

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR
SÉBASTIEN LAVOIE
B. Sc.

GÉOLOGIE DE LA MINE EAST-SULLIVAN, ABITIBI-EST, VAL-D'OR, QUÉBEC

Mars 2003



Mise en garde/Advice

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

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

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

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

RÉSUMÉ

Le Groupe de Louvicourt, compris dans la Zone Volcanique Sud de la sous-Province de l'Abitibi, est l'hôte de plusieurs gisements de sulfures massifs volcanogènes (gîtes Louvem, Manitou, Louvicourt, Dunraine et East-Sullivan) totalisant collectivement plus de 50 Mt. La production du gîte de East-Sullivan, lequel fait l'objet de cette étude, a atteint 16,4 Mt @ 1,03% Cu, 0,7% Zn, 0,3g/t Au et 9,6g/t Ag. Le Groupe de Louvicourt est constitué de roches volcano-sédimentaires appartenant à la Formation de Val-d'Or (âge de 2704 +/- 2 Ma, suite géochimique évoluant de transitionnelle à calco-alcaline) et de la Formation de Héva (âge de 2702 +/- 1 Ma, suite géochimique tholéïtique).

La mine East-Sullivan est située au sommet de la Formation de Val-d'Or. La séquence stratigraphique contenant ce gîte forme un empilement homoclinal à polarité sud. La séquence stratigraphique de la mine East-Sullivan débute, à sa base, avec les volcanites calco-alcalines de la Formation de Val-d'Or des volcanoclastites mafiques à intermédiaires (d'une puissance >1 km), de coulées massives et lobées de composition intermédiaire à felsique (500 m), de laves coussinées intermédiaires (25 m) et de tufs fins de composition felsique (25 m). Les tufs fins sont recouverts par une unité de lave mafique massive tholéïtique de la Formation de Héva, qui scelle le système minéralisateur du gîte East-Sullivan. À l'Est, les différents faciès monzonitiques porphyriques du Stock de East-Sullivan (2684 +/- 1 Ma) recoupe régionalement la séquence stratigraphique de la mine ainsi que la minéralisation. Au sud, le gisement est tronqué par deux séries de dykes porphyriques dioritiques, une première étant associée à la mise en place de la Formation de Héva et l'autre avec l'intrusion du Stock de East-Sullivan.

Le niveau hôte de la minéralisation se détails en coulées felsiques massives (10-70m), lobés (<1m) et bréchique, elles sont peu vésiculaires et aphanitiques. Ces coulées felsiques sont interlitées avec des coulées intermédiaires vésiculaires à phénocristaux de plagioclases. Ces dernières ont des aspects massifs (5-10m), coussinées (<10m) et de brèches de coussins (<5m). Du matériel volcanoclastiques felsiques autoclastique et remanié est associé aux lobes felsiques. Le matériel remanié est une suite de lits turbiditiques de haute densité. La séquence montre une alternance de lits massifs granoclassés (Ta) (10-50 cm) et de lits à laminations parallèles de traction (Tb) (20 cm) et de suspension (Td) (5-10 cm) déposé en discordance érosive sur des lits de brèches de lobes autoclastique.

La minéralisation, d'origine synvolcanique, est associée à la fracturation et au remplacement des unités volcanoclastiques tufacées et massives felsiques. Le minerai, dispersé dans une vingtaine de lentilles, peut être regroupé sous trois principaux assemblages minéralogiques et une phase mineure. Ces assemblages sont : 1) sphalérite-pyrrite (0,5 Mt); 2) chalcopyrite-pyrhotite (12 Mt); et 3) chalcopyrite-pyrhotite-sphalérite-

pyrite (3,2 Mt). L'assemblage mineur est illustré par la pyrite colloforme (0,1 Mt) qui s'est développée au tout début du système hydrothermal.

