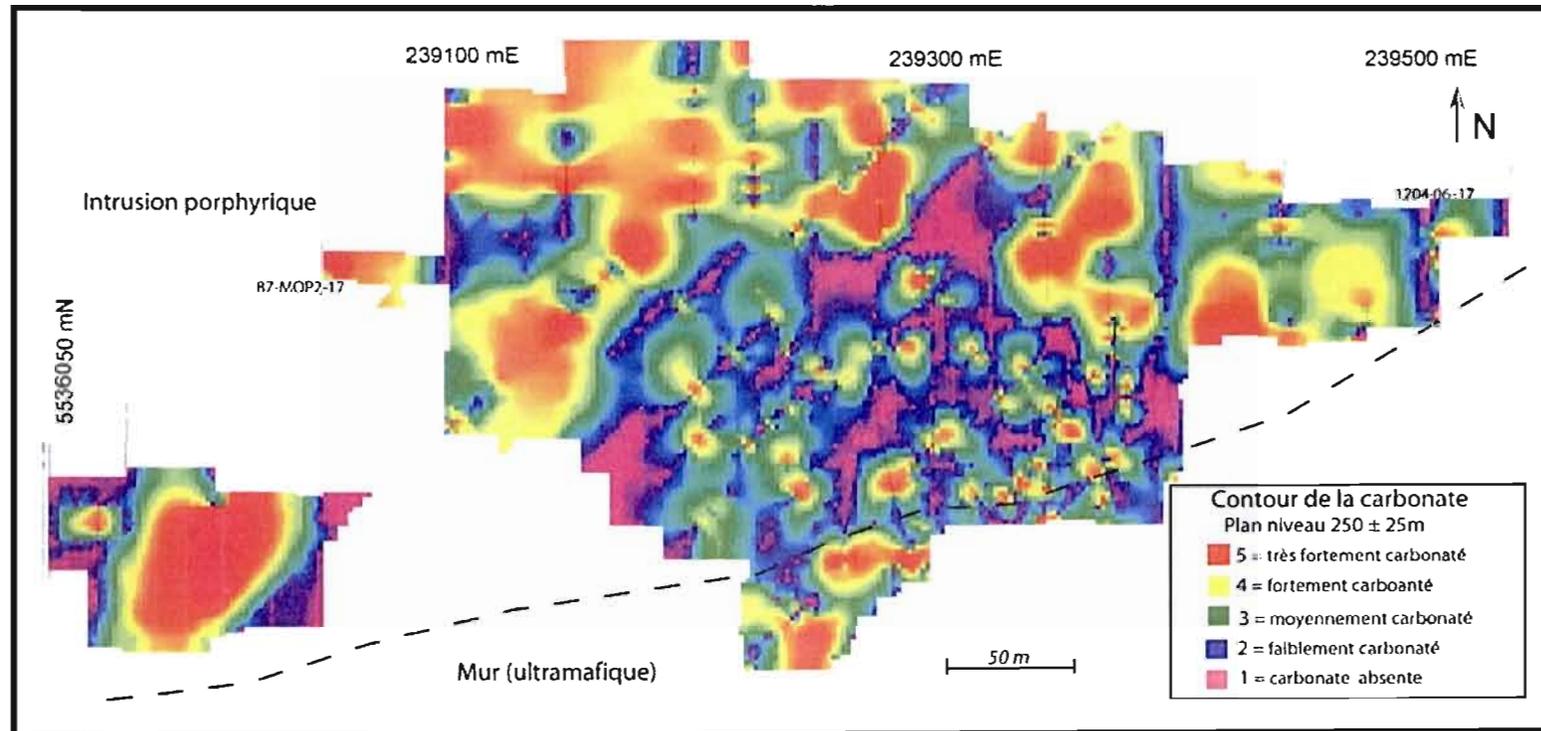


Figure 5.8 : Plan niveau 250 m montrant les contours de l'intensité de l'altération en carbonates. L'extérieur du gîte est fortement carbonaté. Au centre, la carbonatation est plus locale.

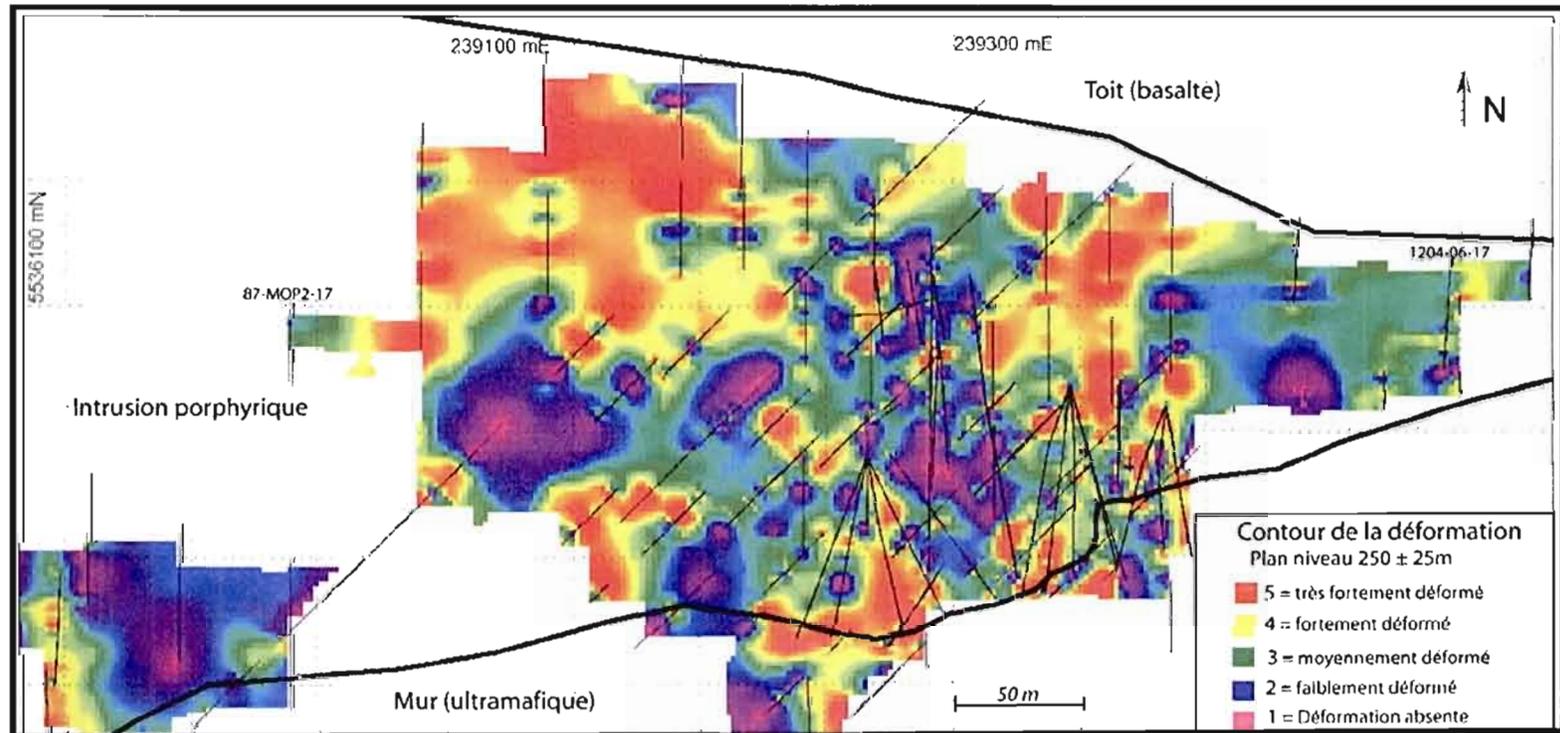


Figure 5.9 : Plan niveau 250 m montrant les contours de l'intensité de la déformation.

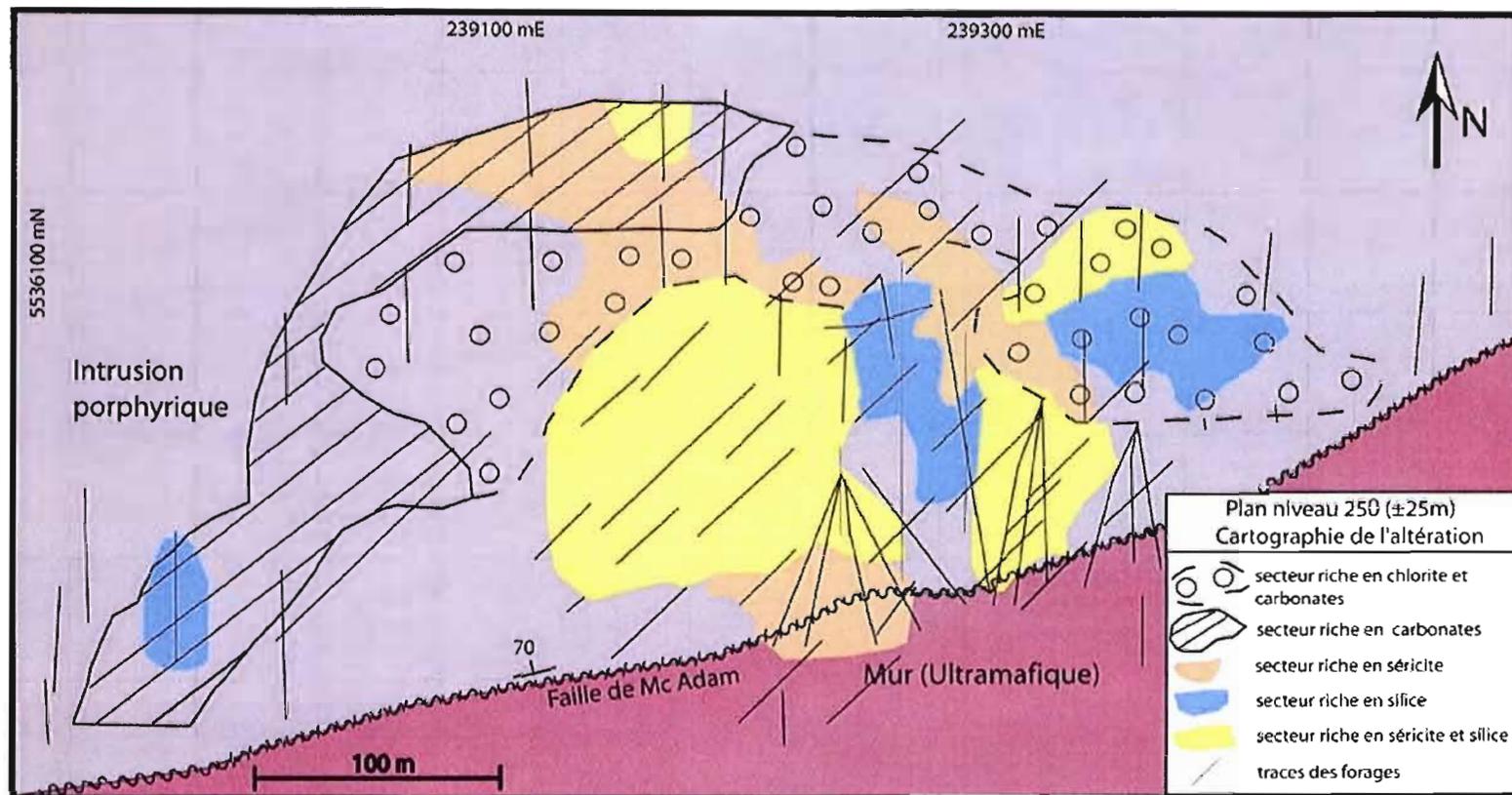


Figure 5.10 : Plan niveau (250 m ± 25m). Le gîte MOP-II a un cœur fortement silicifié et séricitisé. En périphérie, se superposent des zones riches en silice et séricite à l'intérieur d'un secteur riche en chlorite et carbonates.

5.3.3 Cartographie des zonalités métalliques

- Pourcentage de molybdénite

Le pourcentage de molybdénite observé se situe en dessous de 5% (figure 5.11). Les zones qui contiennent les plus fortes concentrations de molybdénite (2 à 3%) se situent en périphérie nord du gîte. Au centre, la molybdénite forme des concentrations locales décimétriques à métriques.

- Pourcentage de chalcopirite

Les échantillons ayant été analysés pour le cuivre sont très rares et leur disposition spatiale est très hétérogène. Pour cette raison, la cartographie du cuivre est faite à l'aide du pourcentage de chalcopirite décrit à l'intérieur des journaux de sondage et non avec la teneur en cuivre obtenue dans les analyses. Il est à noter que les forages de SOQUEM INC. ont interceptés des zones cuprifères intéressantes : ex. 0,08% Cu / 31,8m (1206-04-17).

À l'intérieur de ce plan niveau, le pourcentage de chalcopirite observé est faible (de rares traces à 5%). Les zones contenant le plus fort pourcentage (5%) se situent au nord du gîte, associées aux roches ultramafiques (figure 5.12 et 5.15). Globalement, la chalcopirite se concentre en périphérie nord du gîte, à l'intérieur de la zone riche en chlorite et carbonates.

- Pourcentage de pyrite

La pyrite est de loin le minéral métallique le plus abondant avec des pourcentages allant de 1 à 4% (figure 5.13). La périphérie du gîte contient plus de pyrite que le centre avec des halos de 2500 m² et contenant de 5 à 15% de pyrite (figure 5.15).

- Teneurs en or

La figure 5.14 est difficile à interpréter car la carte thématique confond les teneurs situées entre 1000 et 25920 ppb et ne permet pas d'isoler les teneurs \geq à 3000 ppb. Pour cette raison, une analyse plus précise a été faite évitant ainsi la surextrapolation entre les forages tout en isolant les teneurs supérieures à 3000 ppb (figure 5.14).

Les enveloppes à teneurs fortement anormales en or (≥ 500 ppb) se concentrent au cœur et à l'ouest du gîte. La majorité des échantillons ayant rapportés des teneurs ≥ 3000 ppb Au sont situés au cœur du gîte (figure 5.15).

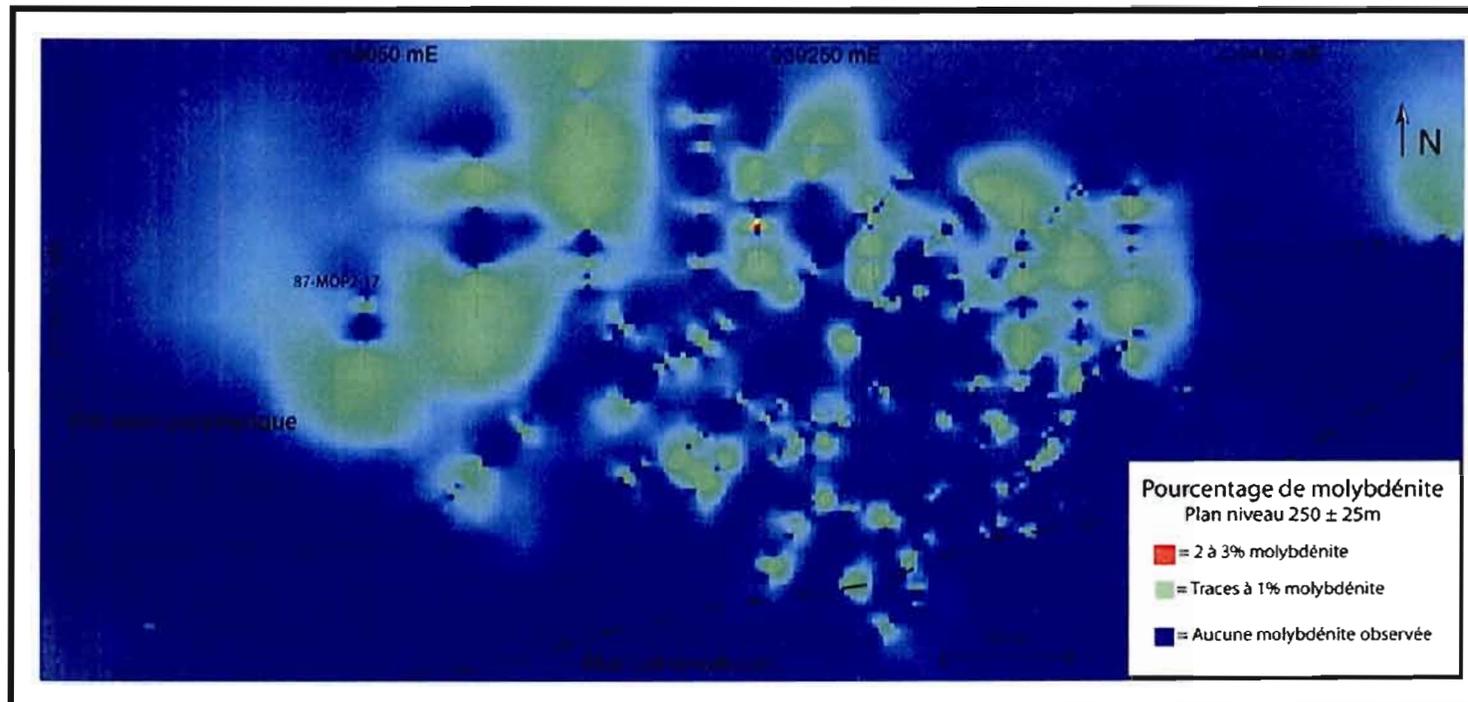


Figure 5.11 : Plan niveau (250 m ± 25m) montrant les contours de la molybdénite observé. La molybdénite se concentre principalement en périphérie de l'intrusion.

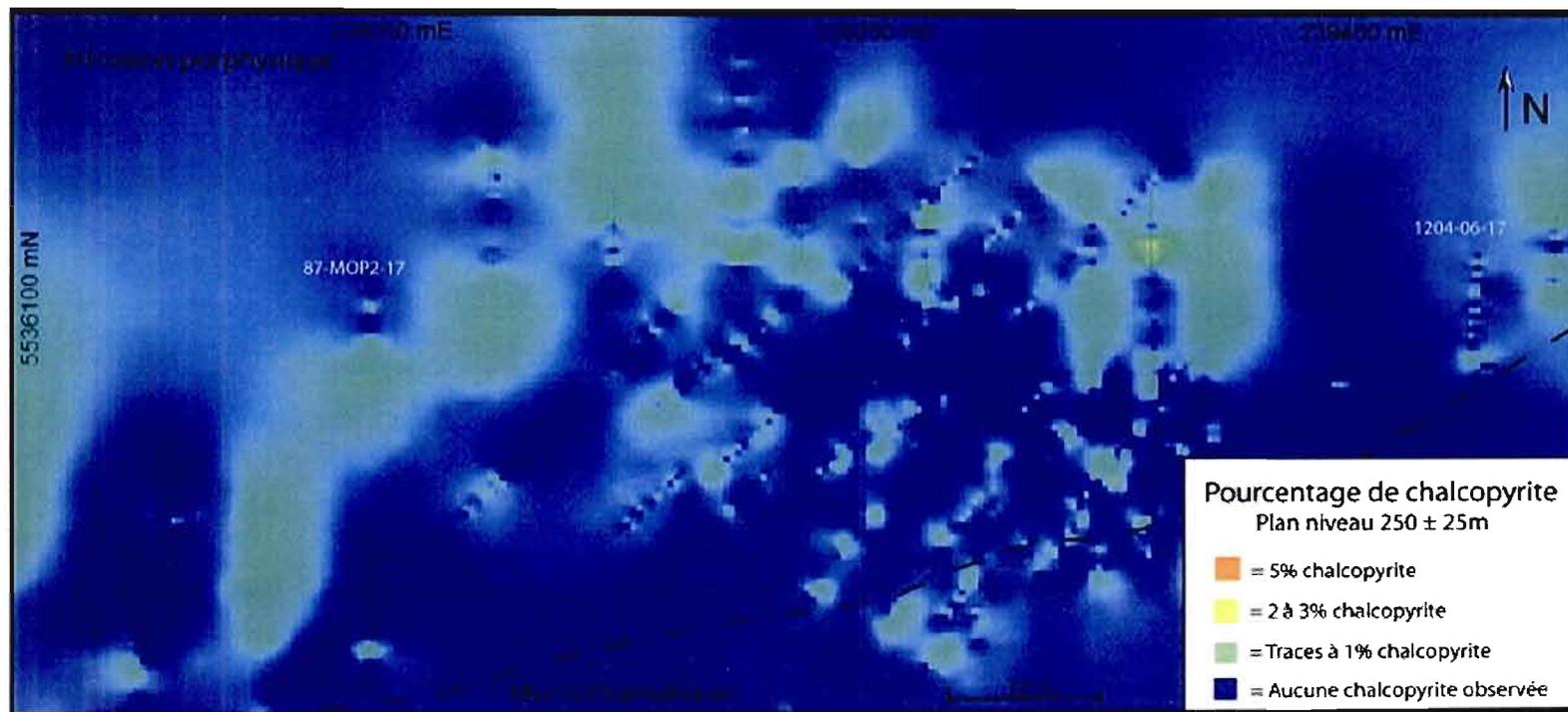


Figure 5.12 : Plan niveau (250 m ± 25m) montrant les contours de la chalcopyrite observée. À ce niveau, peu de chalcopyrite est observée. La chalcopyrite se concentre principalement au nord du gîte.

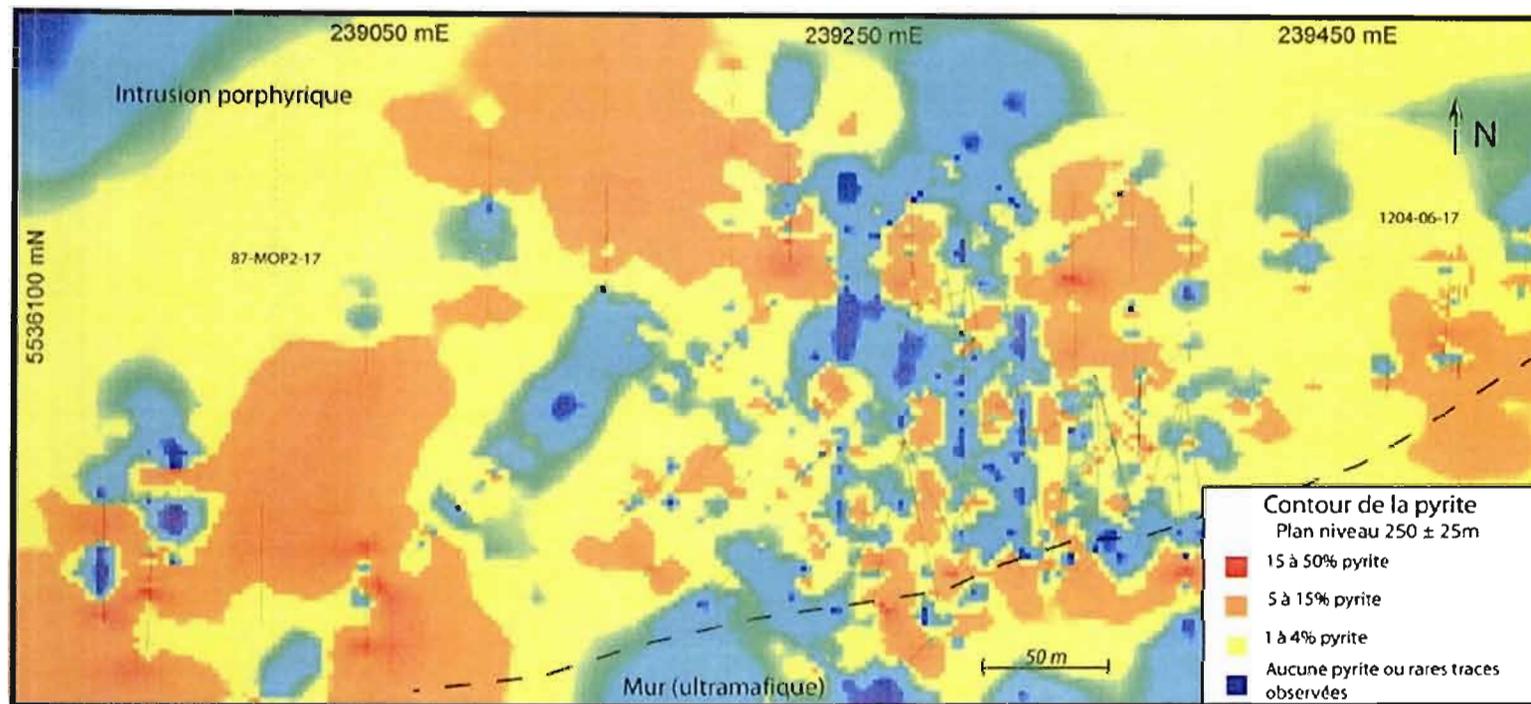


Figure 5.13 : Plan niveau (250 m ± 25m) montrant les contours de la pyrite observée. Des enveloppes de 5 à 15% pyrite se concentrent en périphérie du gîte.

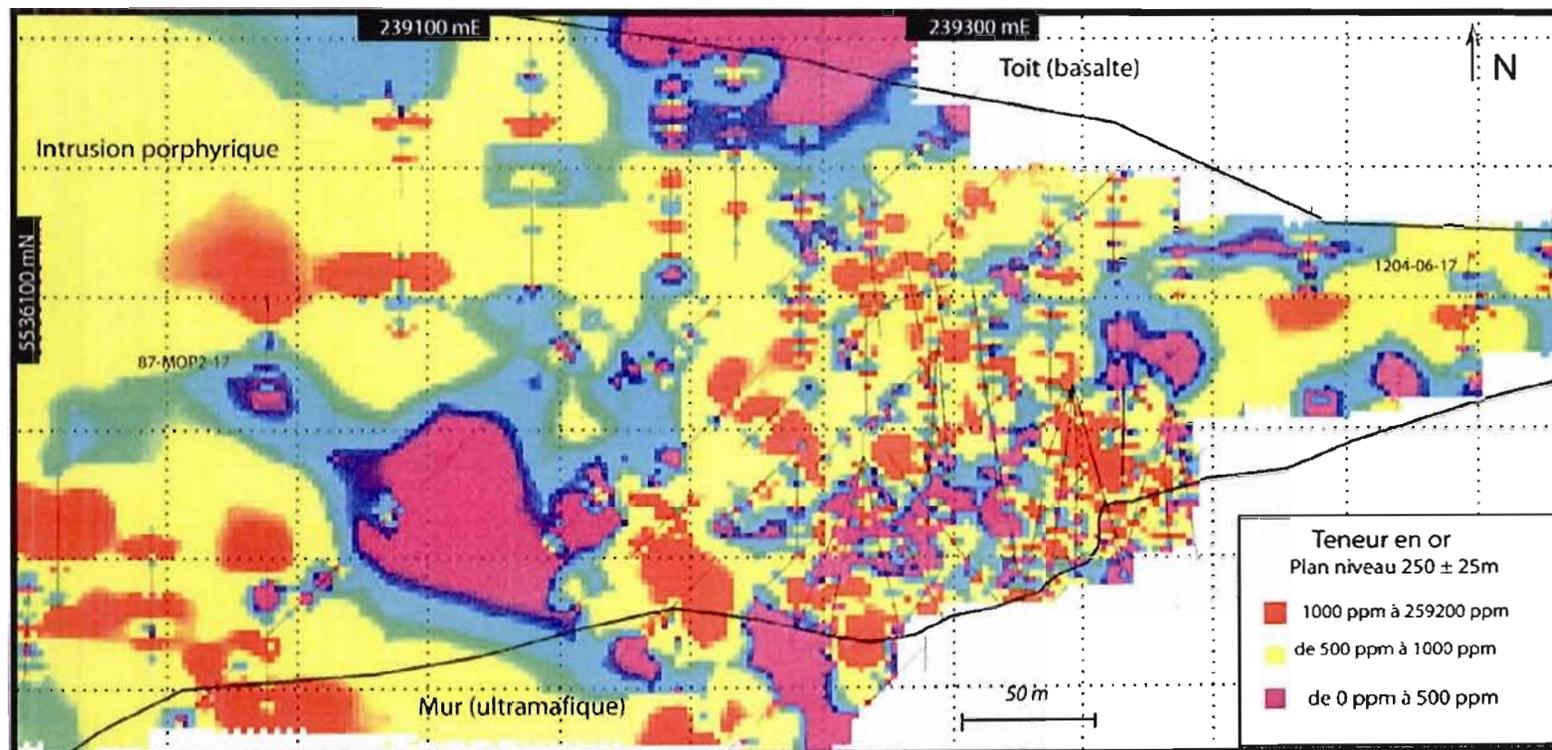


Figure 5.14 : Plan niveau (250 m ± 25m) montrant les contours des teneurs en or. Les fortes teneurs en or se concentrent au centre du gîte.

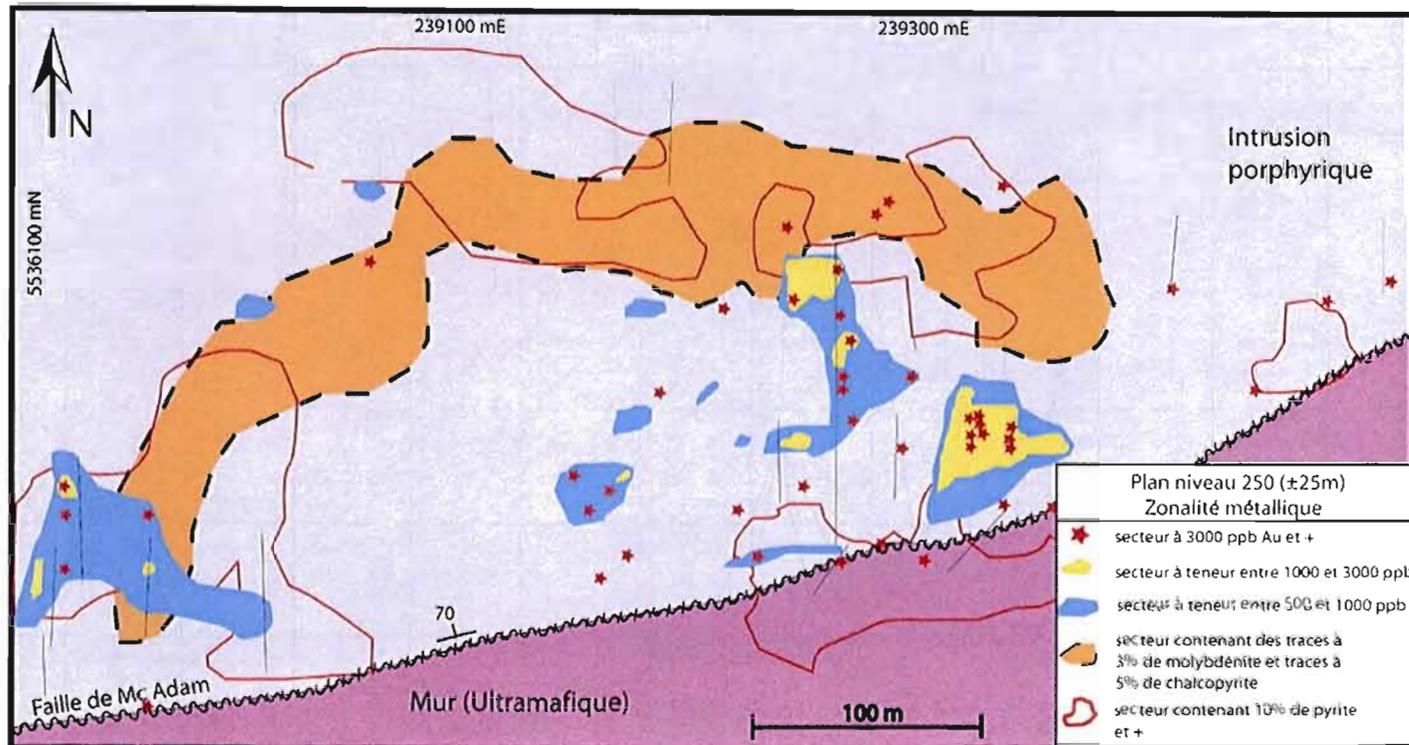


Figure 5.15 : Plan niveau (250 m ± 25m). Le gîte MOP-II contient un cœur riche en or. En périphérie, se superposent des zones riches en pyrite, chalcopryrite et molybdénite.

5.3.4 Cartographie des unités décrites au chapitre III

Comme la majorité des forages n'est plus disponible, il est très difficile de cartographier les unités présentées au chapitre III. La seule façon est de compiler les cartes faites par interpolation de mailles et de faire des équivalences de type : «une unité = un assemblage de faciès d'altération». Voici les équivalences que nous avons faites afin de faire les cartes présentées sur les figures 3.1 (plan niveau 250m) et 5.28 (section 239300mE).

- Les secteurs riches en silice = *QFP silicifié*.
- Les secteurs riches en séricite ayant de la séricite verte décrite à l'intérieur des journaux de sondage = *mylonite à Qtz-Sr*
- Les secteurs à la fois fortement silicifiés et séricitisés sans séricite verte = *QFP silicifié et séricitisé*
- Les secteurs riches en chlorite = *QFP chloritisé*
- Lorsque la description de la carotte fait mention de « zone rose » ou « section altérée en hématite ou feldspath potassique » = *dyke rose*

Les dykes blancs sont difficiles à reconnaître dans les journaux de sondage. Pour cette raison ceux cartographiés proviennent d'observations faites sur les carottes disponibles à l'entrepôt de SOQUEM INC. Le cœur du gîte est principalement constitué de quatre unités : QFP silicifié, QFP silicifié et séricitisé, mylonite à Qtz-Sr et dyke rose.

Le QFP silicifié et séricitisé occupe le plus gros volume. En effet, il forme à lui seul 80% du cœur du dépôt. Le QFP silicifié forme une zone de 50m par 100m. L'essentiel de la mylonite est située le long de la faille Mc Adam. Il est à noter que des zones plus restreintes (< 5m) contiennent beaucoup de séricite verte de deuxième génération mais à l'échelle de la cartographie, il est impossible de les identifier. Le couloir rose forme une bande de 5 à 10m de largeur parallèle à la faille Mc Adam. Celui-ci est cartographié sur plus de 400m. Au nord du gîte, ces roches rosâtres sont présentes en bandes métriques discontinues. Des horizons de l'unité blanche sont observés parallèles à la bande sud de l'unité rose.

La périphérie nord du gîte est principalement occupée par le QFP chloritisé qui forme un croissant dont le cœur correspond aux unités fortement silicifiées et séricitisées. Comme présenté à la section 5.3.2, les carbonates forment eux aussi un halo en forme de croissant qui se superpose à celui de la chlorite. La carbonatation se prolonge à l'ouest tandis que la chloritisation est très faible dans ce secteur.

5.4 Section composite 239300 mE \pm 50m

Afin d'avoir le plus d'information possible sur le cœur du gîte, deux sections ont été jumelées, soit la 239275 \pm 25m et la 239325 \pm 25m. La section composite obtenue se situe donc à 239300 mE avec une enveloppe de 100m (\pm 50m).

5.4.1 Cartographie des lithologies

Sur cette section (figure 5.16), il est possible de cartographier les mêmes six lithologies que celles décrites à la section 5.3.1. De plus, deux horizons de rhyolites sont décrits par Cashin (1988) et apparaissent sur cette section. Ces derniers se situent au niveau 325m dans la partie nord du gîte.

La forte densité de forage permet de tracer le contact péridotite-porphyre, marqué par la faille de Mc Adam. Le pendage varie entre 60° et 70° vers le nord. À l'intérieur de la péridotite, des lambeaux de basalte et de QFP sont présents. Ces derniers ont une dimension moyenne de 10 à 30m de largeur par 10 à 100 m de longueur. Au nord du porphyre, d'autres horizons de basalte de même dimension sont observés. Les horizons de rhyolite se situent au sud des basaltes.

Le cœur de l'intrusion est recoupé par une importante zone de brèche qui fait 50 par 150m. Deux dykes de gabbro sont observés dans la partie nord du porphyre, et ces derniers ont un pendage qui varie entre 80 à 90° vers le nord. Les volcanites foliées sont observées en une bande de 10m le long de la faille de Mc Adam.

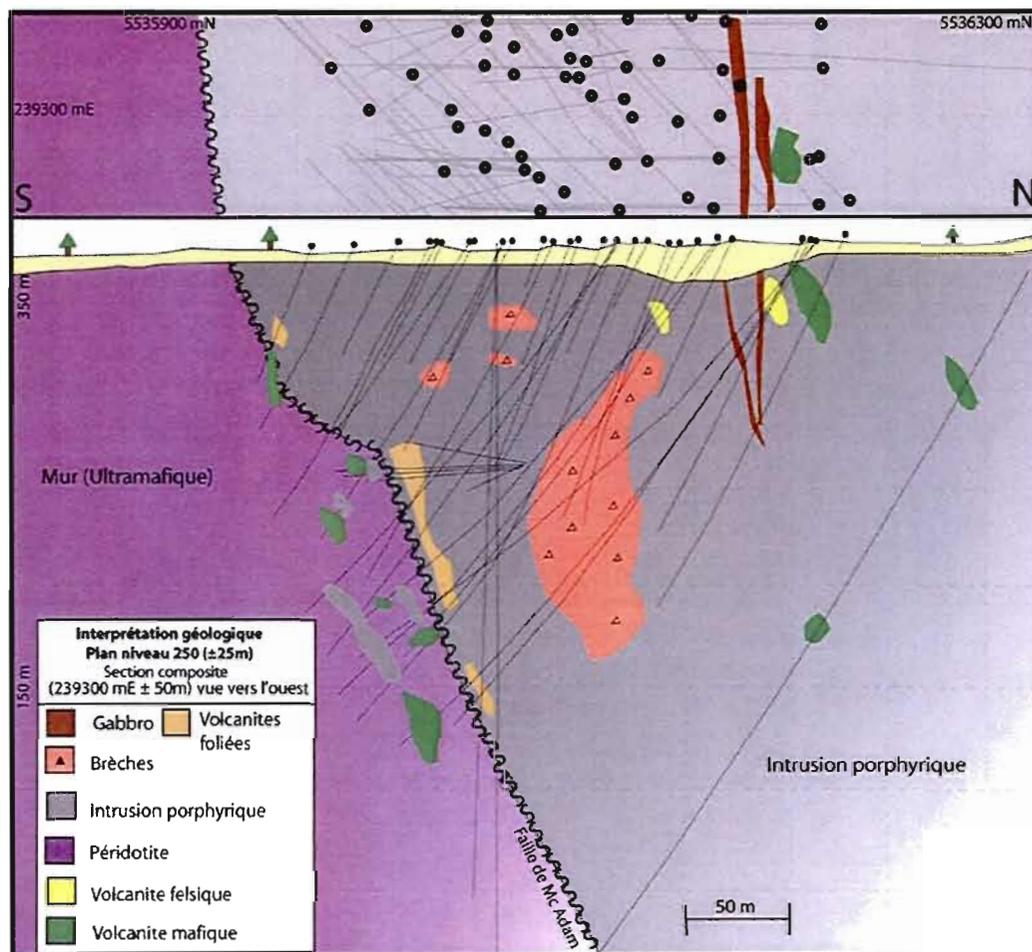


Figure 5.16 : Section 239300 mE ± 50m. La faille de Mc Adam a un pendage qui varie entre 60° et 70°. Plusieurs lambeaux de QFP et de basalte sont observés à l'intérieur de la périodite. D'autres lambeaux basaltiques et rhyolitiques sont présent dans la partie nord du gîte. Le cœur du porphyre contient une brèche de 50 X 150m.

5.4.2 Cartographie de l'altération et de la déformation en section

- *Séricite*

La séricite se concentre principalement le long de la faille Mc Adam, plus précisément au niveau 200m (figures 5.17 et 5.22).

- *Silice*

La silice affecte l'ensemble de l'intrusion porphyrique (figures 5.18 et 5.22), cependant, la majorité des zones fortement silicifiées se situent près de la surface entre 350 et 250m. Le basalte est moins silicifié que le porphyre.

- *Chlorite*

La chlorite est concentrée dans la partie nord de l'intrusion (figure 5.19) où l'épaisseur est d'environ 50 à 60 m avec un pendage de 60 à 70° vers le sud. La péridotite est fortement chloritisée (figure 5.22).

- *Carbonates*

Les zones fortement carbonatées se situent au nord du gîte, autant dans la tonalite qu'à l'intérieur du basalte (figures 5.20 et 5.22). Au cœur du gîte, une bande de 5 à 10m d'épaisseur à pendage verticale contient beaucoup de carbonates.

- *Intensité de la déformation*

L'intrusion porphyrique est, en général, moyennement déformée. Des zones très locales présentes une forte déformation (figure 5.21 et 5.22). La péridotite, contient quelques zones fortement déformées mettant en évidence la faille Mc Adam.

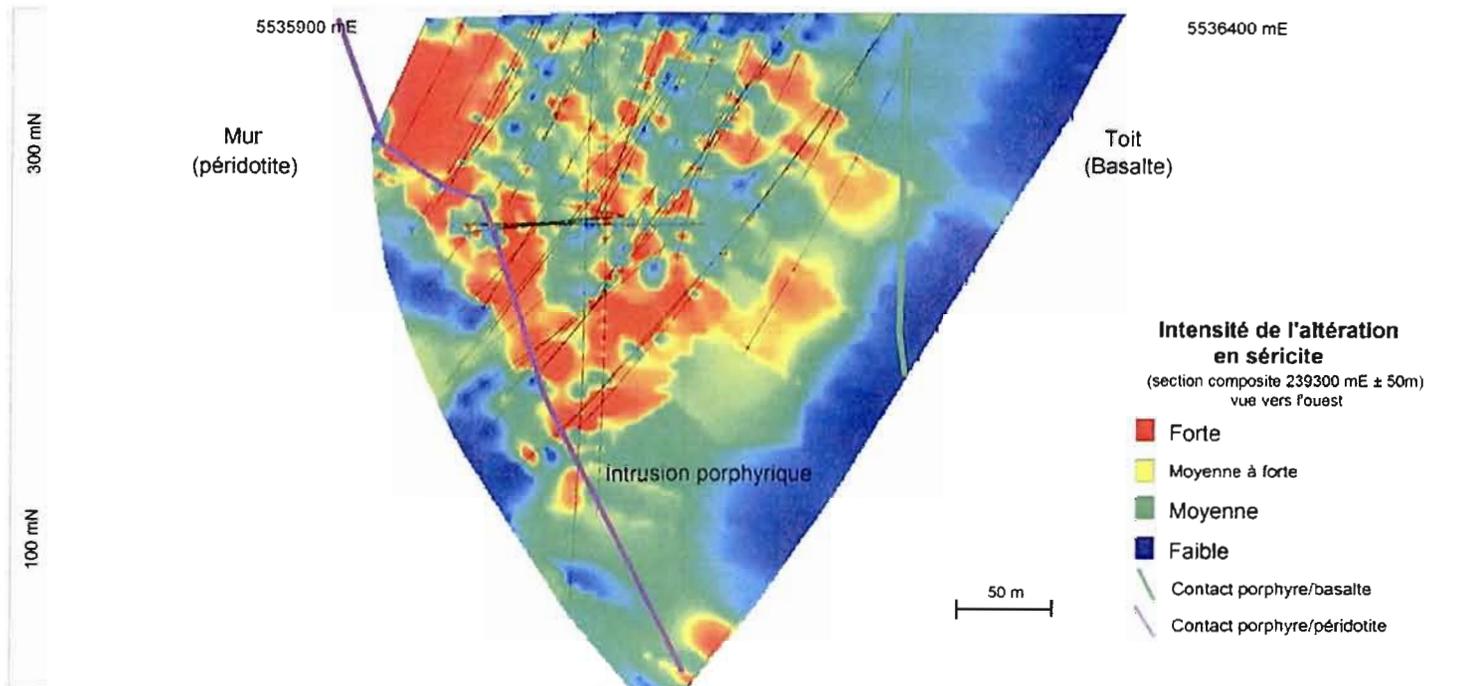


Figure 5.17 : Section 239300 mE ± 50m montrant l'intensité de l'altération en séricite. La séricite est principalement concentrée le long du contact porphyre/péridotite, sur la faille Mc Adam.

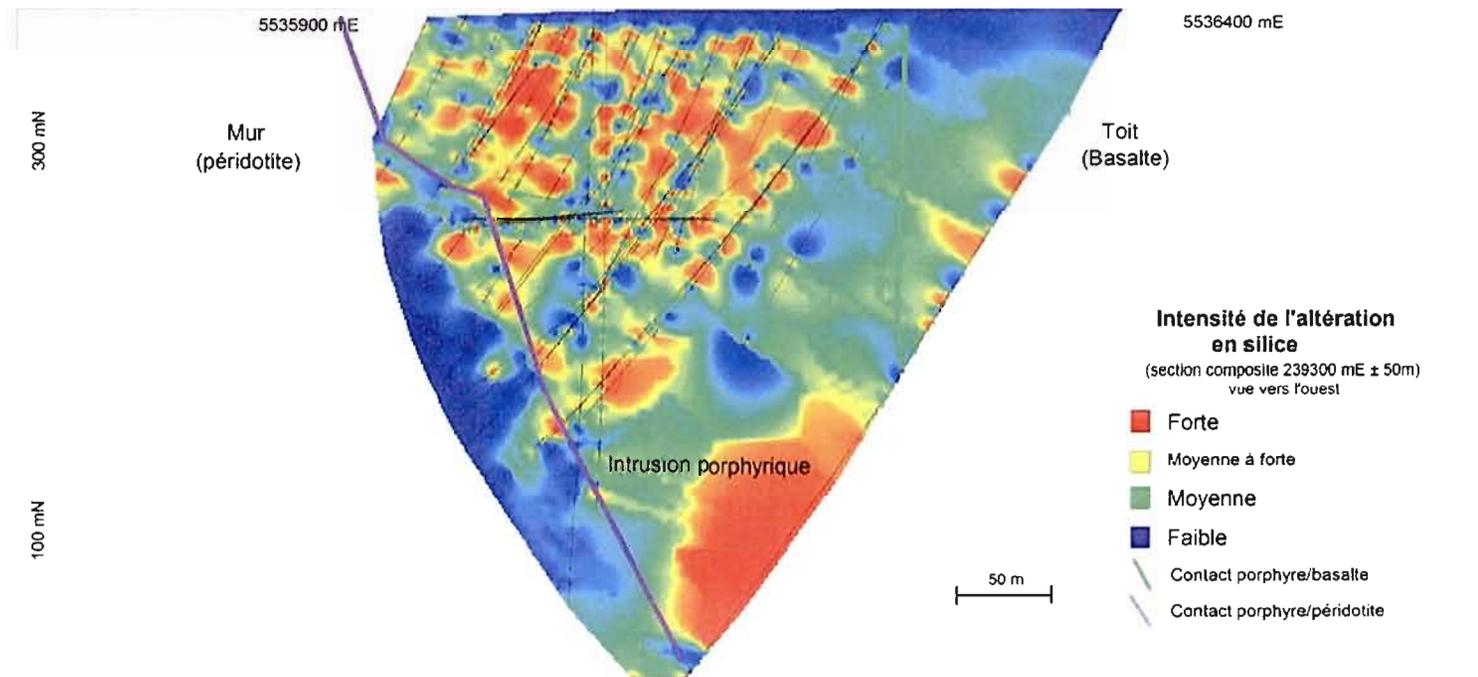


Figure 5.18 : Section 239300 mE ± 50m montrant l'intensité de l'altération en silice. La silicification affecte l'ensemble de l'intrusion porphyrique

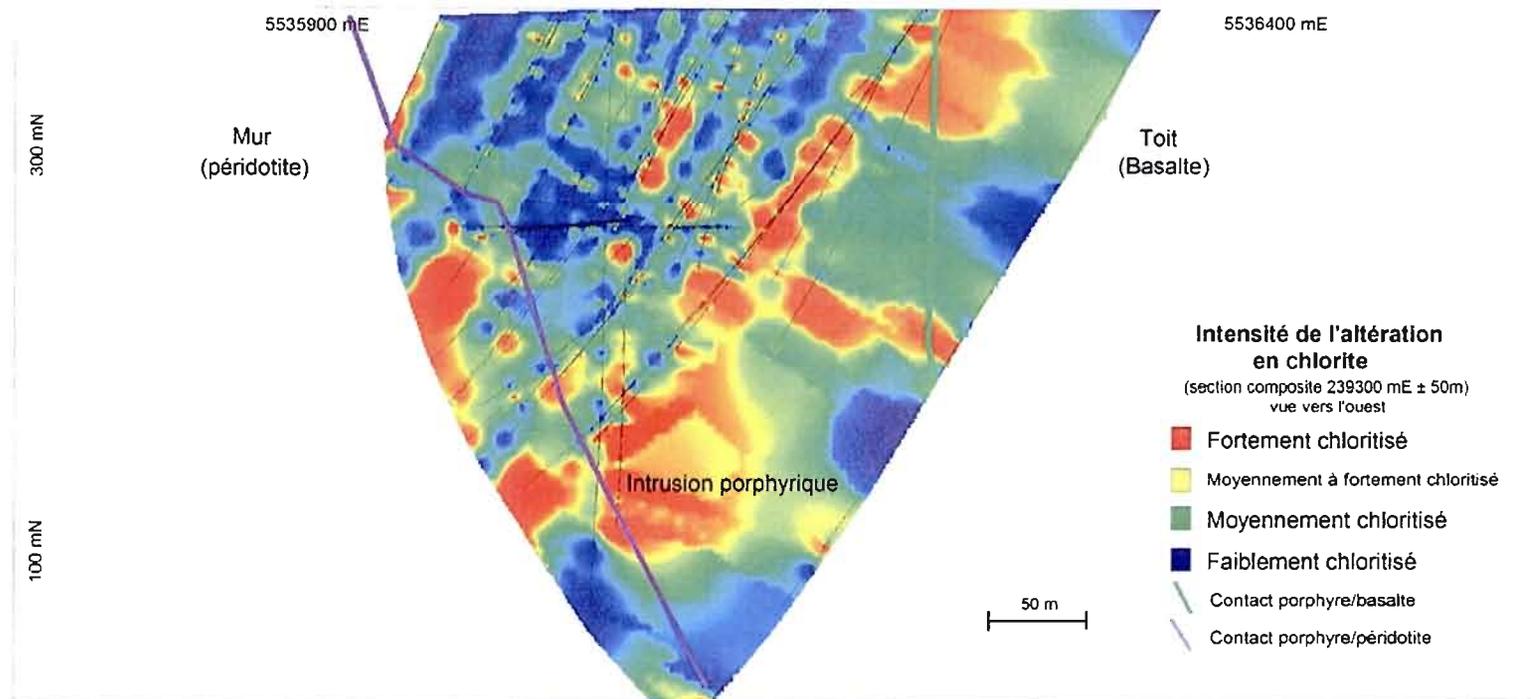


Figure 5.19: Section 239300 mE ± 50m montrant l'intensité de l'altération en chlorite. La chlorite se concentre au nord de l'intrusion et à l'intérieur de la péridotite.

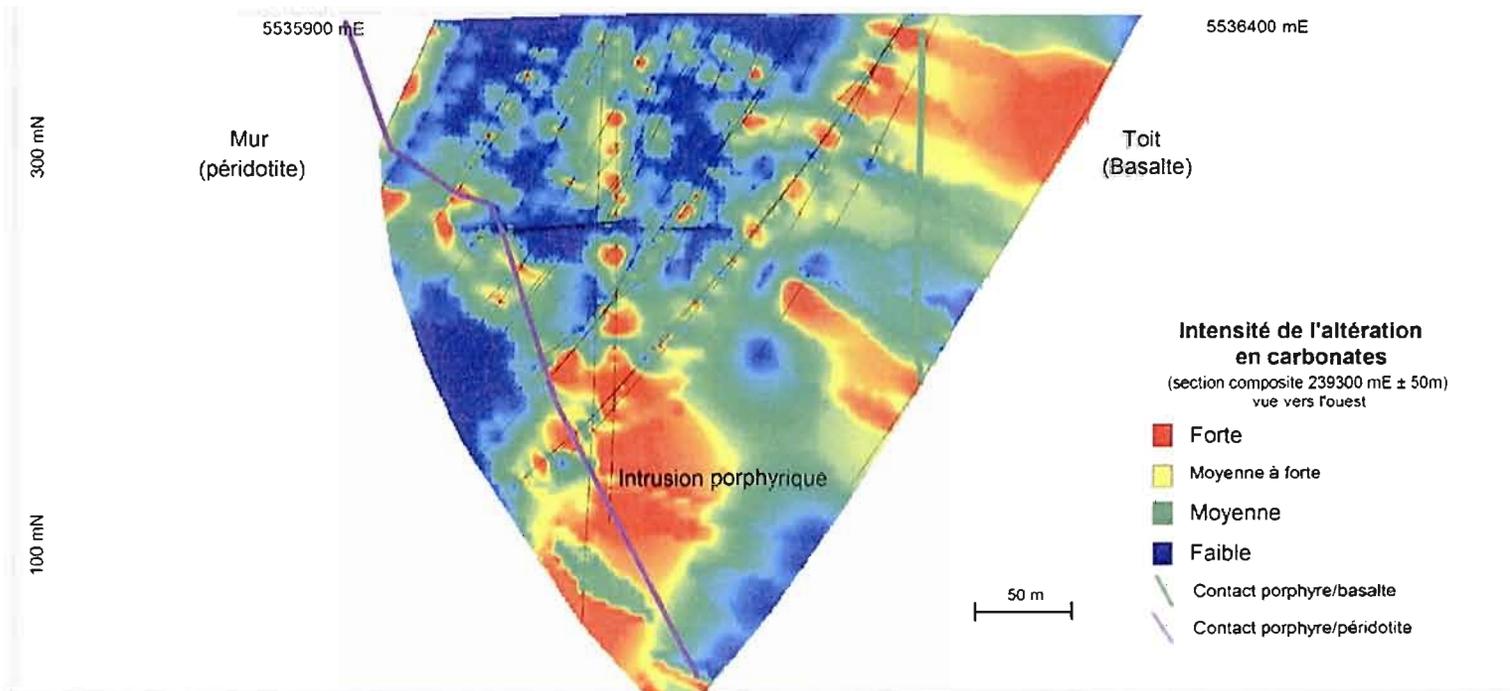


Figure 5.20 : Section 239300 mE ± 50m montrant l'intensité de l'altération en carbonates. Les carbonates se concentrent au nord du gîte.

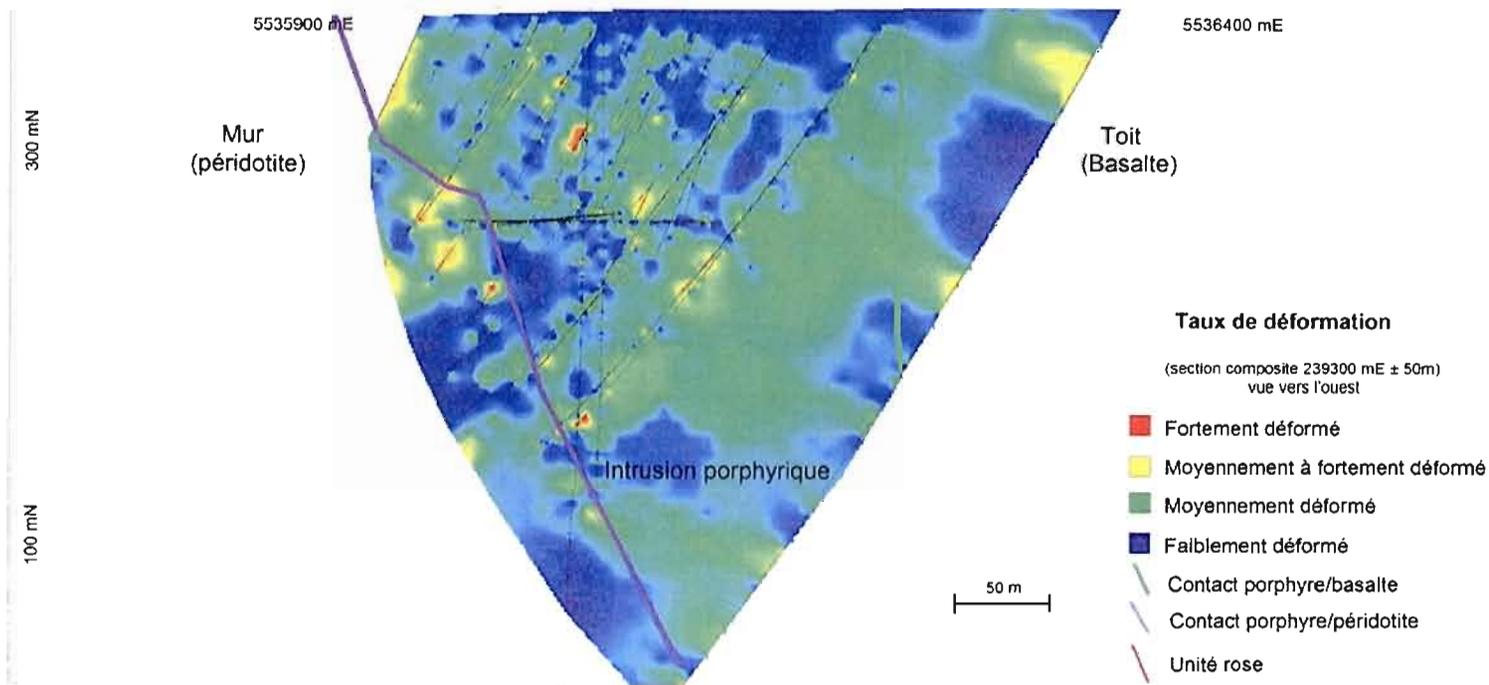


Figure 5.21 : Section 239300 mE ± 50m montrant l'intensité de la déformation. Le gîte est, dans l'ensemble, moyennement déformé. Quelques zones décimétriques isolées semblent plus déformées, particulièrement le long du contact porphyre/péridotite.

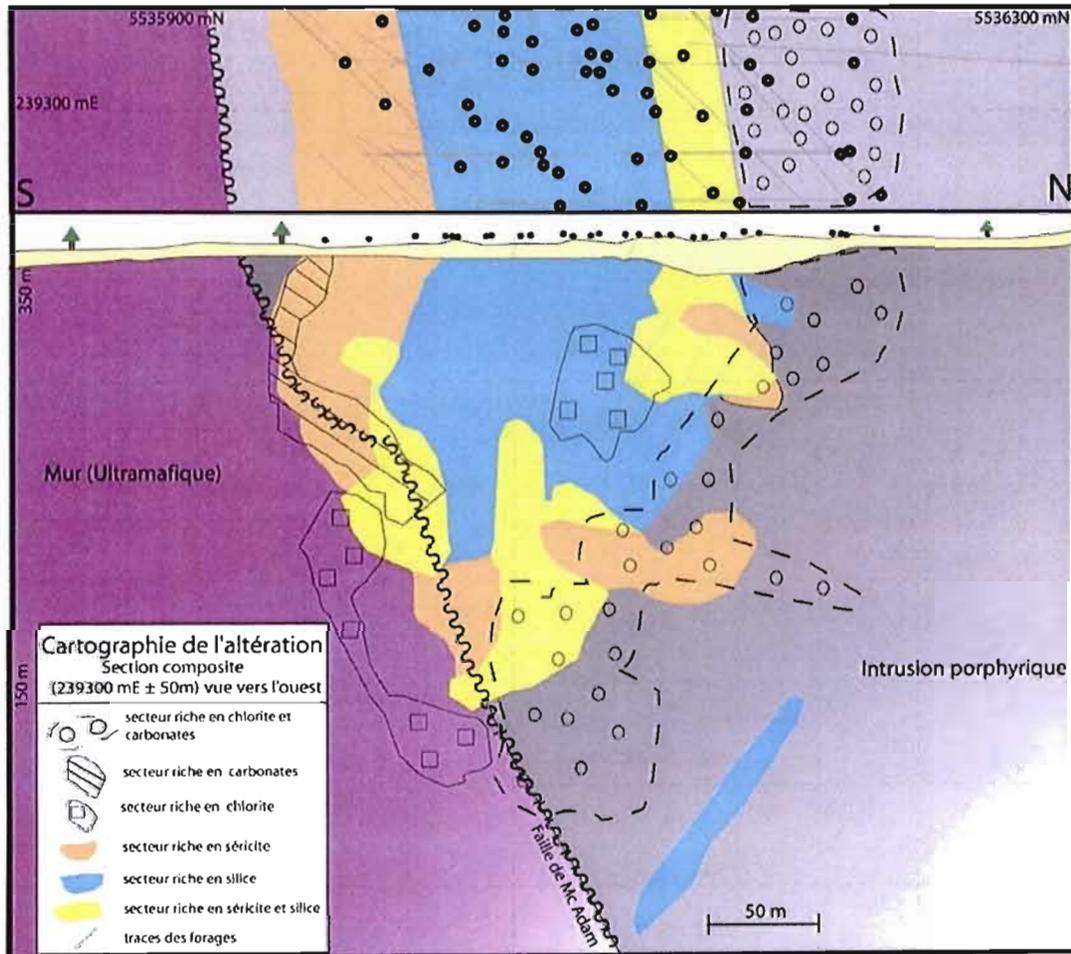


Figure 5.22 : Section 239300 mE ± 50m. Le long de la faille de Mc Adam, le porphyre est fortement altéré en séricite. Au cœur du gîte, le QFP est fortement silicifié et séricitisé. En périphérie nord, la chloritisation et la carbonatation dominent.

5.4.3 Cartographie des zonalités métalliques

- Pourcentage de molybdénite

La molybdénite est exclusivement associée à l'intrusion porphyrique (figures 5.23 et 5.27). L'enveloppe contenant des traces à 4% de molybdénite a une forme en C dont le côté convexe pointe vers le nord. La zone qui contient la plus forte teneur en molybdénite se situe au niveau 200 m où 4% de molybdénite est décrit dans les journaux de sondage (ex. 87-MOPII-10 ; 214,5 à 216,92m).

- Pourcentage de chalcopyrite

Le pourcentage de chalcopyrite observée à l'intérieur de cette coupe est faible (de rares traces à 5%) (figures 5.24 et 5.27). La forme de l'enveloppe cuprifère n'est pas claire, mais grossièrement, elle semble aussi avoir une forme en C semblable à la molybdénite. Le plus fort pourcentage de chalcopyrite observé (5%) provient d'un forage horizontal effectué à l'intérieur de la rampe (88-UG-01 10,82 à 11,29m).

- Pourcentage de pyrite

Sur cette coupe, le porphyre contient des traces à 3% de pyrite (figures 5.25 et 5.27). Les halos à forte teneur en pyrite (15% et +) forment eux aussi une forme en C qui se superposent aux zones riches en chalcopyrite et molybdénite. Les endroits qui contiennent les plus gros pourcentages de pyrite (de > 41 à 80%) se situent dans la partie nord du porphyre, plus précisément à l'intérieur de bande nord fortement chloritisée et carbonatée.

- Teneurs en or

Cette section montre des relations très intéressantes entre les zones aurifères et la zone à cuivre-molybdène en forme de croissant (figure 5.27). Les plus grandes enveloppes riches en or (plus que 500 ppb Au) se situent au cœur du croissant et se prolongent vers le haut et vers le bas se superposant alors avec la zone à cuivre et molybdène. Ceci suggère que ces enveloppes aurifères ont un pendage sub-vertical, soit parallèle à la faille de Mc Adam. De plus, quatre petites zones aurifères d'environ 10m par 10m ayant des teneurs plus grandes que 500 ppb Au sont observées dans le mur de la faille, associées au roches ultramafique du Filon-couche de Roberge.

Les observations faites sur cette coupe diffèrent de celles faites au plan niveau 250m (figure 5.26) où les teneurs en or se dissocient des zones à chalcopryrite et molybdénite. Cependant, quelques observations restent similaires :

- 1) Les zones à fortes teneurs en or ne sont pas nécessairement associées aux enveloppes riches en pyrite;
- 2) Les enveloppes aurifères se situent près du contact porphyre/ultramafique. Très peu d'échantillon ayant des teneurs en or <3000 ppb sont observés à plus de 200m de ce contact.