L'étude minéralogique des différentes phases de la minéralisation démontre que la mine East-Sullivan est le résultat de deux époques minéralisatrices distinctes. La première phase est le résultat du développement d'un système hydrothermal complet jusqu'à sa maturité, avec des minéralisations finales de hautes températures (>300 °C). Cette phase est représentée par l'assemblage chalcopyrite-pyrrhotite qui résulte de l'enrichissement en cuivre successif des assemblages pyriteux initiaux. Elle prend place dans un environnement dominé par la construction du centre volcanique felsique, lequel est constitué de lobes felsiques massifs et d'un abondant matériel volcanoclastique. Un hiatus dans le système hydrothermal de la mine ES intervient ensuite, en raison de la transition d'un environnement d'arcs (Fm. de Val-d'Or) vers un environnement de planchers océaniques en extension (Fm., de Héva). La seconde phase de minéralisation qui se dépose par la suite est de température moindre car le système hydrothermal ne se restaure pas efficacement. Cette minéralisation est représentée par l'assemblage sphalérite-pyrite, lequel recoupe les lentilles de chalcopyrite-pyrrhotite et les unités felsiques. Ce recouvrement des lentilles minéralisées préexistantes produit l'assemblage mixte chalcopyrite-pyrrhotite-sphalérite-pyrite.

L'altération hydrothermale entourant le gisement East-Sullivan est caractérisée par la présence de séricite et de chlorite. Le Stock de East-Sullivan est pour sa part la cause d'une auréole métamorphique tardive d'une puissance d'environ 500 m qui englobe le gisement East-Sullivan et les volcanites immédiatement adjacentes. Cette auréole présente un métamorphisme au grade amphibolite et une altération dominée par l'épidote. L'absence de l'identification d'une zone lessivée en éléments alcalins dans la séquence de la mine ES laisse supposer que la cheminée d'altération est située soit en profondeur, soit détruite par la mise en place du platon.

La mine East-Sullivan est représentative des gisements de sulfures massifs volcanogènes retrouvés dans la sous-Province de l'Abitibi. Les natures des altérations et des faciès volcaniques permettent de définir le gisement de East-Sullivan comme étant de type "Noranda discordant" ou encore de type "bimodal-mafique" dominant.

REMERCIEMENTS

Suite à la réalisation de cette maîtrise, je tiens d'abord à remercier mon directeur le Dr. Wulf U. Mueller pour ses conseils judicieux résultants de sa phénoménale connaissance de la littérature et de sa vaste expérience de terrain. Je lui suis aussi redevable pour la grande liberté d'action qu'il laisse à ses étudiants dans leur processus de recherche et de rédaction. Je remercie également M. Pierre Pilote du Ministère des Ressources naturelles du Québec qui m'a proposé ce projet et suivi tout au long de son développement. Il m'a permis de faire partie de l'équipe de cartographie du camp minier de Val-d'Or et ainsi d'approfondir pendant deux ans ma connaissance des formations rocheuses ceinturant la mine East-Sullivan.

Je remercie également les membres de mon comité le Dr. Jacques Carignan et le Dr. Réal Daigneault pour leur aide et leurs nombreux commentaires.

Je remercie aussi les compagnies minières, Ressources Aur (M. Rodrigue Ouellet), Mines et Exploration Noranda (M. Jules Riopel) et Sulliden Exploration Inc. (M. Jacques Trottier) pour m'avoir donné accès à leurs carothèques et à toute l'information disponible sur les propriétés minières entourant la mine East-Sullivan.

Je tiens à souligner les nombreux amis qui ont fait une partie de cette longue route avec moi à l'UQAC en particulier et dans le désordre Clarence « Step On-It » Pickett, Craig « Greg Smith » Scott, Christine Champagne, Pierre « Rio » Riopel, Alexandre Aubin, Sophie Turcotte, Jean-François Lagueux, Valérie Bécu, Patrick Mercier-Langevin, Hugues Longuépée et bien sur Nathalie Légaré. Finalement, j'exprime ma gratitude envers toutes les personnes, parents et amis qui m'ont harcelé pendant cinq ans pour que je termine ma maîtrise plus vite...