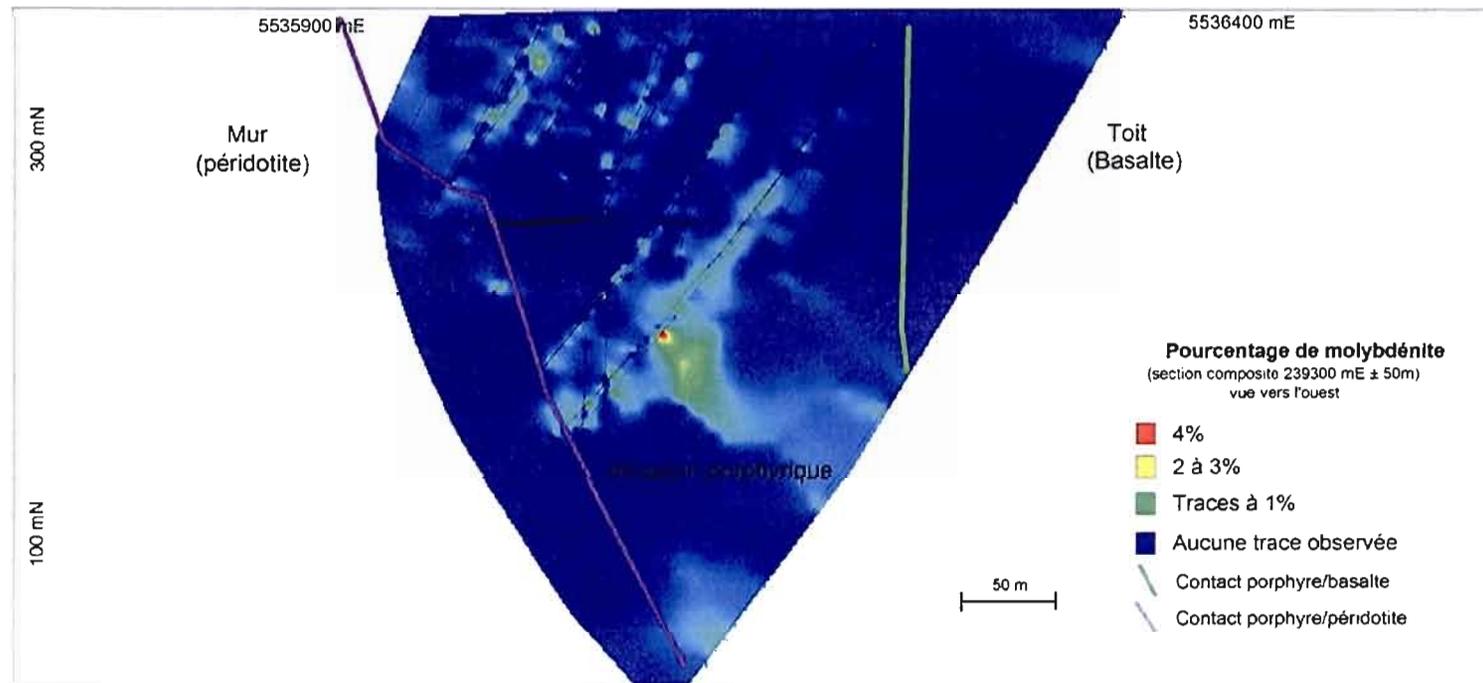


Figure 5.23 : Section 239300 mE ± 50m montrant la distribution spatiale du pourcentage de molybdénite. La molybdénite se concentre seulement à l'intérieur du porphyre.

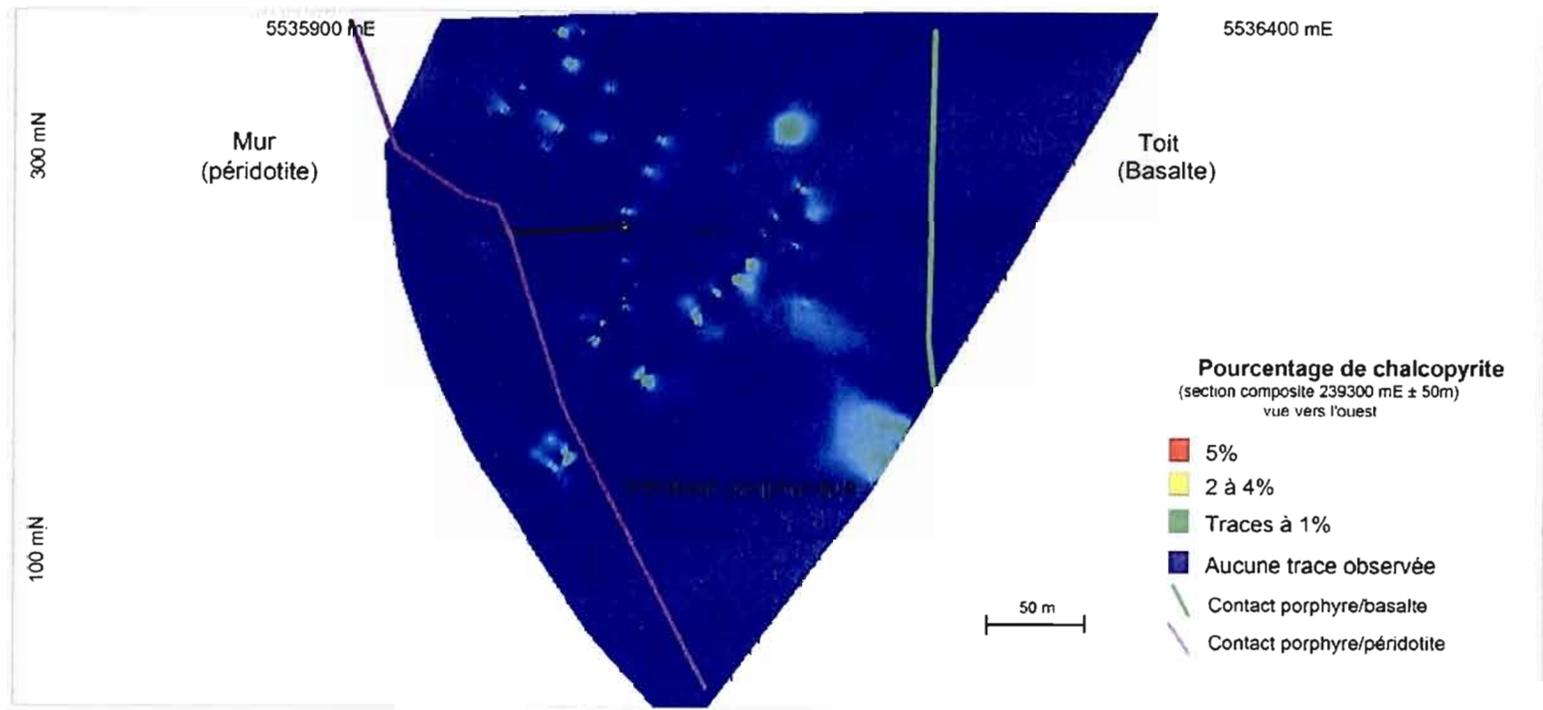


Figure 5.24 : Section 239300 mE ± 50m montrant la distribution spatiale du pourcentage de chalcopyrite.

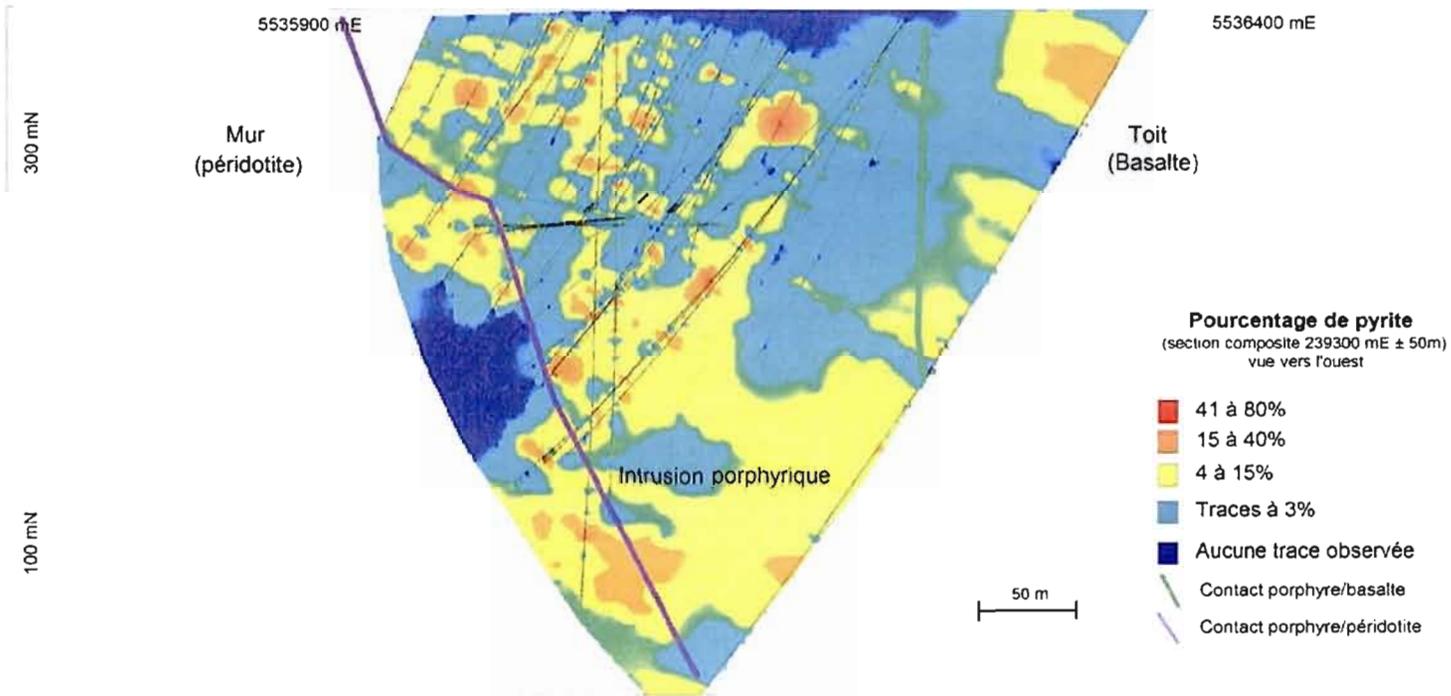


Figure 5.25 : Section 239300 mE ± 50m montrant la distribution spatiale du pourcentage de pyrite. À l'intérieur de cette coupe, la pyrite est ubiquiste dans une concentration de traces à 3%.

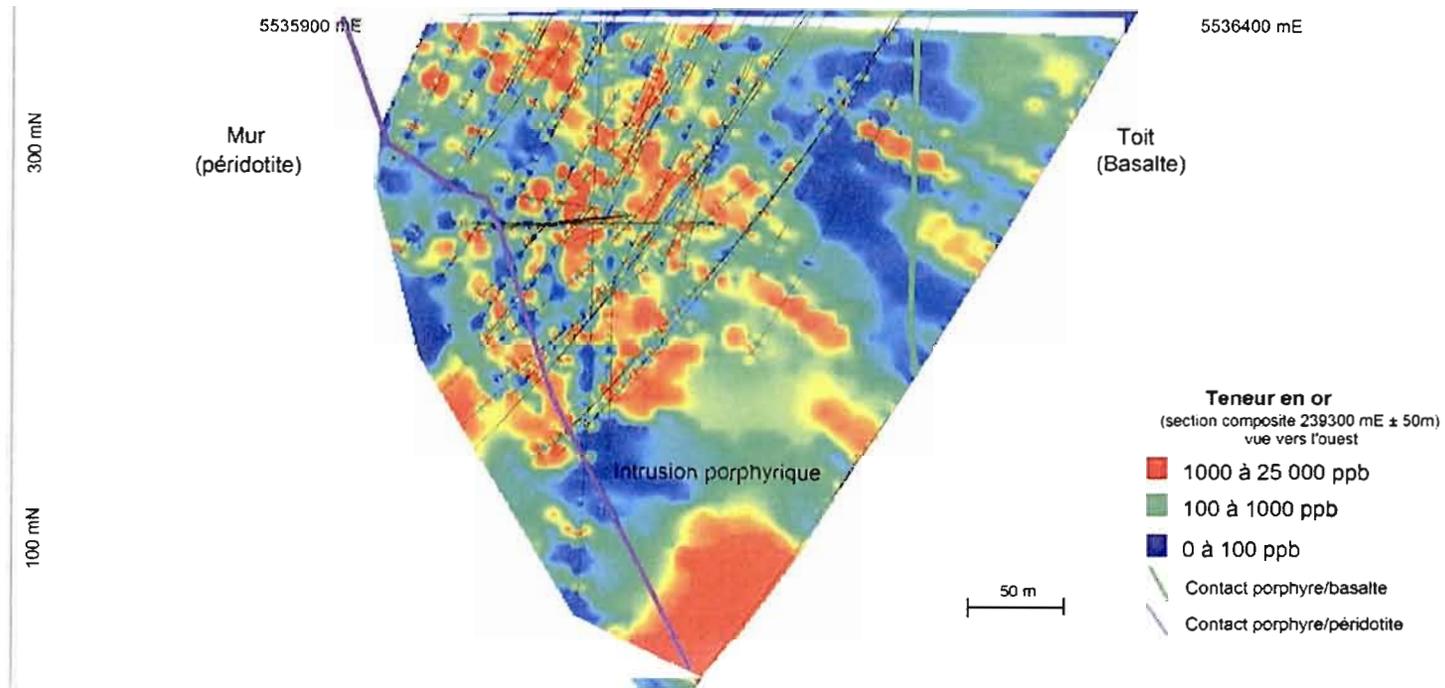


Figure 5.26 : Section 239300 mE ± 50m montrant la distribution spatiale des teneurs en or.

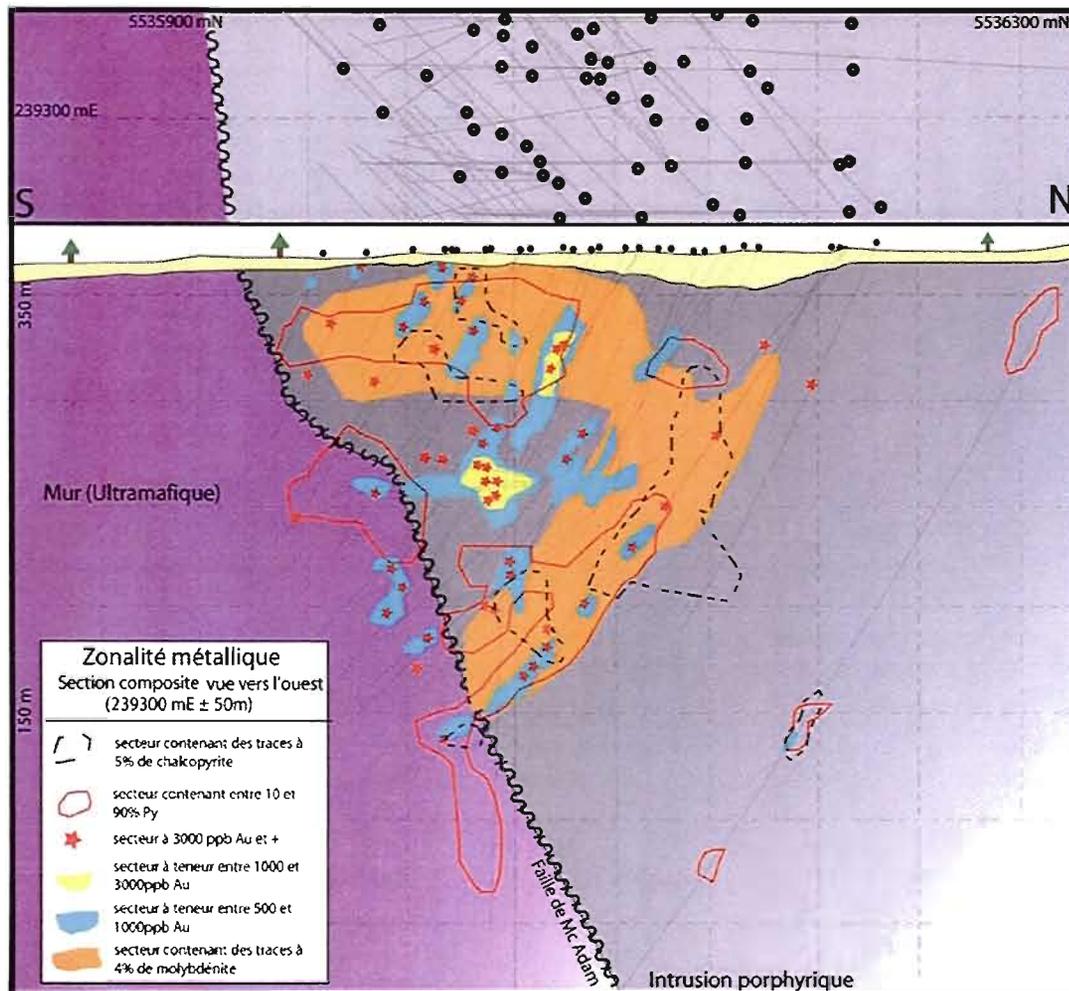


Figure 5.27 : Section 239300 mE ± 50m. La molybdénite et la chalcopyrite forment une zone en croissant. Une forte concentration d'or est observée au cœur de ce croissant. Les halos à fort pourcentage de pyrite se situent à l'extérieur de la zone aurifère.

CHAPITRE VI

CARTOGRAPHIE DES DIFFÉRENTS TYPES DE MINÉRALISATION

6.1 Introduction

La description de 150 échantillons fortement anomaux en or (>500 ppb Au) et cuivre (> 1000 ppm Cu) a permis de constater que les teneurs cupro-aurifères sont principalement reliées à sept types de minéralisation (voir section 6.2). Ces échantillons proviennent des 28 forages disponibles à l'entrepôt de SOQUEM INC. Afin d'étendre la base de données pour avoir une image représentative du gîte, les journaux de sondage dont la carotte ne sont pas disponibles (141 forages sur 169) ont permis de retracer ces sept faciès et d'augmenter le nombre d'échantillon à 777. Ce chapitre présente la description, les statistiques et la cartographie des différents types de minéralisation observés à l'intérieur du gîte.

6.2 Description des différents types de minéralisation aurifères et statistiques

6.2.1 Description des différents types de minéralisation aurifères

Les sept types de minéralisation sont les suivants :

Type 1 (Vnle-Py-Cp-Sr2) = Veinules ou disséminations à pyrite-chalcopyrite fortement associées à la séricite verte de deuxième génération (figure 6.3);

Type 2 (Vnl-Py-Cp) = Veinules à pyrite-chalcopryrite non associées à la séricite verte (figure 6.3). Ces dernières peuvent contenir d'autres minéraux tel que de la chlorite, des carbonates et de la séricite;

Type 3 (Vn-Py±Cp) = Veines centimétriques à décimétriques à pyrite automorphe grossière ±chalcopryrite (figure 6.3);

Type 4 (Diss-Py-Cp-Si) = Disséminations à pyrite-chalcopryrite associées à une forte silicification comme par exemple associées au QFP silicifié et séricitisé (figure 6.4);

Type 5 (Diss-Py-Cp-Chl±Cb) = Disséminations à pyrite-chalcopryrite associées à la forte chloritisation et moyenne carbonatation (QFP chloritisé) (figure 6.4);

Type 6 (Vn-Qtz-Py-Cp) = Veines de quartz contenant des proportions variables de pyrite et de chalcopryrite (figure 6.4). Trois générations de veines de quartz sont observées :

- 1- Les veines plissées grisâtres contenant de 1 à 5 % de pyrite disséminée et des traces à 2 % de chalcopryrite en amas;
- 2- Les veines de quartz plissées encaissées à l'intérieur des veines de pyrite massive (type 3, figure 6.3).
- 3- Les veines de quartz-carbonates non plissées, sans sulfure et sans teneurs anormales en or. Ces dernières recoupent la schistosité principale.

Type 7 (Bx) = Brèches telles que décrites à la section 2.3.4 (figure 6.5).

Les veines et veinules minéralisées sont plus ou moins plissées dépendant de l'unité à l'intérieur de laquelle elles sont encaissées. Dans les faciès peu altérés ou fortement silicifiés (QFP frais et QFP silicifié), les veinules minéralisées de type 2 (Vnl-Py-Cp) ne sont pas plissées et forment des stockwerks à orientations variables (figure 3.5 A). Les veinules minéralisées du même type, encaissées dans les dykes blancs et le QFP silicifié et séricitisé, sont légèrement transposées dans le sens de la schistosité principale (figure 3.14). Lorsque le porphyre devient fortement séricitisé (mylonite à Qtz-Sr), la schistosité est très pénétrative. Les veinules minéralisées du type 1 (Vnl-Py-Cp-Src2) sont alors complètement transposées dans le sens de la schistosité principale (figure 3.23 B).

6.2.2 Distribution des teneurs en or

Pour chaque type de minéralisation, le nombre d'échantillon et la moyenne des teneurs en or est donné à l'intérieur des figures 6.1 et 6.2. Voici les teneurs aurifères moyennes calculées pour chacun des types de minéralisation :

- Le type de minéralisation 1, le plus souvent rencontré à l'intérieur du gîte, (Vnle-Py-Cp-Src2) a été reconnu à l'intérieur de 293 échantillons. Les teneurs en or varient entre 160 à 21257 ppb avec une moyenne de 2680 ppb (figure 6.1).
- Le type 2 (Vnle-Py-Cp) est reconnu dans 117 échantillons, et la moyenne des teneurs en or est de 2089 ppb avec des valeurs maximales de 7917 ppb et minimales de 90 ppb (figure 6.1).
- Le type 3 (Vn-Py±Cp) est représenté par 204 échantillons, avec une moyenne de 3693 ppb, c'est le type qui donne les plus fortes teneurs en or. Les maximums sont de 55715 ppb et minimums de 32 ppb (figure 6.1).
- Le type 4 (Diss-Py-Cp-Si) a été observé à l'intérieur de 44 échantillons. La valeur maximale est de 6686 ppb et la minimale est de 496 ppb, avec une moyenne de 2025 ppb (figure 6.1).
- Le type 5 (Diss-Py-Cp-Chl±Cb) qui ne compte que 26 échantillons, est celui qui est le moins observé. La moyenne est de 2821 ppb avec un maximum de 11915 ppb et un minimum de 553 ppb (figure 6.2).
- Le type 6 (Vn-Qtz-Py-Cp) est rapporté à l'intérieur de 60 échantillons pour une valeur moyenne de 2760 ppb. La valeur maximale est de 14971 ppb et la minimale de 108 ppb (figure 6.2).
- Le type 7 (Bx) contient 56 échantillons avec une moyenne de 1013 ppb, et les valeurs maximales et minimales sont respectivement de 4411 ppb et 9 ppb (figure 6.2).

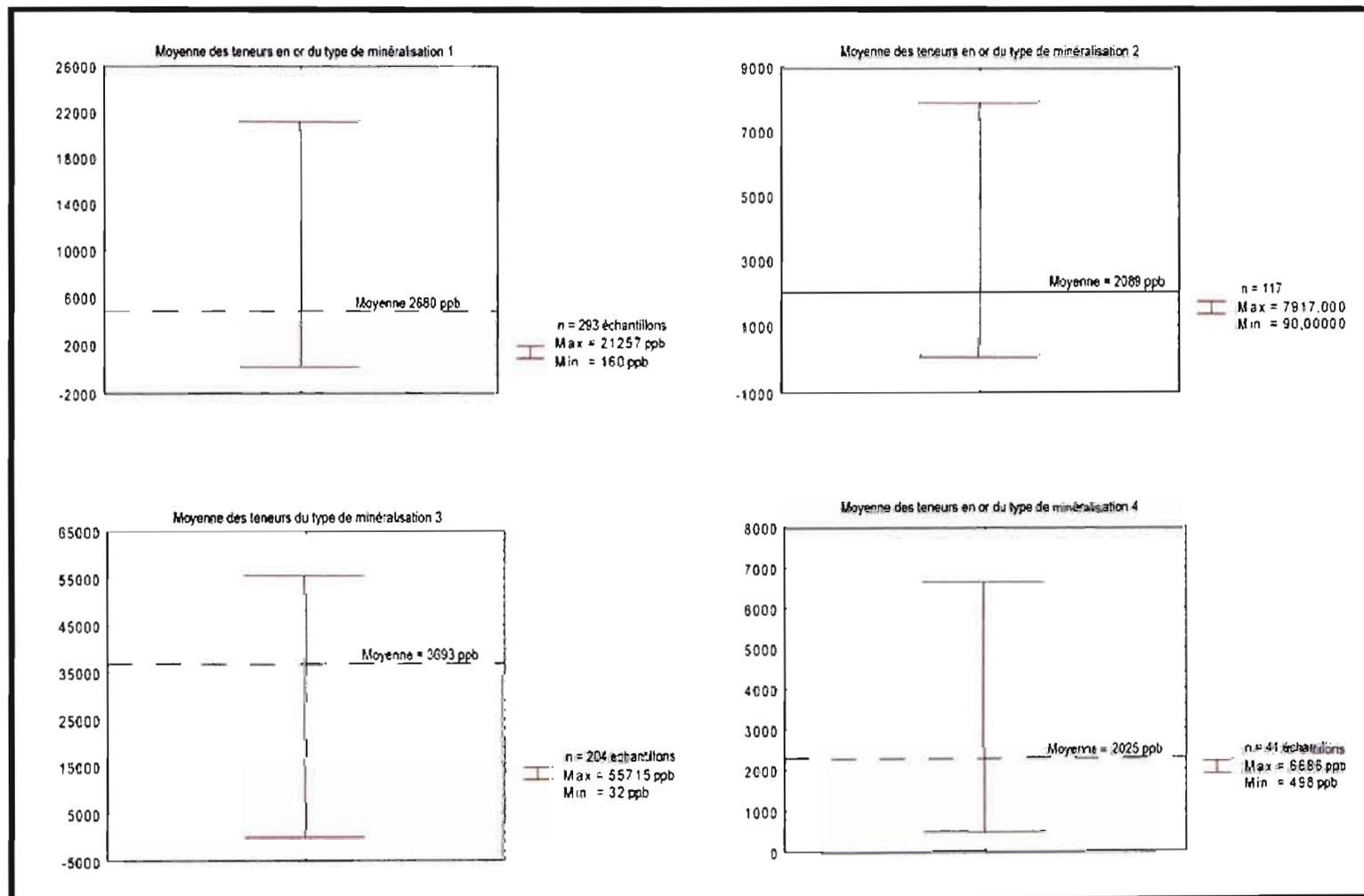


Figure 6.1: Moyenne des teneurs en or des types de minéralisation 1 à 4

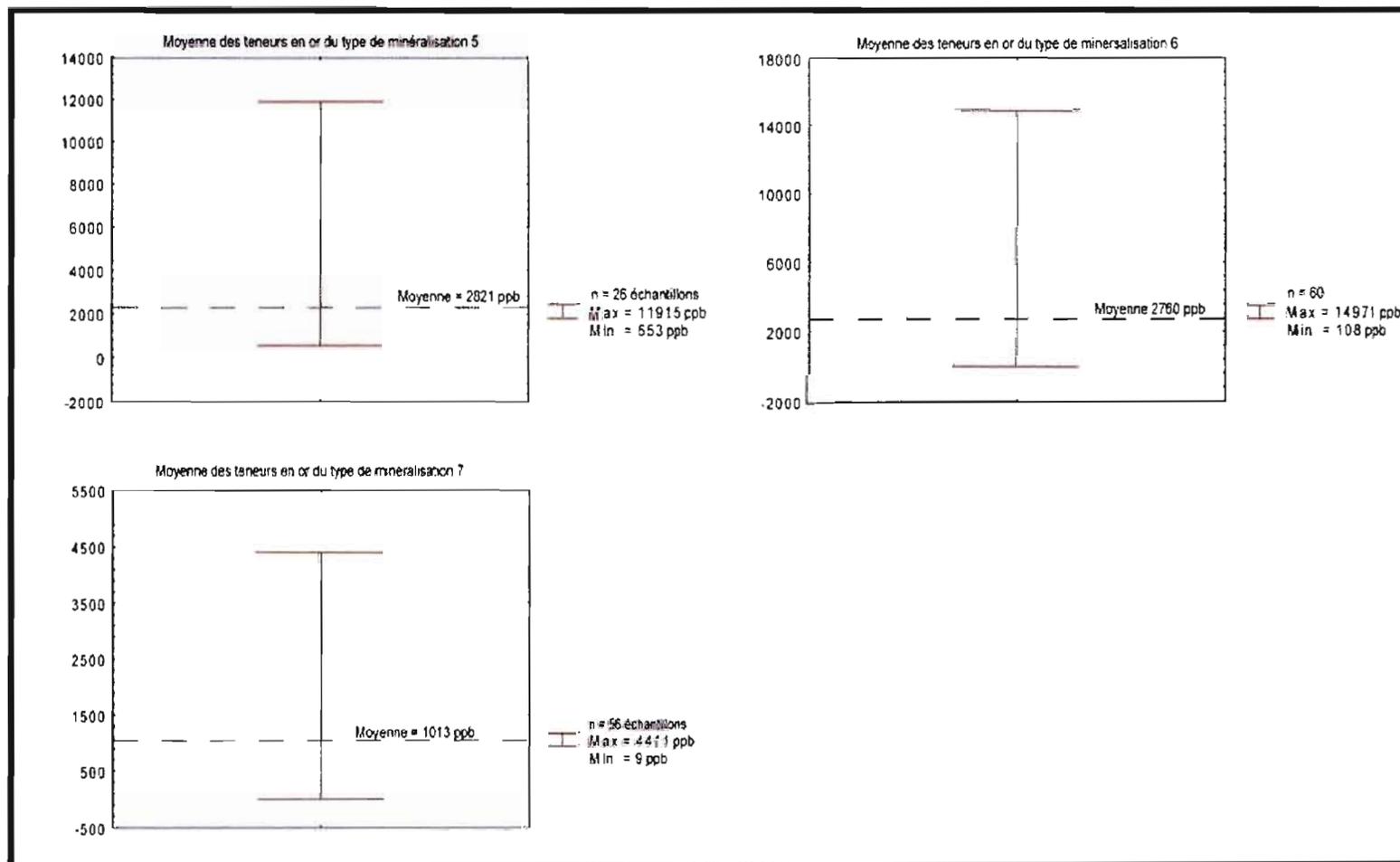


Figure6.2: Moyenne des teneurs en or des types de minéralisation 5 à 7

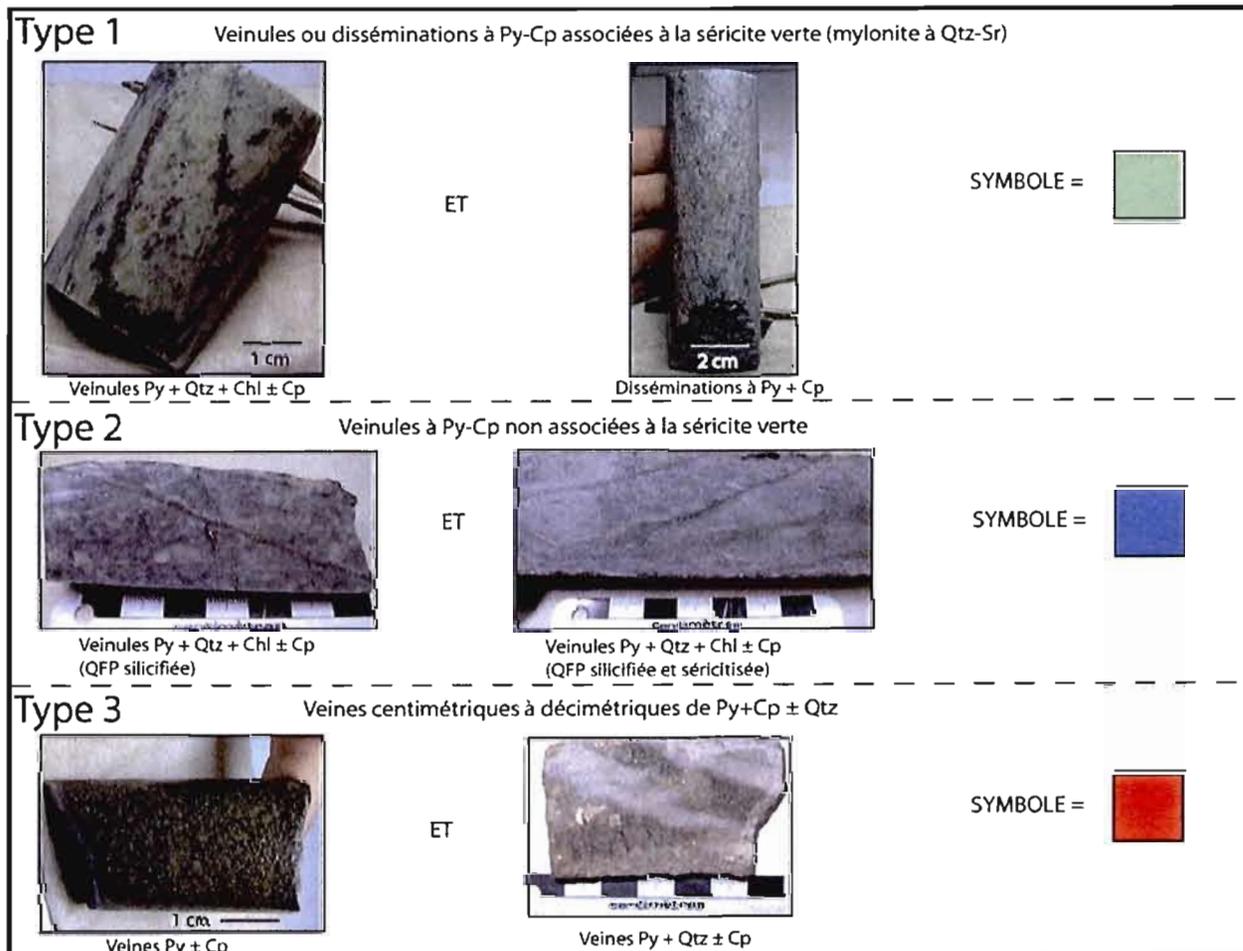


Figure 6.3: Types de minéralisation 1 à 3 et symboles correspondants

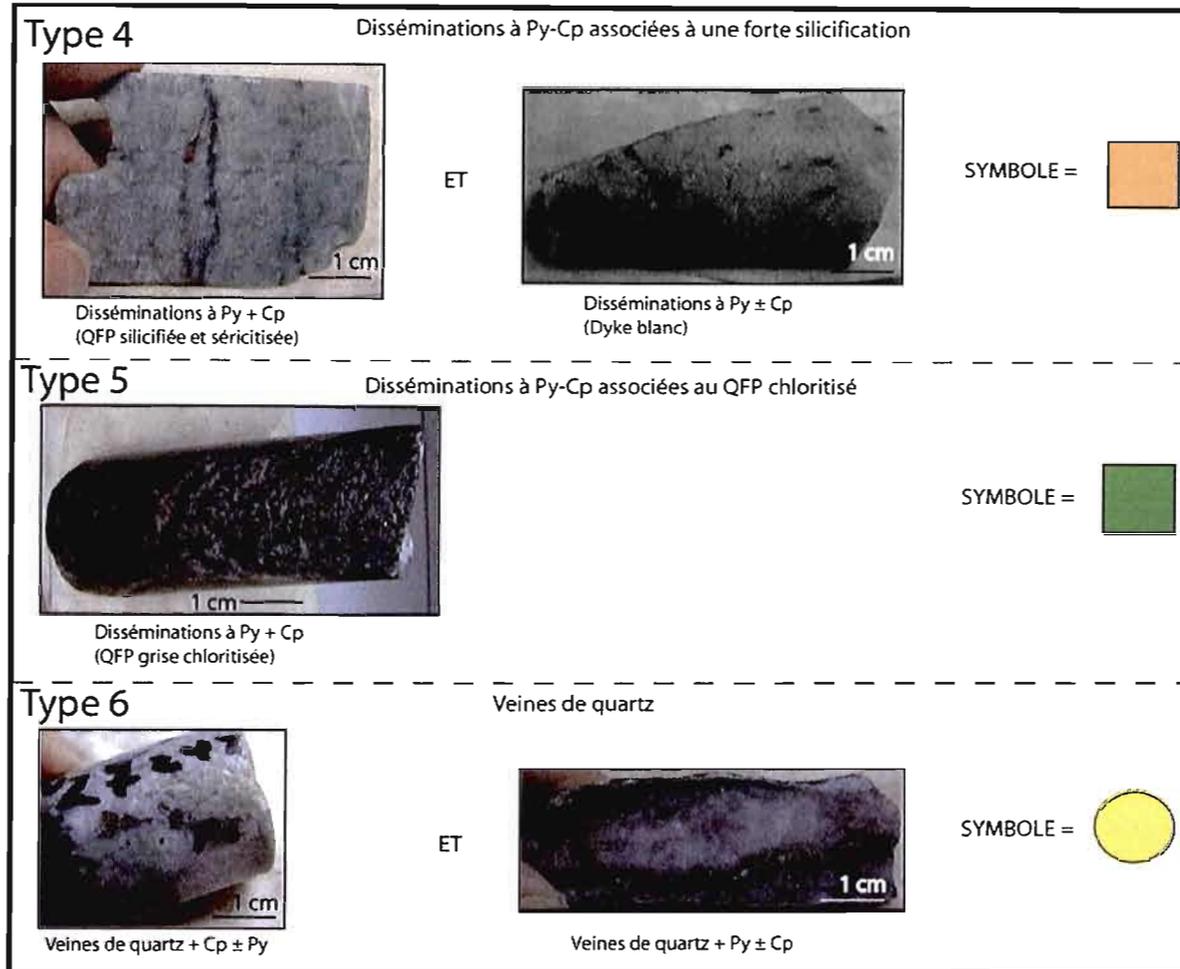
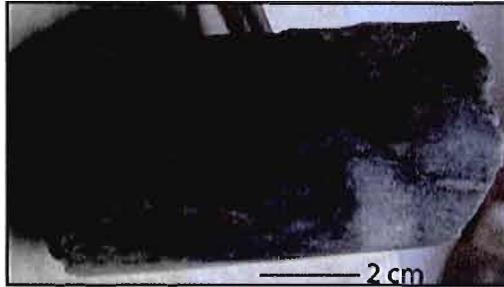