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	II
REMERCIEMENTS	IV
TABLE DES MATIÈRES	VI
LISTE DES FIGURES	IX
LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES	XII
LISTE DES TABLEAUX	XIV
LISTE DES ANNEXES	XV
LISTE DES ABRÉVIATIONS	XVI
CHAPITRE I : INTRODUCTION	1
1.1 OBJECTIFS ET PROBLÉMATIQUE	1
1.2 MÉTHODOLOGIE	3
1.2.1 Approche générale	3
1.2.2 Travaux de terrain en affleurements	8
1.2.3 Travaux de terrain en forages	10
1.2.4 Étude pétrographique	11
1.2.5 Étude géochimique	12
1.2.6 Microsonde électronique	13
1.3 GÉOLOGIE	14
1.3.1 Introduction	14
1.3.2 Géologie régionale	14
1.3.3 Géologie locale	20
1.3.4 La mine East-Sullivan	23
1.3.5 Les gisements de sulfures massifs volcanogènes de la région de Val-d'Or	26
1.4 CLASSIFICATION	29
1.4.1 Métallogénie et classification des sulfures massifs volcanogènes	29
1.4.2 Ancienne classification des sulfures massifs volcanogènes (Morton et Franklin, 1987)	32
1.4.3 Nouvelle classification des sulfures massifs volcanogènes (Franklin et al., 1997)	36

CHAPITRE II : CARACTÉRISATION VOLCANOLOGIQUE ET PÉTROGRAPHIQUE DES UNITÉS LITHOLOGIQUES PRÉSENTES DANS LE SECTEUR À L'ÉTUDE	41
2.1 INTRODUCTION.....	41
2.2 LES VOLCANOCLASTITES DE LA FORMATION DE VAL-D'OR	43
2.3 LES COULÉES FELSIQUES DE EAST-SULLIVAN.....	47
2.4 LES COULÉES INTERMÉDIAIRES DE EAST-SULLIVAN	55
2.5 LES VOLCANOCLASTITES FELSIQUES DE EAST-SULLIVAN.....	63
2.6 LES COULÉES MAFIQUES DE LA FORMATION DE HÉVA	72
2.7 LES ROCHES INTRUSIVES DE L'ENVIRONNEMENT IMMÉDIAT AU GISEMENT.....	75
2.7.1 La Diorite porphyrique de Bourlamaque.....	75
2.7.2 Le Stock de East-Sullivan.....	77
2.7.3 Le dyke porphyrique à feldspath de East-Sullivan	79
CHAPITRE III : CARACTÉRISATION LITHOGÉOCHIMIQUE DES ROCHES VOLCANIQUES DE EAST-SULLIVAN	80
3.1 INTRODUCTION.....	80
3.1.1 Subdivision des unités volcaniques.....	80
3.1.2 Méthodes analytiques et limites de détection	81
3.2 CLASSIFICATION DES ROCHES	82
3.2.1 Classification pétrographique	82
3.2.2 Signatures géochimiques	86
3.2.3 Environnement tectonique	99
CHAPITRE IV : ALTÉRATION ET MINÉRALISATION DU GISEMENT DE EAST- SULLIVAN.....	102
4.1 MINÉRAUX D'ALTÉRATION	102
4.1.1 Séricite et biotite	102
4.1.2 Chlorite	106
4.1.3 Silice	112
4.1.4 Carbonate	115
4.1.5 Épidote	117
4.2 DISTRIBUTION SPATIALE DE LA MINÉRALISATION	122
4.3 MINERALISATION DE SULFURES.....	126
4.3.1 Échantillonnage des sulfures.....	126
4.3.2 Sulfures disséminés	127
4.3.3 Assemblage pyrite-sphalérite.....	127
4.3.4 Assemblage chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite)	131
4.3.5 Assemblage mixte	143
CHAPITRE V : SYNTHÈSE ET DISCUSSION	147
5.1 SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS.....	147

5.1.1 Contexte local	147
5.1.2 Caractéristiques des roches	148
5.1.3 Lithogéochimie	153
5.1.4 Altération	155
5.1.5 Minéralisation	157
5.1.6 Paragénèse des sulfures	160
5.2 RELATION ENTRE LES ÉLÉMENTS OBSERVÉS	163
5.3 MODÉLISATION	168
5.3.1 Sulfures massifs volcanogènes	168
5.3.2 Intégration et interprétation des données	169
5.3.3 Implications pour l'exploration	174
CHAPITRE VI : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	176
RÉFÉRENCES	179
ANNEXES	194