Figure 6.4: Types de minéralisation 3 à 6 et symboles correspondants

Type 7

Brèches (décrites dans la section 2.3.4)



Brèche à fragments de porphyre très
séricitisé

SYMBOLE = 

Figure 6.5: Type de minéralisation 7 et symbole correspondant

6.3 Cartographie des différents types de minéralisation au niveau 250m ± 25m

Sur le plan de niveau (250m ± 50m) présenté à la figure 6.6 la position des différents types de minéralisation observés à l'intérieur du gîte est reportée. La cartographie des unités décrites dans le chapitre V à la section 5.3.4 est placée en arrière plan.

Les veinules de types 1 et 2 sont observées au cœur du gîte. Les veinules de type 1 sont encaissées à l'intérieur du QFP silicifié, QFP silicifié et séricitisé et de la mylonite à Qtz-Sr, tandis que celles de type 2 recoupent toutes les unités. Il est très difficile de relier les points afin d'estimer l'orientation général de ces types de minéralisation. Les veines de type 3 sont le type de minéralisation le plus représenté sur ce plan de niveau. Ces dernières sont fortement concentrées au centre du dépôt et le long de la faille Mc Adam. Ces veines de pyrite grossière sont associées au QFP silicifié, QFP silicifié et séricitisé et aussi au QFP peu altéré (unité noire). La disposition spatiale du type de minéralisation 4 est semblable aux veines de type 2 et 3. En effet, une forte concentration de ces disséminations se situe au cœur et une minorité est observée dans les extensions est et ouest du gîte. Ces disséminations sont situées à moins de 100 m de la faille de Mc Adam. Les unités les plus propices à ce type minéralisation sont le QFP silicifié et le QFP silicifié et séricitisé. Toutefois, ces zones minéralisées sont parfois associées au QFP non altéré. La forte concentration de silice associé au type 4 peut être un phénomène local à l'extérieur des unités fortement silicifiées énumérée plus haut.

Le type 5 est observé en périphérie nord du gîte. L'alignement des fortes teneurs aurifères associées à ce type a une orientation presque est-ouest, pratiquement parallèle à la faille de Mc Adam. Ces disséminations à Py-Cp sont exclusivement associées au QFP chloritisé. Les minéralisations associées aux veines de quartz (type 6) ont une distribution spatiale hétérogène et sont observées à l'intérieur de toutes les unités. Le type 7, qui correspond aux minéralisations encaissées dans les brèches, est observé au nord du gîte, et à l'intérieur de ce plan niveau, ce type est associé au QFP chloritisé.

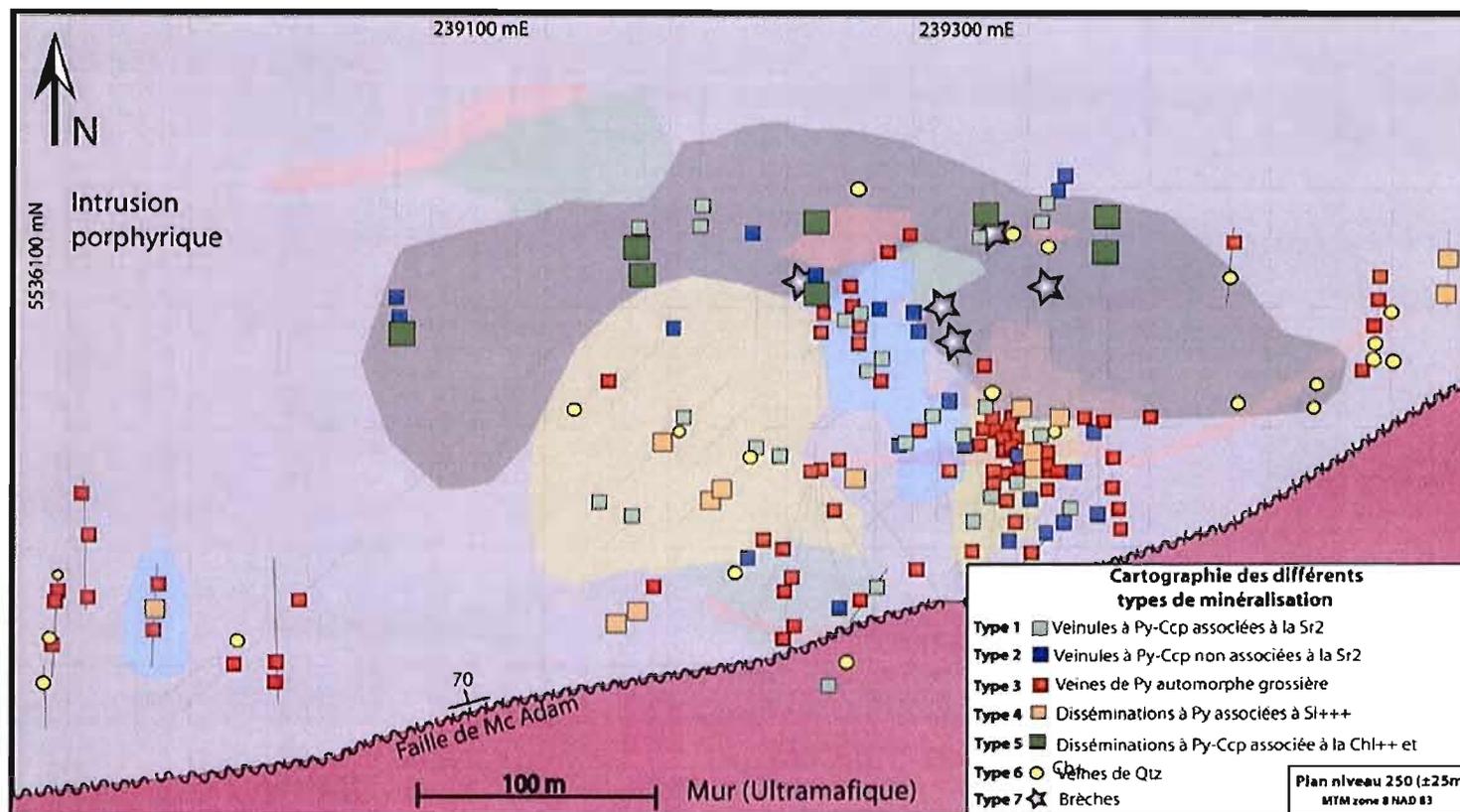


Figure 6.6: Les minéralisations de type 3 et 4 se concentrent près de la faille Mc Adam. Les veinules de types 1 et 2 sont localisées au cœur du gîte. Les disséminations de type 5 et les brèches (type 7) se positionnent au nord du gîte. Les veines de quartz (type 6) sont observées partout à l'intérieur du gîte.

6.4 Cartographie des différents types de minéralisation au niveau 239300 mE ± 50m

Sur cette coupe composite (figure 6.7), une forte concentration de veinules de type 1 est observée près de la surface (<50 m) et au centre du gîte. Les unités qui contiennent le plus de ces veinules sont la mylonite à Qtz-Sr et le QFP silicifié. Les veinules de type 2 sont localisées au cœur du gîte principalement associées au QFP silicifié.

Les veines de pyrite grossière (type 3) se localisent au cœur du gîte au niveau 250m. Sur cette figure, il est très difficile d'interpréter le pendage de ces veines. Cependant, à l'intérieur des forages verticaux faite par SOQUEM INC. en 2004, ces veines de pyrite massive ont toujours un très faible angle par rapport à l'axe de la carotte (entre 0 et 20° ; ex. figure 3.11). Ceci nous permet donc d'interpréter un pendage variant entre 75-90°. Ces veines semblent se prolonger jusqu'à la surface.

Les disséminations de type 4 sont observées dans les unités riches en silice, (QFP silicifié, QFP silicifié et séricitisé et QFP chloritisé). Les disséminations à Py-Cp de type 5, pour leurs parts, sont principalement encaissées à l'intérieur de l'unité QFP chloritisé en périphérie nord du gîte. Les veines de quartz (type 6) semblent préférentiellement situées au cœur du gîte à l'intérieur du QFP silicifié (comme le type 4), tandis que les minéralisations reliées aux brèches (type 7), sont localisées dans la partie nord du gîte dans ou à proximité du QFP chloritisé.

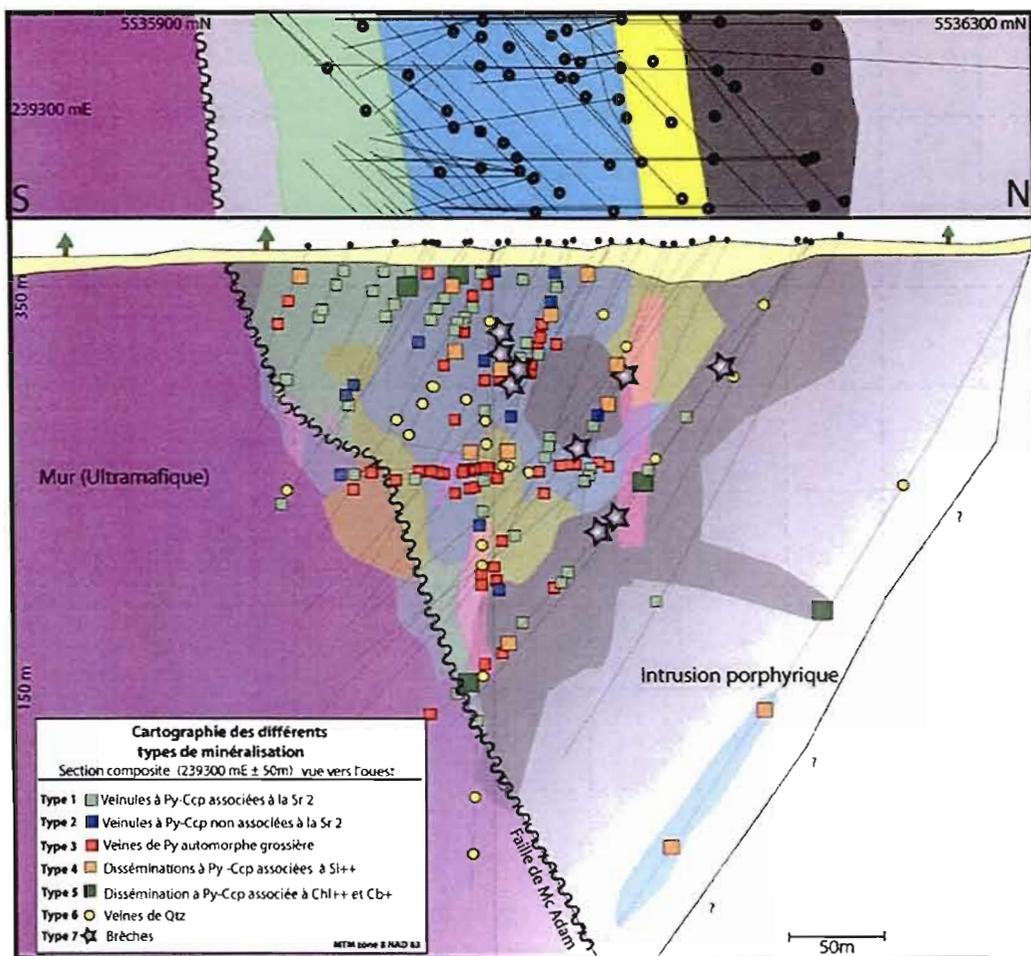


Figure 6.7: Les veinules de type 1 se situent principalement près de la surface. Les veinules de type 2 ont une disposition spatiale très hétérogène. Les veines de type 3 et 6 sont principalement situées au cœur du gîte. Les minéralisations de type 4 se localisent à l'intérieur du QFP silicifié. Les disséminations à Py-Cp de type 5 sont situées exclusivement à l'intérieur du QFP chloritisé. Les minéralisations associées aux brèches sont observées en périphérie nord du gîte.

CHAPITRE VII

GÉOTHERMOMÉTRIE UTILISANT LA CHLORITE

7.1 Introduction

La chlorite est présente dans toutes les unités observées à l'intérieur du gîte MOP-II (en plus ou moins grande quantité). Elle se présente sous différentes formes :

- 1- En amas millimétriques disséminés, provenant de l'altération de minéraux ferromagnésiens;
- 2- En veinules millimétriques, associées à la pyrite + séricite ± carbonate;
- 3- Associée aux veines centimétriques à décimétriques de pyrite massive;
- 4- En altération très pervasive où elle forme le constituant principal de la roche.

Les travaux de Cathelineau et Nieva (1985) ultérieurement modifiés par Kranidiotis et MacLean (1987) et Jowett (1991) ont permis de développer des équations permettant d'utiliser la chlorite comme géothermomètre. Celles-ci ont été appliquées sur les analyses de chlorites du gîte MOP-II.

Ce chapitre comporte trois objectifs :

- 1- Décrire les principes de la géothermométrie utilisant la chlorite et faire une synthèse des différentes équations disponibles.

- 2- Appliquer ces équations et sélectionner la plus efficace pour les chlorites du gîte MOP-II.
- 3- Estimer la température de formation des différents faciès de minéralisation présents à l'intérieur MOP-II.

7.2 Principes de la géothermométrie utilisant la chlorite

7.2.1 Caractéristiques de la chlorite

La chlorite est un minéral qui appartient à la famille des phyllosilicates. Les principales occurrences de la chlorite sont :

- 1- Les terrains métamorphiques de bas grade;
- 2- À l'intérieur des roches ignées, issu de l'altération des minéraux ferromagnésiens;
- 3- Dans les roches sédimentaires argileuses associées à d'autres minéraux phyllosilicatés (ex. muscovite et phlogopite).

La structure cristalline de ce mica se caractérise par une alternance de feuillets octaédraux (type brucite) de composition $Y_6Z_8O_{20}(OH)_4$ et de feuillets tétraédraux-octaédraux-tétraédraux (type talc) de composition $Y_6(OH)_{12}$ (Bailey, 1988). La présence de l'aluminium à la fois dans les couches tétraédrales et octaédrales assure une stabilité au minéral.

La composition chimique de la chlorite peut être représentée par la formule suivante :



où : $R^{2+} = Mg, Fe, Mn, Ni, Zn$; $R^{3+} = Al, Fe, Cr$; x (généralement) 1 à 3 et Z représente un site vacant. Les sites octaédraux (VI) sont différenciés des sites tétraédraux (IV). À l'aide de ces symboles (VI et IV) on identifie l'aluminium se trouvant dans les sites octaédraux (Al^{VI}) et tétraédraux (Al^{IV}). La substitution (Fe/Mg) est très variable dans ce minéral. Les chlorites riches en magnésium (pôle magnésien) sont nommées clinochlore $(Mg_{10}Al_2)(Si_6Al_2O_{20})(OH)_{16}$ et celles riches en fer (pôle ferrifère) sont nommées chamosite $(Fe_{10}Al_2)(Si_6Al_2O_{20})(OH)_{16}$. La limite entre les deux est fixée à 50% Fe/(Fe+Mg). Les

adjectifs ferrifères et magnésiens peuvent être utilisés afin de caractériser les chlorites de composition intermédiaire.

7.2.2 Calibration empirique du géothermomètre

La composition chimique de la chlorite change en fonction de la profondeur et par conséquent, de la température et pression de formation. Une augmentation de la température cause une diminution de Si^{IV} , Al^{VI} et Z^{VI} et un accroissement de Al^{IV} et de $(\text{Fe}+\text{Mg})$ (Caritat et al. 1993).

Cathelineau et Nieva (1985) ont étudié le système géothermal de Los Azufres au Mexique. La chlorite est l'un des principaux minéraux produit par l'altération des andésites à cet endroit. La température de cristallisation peut être estimée en mesurant les fluides à une profondeur donnée (en considérant que la température mesurée aujourd'hui est similaire à la température de cristallisation). Suites à l'analyse de chlorites, Cathelineau et Nieva (1985) ont mesuré une corrélation positive entre les teneurs en Al^{IV} et la température de formation et ont proposé que l' Al^{IV} peut être utilisé comme géothermomètre à cet endroit. À Los Azufres, aucun autre paramètre (composition de l'encaissant, nature du fluide, pression) ne semble faire varier l' Al^{IV} .

La relation entre la température en °C et le Al^{IV} est donnée par l'équation suivante (Cathelineau, 1988) :

$$T = -61.92 + 321.98 \text{Al}^{\text{IV}}$$

Plusieurs auteurs ont suggéré de modifier cette équation pour prendre en considération les variations de $(\text{Fe}/\text{Fe}+\text{Mg})$ des chlorites. Selon Kranidiotis et MacLean, 1987 une augmentation du rapport $\text{Fe}/\text{Fe}+\text{Mg}$ à l'intérieur des chlorites permet (pour des raisons structurales) de substituer plus de Al^{IV} au profit de la silice et donc, change la température calculée. Alors, ils ont corrigé la valeur de Al^{IV} ($\text{Al}^{\text{IV}}\text{C}$) comme suit :

$$\text{Al}^{\text{IV}}\text{C} = \text{Al}^{\text{IV}} + 0,7(\text{Fe}/[\text{Fe}+\text{Mg}])$$

La température, toujours en °C, est alors donnée par l'équation suivante.

$$T = 106 \text{ Al}^{\text{IV}} \text{ C} + 18$$

Selon les auteurs, cette équation est applicable dans les environnements saturés en aluminium (où la chlorite cohabite avec d'autres minéraux alumineux). E.W Jowett (1991) a mis en doute la validité des corrections apportées par Kranidiotis et MacLean (1987) en argumentant que ces modifications n'ont pas été faites en se basant sur les échantillons provenant de même intervalle de température. Jowett (1991) suggère donc une modification de l'équation de Kranidiotis et MacLean (1987) basée sur les analyses de chlorite provenant de Los Azufres :

$$\text{Al}^{\text{IV}} \text{ C} = \text{Al}^{\text{IV}} + 0,1(\text{Fe}/[\text{Fe}+\text{Mg}])$$

$$T = 319 \text{ Al}^{\text{IV}} \text{ C} - 69$$

Jowett (1991) précise que le géothermomètre modifié Fe-Mg est applicable dans une variété de système où la température varie entre 150 à 325 °C avec un rapport $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) < 0,6$.

7.2.3 Sélection de l'équation la plus appropriée au chlorite du gîte MOP-II

Description des échantillons utilisés

Quatre échantillons ont été utilisés pour l'analyse de chlorite. Voici la description de ces échantillons :

Échantillon 1)

Celui-ci provient de la tonalite fraîche (QFP frais). La forme et la présence de micrograins de chlorite et rutile nous laisse présumer que ces derniers sont issus de l'altération de minéraux ferromagnésiens primaires. La teneur en or de cet échantillon est de 49 ppb.

Échantillon 2)

Celui-ci provient du QFP silicifié et séricitisée et contient des veinules de pyrite+chlorite+séricite±carbonate parallèles entre elles et aussi parallèles à la schistosité principale (veine de type 2, chapitre 6). Cet échantillon provient d'une intersection qui a rapportée des teneurs de 484 ppb Au / 1.5m.

Échantillon 3)

Il contient un type de veines qui est rare à l'intérieur du gîte MOP-II. Celles-ci sont composées de pyrite + chlorite + tourmaline + séricite. Cet échantillon provient d'une intersection qui a rapporté 5.4 g/t Au et 0,1 % Cu/1,5m

Échantillon 4)

Cet échantillon provient du forage 1206-04-13, situé au cœur du gîte. Il contient l'éponte et le centre d'une veine de pyrite grossière (type 2, chapitre 6).

Comparaison des méthodes

Les trois équations présentées plus haut ont été testées sur les grains de chlorite du gîte MOP-II. Les résultats sont présentés à l'appendice C4. L'équation proposée par Kranidiotis et MacLean (1987) donne des températures plus basses (entre 302 et 362 °C) que les équations proposées par Jowett (1991) sont entre 324 et 412 °C, ou Cathelineau (1988) entre 322 et 409 °C. Les trois méthodes donnent des résultats similaires. En effet, les rapports entre les températures restent constant et forment une ligne presque droite sur les graphiques présentés à l'intérieur des figures 7.1 et 7.2.

Les températures calculées donnent des valeurs supérieures à 325 °C et la majorité des grains de chlorite à l'intérieur du gîte cohabitent avec d'autres minéraux alumineux comme la séricite. Comme décrit plus haut, les corrections apportées par Kranidiotis et MacLean (1987) ont été faites afin de rendre la géothermométrie à l'aide de chlorite applicable aux environnements saturés en aluminium. Donc, de toute évidence, c'est l'équation de Kranidiotis et MacLean (1987) qui semble la plus appropriée pour le cadre de cette étude. La méthode de Jowett (1991) ne convient pas aux échantillons de MOP-II car l'auteur a fixé à 325 °C la limite de température calculée à l'aide de cette méthode.

7.3 Résultats de la géothermométrie des chlorites de MOP-II

La totalité des chlorites analysées ont un rapport $Fe/(Fe+Mg) < 0,5$. Ces dernières tombent dans le champ du clinochlore (figure 7.3) et étant donnée leur haute teneur en fer, elles peuvent être caractérisées comme des clinochlores ferrifères.

Les chlorites de l'échantillon 1 montrent des hétérogénéités entre le centre et le bord des grains. Huit analyses ont été faites aux bordures (figure 7.4), nous livrant une température moyenne de 329 °C avec des températures minimales et maximales de 318 et 346 °C. Pour ce qui est du centre (six analyses), la température moyenne est de 312 °C avec des minimums et maximums de 301 et 320 °C. Ces chlorites ont un rapport $Fe/(Fe+Mg)$ assez haut (entre 0,42 et 0,49) par rapport aux chlorites provenant des autres échantillons.

Quinze analyses ont été faites sur des veinules millimétriques minéralisées de l'échantillon et les résultats sont résumés à la figure 7.5. La température moyenne calculée est de 355 °C et les températures minimales et maximales sont de 344 et 363 °C. Huit chlorites contenues dans la matrice ont aussi été analysées. La température moyenne calculée de ces chlorites est de 345 °C. Le rapport $Fe/(Fe+Mg)$ est légèrement plus faible (entre 0,38 et 0,42) qu' à l'intérieur des veinules millimétriques de l'échantillon 2.

Pour l'échantillon 3, dix analyses de chlorite observées à l'intérieur de ces veines ont été recueillies. La température moyenne calculée est de 334 °C avec des températures minimales et maximales de 328 et 343 °C (figure 7.6). Le rapport $Fe/(Fe+Mg)$ de ces chlorites est entre 0,31 et 0,37.

Les chlorites analysées dans la veine de l'échantillon 4 (n=9) et celles analysées à l'intérieur de la matrice (n=9) ont données des températures calculées semblables. La moyenne calculée de ces cristaux de chlorite est de 329 °C (figure 7.7) avec des températures minimales et maximales sont de 322 et 337 °C.

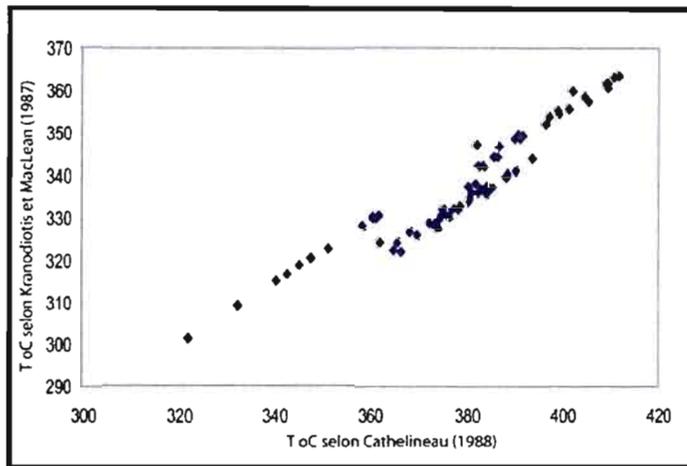


Figure 7.1 : Comparaison des températures calculées selon Cathelineau (1988) et Kranodiotis et MacLean (1987).

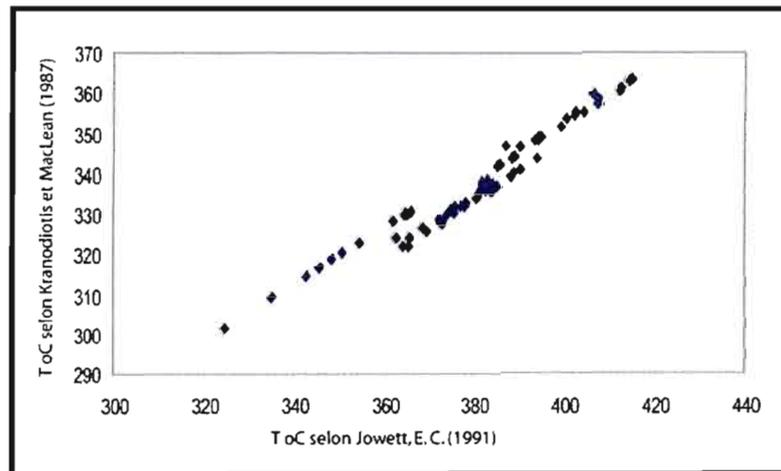


Figure 7.2 : Comparaison des températures calculées selon Jowett, (1991) et Kranodiotis et MacLean (1987).

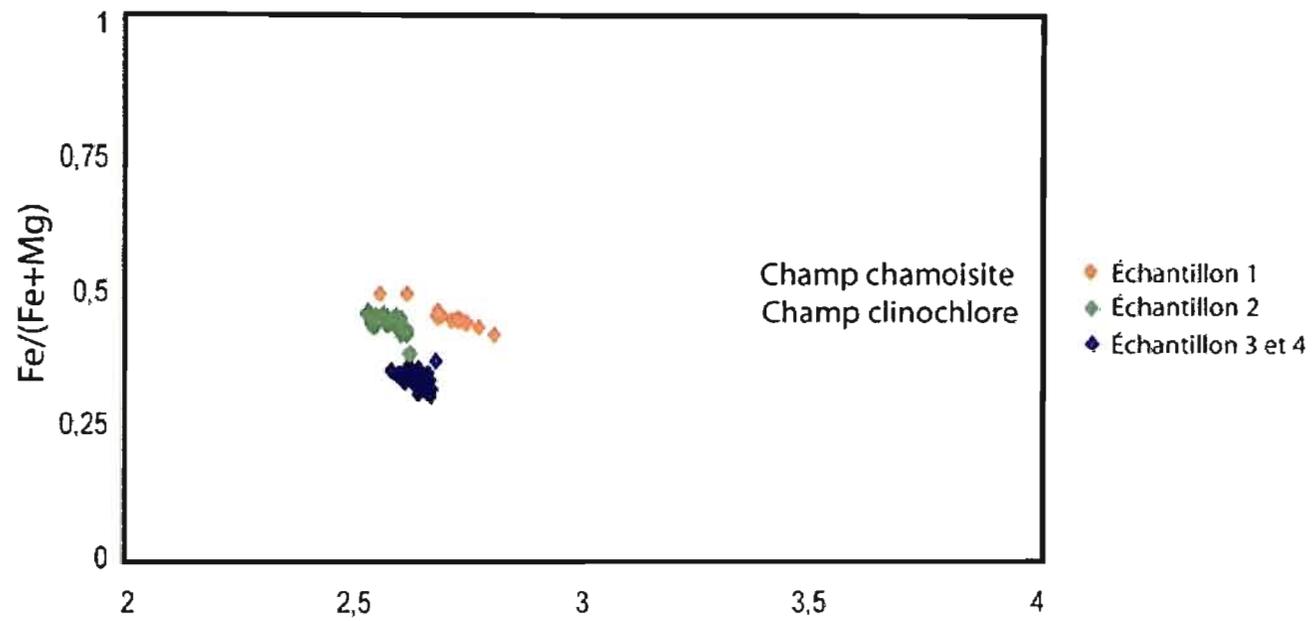


Figure 7.3 : Les chlorites échantillonnées à l'intérieur du gîte MOP-II correspondent à des clinochlores ferrifères.

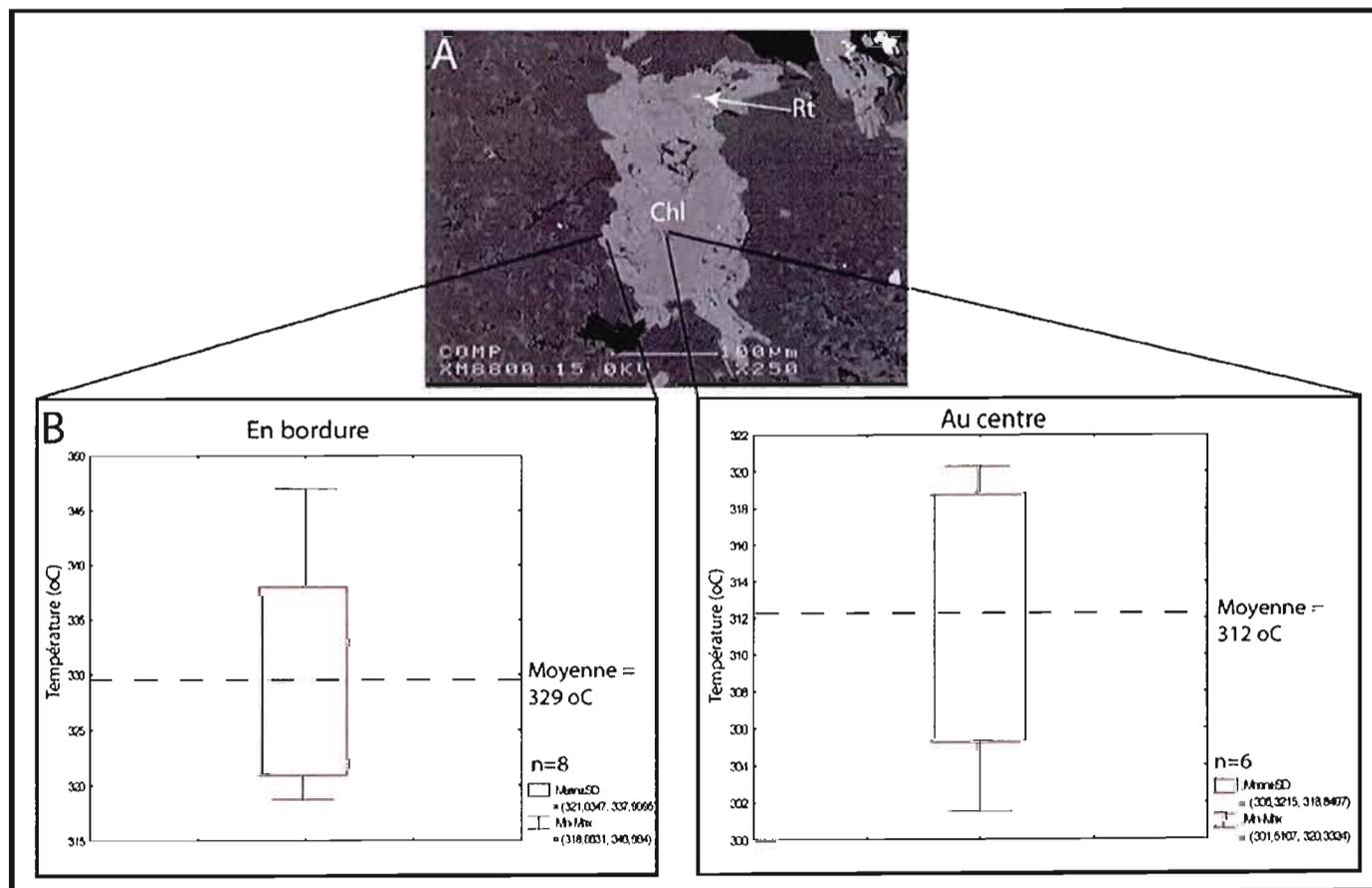


Figure 7.4 : Résultats de géothermométrie faites pour les chlorites de l'échantillon 1. A) Ces chlorites ont des compositions différentes au centre et en bordure. B) En périphérie des grains, la température moyenne (n=8) calculée est de 329 °C. C) Au centre, la température moyenne (n=6) est de 312 °C.

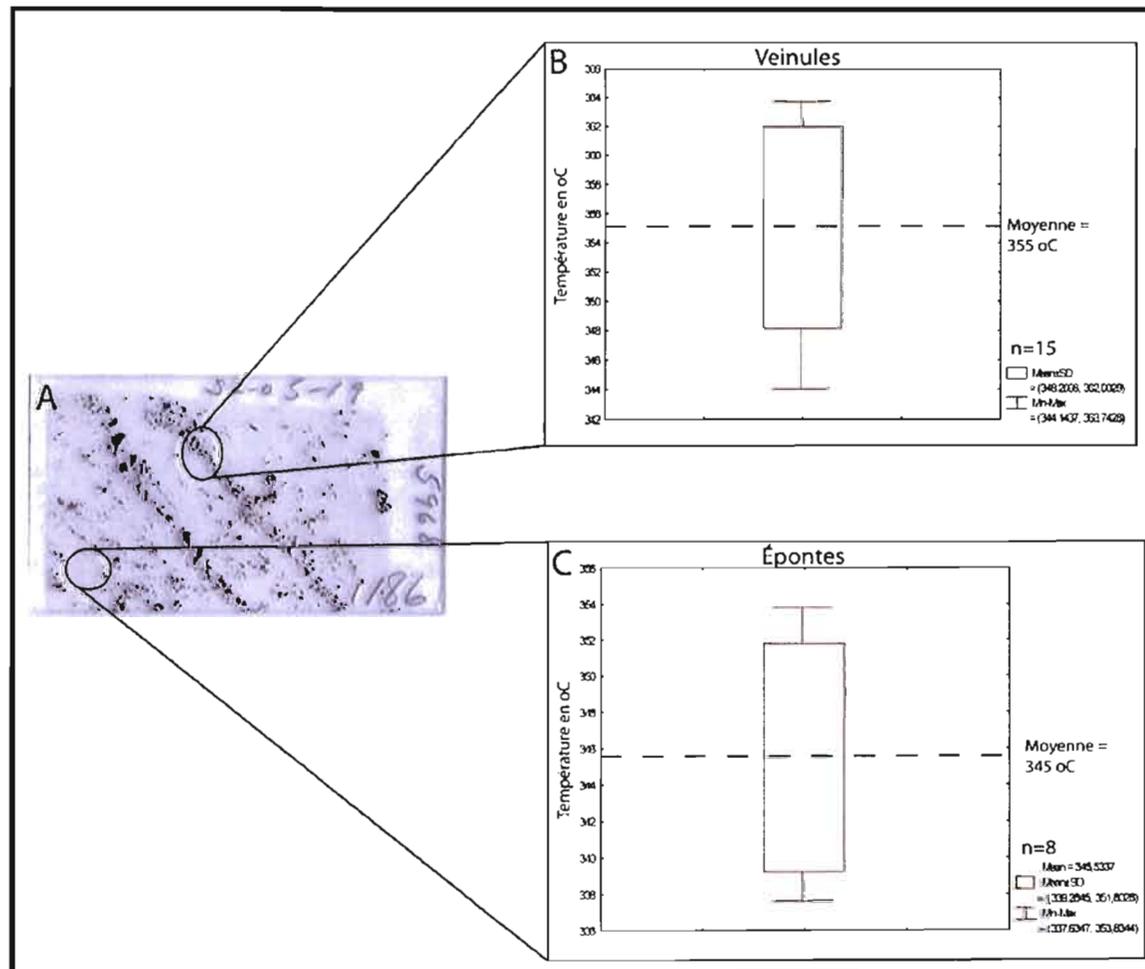


Figure 7.5 : Résultats de géothermométrie de l'échantillon 2. A) Les analyses ont été faites à l'intérieur des veinules et dans l'éponte. B) Dans les veinules la température moyenne (n=15) calculée est de 355 °C. C) Dans l'éponte, la température moyenne (n=8) est de 345 °C.

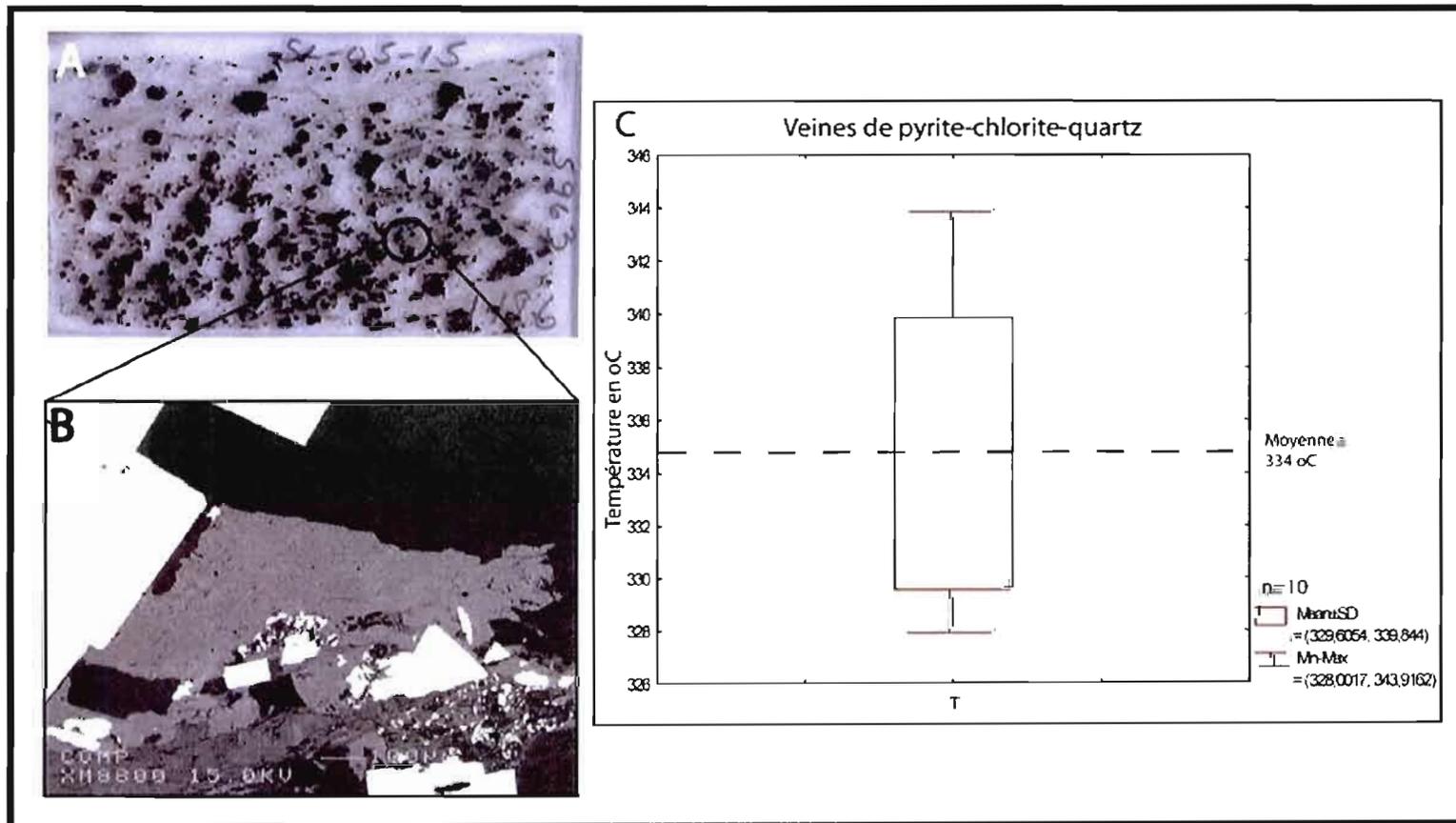


Figure 7.6 : Résultats de géothermométrie faites sur l'échantillon 3. A) Lame mince de cet échantillon. B) Les grains de chlorites se situent dans les ombres de basse pression des grains de pyrite. C) La température moyenne (n=10) calculée est de 334 °C.

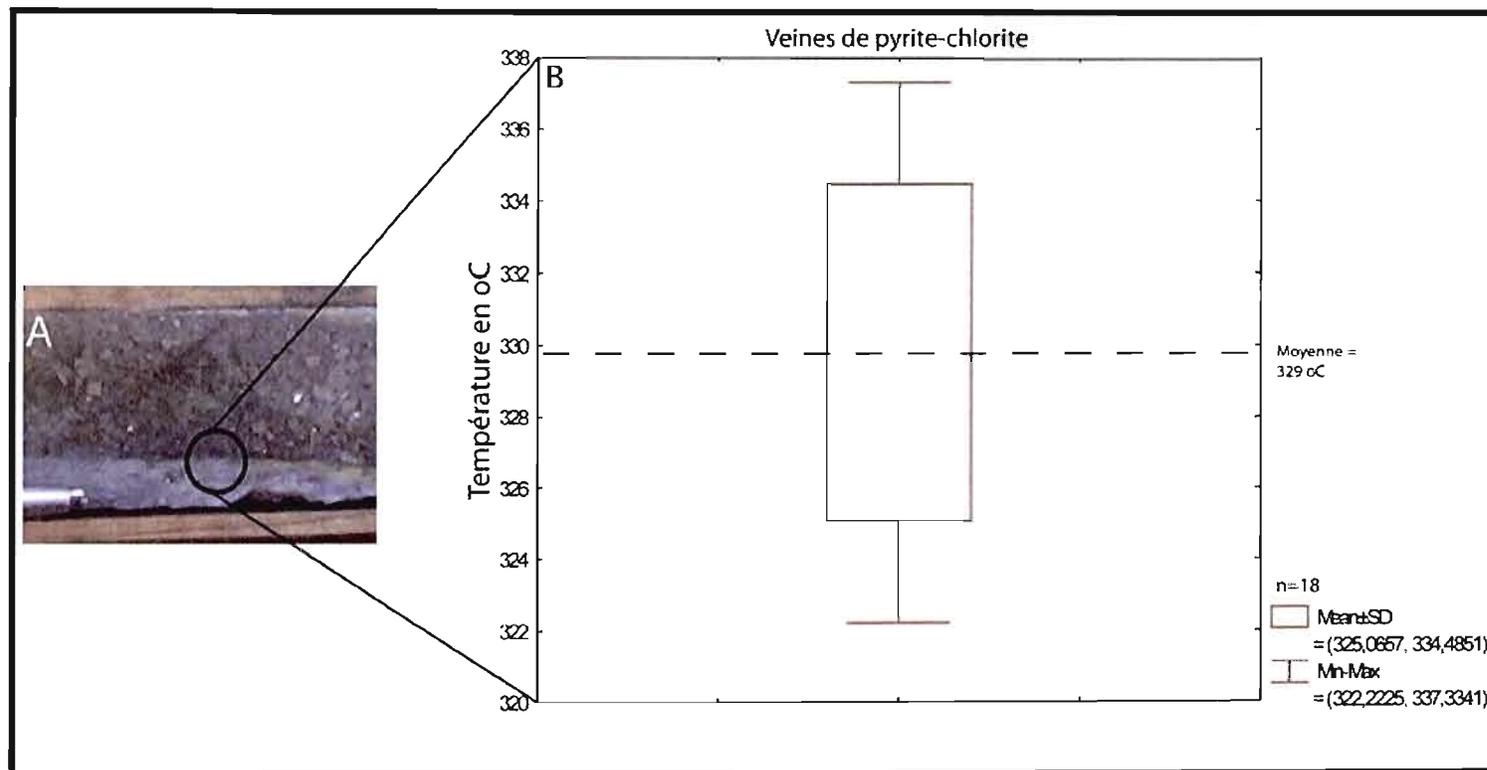


Figure 7.7 : Résultats de géothermométrie faites sur l'échantillon 4. La température moyenne (n=18) calculée est de 329 °C.

7.4 Résumé des résultats

La géothermométrie utilisant la chlorite a été initiée par Cathelineau et Nieva (1985) et ultérieurement modifiée par Kranidiotis et MacLean (1987) et Jowett (1991). Pour étudier la température de formation des différents styles de minéralisation de MOP-II, les équations de Kranidiotis et MacLean (1987) sont les plus appropriées étant donné l'environnement saturé en aluminium. Les températures calculées varient entre 302 et 362 °C. Les températures calculées peuvent être regroupées en trois familles (résumé figure 7.8):

- 1- Le cœur des grains de chlorite de l'échantillon 1 (moyenne de 312 °C);
- 2- La périphérie des grains de chlorite de l'échantillon 1 et les veines centimétriques de pyrite (environ 330 °C);
- 3- Les veinules de pyrite parallèles à la schistosité principale (environ 350 °C).

Ces températures calculées correspondent aux faciès métamorphiques milieu préhnite-pumpellyite à début schistes verts (figure 7.9).

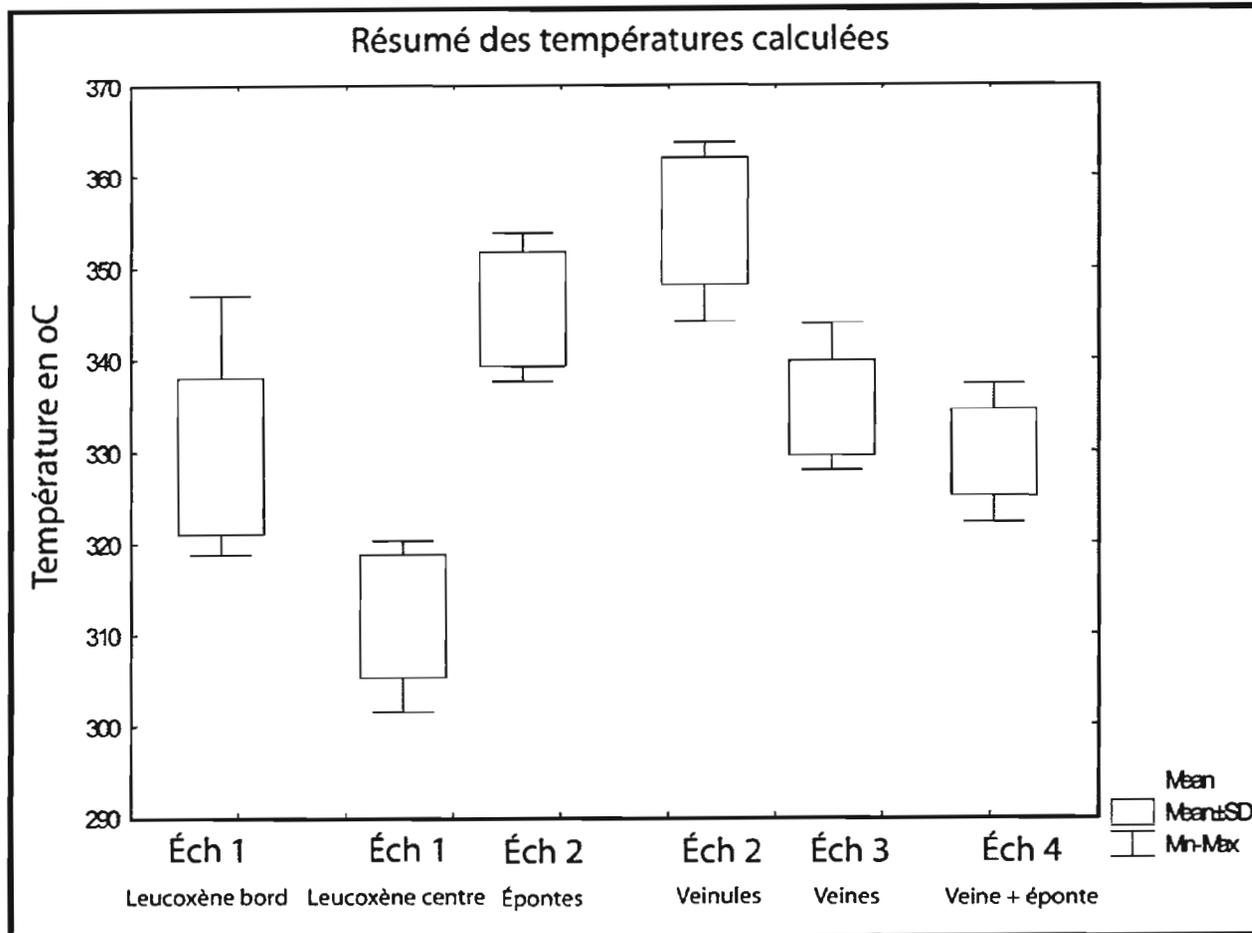


Figure 7.8: Résumé des températures calculées.

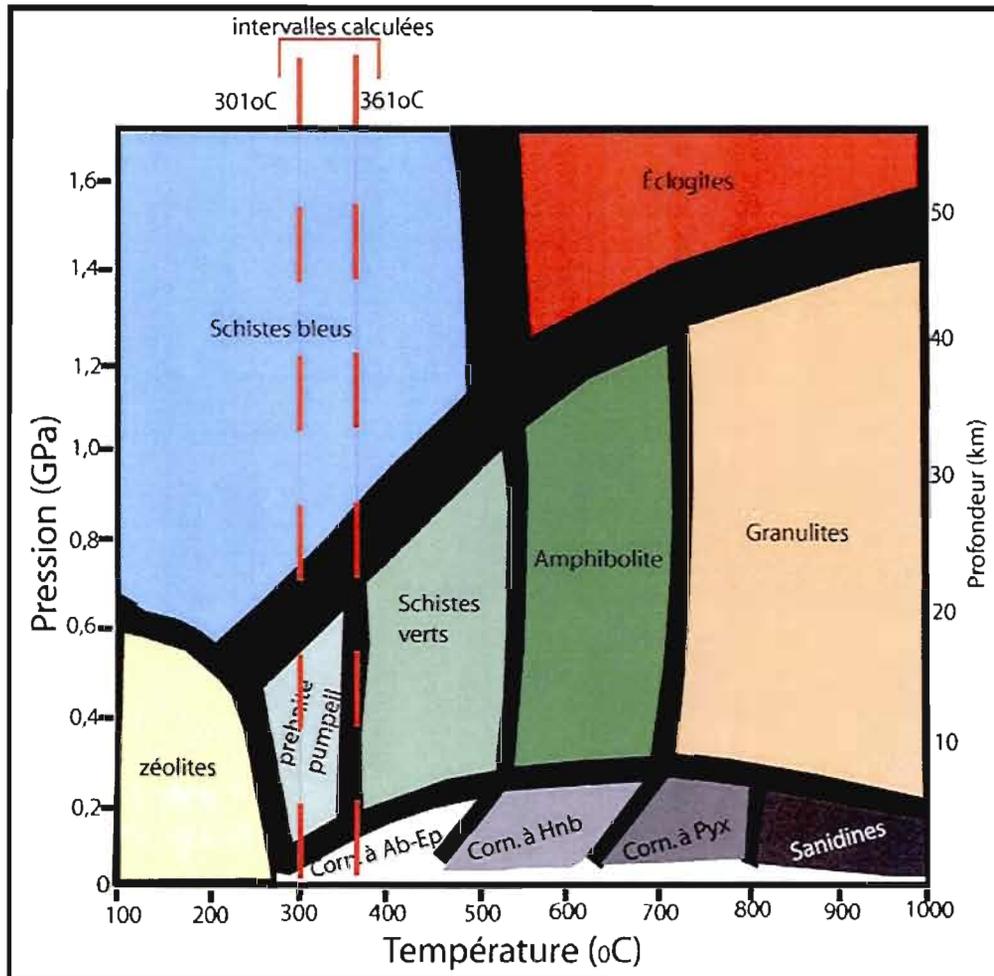


Figure 7.9: Diagramme (pression/température) montrant que les températures calculées à l'intérieur de cette étude correspondent aux faciès métamorphiques moyen préhnite-pumpellyite, début schistes verts (Winter, 2001).

CHAPITRE VIII

DISCUSSION

La discussion abordée ci-dessous comporte trois parties : la première fait une revue des principales observations faites dans les chapitres précédents, la deuxième traite de la paragenèse des unités et la troisième fait une comparaison du gîte MOP-II avec des modèles de gisements d'or en environnement granitique.

8.1 Revue des observations

8.1.1 Revue des caractéristiques de chacune des unités

À l'intérieur de l'intrusion porphyrique à phénocristaux de quartz et de feldspath, sept unités différentes sont observées. La première est le QFP frais qui représente la tonalite fraîche. Outre une légère damouritisation des feldspaths et la présence de rutile (près de 1%), cette unité n'est pas fortement altérée (tableau 8.1).

<i>Unité</i>	<i>Siliciée</i>	<i>Séricitisée</i>	<i>Chloritisée</i>	<i>Carbonatée (Calcite)</i>	<i>Carbonatée (Dolomie ferrifère)</i>	<i>Albitisée</i>
QFP frais	X	X	X	X	X	X
QFP silicifié	++	-	-	-	-	-
QFP silicifié et séricitisé	++	++	+	-	-	+
QFP chloritisé	variable	variable	++	++	+	-
Dyke blanc	+	+	+	+	++	+
Dyke rose	-	-	X	+	++	++
Mylonite à Qtz-Sr	+	++	X	X	X	-

Légende :	X	aucunement
	-	Légerement
	+	Moyennement
	++	Fortement

Tableau 8.1 : Résumé de l'altération de chaque unité

Par la suite, on retrouve le QFP silicifié et le QFP silicifié et séricitisé. Ces unités sont dues à une superposition d'une silicification et d'une séricitisation sur la tonalite fraîche de l'unité précédente.

Le QFP silicifié se caractérise par sa matrice fortement silicifiée et par l'absence de séricite. Cette dernière contient des valeurs en SiO_2 plus fortes que les autres unités (67 % SiO_2 vs 65% SiO_2 ; figure 4.7). Le QFP silicifié et séricitisé a, quant lui, une matrice riche en silice, séricite et albite. Contrairement à l'unité précédente, les feldspaths sont altérés en séricite, ce qui les rend difficiles à distinguer macroscopiquement (figure 3.17). Cette séricite blanche, ne coïncide pas avec de haute teneur en K_2O . Le pourcentage de carbonates et de chlorite est variable à l'intérieur de cette unité, cependant, lorsque la chloritisation devient plus pénétrative (plus de 5%), la tonalite passe à l'unité QFP chloritisé. À l'intérieur de cette dernière, on observe une étroite association entre la chlorite et la calcite. Conséquemment, le pourcentage de MgO (1,2%), CaO (4%) et CO_2 (3,75%) est relativement élevé par rapport aux autres unités (figure 4.7 et 4.8). Une unité verdâtre est aussi observée, c'est la mylonite à séricite-quartz. Celle-ci est fortement séricitisée, moyennement silicifiée et montre généralement une schistosité de flux fortement pénétrative. La séricite verte présente à l'intérieur de cette unité se distingue de la séricite blanche observée à l'intérieur des autres unités. En effet, elle est plus grossière (jusqu'à 1mm vs $< 50 \mu\text{m}$) et apporte de fortes teneurs en K_2O (jusqu'à 4,79 %). Cette séricite est clairement tardive par rapport aux autres minéraux d'altération. Elle recoupe la séricite blanche (figure 3.24), la chlorite (figure 3.27 C) ainsi que la silice. Il est donc évident que cette unité soit la dernière à s'être mise en place. Deux familles de dykes felsiques sont identifiées à l'intérieur de MOP-II (en plus des dykes de gabbro décrit à la section 2.2.2.). Les dykes blancs recoupent clairement les autres unités avec des contacts parfois francs, (figure 3.25) parfois graduels (figure 3.26A). Le pourcentage et la grosseur des phénocristaux de quartz à l'intérieur de ces dykes diffèrent de ceux observés dans le QFP frais (2-5% de 1 mm pour les dykes blancs vs 10 % de 10 mm pour le QFP frais). Les dykes blancs sont fortement altérés en carbonates et moyennement altérés en silice, séricite et chlorite (tableau 8.1). Les teneurs en SiO_2 , K_2O et Na_2O sont relativement faibles par rapport aux autres unités. Toutefois, le pourcentage de CO_2 (3,2%) et de CaO (3,38%) est élevé, et lié à la présence de carbonates. Suite au test de coloration des

carbonates (figure 3.27) et à l'analyse de ces minéraux au MEB (appendice A1), il a été possible d'identifier ces minéraux comme des dolomites ferrifères ayant un rapport Mg/Fe de 1,16. Les autres dykes sont de couleur rosée. La proportion de phénocristaux de quartz et de feldspath est la même que le QFP frais. Les dykes roses sont fortement carbonatés, albitisés et légèrement silicifiés et séricitisés et ont une signature géochimique similaire aux dykes blancs (tableau 8.1). Cependant, les dolomites ferrifères analysées au MEB montrent un rapport Mg/Fe de 2,7 donc plus haut que celles des dykes blancs (1,16) (appendice A2). Malgré le fort pourcentage d'albite observé dans la matrice, le pourcentage de Na₂O est similaire aux autres unités (figure 4.7). Ceci suggère que l'albitisation s'est produite isochimiquement.

Les dykes blancs et roses sont très altérés et souvent encaissés à l'intérieur d'unité moins altérée (figure 3.26). Un fort gradient d'altération est donc observé de part et d'autre des contacts. De plus, de fortes teneurs en or sont observées soit à l'intérieur ou en bordures des dykes (figures 3.25 et 3.26). Ces observations nous suggèrent que les dykes ont servi de conduits aux fluides minéralisateurs aurifères. Ceci a aussi été observé à la mine Géant-Dormant (Gaboury et al., 2000).

8.1.2 Revue des zonalités d'altération, de minéralisation et de métaux

À l'intérieur du gîte MOP-II, on observe une zonalité des différents faciès d'altération, des types de minéralisation et des différents métaux. Il y a deux zones distinctes : le cœur et la périphérie nord. Au cœur du gîte, l'altération phyllique (séricite+quartz) domine avec des zones locales potassiques (séricite de deuxième génération verte pomme) (figure 5.10). Le socle forme, à cet endroit, un dôme en relief positif (figure 5.3) lié à la forte teneur en silice. Cette zone centrale est fortement enrichie en or et cette minéralisation aurifère se présente sous 4 différentes formes :

- Veinules de pyrite+chlorite+quartz±chalcopyrite (type 1 et 2, figure 6.3) ;
- Veines de pyrite grossière (type 3, figure 6.3) ;
- Veines de quartz+pyrite±chalcopyrite (type 6, figure 6.4);

- Disséminations à Py±Cp associées à une silicification intense (type 4, figure 6.4).

L'or est principalement inclus à l'intérieur ou en périphérie des grains de pyrite associé à de rares traces de chalcopryrite, sphalérite, galène et minéraux de bismuth. Le pourcentage de pyrite disséminée est relativement faible comparativement à la périphérie. Le cœur du gîte est aussi recoupé par des dykes fortement carbonatés et albitisés (dykes roses et blancs).

À la périphérie nord du gîte, c'est l'altération propylitique (chlorite+carbonates) qui prédomine et cette zone d'altération crée une forme en croissant qui a 450m de diamètre (figure 5.10). Le socle forme, à cet endroit, une dépression de 25m de profondeur (figure 5.3). À cette zone est associé un halo minéralisé en chalcopryrite et molybdénite (figure 5.15). La chalcopryrite se présente sous forme de disséminations et de veinules et la molybdénite, en veinules plissées (figure 3.18). Même si les teneurs en or sont relativement faibles dans cette zone, quelques échantillons rapportent des teneurs de plus de 1g/t Au. L'or se présente sous trois formes :

- Disséminations à Py-Cp (type 5, figure 6.4) ;
- Brèches (type 7, figure 6.5) ;
- Veines de quartz (type 6, figure 6.4).

Cette zone à cuivre-molybdène ± or contient des halos à plus de 10% de pyrite disséminée (figure 5.15) mais, cette pyrite est beaucoup moins aurifère que la pyrite observée au cœur du gîte.

8.2.1 Paragenèse des unités

L'ensemble des observations faites dans le gîte MOP-II suggère cinq différents stades de formation des unités soit: 1- mise en place de l'intrusion porphyrique, 2- altération du porphyre en séricite, silice, chlorite et calcite. 3- formation de dykes felsiques et altération en

dolomite ferrifère 4- altération du porphyre en séricite verte et finalement, 5- déformation régionale. La figure 8.1 résume les éléments discutés dans cette section.

1) Le premier stade de formation est associé à la mise en place de l'intrusion porphyrique entre les basaltes de la Formation de Gilman et la péridotite du Filon-couche de Roberge. La présence de la Formation de Blondeau entre le Gilman et le Roberge reste encore énigmatique. Les volcanites foliées décrites à la section 2.2.5 pourraient en faire partie. En effet, l'échantillon 376921 montre des teneurs en Zr et TiO_2 (0,55% TiO_2 et 164 ppm Zr) plus fortes que les autres unités (figure 4.5) et un aspect fragmentaire. Ceci pourrait correspondre à l'unité de coulée pyroclastique décrite par Archer (1983). Les minéraux primaires de la tonalite sont les phénocristaux de quartz, de feldspath ainsi que les fantômes de phénocristaux de minéraux mafiques (biotite, ilménite?) maintenant remplacés par un assemblage de chlorite et de rutile (figure 3.4). Cette chlorite s'est formée à une température approximative de 312°C (figure 7.4). La présence de phénocristaux de chlorite et rutile et de petites inclusions d'ilménite à l'intérieur des grains de pyrite des dykes blancs (appendice A4) suggèrent la présence d'ilménite primaire à l'intérieur de la tonalite. Les minéraux de la matrice sont le quartz, l'albite, la monazite, le zircon et l'apatite.

2) Le deuxième stade correspond au principal événement hydrothermal. Lors de cet épisode, les fluides minéralisateurs ont produits une séricitisation et silicification du cœur du système (altération phyllique) formant ainsi les unités suivantes : QFP silicifié et QFP silicifié et séricité. Ces unités montrent peu de variation géochimique entre elles. Il est donc fort probable que la séricite provienne de l'altération des feldspaths créant ainsi un surplus de silice qui a servi à la silicification du porphyre. Lors de cet épisode, la périphérie nord du porphyre a subi une altération en chlorite et calcite intense formant ainsi le QFP chlorité. Les bordures de coussin des basaltes situés au nord de l'intrusif sont aussi altérées en calcite, épidote et chlorite Cette propylitisation a donc affectée les basaltes de la Formation de Gilman. Les unités constituant le porphyre contiennent des traces à 1% de rutile dans la matrice ainsi qu'à l'intérieur des veines minéralisées. Ceci démontre que cet événement

hydrothermal a lessivé les minéraux mafiques laissant ainsi un résidu de rutile. Le rutile est fréquemment observé dans les gîtes porphyriques et épithermaux (Thompson et al. 1996).

3) Le troisième stade est associé à la formation de dykes felsiques (blancs et roses) et par la suite, à l'altération en séricite (seulement dykes blancs) et dolomite ferrique. Aucune relation de recoupement nous permet de savoir laquelle des deux familles de dykes est venue en premier, cependant il est clair que ceux-ci recoupent les unités formées lors des stades 1 et 2.

4) Le quatrième stade correspond à l'évènement hydrothermal qui a altéré le porphyre en séricite verte. Comme décrit plus haut, cette séricitisation est accompagnée de fortes teneurs en K_2O et forme des zones potassiques locales.

5) Le cinquième stade est associé à l'épisode de déformation régionale. Lors de cette déformation, les unités riches en séricite et chlorite se sont fait préférentiellement déformées par rapport aux unités fraîches ou silicifiées. En effet, à l'intérieur du QFP silicifié et séricitisé, des dykes blancs et de la mylonite à Qtz-Sr, la schistosité principale est fortement développée. Cette déformation a aussi modifiée l'orientation des veines et veinules minéralisées. Dans les faciès peu altérés ou fortement silicifiés (QFP frais et QFP silicifié), les veinules minéralisées de type 2 (Vnl-Py-Cp) ne sont pas plissées et forment des stockwerks à orientations variables (figure 3.5 A). Les veinules minéralisées du même type, encaissées dans les dykes blancs et le QFP silicifié et séricitisé, sont légèrement transposées dans le sens de la schistosité principale (figure 3.14 B). Lorsque le porphyre devient fortement séricitisé (mylonite à Qtz-Sr), la schistosité est très pénétrative. Les veinules minéralisées sont alors complètement transposées dans le sens de la schistosité principale. Comme ces dernières sont associées à la séricite verte, elles sont classées à l'intérieur du type 1 (Vnl-Py-Cp-Sr2). Les veines de pyrite grossière de type 3 (Vn-Py±Cp) montrent aussi un gradient de déformation qui dépend de l'unité encaissante. Celles encaissées à l'intérieur du QFP silicifié sont homogènes (figure 3.11). Cependant, lorsqu'encassées à l'intérieur de la mylonite à Qtz-Sr, il y a diminution de la granulométrie des grains de pyrite en bordure des

veines et ces dernières contiennent des veines de quartz plissées. La présence de ces veines de quartz se corrèle aux fortes teneurs en or de ces veines de sulfure ($< 10 \text{ g/t Au / 1m}$).

La géothermométrie de la chlorite (chapitre 7) a permis de reconstituer l'évolution prograde du métamorphisme régionale. Le cœur des grains de chlorite dans la matrice de la tonalite fraîche a donné une température de $312 \text{ }^\circ\text{C}$ et la bordure, $330 \text{ }^\circ\text{C}$. L'analyse des grains de chlorite à l'intérieur des veines minéralisées nous a livré des températures variant entre 330 et $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Ces grains de chlorites se situent dans les ombres de pression des grains de pyrite. Comme cette pyrite montre des évidences d'une croissance syn à tardi tectonique, la chlorite a donc subi une recristallisation lors du métamorphisme régional. Il est donc impossible, avec cette méthode, d'avoir de l'information sur la température de formation de ces veines minéralisées. Les températures calculées nous démontrent que l'intrusion porphyrique a été métamorphisée au faciès préhnite-pumpellyite supérieur à schiste vert inférieur.

8.2.2 Paragenèse de la minéralisation

Il est difficile d'établir une paragenèse de la mise en place des minéraux métalliques (or, cuivre, molybdène, bismuth, sphalérite et galène). Ceci est dû à la présence de ces derniers à travers toutes les unités (sauf le QFP frais). Toutefois, le fait que des veines et des veinules minéralisées soient plissées, indique que la majeure partie de la minéralisation s'est formée très tôt dans l'histoire de la déformation régionale. Les veines de quartz tardives quand à elles, pourraient représenter un épisode de remobilisation des métaux, syn à tardi tectonique.

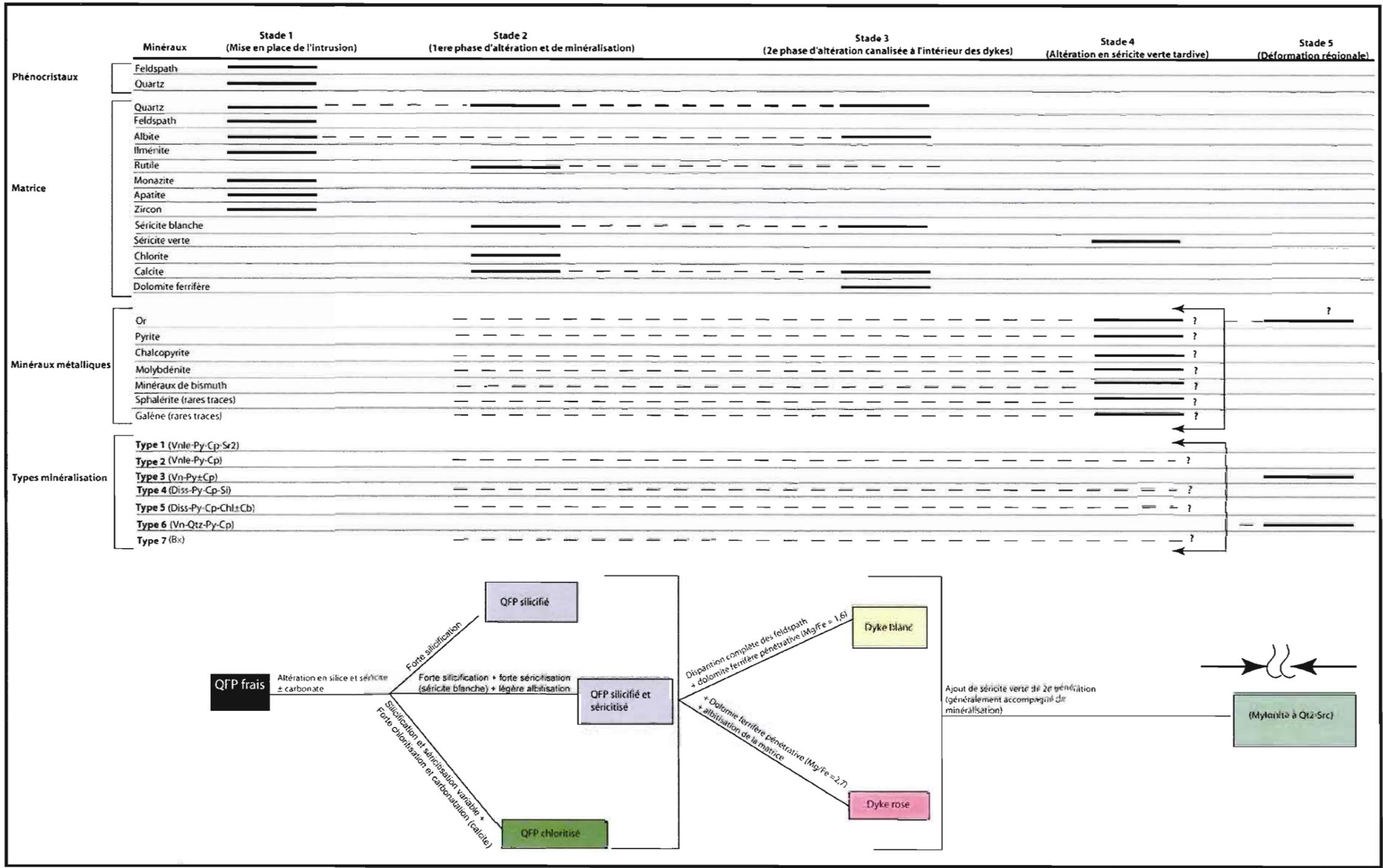


Figure 8.1 : Paragenèse des unités

8.3 Comparaison de MOP-II avec d'autres types de gisement d'or

Afin de mieux comprendre le mode de formation du gîte Mop-II, il est intéressant de le comparer avec d'autres types de gisement d'or reliés à des intrusions felsiques. Les observations dans le cadre de cette étude nous amènent à montrer certaines ressemblances entre MOP-II et les gîtes d'or orogénique, les sulfures massifs volcanogènes aurifères (SMV), et les porphyres à or-cuivre-molybdène de la Cordillère canadienne et le gîte de Cu-Mo du lac Clark (Cu-Mo) à Chibougamau). Les éléments discutés dans cette section sont présentés au tableau 8.2.

8.3.1 Gîte d'or orogénique

La présence de minéralisation aurifère filonienne associée à une intrusion felsique altérée en silice, séricite, chlorite et carbonates rappelle le contexte de mise en place des gîtes d'or orogénique. La tonalite forme un noyau compétent entouré de deux lithologies moins compétentes (basalte et péridotite). Lors de la déformation régionale ce corps peut s'être comporté de manière cassante en se fracturant et en canalisant les fluides minéralisateurs riches en or. De plus, la virgation de la faille de Mc Adam visible sur la figure 2.3 pourrait être à l'origine d'une zone de basse pression à l'intérieur du porphyre. Une zone comme celle-ci est un endroit particulièrement propice à la circulation de fluides aurifères. Pour supporter ce modèle, il faut considérer la faille de Mc Adam comme étant le conduit des fluides et donc, le principal responsable de la présence du gîte MOP-II. Certaines observations appuient le modèle du gîte d'orogénique:

- Nature de l'intrusion (tonalite);
- Les zones fortement aurifères sont situées près de la faille;
- En bordure de la faille, les unités sont fortement altérées. Le porphyre est altéré en séricite et la péridotite en talc-chlorite-carbonates;
- Les dykes roses sont parallèles à la faille;
- Les veines de pyrite massive (type 3) sont principalement observées près de la faille.
- Valeurs en or d'environ 3-5 g/t

- Altération en carbonates

Toutefois, certaines observations n'appuient pas ce modèle. La première est l'altération très pervasive de la tonalite. L'altération n'est pas limitée à la bordure des veines mais plutôt largement étendue sur près de 300 mètres. Ceci nous informe sur la faible profondeur de mise en place du système minéralisateur. Pour altérer un tel volume de roche, une grande quantité de fluide a dû circuler à l'intérieur du porphyre et ce, à une faible pression. De plus, les différents faciès d'altération montrent une zonalité à l'échelle du gîte ce qui n'est pas courant à l'intérieur des gisements d'or orogénique.

La présence de veines et veinules plissées et transposées suggère une mise en place précoce de la minéralisation par rapport à la déformation. Ceci ne correspond pas au type de veines syn à tardi déformation observées dans les gîtes d'or orogénique. Seul les veines de quartz-calcite stériles sont syn-déformation. Ces veines sont clairement tardives par rapport aux autres types de minéralisation. Même à l'intérieur des unités fortement séricitisées, ces dernières recoupent la schistosité principale et par le fait même, ne sont pas plissées.

8.3.2 SMV riche en or

Le contexte géologique de MOP-II ressemble aussi à celui observé à l'intérieur des amas sulfurés volcanogènes riches en or (SMV) :

- La présence d'une intrusion porphyrique à proximité de rhyolite, basalte et roches volcanoclastiques (volcanites foliées) ;
- La morphologie de la minéralisation (stockwerk aurifère et cuprifère) ;
- La présence de séricite-quartz au cœur du système et une altération propylitique en périphérie ;
- Enrichissement en bismuth;
- Présence de minéralisation précoce.

Toutefois, il existe aussi plusieurs différences :

- Les minéraux d'altérations décrits par Dubé et al. (2007), tel que l'andalousite, la kyanite, la pyrophyllite, la staurotite et le grenat riche en manganèse ne sont pas observés à l'intérieur de MOP-II ;
- Les teneurs anormales en zinc et argent sont pratiquement inexistantes ;
- La présence de molybdénite ;
- Absence d'amas sulfuré.

Bien que MOP-II ait des ressemblances avec une racine épigénétique d'un SMV riche en or, il est peu probable que ce stockwerk soit associé à un amas sulfuré.

8.3.3 Porphyre à or-cuivre-molybdène

Ce type de gisement est principalement observé dans la Cordillère des Andes. Quelques dépôts archéens ont été documentés dans la région de Chibougamau notamment à la mine Troilus et le gîte du lac Clark. Mop-II montre beaucoup de ressemblance avec ce type de dépôt :

- Présence d'une intrusion porphyrique mise en place à faible profondeur;
- Minéralisation associée aux brèches;
- Minéralisation disséminée et en stockwerk de faible teneur à l'intérieur d'un important volume de roche;
- Association Au-Cu-Mo±Bi;
- Altération phyllique au cœur et propylitique en périphérie;
- Minéralisation précoce;
- Présence d'un halo pyriteux faiblement aurifère en périphérie du gîte;

Même si les principales observations faites à l'intérieur du gîte MOP-II correspondent aux caractéristiques des gisements porphyriques, quelques unes semblent atypiques:

- Zonalité métallique peu commune (cuivre et molybdène en périphérie et or au centre);
- Absence de biotite ou feldspath potassique (altération potassique) au cœur du gîte;

- Absence de magnétite.

Ces observations nous ont amené à chercher des gîtes porphyriques archéens qui ont les mêmes caractéristiques que MOP-II. Les minéralisations disséminées associées aux syénites de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi montrent des similitudes avec MOP-II (ex. Beattie, Holt-McDermott, Douay etc...). Ces intrusions sont aussi épizonales (Robert, F. 2001), sont situées près de failles majeures et montrent pratiquement les mêmes minéraux d'altération et de minéralisation que MOP-II (tableau 8.2). L'intérêt que porte la comparaison de MOP-II avec ce type de minéralisation est la relation entre la déformation et la minéralisation. En effet, les intrusions syénitiques et les disséminations aurifères se sont mises en place après la déformation D1 mais avant la déformation régionale D2 (Robert, 2001). Les veinules sont alors transposées dans le sens de la schistosité principale comme observé dans MOP-II. Étant donné qu'aucune datation n'a été faite dans la tonalite et les dykes du gîte MOP-II, il est impossible de savoir la relation entre les minéralisations aurifères et les différentes phases de déformation décrites à la section 2.1.2. Cependant, le plissement et la transposition des veinules minéralisées suggèrent que l'épisode minéralisateur de MOP-II soit avant ou très tôt dans l'histoire de la déformation régionale D2.

Le gîte du lac Clark situé à Chibougamau montre aussi des similitudes avec le gîte MOP-II, selon la description de Pilote et al. (1998):

- La roche encaissante est aussi une roche felsique (granophyre, dyke de QFP et anorthosite gabbroïque);
- Présence de brèches minéralisées;
- Présence d'un halo pyriteux stérile en périphérie du gîte;
- La minéralisation se compose de veinules semblables à celles observées à l'intérieur de MOP-II (quartz-pyrite-chalcopyrite-molybdénite);
- La zonalité d'altération est la même (silice+séricite au cœur et chlorite en périphérie);
- Absence d'un cœur potassique;
- Faible abondance de magnétite;

Selon Rowin (2000), le gîte du lac Clark et le gisement du lac Troïlus sont classés comme étant des porphyres cuprifères (lac Clark) et aurifères (Troïlus) réduits. Ce type de dépôt se distingue des porphyres oxydés par : le manque de magnétite, la présence d'ilménite primaire, une minéralisation riche en pyrrothite et des basses teneurs en cuivre donnant l'impression d'avoir un porphyre peu développé. Ces caractéristiques correspondent bien à la description du gîte MOP-II qui est maintenant interprété comme appartenant à ce type de gisement.

	MOP-II	Gîte d'or orogénique	SMV riche en or	Porphyre à cuivre-or et molybdène	Gîte du Lac Clark	Dissémination à or associées aux svénites
Sources		Dubé, B et al. (2007) et Groves et al. (1998)	Dubé, B. et al. (2007)	Sinclair, et al. (2007)	Pilote et al. (1998), Kirkham et al. (1998)	Robert, F. (2001)
Nature de l'encaissant	Tonalite ± basalte ± péridotite	Grande variété de roche. Souvent intrusion felsique.	Principalement volcanites et volcanoclastites felsiques.	Intrusions porphyriques felsiques (Cu-Au : 45 à 65% SiO ₂) et (Cu-Mo : 60-72% SiO ₂), (Mo : 65-77 % SiO ₂) et volcanites mafiques.	Granophyre, anorthosite gabbroïque et dykes de QFP	Syérite, monzonite
Présence de brèches	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Profondeur de mise en place	Intrusion = superficielle : minéralisation = ?	Minéralisation profond	Minéralisation faible profondeur	superficiel	Intrusif = superficiel en milieux subémergent : Minéralisation = superficiel	Superficiel
Relation avec une faille majeure	À proximité de la faille Mc Adam	Situé près d'une faille crustale importante	Situé à proximité d'une faille syn-volcanique	Oui	Situé à proximité des failles du lac Sauvage et du lac Doré	Oui
Métaux	Au, Cu, Mo	Au	Au, Ag, Cu, Zn	Cu, Mo, Au ± Ag ± Sn ± W	Cu, Mo	Au-Cu-As-Te
Enrichissement variable en	Bi, Zn, Pb, Te	As, B, Bi, Hg, Sb, Te, W, Cu, Pb, Zn	As, Sb, Bi, Pb, Se, Te et Hg	Rh, W, In, Pt, Pd, Se	Zn	Pb, Mo, Sb
Minéralogie (minéralisation)	Or natif, pyrite, chalcopryrite, molybdénite, minéraux de bismuth, galène, sphalérite	Or natif, pyrite, pyrrhotite, chalcopryrite, arsénopyrite ± molybdénite et tellurures	Pyrite, sphalérite, chalcopryrite, galène, magnétite ± bornite ± tennantite ± sulfosel ± arsenopyrite, mawsonite et tellurures	Chalcopryrite, pyrite, or natif, electrum, bornite, molybdénite, chalcocite, magnétite, scheelite, cassitérite, bismuthinite et bismuth natif	Pyrite, chalcopryrite, molybdénite, magnétite	Pyrite, arsénopyrite, chalcopryrite, hématite, tellurures, molybdénite, galène, bismuthinite
Morphologie de la minéralisation	Veinules à Qtz-Chl-Py-Cp, veines de Py grossière, dissémination à Py-Cp, brèches	Filons de quartz, zones de cisaillement, stockwerks, brèches.	1) Lentilles de sulfures massives stratoïdes, 2) Zone nourricière des amas sulfurés : enchevêtrement de filonnets minéralisés (stockwerk)	Stockwerk, filons, fractures et brèches.	Veinules de: Qtz-Py, Qtz-Py±Cp et Qtz+Mo	Disséminée, stockwerk,
Zonalité de la minéralisation	Au dans le cœur du gîte Cu et Mo en périphérie		Zonalité par lentilles	Minéralisation souvent associée à la zone potassique.	Mo au cœur Cu dans la partie intermédiaire Py stérile en périphérie	
Minéralogie (altération)	Séricite, quartz, chlorite, carbonates (calcite et dolomite ferrifère) ± tourmaline (veines) ± fuschite (rapporté dans les archives)	Quartz, carbonates (calcite, dolomite, ankérite et sidérite), micas blanc, chlorite et tourmaline	Quartz, chlorite, séricite, aluminosilicates (andalousite, kyanite, pyrophyllite, staurotide, grenat riche en Mn).	1) Altération potassique : feldspaths potassiques, biotite ± amphibole ± magnétite. 2) Altération propylitique : quartz, chlorite, épidote, calcite, albite et pyrite 3) Altération phyllique : quartz, séricite, pyrite 4) Altération argilique : quartz, illite, pyrite, kaolinite, montmorillonite, calcite	Quartz, chlorite, épidote	Carbonates, albite, feldspaths, K, séricite,
Zonalité de l'altération	Silice+ séricite au cœur. Chlorite+carbonates±silice et séricite en périphérie. Pas d'altération potassique prononcée.	Altération concentrée en périphérie des veines.	1) altération argilique avancée au cœur (quartz-séricite, andalousite/kyanite, pyrophyllite et staurotide). 2) altération propylitique en périphérie (chlorite)	1) altération potassique au cœur 2) altération argilique et phyllique dans la partie intermédiaire (pas toujours présente) 3) altération propylitique en périphérie	Silice+sericite au cœur. Chlorite+épidote en périphérie. Pas d'altération potassique prononcée.	Calcite en périphérie et dolomite ou dolomite ferrifère près des zones minéralisées
Rôle de la déformation régionale	Plissement et transposition des veines précoces dans le sens de la schistosité principale. Développement de zone de cisaillement à l'intérieur des unités fortement séricitisées. Développement de mylonite à l'intérieur de l'unité verte.	1) Pour les minéralisations syn-déformation : plissement des veines et formation de textures en "crack and seal". 2) Pour les minéralisations post-déformation : aucune (les veines recourent la schistosité)	2 théories 1) Mise en place de l'or à l'intérieur d'un VMS à métaux de base 2) Modification de la géométrie du dépôt et redistribue quelques constituants à l'intérieur de pièges structurals.	Basculement du système, modification de la géométrie du dépôt et modification de la minéralogie dans les zones d'altération.	Basculement du système.	Déformation des zones fortement séricitisées, crénulation et plissement de veinules ayant un fort angle avec la schistosité principale.

Tableau 8.2 : Comparaison de MOP-II avec d'autres types de gisements d'or.

CHAPITRE IX

CONCLUSION

Les buts de cette étude étaient de :

- 1) Définir les différents faciès d'altération et leur chronologie relative;
- 2) Décrire les différentes formes que prend la minéralisation en or, en cuivre et en molybdène et définir des zonalités métallifères;
- 3) Déterminer le type de minéralisation : cisaillement aurifère, racine épigénétique d'un amas sulfuré riche en or ou porphyre ?

Le gîte MOP-II est encaissé dans une intrusion porphyrique identifiée comme une tonalite. La transition entre cette intrusion et les faciès rhyolitiques décrits par Cashin, (1988) n'a pas été clairement définie à l'intérieur de cette étude. Ceci est dû à la forte altération hydrothermale qui oblitère les caractéristiques primaires de l'intrusion porphyrique.

Quatre unités basées sur l'altération ainsi que deux familles de dykes ont été décrits. Le QFP frais n'est pas minéralisé. À l'intérieur du QFP silicifié, les feldpaths sont visibles et les veinules minéralisées ne sont pas plissées. À l'intérieur du QFP silicifié et séricitisé, les phénocristaux de feldpaths sont complètement séricitisés et les veinules minéralisées sont légèrement plissées. Le QFP chloritisé contient plus de 5% de chlorite sous forme de veinules, a subi une forte carbonatation et les veinules de molybdénite observées dans cette unité sont

fortement plissées. À l'intérieur de la mylonite à quartz et séricite, les textures primaires du porphyre sont complètement oblitérées par une forte quantité de séricite verte tardive. Les veinules minéralisées observées dans cette unité sont complètement transposées dans le sens de la schistosité principale. Les dykes roses et blancs sont fortement altérés en séricite, albite et dolomite ferrifère et ils ont servis de conduits pour les fluides minéralisateurs aurifères.

Sept types de minéralisation aurifères et cuprifères ont été décrits. Les veinules de type 1 (Vnle-Py-Cp-Sr₂) se caractérisent par la présence de séricite verte de deuxième génération. Les veinules de type 2 (Vnle-Py-Cp) sont associées à la partie centrale aurifère du gîte. Les épaisses veines (1 à 50 cm) de pyrite de type 3 (Vn-Py±Cp) apportent les plus fortes teneurs en or et sont principalement observées le long du contact entre le porphyre et la péridotite du Filon-couche de Roberge. Les disséminations à pyrite-chalcopyrite associées aux unités fortement silicifiées du type 4 (Diss-Py-Cp-Si), se localisent au cœur du gîte, tandis que celles associées au QFP chloritisé du type 5 (Diss-Py-Cp-Chl±Cb) sont observées en périphérie nord du dépôt. Trois types de veines de quartz aurifères sont classés à l'intérieur du type 6 (Vn-Qtz-Py-Cp) : 1- veines de quartz plissées 2- veines de quartz non plissées et non aurifères 3- veines de quartz plissées encaissées à l'intérieur des veines de type 3. Le type 7 représente d'importantes zones de brèches à fragments de porphyre minéralisé (environ 50m d'épaisseur) sont l'hôte de minéralisation aurifère, elles représentent le type 7 (Bx).

Une zonalité des différents faciès d'altération et de minéralisation a clairement été définie. Le cœur du gîte est altéré en séricite et silice (altération phyllique). Les principales enveloppes aurifères se situent au cœur. La périphérie du gîte est altérée en chlorite et carbonates (altération propylitique) et contient la majorité des minéralisations en cuivre et molybdène. À l'extérieur des enveloppes minéralisées, un halo pyriteux stérile est défini.

Les observations faites lors de cette étude confirment l'existence d'un stockwerk minéralisé riche en or±cuivre±molybdénite précoce par rapport à la déformation régionale. La déformation a plissée et transposée ces minéralisations d'une part et d'autre part à

remobilisée l'or et le cuivre dans des veines de quartz tardives qui recoupent la schistosité principale.

La faible profondeur de mise en place de l'intrusion, la présence de brèches minéralisées, le style de minéralisation en stockwerk et dissémination, la faible teneur du gîte, l'association Au-Cu-Mo±Bi, la présence d'un halo pyriteux stérile, la zonalité d'altération phyllique au cœur et propylitique en périphérie et l'existence d'un stockwerk précoce sont des éléments qui convergent vers une minéralisation de type porphyrique. Cependant, l'absence de magnétite, la présence d'ilménite et la faible teneur en cuivre suggèrent que MOP-II se classe à l'intérieur des gîtes porphyriques réduits décrits par Rowin en 2000. Outre les fortes teneurs en or et la zonalité métallique atypique, on observe des similarités entre MOP-II et le gîte du lac Clark aussi situé dans la région de Chibougamau (Pilote, 1998).

En terminant, différents travaux pourraient être réalisés à l'intérieur du gîte MOP-II afin de continuer à améliorer la compréhension de la mise en place de la minéralisation :

- 1) Faire une étude structurale en caractérisant les différentes familles de failles et de cisaillements présents dans le gîte
- 2) Faire des forages, particulièrement dans la partie nord du gîte, en analysant systématiquement le cuivre et le molybdène.
- 3) Faire une cartographie de surface à l'aide de décapage.
- 4) Faire une datation à l'intérieur de l'intrusion porphyrique afin de mieux comprendre la relation entre cette tonalite et le pluton de Chibougamau.

APPENDICE A

TABLEAUX ET CARTES DE MEB RELIÉS AU CHAPITRE 3

A1	Tableau d'analyse des dolomites ferrifères des dykes blancs.....	166
A2	Tableau d'analyse des dolomites ferrifères des dykes roses.....	167
A3	Recette du test de coloration des carbonates et charte de couleurs des résultats.....	168
A4	Tableau d'analyse des inclusions d'ilménite observées à l'intérieur des grains de pyrite des dykes blancs	169
A5	Cartes au MEB faite sur section de matrice des dykes roses.....	170
A6	Cartes au MEB faite sur section de matrice des dykes blancs.....	171
A7	Cartes au MEB faite sur section de matrice du QFP altéré.....	172
A8	Cartes au MEB faite sur section de matrice de la mylonite à Qtz-Sr.....	173
A9	Diagramme montrant le pourcentage des phases minérales observé à l'intérieur de chacune des unités.	174

A1

Analyse au MEB de huit dolomites ferrifères observées dans l'unité blanche

(HITACHI S-4300SE/N (VP-SEM))

avec analyseur de Rayons-x par dispersion d'énergie de type "EDX"

ANALYSE 1			ANALYSE 2		
Element	Wt%	At%	Element	Wt%	At%
CK	21.39	34.55	CK	22.81	36.35
OK	37.71	45.73	OK	36.85	44.09
MgK	05.95	04.75	MgK	06.59	05.19
CaK	20.69	10.02	CaK	20.75	09.91
MnK	00.52	00.19	MnK	00.64	00.22
FeK	13.74	04.77	FeK	12.37	04.24
Matrix	Correction	ZAF	Matrix	Correction	ZAF

Rapport Mg/Fe = 0,99

Rapport Mg/Fe = 1,22

ANALYSE 3			ANALYSE 4		
Element	Wt%	At%	Element	Wt%	At%
CK	22.07	35.21	CK	23.82	35.44
OK	37.94	45.45	OK	45.14	50.43
MgK	06.39	05.04	MgK	05.64	04.15
CaK	20.47	09.79	CaK	14.71	06.56
MnK	00.35	00.12	MnK	00.59	00.19
FeK	12.78	04.39	FeK	10.09	03.23
Matrix	Correction	ZAF	Matrix	Correction	ZAF

Rapport Mg/Fe = 1,14

Rapport Mg/Fe = 1,28

ANALYSE 5			ANALYSE 6		
Element	Wt%	At%	Element	Wt%	At%
CK	20.45	32.36	CK	21.38	34.16
OK	41.32	49.09	OK	38.49	46.17
MgK	06.63	05.18	MgK	06.81	05.37
CaK	19.50	09.25	CaK	21.04	10.08
MnK	00.35	00.12	MnK	00.31	00.11
FeK	11.75	04.00	FeK	11.97	04.11
Matrix	Correction	ZAF	Matrix	Correction	ZAF

Rapport Mg/Fe = 1,29

Rapport Mg/Fe = 1,30

ANALYSE 7			ANALYSE 8		
Element	Wt%	At%	Element	Wt%	At%
CK	21.85	34.48	CK	21.28	34.43
OK	39.97	47.35	OK	37.67	45.74
MgK	05.96	04.65	MgK	05.96	04.76
CaK	19.42	09.18	CaK	20.89	10.12
MnK	00.46	00.16	MnK	00.34	00.12
FeK	12.33	04.19	FeK	13.85	04.82
Matrix	Correction	ZAF	Matrix	Correction	ZAF

Rapport Mg/Fe = 1,1

Rapport Mg/Fe = 0,98

A2

Analyse au MEB de huit dolomites ferrifères observées dans l'unité rose
 (HITACHI S-4300SE/N (VP-SEM))
 avec analyseur de Rayons-x par dispersion d'énergie de type "EDX"

ANALYSE 1			Rapport Mg/Fe = 2,52	ANALYSE 4			Rapport Mg/Fe = 2,42
Element	Wt%	At%		Element	Wt%	At%	
CK	20.59	32.52		CK	24.47	36.97	
OK	39.58	46.93		OK	40.26	45.65	
MgK	09.18	07.17		MgK	08.24	06.15	
CaK	22.27	10.54		CaK	19.22	08.70	
FeK	08.37	02.84		FeK	07.81	02.54	
Matrix	Correction	ZAF		Matrix	Correction	ZAF	

ANALYSE 2			Rapport Mg/Fe = 2,81	ANALYSE 5			Rapport Mg/Fe = 3,05
Element	Wt%	At%		Element	Wt%	At%	
CK	23.66	36.36		CK	24.25	36.30	
OK	38.57	44.50		OK	41.39	46.52	
MgK	09.08	06.89		MgK	08.98	06.64	
CaK	21.28	09.80		CaK	18.64	08.36	
FeK	07.42	02.45		FeK	06.74	02.17	
Matrix	Correction	ZAF		Matrix	Correction	ZAF	

ANALYSE 3			Rapport Mg/Fe = 2,88
Element	Wt%	At%	
CK	21.41	33.37	
OK	39.88	46.66	
MgK	09.59	07.39	
CaK	21.46	10.02	
FeK	07.65	02.57	
Matrix	Correction	ZAF	

A3

**Recette du test de coloration des carbonates et charte de couleurs des résultats
obtenues**

- 5g de ferricyanure de potassium
- 1g d'alizarine S rouge
- 2ml de HCl (36%)
- 1 litre d'eau

Charte de couleur des résultats obtenues :

Rouge = calcite

Mauve à pourpre = calcite ferrifère

Bleu foncé = ankérite

Bleu pâle = dolomite ferrifère

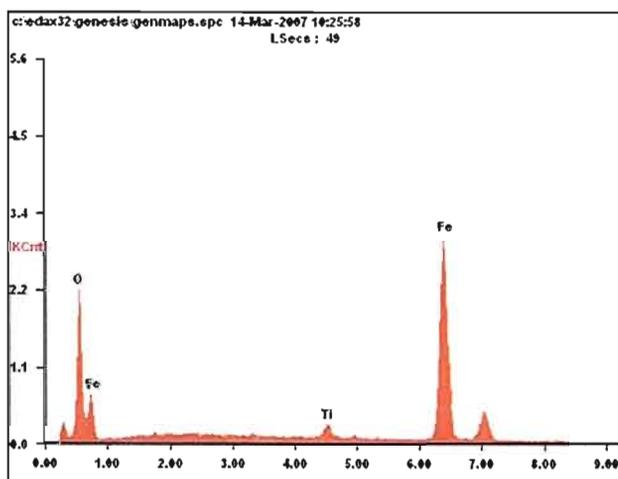
Dolomite pure (nil), Sidérose (nil), Magnésite (nil)

A4

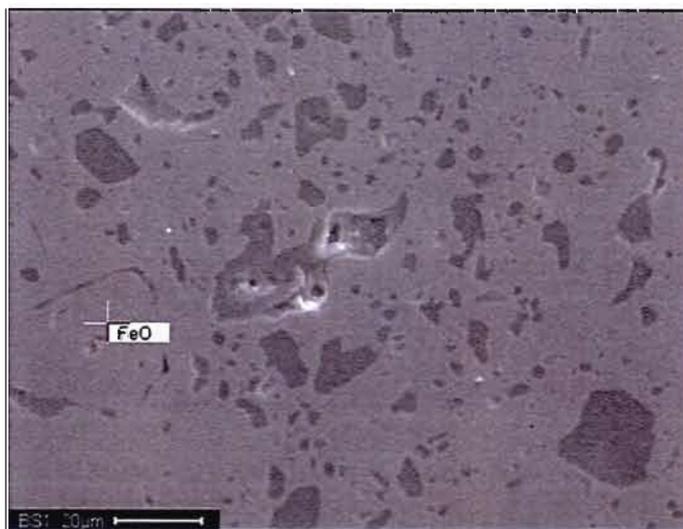
Analyse au MEB d'inclusions d'ilménite située à l'intérieur d'un grain de pyrite zoné
de l'unité blanche

(HITACHI S-4300SE/N (VP-SEM))

avec analyseur de Rayons-x par dispersion d'énergie de type "EDX"

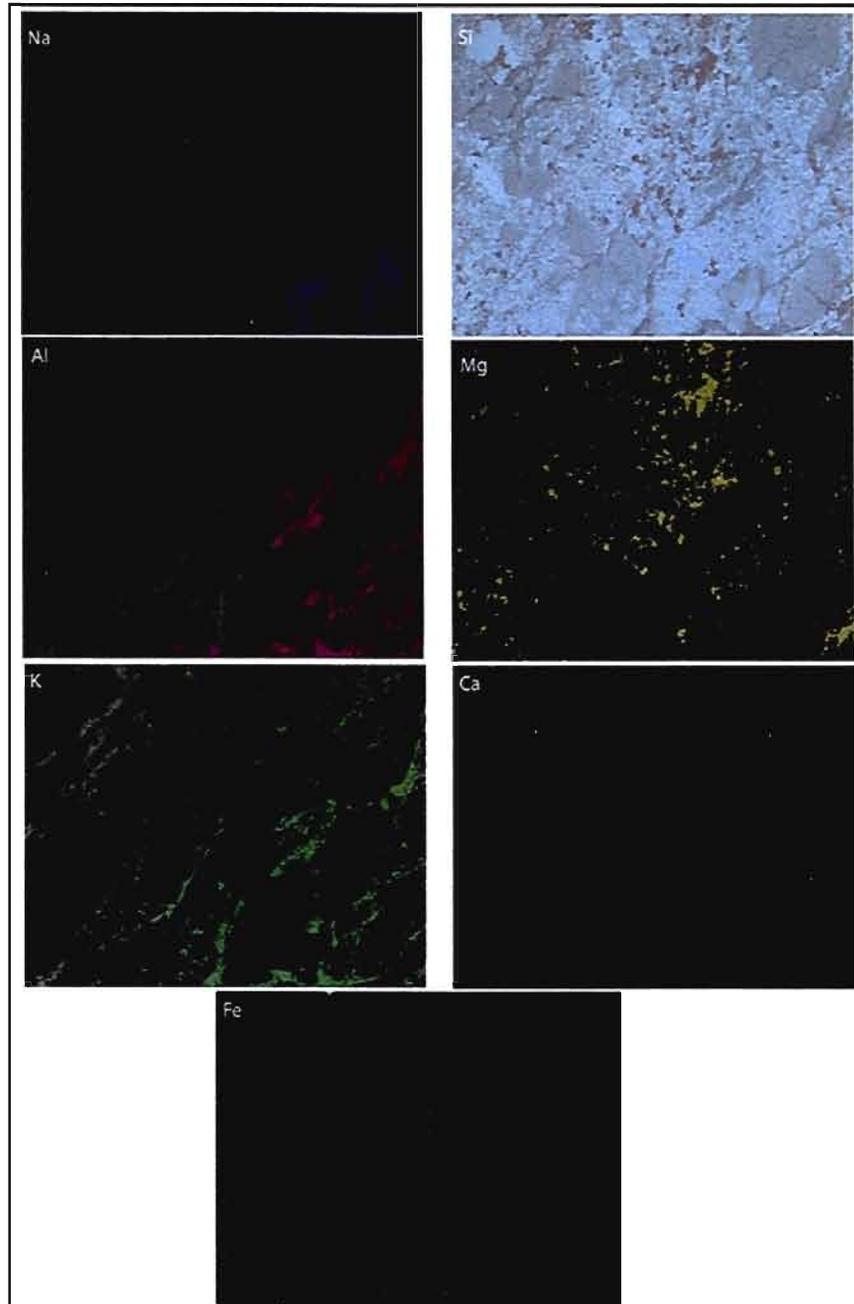


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>OK</i>	02.55	08.36
<i>TiK</i>	01.23	01.34
<i>FeK</i>	96.22	90.30
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



A5

Cartes fait au MEB sur une section de matrice d'un dyke rose

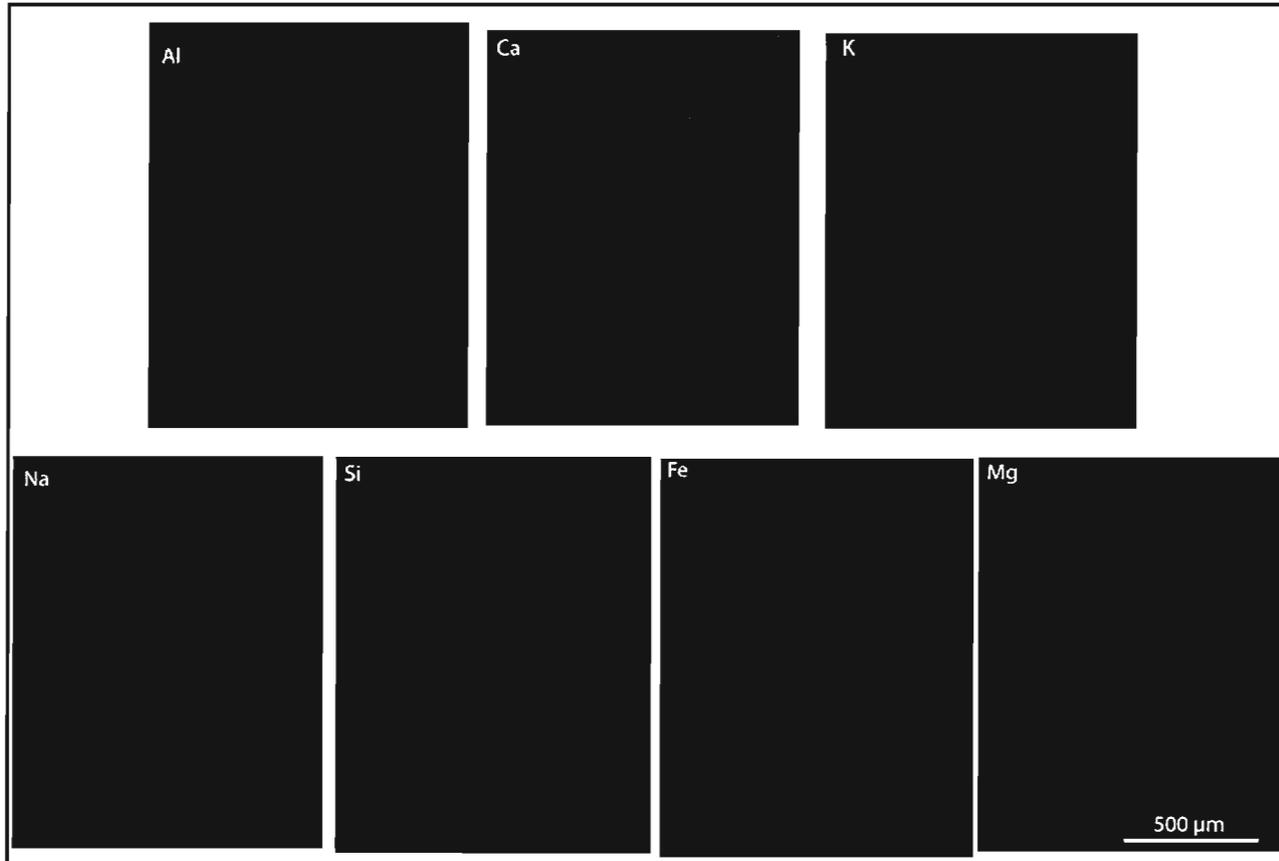


A6 Cartes fait au MEB sur une section de matrice d'un dyke blanc



A7

Cartes fait au MEB sur une section de matrice du QFP altéré



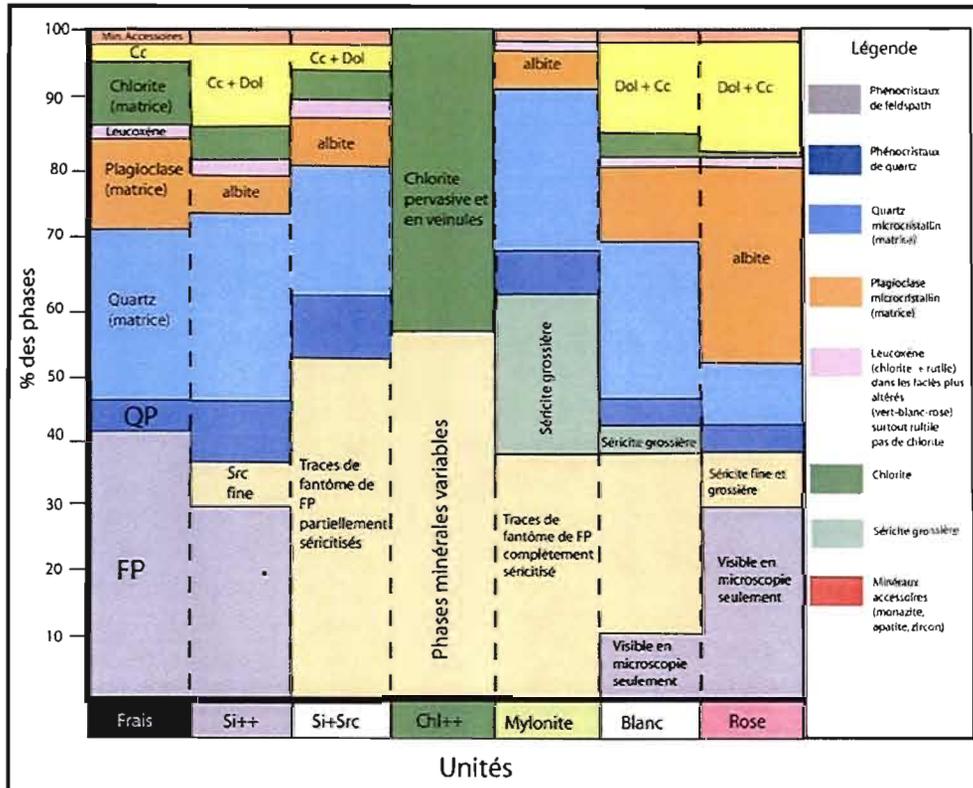
A8

Cartes fait au MEB sur une section de matrice de la mylonite à Qtz-Sr



A9

Résumé de l'abondance des phases minérales de chacune des unités



APPENDICE B

Analyses à la microsonde et données lithogéochimiques

B1	Données brutes des analyses de chlorite provenant de la microsonde	176
B2	Nombre d'ions calculés sur une base de 28 (O + OH).....	179
B3	Nombre d'ions calculés sur une base de 14 (O + OH).....	182
B4	Résultats des températures obtenues avec les équations de (Jowett 1991), Kranidiotis et MacLean (1987) et Cathelineau (1988).....	185
B5	Données lithogéochimiques brutes.....	186
B6	Éléments majeurs normalisés à 100% anhydre.....	188

APPENDICE B1

Données brutes provenant de la microsonde. *SLD* = sous la limite de détection

ID	Na2O	MgO	CaO	K2O	FeO	SiO2	Al2O3	Cr2O3	TiO2	MnO	ZnO	NiO	Total
12-chl-1	SLD	15,748	SLD	SLD	21,955	25,935	21,572	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	85,21
12-chl-2	SLD	14,164	SLD	SLD	24,531	24,433	22,591	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	85,719
12-chl-3	SLD	17,067	SLD	SLD	21,742	27,179	21,077	SLD	0,102	SLD	SLD	SLD	87,167
12-chl-4	SLD	16,168	SLD	SLD	22,576	26,388	21,831	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,963
12-chl-5	SLD	15,963	SLD	SLD	22,6	25,66	21,506	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	85,729
12-chl-6	SLD	15,988	SLD	SLD	23,068	25,45	21,797	SLD	SLD	SLD	0,052	SLD	86,355
12-chl-9	SLD	16,098	SLD	SLD	22,888	26,39	22,018	SLD	SLD	SLD	0,052	SLD	87,446
12-chl-10	SLD	16,301	SLD	SLD	23,307	26,185	21,5	SLD	SLD	SLD	0,054	SLD	87,347
12-chl-11	SLD	15,811	SLD	SLD	23,185	25,775	22,249	SLD	SLD	SLD	0,047	SLD	87,067
12-chl-12	SLD	14,504	SLD	SLD	25,15	24,312	23,509	SLD	SLD	SLD	0,063	SLD	87,538
12-chl-13	SLD	15,931	SLD	SLD	23,487	25,467	21,752	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,637
12-chl-14	SLD	16,143	SLD	SLD	24,471	25,503	21,025	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	87,142
12-chl-15	SLD	16,552	0,054	SLD	22,149	26,566	21,093	SLD	0,094	SLD	0,097	SLD	86,605
12-chl-16	SLD	16,852	0,049	SLD	22,422	26,7	20,965	SLD	SLD	SLD	0,079	SLD	87,067
12-chl-17	SLD	16,167	0,069	SLD	22,888	26,092	21,629	SLD	SLD	SLD	0,037	SLD	86,882
12-chl-18	SLD	15,849	SLD	SLD	23,442	25,373	21,425	SLD	SLD	SLD	0,12	SLD	86,209
18-chl-1	SLD	19,999	SLD	SLD	17,122	25,622	23,113	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	85,856
18-chl-2	SLD	19,836	SLD	SLD	17,781	25,843	22,804	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,264
18-chl-3	SLD	19,146	SLD	SLD	18,593	25,933	23,372	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	87,044
18-chl-4	SLD	18,909	SLD	SLD	19,455	26,24	22,515	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	87,119
18-chl-7	SLD	19,965	SLD	SLD	17,173	25,784	23,048	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	85,97
18-chl-8	SLD	19,436	SLD	SLD	18,009	25,841	22,649	SLD	SLD	SLD	0,059	SLD	85,994
18-chl-9	SLD	19,193	SLD	SLD	18,895	25,495	22,925	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,508
18-chl-10	SLD	20,917	SLD	SLD	16,347	25,968	22,945	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,177
18-chl-11	SLD	19,692	SLD	SLD	18,358	25,484	23,039	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,573
18-chl-12	SLD	20,474	SLD	SLD	16,602	26,237	22,86	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,173
18-chl-13	SLD	19,821	SLD	SLD	17,661	25,771	23,267	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,52

18-chl-14	SLD	19,718	SLD	SLD	17,751	25,954	23,347	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,77
18-chl-15	SLD	20,948	SLD	SLD	15,809	26,326	23,147	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,23
18-chl-16	SLD	19,574	SLD	SLD	18,201	25,534	23,138	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,447
18-chl-17	SLD	20,012	SLD	0,056	16,667	26,006	23,216	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	85,957
18-chl-18	SLD	19,457	SLD	SLD	18,075	25,808	23,175	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,515
15-chl-1	SLD	20,138	SLD	SLD	17,408	25,619	23,355	SLD	SLD	SLD	0,051	SLD	86,571
15-chl-2	SLD	19,553	0,047	SLD	18,647	25,242	23,39	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,879
15-chl-3	SLD	19,806	SLD	SLD	17,619	25,905	23,707	SLD	SLD	0,075	SLD	SLD	87,112
15-chl-4	SLD	19,7	SLD	SLD	18,062	25,35	23,445	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,557
15-chl-5	SLD	20,304	SLD	SLD	17,326	26,058	23,11	SLD	SLD	0,068	SLD	SLD	86,866
15-chl-6	SLD	19,655	SLD	SLD	17,827	25,835	23,325	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,642
15-chl-7	SLD	20,055	SLD	SLD	17,164	25,565	23,429	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,213
15-chl-8	SLD	19,433	SLD	SLD	17,736	25,321	22,885	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	85,375
15-chl-9	SLD	20,337	SLD	SLD	16,475	26,02	23,385	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,217
15-chl-10	SLD	20,096	SLD	SLD	17,859	25,694	23,351	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	87
15-chl-11	SLD	20,226	SLD	SLD	16,767	26,02	23,601	SLD	SLD	SLD	0,051	SLD	86,665
15-chl-12	SLD	19,366	SLD	SLD	17,844	25,525	23,486	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,221
15-chl-13	SLD	19,514	SLD	SLD	17,863	25,368	23,521	SLD	SLD	0,061	SLD	SLD	86,327
15-chl-14	SLD	19,365	SLD	SLD	18,206	25,553	23,369	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,493
15-chl-15	SLD	19,509	SLD	SLD	18,505	25,703	23,443	SLD	SLD	0,076	SLD	SLD	87,236
15-chl-16	SLD	19,764	SLD	SLD	17,498	26,116	22,866	SLD	SLD	0,056	SLD	SLD	86,3
15-chl-17	SLD	19,775	SLD	SLD	17,414	25,591	23,686	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,466
15-chl-18	SLD	19,31	SLD	SLD	18,204	25,426	23,693	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,633
19-chl-1	SLD	15,5	SLD	SLD	23,259	24,297	23,337	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,393
19-chl-2	SLD	16,271	SLD	SLD	22,562	24,861	23,436	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	87,13
19-chl-3	SLD	16,562	SLD	SLD	22,078	24,065	23,073	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	85,778
19-chl-4	SLD	15,754	SLD	SLD	23,176	24,128	23,248	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,306
19-chl-5	SLD	16,195	SLD	SLD	22,433	23,792	22,977	SLD	SLD	SLD	0,058	SLD	85,455
19-chl-6	SLD	15,497	SLD	SLD	23,288	23,845	23,54	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,17
19-chl-7	SLD	16,528	SLD	SLD	22,413	24,742	22,939	SLD	SLD	SLD	0,073	SLD	86,695

19-chl-8	SLD	15,529	SLD	SLD	23,535	23,911	23,421	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,396
19-chl-9	SLD	16,088	SLD	SLD	23,175	24,603	23,444	SLD	SLD	SLD	0,078	SLD	87,388
19-chl-10	SLD	15,801	SLD	SLD	22,776	24,935	23,36	SLD	SLD	SLD	0,109	SLD	86,981
19-chl-11	SLD	15,879	SLD	SLD	23,448	24,069	23,37	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,766
19-chl-12	SLD	15,914	SLD	SLD	23,381	24,14	23,537	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,972
19-chl-13	SLD	17,287	SLD	SLD	22,057	25,104	22,793	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	87,241
19-chl-14	SLD	16,787	SLD	SLD	21,866	25,029	23,119	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,801
19-chl-15	SLD	16,364	SLD	SLD	22,942	24,678	23,685	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	87,669
19-chl-16	SLD	16,611	SLD	SLD	21,617	25,078	23,125	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,431
19-chl-17	SLD	16,294	SLD	SLD	22,374	24,731	23,619	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	87,018
19-chl-18	SLD	15,88	SLD	SLD	22,633	24,646	23,161	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,32
19-chl-19	SLD	18,225	SLD	SLD	19,954	25,502	23,199	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,88
19-chl-20	SLD	15,644	SLD	SLD	22,724	24,7	23,504	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,572
19-chl-21	SLD	15,88	SLD	SLD	23,292	24,718	23,644	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	87,534
19-chl-22	SLD	18,251	SLD	SLD	19,771	25,509	23,386	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,917
19-chl-23	SLD	16,955	SLD	SLD	21,556	25,144	23,113	SLD	SLD	SLD	SLD	SLD	86,768

APPENDICE B2

Nombres d'ions calculés sur une base de 28 (O + OH)
Utilisé pour les équations de Jowett (1991) et Kranidiotis et MacLean (1987)

Échan	Si	Al IV	Al VI	Ti	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn	Mg	Ca	Na	K	Cl	Total
12-chl-1	5,50	2,50	2,90	0,00	0,00	3,90	0,00	0,00	0,00	4,98	0,00	0,00	0,00	0,00	19,80
12-chl-2	5,24	2,76	2,95	0,00	0,00	4,40	0,00	0,00	0,01	4,53	0,00	0,00	0,00	0,00	19,90
12-chl-3	5,62	2,38	2,75	0,02	0,00	3,76	0,00	0,00	0,00	5,26	0,01	0,00	0,00	0,00	19,80
12-chl-4	5,49	2,51	2,84	0,00	0,00	3,93	0,00	0,00	0,01	5,01	0,01	0,01	0,00	0,00	19,83
12-chl-5	5,43	2,57	2,80	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	5,04	0,00	0,00	0,00	0,00	19,87
12-chl-6	5,37	2,63	2,79	0,00	0,00	4,07	0,00	0,00	0,01	5,03	0,00	0,00	0,00	0,00	19,91
12-chl-9	5,47	2,53	2,85	0,00	0,00	3,97	0,00	0,00	0,01	4,98	0,00	0,00	0,00	0,00	19,84
12-chl-10	5,46	2,54	2,74	0,00	0,00	4,06	0,00	0,00	0,01	5,06	0,00	0,00	0,00	0,00	19,90
12-chl-11	5,39	2,61	2,87	0,00	0,00	4,05	0,00	0,00	0,01	4,93	0,00	0,00	0,00	0,00	19,87
12-chl-12	5,12	2,88	2,95	0,00	0,00	4,43	0,00	0,00	0,01	4,55	0,00	0,00	0,00	0,00	19,96
12-chl-13	5,37	2,63	2,77	0,00	0,00	4,14	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,93
12-chl-14	5,37	2,63	2,59	0,00	0,00	4,31	0,00	0,01	0,00	5,07	0,00	0,00	0,00	0,00	20,01
12-chl-15	5,55	2,45	2,75	0,01	0,00	3,87	0,00	0,01	0,01	5,16	0,01	0,00	0,00	0,00	19,84
12-chl-16	5,55	2,45	2,69	0,00	0,00	3,90	0,00	0,00	0,01	5,22	0,01	0,00	0,00	0,00	19,87
12-chl-17	5,46	2,54	2,79	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,01	5,04	0,02	0,00	0,00	0,00	19,88
12-chl-18	5,37	2,63	2,72	0,00	0,00	4,15	0,00	0,00	0,02	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,93
18-chl-1	5,26	2,74	2,86	0,00	0,00	2,94	0,00	0,00	0,00	6,13	0,00	0,00	0,00	0,00	19,94
18-chl-2	5,30	2,70	2,81	0,00	0,00	3,05	0,00	0,00	0,00	6,07	0,00	0,00	0,00	0,00	19,95
18-chl-3	5,28	2,72	2,90	0,00	0,00	3,17	0,01	0,00	0,00	5,82	0,00	0,00	0,00	0,00	19,91
18-chl-4	5,37	2,63	2,80	0,00	0,00	3,33	0,01	0,01	0,00	5,77	0,00	0,00	0,00	0,00	19,92
18-chl-7	5,29	2,71	2,86	0,00	0,00	2,95	0,00	0,00	0,00	6,11	0,00	0,00	0,00	0,00	19,93
18-chl-8	5,33	2,67	2,83	0,00	0,00	3,10	0,01	0,00	0,01	5,97	0,00	0,00	0,00	0,00	19,93
18-chl-9	5,25	2,75	2,81	0,00	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	5,89	0,00	0,00	0,00	0,00	19,98

18-chl-10	5,29	2,71	2,80	0,00	0,00	2,78	0,00	0,00	0,00	6,35	0,00	0,00	0,00	0,00	19,96
18-chl-11	5,23	2,77	2,80	0,00	0,00	3,15	0,00	0,00	0,00	6,02	0,00	0,00	0,00	0,00	19,98
18-chl-12	5,35	2,65	2,84	0,00	0,00	2,83	0,00	0,00	0,00	6,22	0,00	0,00	0,00	0,00	19,91
18-chl-13	5,26	2,74	2,86	0,00	0,00	3,02	0,00	0,00	0,01	6,04	0,00	0,00	0,00	0,00	19,94
18-chl-14	5,29	2,71	2,89	0,00	0,00	3,02	0,00	0,00	0,00	5,99	0,00	0,00	0,00	0,00	19,92
18-chl-15	5,34	2,66	2,87	0,00	0,00	2,68	0,00	0,00	0,00	6,33	0,00	0,00	0,00	0,00	19,90
18-chl-16	5,24	2,76	2,83	0,00	0,00	3,12	0,00	0,00	0,00	5,99	0,00	0,00	0,00	0,00	19,97
18-chl-17	5,32	2,68	2,91	0,00	0,00	2,85	0,00	0,00	0,00	6,10	0,00	0,00	0,01	0,00	19,89
18-chl-18	5,28	2,72	2,87	0,00	0,00	3,09	0,00	0,00	0,00	5,94	0,00	0,00	0,00	0,00	19,92
15-chl-1	5,23	2,77	2,84	0,00	0,00	2,97	0,00	0,00	0,01	6,12	0,00	0,00	0,00	0,00	19,97
15-chl-2	5,17	2,83	2,81	0,00	0,00	3,19	0,00	0,00	0,00	5,97	0,01	0,00	0,00	0,00	20,01
15-chl-3	5,25	2,75	2,91	0,00	0,00	2,99	0,00	0,00	0,01	5,99	0,01	0,00	0,00	0,00	19,92
15-chl-4	5,19	2,81	2,85	0,00	0,00	3,09	0,00	0,00	0,00	6,01	0,01	0,00	0,00	0,00	19,98
15-chl-5	5,29	2,71	2,82	0,00	0,00	2,94	0,00	0,00	0,00	6,15	0,01	0,00	0,00	0,00	19,94
15-chl-6	5,27	2,73	2,88	0,00	0,00	3,04	0,00	0,00	0,00	5,98	0,01	0,00	0,00	0,00	19,93
15-chl-7	5,23	2,77	2,88	0,00	0,00	2,94	0,00	0,00	0,00	6,11	0,01	0,00	0,00	0,00	19,94
15-chl-8	5,25	2,75	2,84	0,00	0,00	3,07	0,00	0,00	0,00	6,01	0,01	0,00	0,00	0,00	19,95
15-chl-9	5,29	2,71	2,90	0,00	0,00	2,80	0,00	0,00	0,01	6,17	0,01	0,00	0,00	0,00	19,90
15-chl-10	5,23	2,77	2,83	0,00	0,00	3,04	0,00	0,00	0,00	6,10	0,01	0,00	0,00	0,00	19,97
15-chl-11	5,28	2,72	2,92	0,00	0,00	2,84	0,00	0,00	0,01	6,11	0,01	0,00	0,00	0,00	19,91
15-chl-12	5,24	2,76	2,92	0,00	0,00	3,06	0,00	0,00	0,00	5,93	0,01	0,00	0,00	0,00	19,92
15-chl-13	5,20	2,80	2,89	0,00	0,00	3,06	0,00	0,00	0,00	5,97	0,01	0,00	0,00	0,00	19,95
15-chl-14	5,24	2,76	2,88	0,00	0,00	3,12	0,00	0,00	0,01	5,92	0,01	0,00	0,00	0,00	19,94
15-chl-15	5,23	2,77	2,86	0,00	0,00	3,15	0,00	0,00	0,00	5,92	0,01	0,00	0,00	0,00	19,96
15-chl-16	5,34	2,66	2,86	0,00	0,00	2,99	0,00	0,00	0,00	6,03	0,01	0,00	0,00	0,00	19,90
15-chl-17	5,22	2,78	2,92	0,00	0,00	2,97	0,00	0,00	0,00	6,01	0,01	0,00	0,00	0,00	19,93
15-chl-18	5,20	2,80	2,91	0,00	0,00	3,11	0,00	0,00	0,00	5,89	0,01	0,00	0,00	0,00	19,95
19-chl-1	5,14	2,86	2,95	0,00	0,00	4,11	0,00	0,00	0,00	4,88	0,01	0,00	0,00	0,00	19,96
19-chl-2	5,18	2,82	2,94	0,00	0,00	3,93	0,00	0,00	0,01	5,06	0,01	0,00	0,00	0,00	19,95
19-chl-3	5,10	2,90	2,86	0,00	0,00	3,91	0,00	0,01	0,00	5,23	0,01	0,01	0,00	0,00	20,03

19-chl-4	5,10	2,90	2,90	2,90	0,00	0,00	4,10	0,00	0,00	0,00	0,00	4,97	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
19-chl-5	5,07	2,93	2,85	2,85	0,00	0,00	4,00	0,00	0,01	0,01	0,01	5,15	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,04
19-chl-6	5,06	2,94	2,94	2,94	0,00	0,00	4,13	0,00	0,00	0,00	0,00	4,90	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,99
19-chl-7	5,18	2,82	2,85	2,85	0,00	0,00	3,93	0,00	0,00	0,01	0,01	5,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,99
19-chl-8	5,06	2,94	2,91	2,91	0,00	0,00	4,17	0,00	0,00	0,01	0,01	4,90	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,02
19-chl-9	5,14	2,86	2,90	2,90	0,00	0,00	4,05	0,00	0,00	0,01	0,01	5,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,98
19-chl-10	5,21	2,79	2,97	2,97	0,00	0,00	3,98	0,00	0,00	0,02	0,02	4,92	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,92
19-chl-11	5,07	2,93	2,88	2,88	0,00	0,00	4,13	0,00	0,00	0,00	0,00	4,99	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,02
19-chl-12	5,07	2,93	2,90	2,90	0,00	0,00	4,11	0,00	0,00	0,00	0,00	4,98	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,01
19-chl-13	5,21	2,79	2,79	2,79	0,00	0,00	3,83	0,00	0,00	0,01	0,01	5,35	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
19-chl-14	5,22	2,78	2,90	2,90	0,00	0,00	3,81	0,00	0,00	0,00	0,00	5,22	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,94
19-chl-15	5,12	2,88	2,92	2,92	0,00	0,00	3,98	0,00	0,00	0,01	0,01	5,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,98
19-chl-16	5,24	2,76	2,93	2,93	0,00	0,00	3,78	0,00	0,00	0,01	0,01	5,17	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,92
19-chl-17	5,15	2,85	2,95	2,95	0,00	0,00	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	5,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,95
19-chl-18	5,19	2,81	2,94	2,94	0,00	0,00	3,99	0,00	0,00	0,00	0,00	4,99	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,94
19-chl-19	5,25	2,75	2,88	2,88	0,00	0,00	3,44	0,00	0,00	0,01	0,01	5,59	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,94
19-chl-20	5,19	2,81	3,00	3,00	0,00	0,00	3,99	0,00	0,00	0,00	0,00	4,90	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,91
19-chl-21	5,15	2,85	2,95	2,95	0,00	0,00	4,06	0,00	0,00	0,00	0,00	4,93	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,95
19-chl-22	5,24	2,76	2,91	2,91	0,00	0,00	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	5,59	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,92
19-chl-23	5,23	2,77	2,90	2,90	0,00	0,00	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	5,26	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,93

APPENDICE B3

Nombres d'ions calculés sur une base de 14 (O + OH)
Utilisé pour l'équation de Cathelineau (1988)

Échan	Si	Al IV	Al VI	Ti	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn	Mg	Ca	Na	K	Cl	T cation
12-chl-1	2,75	1,25	1,45	0,00	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	2,49	0,00	0,00	0,00	0,00	9,90
12-chl-2	2,62	1,38	1,48	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	2,26	0,00	0,00	0,00	0,00	9,95
12-chl-3	2,81	1,19	1,38	0,01	0,00	1,88	0,00	0,00	0,00	2,63	0,00	0,00	0,00	0,00	9,90
12-chl-4	2,74	1,26	1,42	0,00	0,00	1,96	0,00	0,00	0,00	2,51	0,00	0,00	0,00	0,00	9,92
12-chl-5	2,72	1,28	1,40	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	2,52	0,00	0,00	0,00	0,00	9,94
12-chl-6	2,68	1,32	1,39	0,00	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00	2,51	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96
12-chl-9	2,74	1,26	1,43	0,00	0,00	1,98	0,00	0,00	0,00	2,49	0,00	0,00	0,01	0,00	9,92
12-chl-10	2,73	1,27	1,37	0,00	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00	2,53	0,00	0,00	0,00	0,00	9,95
12-chl-11	2,69	1,31	1,43	0,00	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00	2,46	0,00	0,00	0,00	0,00	9,94
12-chl-12	2,56	1,44	1,47	0,00	0,00	2,21	0,00	0,00	0,00	2,28	0,00	0,00	0,00	0,00	9,98
12-chl-13	2,68	1,32	1,38	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
12-chl-14	2,69	1,31	1,30	0,00	0,00	2,16	0,00	0,00	0,00	2,54	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00
12-chl-15	2,78	1,22	1,37	0,01	0,00	1,94	0,00	0,00	0,01	2,58	0,01	0,00	0,00	0,00	9,92
12-chl-16	2,78	1,22	1,34	0,00	0,00	1,95	0,00	0,00	0,01	2,61	0,01	0,00	0,00	0,00	9,93
12-chl-17	2,73	1,27	1,39	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	2,52	0,01	0,00	0,00	0,00	9,94
12-chl-18	2,69	1,31	1,36	0,00	0,00	2,08	0,00	0,00	0,01	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
18-chl-1	2,63	1,37	1,43	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00	3,06	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
18-chl-2	2,65	1,35	1,41	0,00	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00	3,03	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
18-chl-3	2,64	1,36	1,45	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	2,91	0,00	0,00	0,00	0,00	9,95
18-chl-4	2,68	1,32	1,40	0,00	0,00	1,66	0,00	0,00	0,00	2,88	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96
18-chl-7	2,64	1,36	1,43	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00	3,05	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96
18-chl-8	2,66	1,34	1,41	0,00	0,00	1,55	0,00	0,00	0,00	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96

18-chl-9	2,62	1,38	1,40	0,00	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	2,94	0,00	0,00	0,00	0,00	9,99
18-chl-10	2,65	1,35	1,40	0,00	0,00	1,39	0,00	0,00	0,00	3,18	0,00	0,00	0,01	0,00	9,98
18-chl-11	2,61	1,39	1,40	0,00	0,00	1,57	0,00	0,00	0,00	3,01	0,00	0,00	0,00	0,00	9,99
18-chl-12	2,67	1,33	1,42	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00	0,00	3,11	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96
18-chl-13	2,63	1,37	1,43	0,00	0,00	1,51	0,00	0,00	0,00	3,02	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
18-chl-14	2,64	1,36	1,44	0,00	0,00	1,51	0,00	0,00	0,00	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96
18-chl-15	2,67	1,33	1,43	0,00	0,00	1,34	0,00	0,00	0,00	3,17	0,00	0,00	0,00	0,00	9,95
18-chl-16	2,62	1,38	1,42	0,00	0,00	1,56	0,00	0,00	0,00	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	9,98
18-chl-17	2,66	1,34	1,46	0,00	0,00	1,42	0,00	0,00	0,00	3,05	0,00	0,00	0,01	0,00	9,95
18-chl-18	2,64	1,36	1,44	0,00	0,00	1,55	0,00	0,00	0,00	2,97	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96
15-chl-1	2,61	1,39	1,42	0,00	0,00	1,48	0,00	0,00	0,00	3,06	0,00	0,00	0,00	0,00	9,99
15-chl-2	2,58	1,42	1,41	0,00	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	2,98	0,01	0,00	0,01	0,00	10,01
15-chl-3	2,63	1,37	1,46	0,00	0,00	1,49	0,00	0,00	0,00	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96
15-chl-4	2,60	1,40	1,42	0,00	0,00	1,55	0,00	0,00	0,00	3,01	0,00	0,00	0,00	0,00	9,99
15-chl-5	2,65	1,35	1,41	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00	3,07	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
15-chl-6	2,64	1,36	1,44	0,00	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96
15-chl-7	2,61	1,39	1,44	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00	3,06	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
15-chl-8	2,62	1,38	1,42	0,00	0,00	1,54	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,98
15-chl-9	2,65	1,35	1,45	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00	3,08	0,00	0,00	0,00	0,00	9,95
15-chl-10	2,61	1,39	1,41	0,00	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00	3,05	0,00	0,00	0,00	0,00	9,99
15-chl-11	2,64	1,36	1,46	0,00	0,00	1,42	0,00	0,00	0,00	3,06	0,00	0,00	0,00	0,00	9,95
15-chl-12	2,62	1,38	1,46	0,00	0,00	1,53	0,00	0,00	0,00	2,96	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96
15-chl-13	2,60	1,40	1,45	0,00	0,00	1,53	0,00	0,00	0,00	2,98	0,00	0,00	0,00	0,00	9,98
15-chl-14	2,62	1,38	1,44	0,00	0,00	1,56	0,00	0,00	0,00	2,96	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
15-chl-15	2,62	1,38	1,43	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	2,96	0,00	0,00	0,00	0,00	9,98
15-chl-16	2,67	1,33	1,43	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	3,01	0,00	0,00	0,00	0,00	9,95
15-chl-17	2,61	1,39	1,46	0,00	0,00	1,49	0,00	0,00	0,00	3,01	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
15-chl-18	2,60	1,40	1,46	0,00	0,00	1,56	0,00	0,00	0,00	2,94	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
19-chl-1	2,57	1,43	1,48	0,00	0,00	2,06	0,00	0,00	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	9,98
19-chl-2	2,59	1,41	1,47	0,00	0,00	1,97	0,00	0,00	0,00	2,53	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97

19-chl-3	2,55	1,45	1,43	0,00	0,00	1,96	0,00	0,00	0,00	2,61	0,00	0,00	0,01	0,00	10,02
19-chl-4	2,55	1,45	1,45	0,00	0,00	2,05	0,00	0,00	0,00	2,48	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00
19-chl-5	2,54	1,46	1,42	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	10,02
19-chl-6	2,53	1,47	1,47	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00	0,00	2,45	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00
19-chl-7	2,59	1,41	1,42	0,00	0,00	1,96	0,00	0,00	0,01	2,58	0,00	0,00	0,00	0,00	9,99
19-chl-8	2,53	1,47	1,45	0,00	0,00	2,08	0,00	0,00	0,00	2,45	0,00	0,00	0,01	0,00	10,01
19-chl-9	2,57	1,43	1,45	0,00	0,00	2,02	0,00	0,00	0,01	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	9,99
19-chl-10	2,61	1,39	1,48	0,00	0,00	1,99	0,00	0,00	0,01	2,46	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96
19-chl-11	2,54	1,46	1,44	0,00	0,00	2,07	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	10,01
19-chl-12	2,54	1,46	1,45	0,00	0,00	2,05	0,00	0,00	0,00	2,49	0,00	0,00	0,00	0,00	10,01
19-chl-13	2,61	1,39	1,40	0,00	0,00	1,92	0,00	0,00	0,00	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00
19-chl-14	2,61	1,39	1,45	0,00	0,00	1,91	0,00	0,00	0,00	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
19-chl-15	2,56	1,44	1,46	0,00	0,00	1,99	0,00	0,00	0,00	2,53	0,00	0,00	0,00	0,00	9,99
19-chl-16	2,62	1,38	1,47	0,00	0,00	1,89	0,00	0,00	0,00	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96
19-chl-17	2,58	1,42	1,48	0,00	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	2,53	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
19-chl-18	2,60	1,40	1,47	0,00	0,00	1,99	0,00	0,00	0,00	2,49	0,00	0,00	0,01	0,00	9,97
19-chl-19	2,63	1,37	1,44	0,00	0,00	1,72	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
19-chl-20	2,59	1,41	1,50	0,00	0,00	1,99	0,00	0,00	0,00	2,45	0,00	0,00	0,00	0,00	9,95
19-chl-21	2,57	1,43	1,48	0,00	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00	9,97
19-chl-22	2,62	1,38	1,45	0,00	0,00	1,70	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96

APPENDICE B4

Résultats des températures obtenues avec les équations de (Jowett 1991),
Kranidiotis et MacLean (1987) et Cathelineau (1988).

Éch#1	T (J91)	T (KM87)	T(C88)	Éch#4	T (J91)	T (KM87)	T(C88)	Éch#3	T (J91)	T (KM87)	T(C88)	Éch#2	T (J91)	T (KM87)	T(C88)
12-chl-1	343	315	340	18-chl-1	378	332	378	15-chl-1	384	336	385	19-chl-1	402	355	399
12-chl-2	387	347	382	18-chl-2	372	329	373	15-chl-2	394	344	394	19-chl-2	395	349	392
12-chl-3	324	302	322	18-chl-3	375	332	375	15-chl-3	380	334	381	19-chl-3	408	357	405
12-chl-4	346	317	343	18-chl-4	362	324	362	15-chl-4	390	341	390	19-chl-4	408	359	405
12-chl-5	354	323	351	18-chl-7	374	329	374	15-chl-5	373	329	374	19-chl-5	412	361	409
12-chl-6	365	330	362	18-chl-8	368	327	369	15-chl-6	377	332	377	19-chl-6	415	364	412
12-chl-9	348	319	345	18-chl-9	381	336	381	15-chl-7	383	336	384	19-chl-7	394	349	391
12-chl-10	351	321	347	18-chl-10	373	328	374	15-chl-8	380	335	381	19-chl-8	414	363	411
12-chl-11	362	328	359	18-chl-11	384	337	384	15-chl-9	373	328	374	19-chl-9	402	355	399
12-chl-12	406	360	402	18-chl-12	364	322	365	15-chl-10	384	337	384	19-chl-10	390	347	387
12-chl-13	366	331	362	18-chl-13	378	333	379	15-chl-11	376	330	377	19-chl-11	412	362	409
12-chl-14	365	330	361	18-chl-14	375	331	375	15-chl-12	382	336	383	19-chl-12	412	362	409
12-chl-15	335	309	332	18-chl-15	365	322	367	15-chl-13	388	340	388	19-chl-13	389	344	387
12-chl-16	335	309	332	18-chl-16	382	336	383	15-chl-14	383	337	383	19-chl-14	388	344	386
12-chl-17	351	320	347	18-chl-17	369	326	370	15-chl-15	383	337	383	19-chl-15	404	356	401
12-chl-18	364	330	361	18-chl-18	375	331	376	15-chl-16	365	324	366	19-chl-16	385	342	383
								15-chl-17	385	337	385	19-chl-17	399	352	396
								15-chl-18	389	340	389	19-chl-18	393	349	390
												19-chl-19	382	338	381
												19-chl-20	394	350	391
												19-chl-21	400	354	397

SAMPLE	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	TiO2	MnO	P2O5	SrO	BaO	LOI	Total	Nb	Rb	Y	Zr	CO2	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
376901	66,36	16,2	3,02	1,82	0,75	4	2,79	0,23	SSD	0,1	0,03	0,04	4,28	99,63	3	69	4	96	2,3	0,074	SSD	83	2	5	1
376902	61,47	15,48	9,66	0,12	0,43	0,15	4,75	0,23	SSD	0,05	0,01	0,05	6,8	99,19	2	116	3	94	0	0,362	SSD	12	4	3	2
376903	63,55	15,73	7,27	0,76	0,62	1,87	3,77	0,22	SSD	0,09	0,01	0,05	5,73	99,67	2	97	3	95	0,9	4,66	0,3	250	2	4	1
376904	64,94	14,61	6,58	1,29	0,81	2,39	2,8	0,31	SSD	0,08	0,03	0,04	5,14	99,02	2	78	3	89	0,9	1,495	0,9	1025	5	11	99
376905	64,65	12,68	4,66	4,02	1,09	3,22	1,44	0,23	0,01	0,09	0,04	0,04	6,62	98,79	3	44	3	74	4,3	0,326	0,5	164	3	11	12
376906	65,64	15,33	3,5	2,44	0,87	3,87	2	0,28	SSD	0,12	0,04	0,03	5,35	99,47	3	56	3	95	3,1	0,45	0,2	146	2	6	5
376907	64,98	16,01	2,62	2,19	0,8	5,59	1,59	0,28	SSD	0,11	0,04	0,03	4,25	98,51	3	47	4	102	2,6	1,225	0,3	131	2	7	1
376908	67,25	15,31	2,75	2,32	0,86	4,14	1,99	0,24	SSD	0,12	0,04	0,03	3,95	99,01	3	58	4	96	2,8	0,087	SSD	99	2	9	-1
376909	63,23	17,22	2,9	2,6	0,91	4,66	2,01	0,33	0,04	0,11	0,05	0,04	5,31	99,41	3	52	4	98	3,7	0,006	SSD	9	2	19	1
376910	65,09	15,39	2,34	4,09	0,83	3,27	2,37	0,22	SSD	0,09	0,04	0,04	5	98,77	3	62	4	97	3,1	0,255	0,3	206	2	10	-1
376911	61,77	16,6	3,46	3,54	1,28	4,51	1,53	0,29	0,01	0,11	0,05	0,05	6,38	99,58	3	45	3	96	4	0,428	0,2	1025	3	8	-1
376912	64,79	16,2	2,65	4,54	1,16	4,07	1,52	0,26	0,01	0,1	0,04	0,05	4,89	100,3	3	45	3	90	3,5	0,007	SSD	7	2	16	-1
376913	67,63	16,34	2,53	2,32	0,82	5,24	1,52	0,23	SSD	0,08	0,03	0,04	2,5	99,31	3	41	4	92	1,8	0,049	0,3	831	3	25	6
376914	68,35	15,59	3,61	1,41	0,76	4,51	2,06	0,24	SSD	0,09	0,03	0,04	2,84	99,52	2	62	4	92	1	0,061	0,5	552	2	12	9
376915	68,46	15,31	1,34	3,41	0,68	5,96	1,11	0,23	0,01	0,07	0,05	0,03	3,26	99,94	3	35	2	89	2,6	0,079	SSD	627	3	8	18
376916	65,92	19,66	2,34	0,55	0,42	4,62	3,37	0,28	SSD	0,11	0,02	0,05	2,68	100,05	3	85	3	114	0,4	0,693	0,4	13	2	4	-1
376917	66,57	16,35	3,33	2,17	1,18	4,58	2,11	0,25	SSD	0,09	0,04	0,04	2,77	99,49	2	59	3	96	1,4	0,086	SSD	401	3	9	4
376918	68,04	16,35	2,35	1,88	0,8	5,56	1,57	0,25	SSD	0,1	0,04	0,05	2,49	99,48	3	46	4	98	1,4	0,029	SSD	425	2	14	18
376919	68,57	16,55	2,47	1,66	1,03	4,5	1,95	0,24	SSD	0,09	0,04	0,04	2,6	99,76	3	53	3	98	1,2	0,012	SSD	68	2	10	4
376920	66,43	17,99	2,61	1,66	0,79	3,35	3,18	0,25	SSD	0,08	0,03	0,07	3,32	99,75	3	77	4	96	1,3	2,39	0,7	777	4	8	13
376921	63,48	15,08	5,17	2,7	1,9	2,76	2,73	0,55	0,01	0,14	0,02	0,03	3,74	98,33	5	75	13	164	2,4	2,19	0,4	351	4	21	2
376922	66,6	15,78	5,64	1,13	0,98	2,08	3,31	0,22	SSD	0,1	0,03	0,07	4,27	100,2	2	96	4	94	0,8	0,35	0,2	645	2	9	8
376923	68,72	16,44	1,52	2,13	0,47	4,89	1,82	0,25	SSD	0,08	0,04	0,04	2,74	99,16	3	50	5	97	1,7	0,02	SSD	209	2	9	-1
376924	66,59	15,05	4,6	2,29	0,94	3,24	1,84	0,3	SSD	0,08	0,06	0,05	4,31	99,35	2	49	3	86	1,8	0,479	0,2	90	2	8	16
376925	66,04	15,33	2,23	3,27	0,98	4,73	1,75	0,21	SSD	0,08	0,04	0,04	5,43	100,15	3	50	3	95	3,8	0,411	0,2	71	3	7	1

APPENDICE B5

Données lithogéochimiques brutes

SSD = sous le seuil de détection

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	TiO2	MnO	P2O5	Sr	Ba	LOI	Sum	Nb	Rb	Y	Zr	Ag	Cu	Zn	Mo
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	g/mt	ppm	ppm	ppm
91312	63,64	15,85	5,66	0,42	0,58	1,18	3,89	0,26	<0,01	0,09	145	571	4,3	95,99	4	181	7	90	<0,3	246	8	19
91313	66,03	15,14	2,59	2,5	0,85	5,46	1,53	0,21	<0,01	0,04	265	415	2,5	96,95	3	60	3	79	<0,3	514	8	18
91314	64,56	15,44	3,36	2,06	1,15	4,69	1,94	0,21	<0,01	0,04	260	454	2,35	95,9	<2	71	5	81	<0,3	628	14	17
91315	62,88	15,2	3,27	2,77	0,79	5,2	1,36	0,22	0,02	0,07	351	336	3,35	95,22	2	54	6	82	<0,3	124	24	8
91316	60,37	16,14	6,07	3,58	2,25	3,31	2,16	0,3	0,05	0,17	224	449	3,35	98,35	3	98	5	88	<0,3	15	25	2

APPENDICE B6

Éléments majeurs normalisés 100% anhydre

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	SrO	BaO	total
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
376901	69,60	16,99	3,17	1,91	0,79	4,20	2,93	0,24	0,10	0,03	0,04	100
376902	66,54	16,76	10,46	0,13	0,47	0,16	5,14	0,25	0,05	0,01	0,05	100
376903	67,65	16,74	7,74	0,81	0,66	1,99	4,01	0,23	0,10	0,01	0,05	100
376904	69,17	15,56	7,01	1,37	0,86	2,55	2,98	0,33	0,09	0,03	0,04	100
376905	70,15	13,76	5,06	4,36	1,18	3,49	1,56	0,25	0,10	0,04	0,04	100
376906	69,74	16,29	3,72	2,59	0,92	4,11	2,12	0,30	0,13	0,04	0,03	100
376907	68,95	16,99	2,78	2,32	0,85	5,93	1,69	0,30	0,12	0,04	0,03	100
376908	70,75	16,11	2,89	2,44	0,90	4,36	2,09	0,25	0,13	0,04	0,03	100
376909	67,22	18,31	3,08	2,76	0,97	4,95	2,14	0,35	0,12	0,05	0,04	100
376910	69,41	16,41	2,50	4,36	0,89	3,49	2,53	0,23	0,10	0,04	0,04	100
376911	66,28	17,81	3,71	3,80	1,37	4,84	1,64	0,31	0,12	0,05	0,05	100
376912	67,93	16,98	2,78	4,76	1,22	4,27	1,59	0,27	0,10	0,04	0,05	100
376913	69,88	16,88	2,61	2,40	0,85	5,41	1,57	0,24	0,08	0,03	0,04	100
376914	70,69	16,12	3,73	1,46	0,79	4,66	2,13	0,25	0,09	0,03	0,04	100
376915	70,83	15,84	1,39	3,53	0,70	6,17	1,15	0,24	0,07	0,05	0,03	100
376916	67,72	20,20	2,40	0,57	0,43	4,75	3,46	0,29	0,11	0,02	0,05	100
376917	68,83	16,91	3,44	2,24	1,22	4,74	2,18	0,26	0,09	0,04	0,04	100
376918	70,15	16,86	2,42	1,94	0,82	5,73	1,62	0,26	0,10	0,04	0,05	100
376919	70,59	17,04	2,54	1,71	1,06	4,63	2,01	0,25	0,09	0,04	0,04	100
376920	68,88	18,65	2,71	1,72	0,82	3,47	3,30	0,26	0,08	0,03	0,07	100
376921	67,13	15,95	5,47	2,86	2,01	2,92	2,89	0,58	0,15	0,02	0,03	100
376922	69,42	16,45	5,88	1,18	1,02	2,17	3,45	0,23	0,10	0,03	0,07	100

376923	71,29	17,05	1,58	2,21	0,49	5,07	1,89	0,26	0,08	0,04	0,04	100
376924	70,07	15,84	4,84	2,41	0,99	3,41	1,94	0,32	0,08	0,06	0,05	100
376925	69,74	16,19	2,35	3,45	1,03	4,99	1,85	0,22	0,08	0,04	0,04	100

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	TOTAL
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
91312	69,50	17,31	6,18	0,46	0,63	1,29	4,25	0,28	0,10	100
91313	69,98	16,05	2,75	2,65	0,90	5,79	1,62	0,22	0,04	100
91314	69,09	16,52	3,60	2,20	1,23	5,02	2,08	0,22	0,04	100
91315	68,53	16,56	3,56	3,02	0,86	5,67	1,48	0,24	0,08	100
91316	63,99	17,11	6,43	3,79	2,38	3,51	2,29	0,32	0,18	100

RÉFÉRENCES

Allard, G.O., Gobeil, A., 1984. «General geology of the Chibougamau region». *In: Chibougamau, Stratigraphy and Mineralisation*, Éditeurs: J. Guha et E.H Chown. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy*; vol. 34, p. 5-19.

Archer, P., 1983. «Interprétation de l'environnement volcano-sédimentaire de la Formation de Blondeau dans la section stratigraphique du lac Barlow, Chibougamau». mémoire de maîtrise, Montreal, Université du Québec à Chicoutimi, 151 p.

Bailey, S.W., 1988. «Chlorites: structures and crystal chemistry». : *Hydrous phyllosilicates* (exclusive of micas), S.W. Bailey, ed., *Reviews in Mineralogy* vol. 19, p. 347-403.

Barret, T.J, Maclean, W.H., 1999. «Volcanic sequences, lithogeochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems». *in: Volcanic-Associated Massive Sulfide Systems: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings* (C.T. Barrie and M.D. Hannington, editors). *Reviews in Economic Geology*, Vol 8, p. 101-131.

Blecha, M., 1966. «A study of variation in chemical composition of certain dykes at the Campbell Chibougamau mine». Mémoire de M.Sc. non-publié, Montréal, Université McGill, 65 p.

Bouchard, G., 1986. «Environnement géologique du gisement aurifère de Gwillim». mémoire de maîtrise, Chicoutimi, Université du Québec à Chicoutimi 83 p.

Cashin, P., 1988. «Summary of 1988 diamond drilling results from the Gwillim lake MOP-II property, McKenzie township, Chibougamau, Quebec». 239 p.

Caritat, P., Hutcheon, I., Walshe, J.L, 1989. «Chlorite geothermometry : a review». : *Clays and Clay Mineral*, Vol. 41, No 2, p. 219-239.

Cathelineau, M., Nieva, D., 1985. «A chlorite solid solution geothermometer». , The Los Azufres (Mexico) geothermal system: *Contrib. Mineral. Petrol.* vol 91, p. 235-244.

Cathelineau, M., 1998. «Cation site occupancy in chlorites et illites as a function of temperature». *Clay Miner.* 23, p. 471-485.

Chown, E.H., Daigneault, R., Mueller, W., Pilote, P., 1998. «Environnement géologique de l'extrémité orientale de la Sous-Province de l'Abitibi». *In: Géologie et métallogénie du district minier de Chapais-Chibougamau*, Éditeur : Pilote, P., DV-98-03, p. 1 à 28.

Chown, E.H., Mueller, W., 1992. «Basement influence on the supracrustal and plutonic deformation of an Archean Greenstone belt». *In International Basement Tectonics*

Association, Éditeur: R. Mason. Publication No 7, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 465-476.

Chown, E.H., Daigneault, R., Mueller, W., 1990. «Geological setting of the eastern extremity of the Abitibi belt». In *Litho-tectonic framework and associated mineralization of the eastern extremity of the Abitibi greenstone belt*, Éditeurs: J. Guha, E.H. Chown, et R. Daigneault. *Geological survey of Canada*; Open file 2158 p. 1-32.

Daigneault, R., 1991. «Évolution structurale du segment de roches vertes de Chibougamau sous-province archéenne de l'Abitibi, Québec». Thèse de doctorat, Québec, faculté des sciences et de génie de l'université Laval, 352 p.

Daigneault, R., Allard, G.O., 1990. «Le Complexe du lac Doré et son environnement géologique, région de Chibougamau Sous-Province de l'Abitibi». Ministère de l'énergie et des ressources, Québec; MM 89-03, 275 p.

Dubé, B., Gosselin, P., Mercier-Langevin, P., Hannington, M., Galley, A., 2007. «Gold-rich volcanogenic massive sulfide deposits» In: *Mineral deposits of Canada A synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces and exploration methods* p. 141-161.

Dubé, B., Gosselin, P., 2007. «Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits» In *Mineral deposits of Canada A synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces and exploration methods* p. 49 -73.

Dimroth, E., Archambault, G., Goulet, N., Guha, J., Mueller, W., 1984. «A mechanical analysis of the late Archean Gwillim Lake shear belt, Chibougamau area, Quebec». *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol 21, p. 963-968.

Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., Rocheleau, M., 1983. «Evolution of the south-central part of the Archean Abiti belt, Quebec». Part 2 – tectonic evolution and geomechanical model. *Canadian Journal of Earth Sciences*; vol 20, p. 1355-1373.

Duquette, G., 1976. «North half of McKenzie and Roy townships and northwest quarter of McCorkill townships». Ministère des Richesses naturelles, Québec; DP-357, 126 p.

Duquette, G., 1970. «Stratigraphie de l'archéen et relations métallogéniques dans la région de Chibougamau». Ministère des Richesses naturelles, Québec; Étude Spéciale 8, 18 p.

Eilu, P., Mathison, C.I., Groves, D.I., Allardyce, W.J., 1999. «Atlas of alteration assemblages, styles and zoning in orogenic lode-gold deposits in a variety of host rock and metamorphic settings». University of Western Australia, pub 30, 50 p.

Feng, R., Kerrich, R., 1992. «Geochemical evolution of granitoids from the Archaean Abitibi Southern Volcanic Zone and the Pontiac subprovince, Superior Province, Canada: implications for tectonic history and source regions». *Chemical Geology* vol 98, p. 23–70.

- Gaboury, D., Daigneault, R., 2000. «Flat vein formation in a transitional crustal setting by self-induced fluid pressure equilibrium – an example from the Géant Dormant gold mine, Canada». *Ore geology review*; vol 17. p.155-178.
- Goodwin, A.M., Ridler, R H., 1970. «The Abitibi Orogenic Belt», *In Symposium on basins and geosynclines of the Canadian Shield*, Éditeurs: A.J Baer. *Geological Survey of Canada Paper 70-40*, p. 1-31
- Grooves, D.I., Goldfarb, R.J., Gerbre-Mariam, S.G., Robert, F., 1998. «Orogenic gold deposits : A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types». *Ore geology review*; vol 13. p.7-27.
- Jowett, E.C., 1991. «Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer». : *GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting* (Toronto, May 27-29), Program with Abstracts 16, p. 62.
- Kirkham, R.V., Pilote, P., Sinclair, W.D., Robert, F., Daigneault, R., 1998. «Les veines de Cu-Au de l'île Merrill et le gîte porphyrique en Cu-(Mo) du lac Clark camp minier du lac Doré», Chibougamau, p. 97 à 106.
- Kranidiotis, P., and Maclean, W.H., 1987. «Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami», Quebec: *Economic geology*. 82, p. 1898-1911.
- Krogh, T.E., 1982. «Improve accuracy of U-Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using air abrasion techniques». *Geochimica and Cosmochimica Acta*; vol 46, no4, p. 637-649.
- Kroseven Service Padova (Italie), 2004. «Étude microanalytique de 20 échantillons de la série de sondage 88-MOPII-49-50-55-56-57-60 : granulométrie, forme, distribution et composition chimique de l'or». 52 p.
- Leclerc, F., Harris, L.B., 2006. «New insights into the magmatic and structural history of the Cumming layered sill complex and the lavas of the Roy Group, Chibougamau, Quebec», In: *Résumés de conférence du congrès annuel de l'AGC*, p. 85-86.
- Ludden, J., Hubert, C., Gariépy, C., 1986. «The tectonic evolution of the Abitibi greenstone belt of Canada». *Geological Magazine*; vol 123, p. 153-166.
- Maillet, J., 1978. «Pétrographie et géochimie des dykes du camp minier de Chibougamau». Mémoire de M.Sc. non-publié, Chicoutimi, Université du Québec à Chicoutimi, 150 p.
- Med, S., 1989. «Report on 1988 underground ramp project at the MOP-II property of Flanagan Mc Adam Ressources inc., McKenzie township, Chibougamau», Quebec. 83 p.

Pilote, P., Robert, F., Kirkham, R.V., Daigneault, R., Sinclair, W.D., 1998. «Minéralisations de type porphyrique et filonienne dans le complexe du lac Doré – Les secteurs du lac Clark et de l'île Merrill». In *Géologie et métallogénie du district minier de Chapais-Chibougamau*, Éditeur : Pierre Pilote, DV-98-03, p. 71 à 96.

Pilote, P., Guha, J., 1998. «L'indice du lac Berrigan – Un exemple possible de minéralisation de type épithermale en Au-Ag-Cu-Pb-Zn-As d'âge archéen». dans *Géologie et métallogénie du district minier de Chapais-Chibougamau*, Éditeur : Pierre Pilote, DV-98-03, p. 91 à 96.

Racicot, D., Chown, E.H., Hanel, T., 1984. «Pluton of the Chibougamau-Desmaraisville belt: A preliminary survey». In *Chibougamau, Stratigraphy and Mineralization*, Éditeurs: J.Guha, et E.H Chown. *Canadian Institute of mining and Metallurgy*, Special Volume 34, p. 178-197.

Robert, F., 1996. «Filons de quartz-carbonates aurifères». Dans : *Géologie des types de gîtes minéraux du Canada*. Commission géologique du Canada, p. 387-404.

Robert, F., 2001. «Syenite-associated disseminated gold deposit in the Abitibi greenstone belt, Canada». *Mineralium Deposita*, vol 36, p. 503-516.

Sinclair, W.D., 2007. «Porphyry deposit». In *Mineral deposits of Canada A synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces and exploration methods*, p. 223-243.

Streckeisen, A.L., 1979. «Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melitic rocks - recommendations and suggestions of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks». *Geology*, vol 7, p. 331-335.

Thompson, A.J.B., Thompson J.F.H., 1996. «Atlas of alteration». *Geological association of Canada, mineral deposits division*, p. 90.

Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1977. «Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements». *Chemical Geology*, vol 20, p. 325-343.

Winter, J., 2001. «An introduction to igneous and metamorphic petrology». Upper Saddle River, NJ : *Prentice Hall*, 697 p.

Rowin, S., 2000. «Reduce porphyry copper-gold deposits; a new variation on an old theme». *Geology*, vol. 28, p. 491-494.