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Géologie générale de la ceinture de roches vertes d'Abitibi incluant les zones Volcanique Nord (ZVN) et Sud (ZVS). Modifiée de Dostal et Mueller (1997).	2
Figure 1.2 : Forages et affleurements visibles aux environs du gisement.....	4
Figure 1.3 : Localisation des forages utilisés dans l'étude et contour des propriétés minières adjacentes à la mine East-Sullivan.....	6
Figure 1.4 : Géologie et structures locales du gisement de East-Sullivan.	7
Figure 1.5 : Géologie de la région de Val-d'Or, feuillets 32C04-200-0102 et demie Est de 32C03-200-0101. Modifiée de Pilote et al. (1999).	9
Figure 1.6 : Colonnes stratigraphiques simplifiées de la séquence de la mine.	21
Figure 1.7 : Caractéristiques essentielles d'un dépôt idéalisé de sulfures massifs volcanogènes. Modifiée de Lydon (1984).	31
Figure 2.1 : Zone d'affleurements 97-SL-1055. Des coulées intermédiaires coussinées et des brèches de coussins et de coulées à fragments vésiculaires sont interlitées avec des lobes felsiques. Les lobes felsiques sont massifs, aphanitiques et présentent des textures d'écoulement laminaire.....	49
Figure 2.2 : Section 3400E de la mine East-sullivan regard vers l'est.	58
Figure 2.3 : Section 3700E de la mine East-sullivan regard vers l'est. Modifiée de Tremblay (1994).	59
Figure 2.4 : Section 4000E de la mine East-sullivan regard vers l'est.	60
Figure 2.5 : Lobe felsique massif entouré de brèche hyaloclastique et de matériel remanié. Affleurement 98-SL-1102.	66
Figure 2.6 : Section stratigraphique schématique des volcanoclastites felsiques de l'affleurement 98-SL-1102. Pour la localisation voir la figure 2.5.	70
Figure 2.7 : Levé aéromagnétique pour le feuillet 32C/04-200-102 (Mir Télédétection, 1999).....	78

Figure 3.1 : Classification pétrographique des roches volcaniques de East-Sullivan.....	83
Figure 3.2 : Classification pétrographique avec les éléments traces.....	85
Figure 3.3 : Diagrammes de Harker de certains éléments majeurs et éléments traces des différents types de roches volcaniques de East-Sullivan.	87
Figure 3.4 : Caractérisation des signatures géochimiques des roches volcaniques de East-Sullivan.....	90
Figure 3.5 : Diagrammes de Harker des éléments des terres rares des différents types de roches volcaniques de East-Sullivan.....	91
Figure 3.6 : Profils des ÉTR pour les roches volcaniques de East-sullivan (Normalisé sur les chondrites selon Boynton, 1984).	93
Figure 3.7 : Caractérisation de l'affinité magmatique primaire des roches volcaniques de East-Sullivan.....	96
Figure 3.8 : Diagrammes multi-éléments pour les roches volcaniques de East-sullivan (Normalisé sur manteau primitif selon McDonough et al., 1991).	98
Figure 3.9 : Caractérisation pétrogénétique des coulées de laves de East-Sullivan.	100
Figure 4.1 : Classification et comparaison des chlorites de East-Sullivan selon Hey (1954).	111
Figure 4.2 : Caractérisation du changement de masse associé à l'altération.	113
Figure 4.3 : Caractérisation chimique des epidotes de East-Sullivan.....	121
Figure 4.4 : Plan composite du niveau et de composition des lentilles minéralisées. Modifié de Tremblay (1994).....	125
Figure 4.5 : Composition chimique des sphalérites de East-Sullivan.....	133
Figure 4.6 : Profils des métaux faits sur des grains de pyrites colloformes de l'échantillon de sulfures massifs SL-A.....	140
Figure 4.7 : Profils des métaux faits sur des grains de pyrites colloformes des échantillon de sulfures massifs SL-B et SL-D.	141

Figure 4.8 : Composition chimique des pyrites de East-Sullivan.....	142
Figure 5.1 : Séquence paragénétique et abondance relative de la minéralisation.....	161
Figure 5.2 A et B : Modèle de mise en place du gisement de East-Sullivan.....	170
Figure 5.2 C et D : Modèle de mise en place du gisement de East-Sullivan.....	171

LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

Planche 1.1 : La mine East-Sullivan	24
Planche 2.1 : Volcanoclastites de la Formation de Val-d'Or	44
Planche 2.2 : Édifice felsique inférieur localisé 150m sous l'horizon minéralisé.	46
Planche 2.3 : Structures volcaniques des coulées felsiques massives de East-Sullivan.	50
Planche 2.4 : Structures d'écoulement laminaire dans les coulées felsiques massives de East-Sullivan.....	51
Planche 2.5 : Coulées de laves felsiques massives de East-Sullivan.....	53
Planche 2.6 : Textures à phénocristaux des coulées felsiques massives de l'affleurement 97-SL-1030 sous-jacent au gisement.	54
Planche 2.7 : Coulées felsiques massives latérales au gisement.	56
Planche 2.8 : Laves intermédiaires coussinées de l'affleurement 97-SL-1055 latéral au gisement.....	62
Planche 2.9 : Textures porphyriques des laves intermédiaires sous-jacentes à la minéralisation.	64
Planche 2.10 : Volcanoclastites felsiques de East-Sullivan.	67
Planche 2.11 : Structures d'érosion et de remobilisation synvolcanique.	69
Planche 2.12 : Évidences de remobilisation synvolcanique.	71
Planche 2.13 : Fragments vésiculaires des volcanoclastites de East-Sullivan.	73
Planche 2.14 : Dykes bordant le gisement de East-Sullivan dans sa partie sud.	76
Planche 4.1 : Altération proximale de l'encaissant felsique massif par l'assemblage quartz-chlorite-séricite.	104
Planche 4.2 : Brèches d'altération hydrothermale aux environs du gisement.	107

Planche 4.3 : Altération proximale des laves intermédiaires massives sous-jacentes à la minéralisation par l'assemblage quartz-épidote-chlorite en fines veinules.	109
Planche 4.4 : Altération proximale des laves intermédiaires massives sous-jacentes à la minéralisation par l'assemblage carbonate-épidote.....	116
Planche 4.5 : Altération proximale des laves intermédiaires massives sous-jacentes à la minéralisation par de l'épidote massive.....	118
Planche 4.6 : Texture de la minéralisation de pyrite disséminée proximale au gisement..	128
Planche 4.7 : Textures rubanées de recristallisation dans la minéralisation, assemblage sphalérite-pyrite.	129
Planche 4.8 : Minéraux associés accessoirement avec l'assemblage de sphalérite-pyrite. 130	
Planche 4.9 : Textures colloformes primaires dans la pyrite et la chalcopyrite.	135
Planche 4.10 : Nodules colloformes reliquaires de pyrite et de chalcopyrite.	136
Planche 4.11 : Minéralisation en or associée avec des textures colloformes primaires dans les sulfures massifs de l'assemblage pyrite-chalcopyrite.	137
Planche 4.12 : Textures de raffinage de zone de la minéralisation, assemblage chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite).....	144
Planche 4.13 : Assemblage de sulfures pyrite-sphalérite-chalcopyrite-pyrrhotite.	145

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Caractéristiques des formations géologiques constituant le bloc de Malartic. Modifié de Scott <i>et al.</i> (2002).....	17
Tableau 1.2 : Statistiques de production de la mine East-Sullivan.....	25
Tableau 1.3 : Mines de sulfures massifs volcanogènes de la Formation de Val-d'Or.....	27
Tableau 1.4 : Classification des sulfures massifs volcanogènes selon la nomenclature de Morton et Franklin (1987).....	33
Tableau 1.5 : Classification des sulfures massifs volcanogènes selon la nomenclature de Franklin <i>et al.</i> (1997).....	37
Tableau 2.1 : Synthèse des caractéristiques des unités lithologiques de la séquence stratigraphique de la mine East-Sullivan.....	42
Tableau 3.1 : Rapports d'éléments traces pour les laves de East-Sullivan.....	94
Tableau 4.1 : Composition moyenne des chlorites selon les analyses à la microsonde.....	110
Tableau 4.2 : Composition moyenne des épidores selon les analyses à la microsonde.....	119
Tableau 4.3 : Composition moyenne des différentes lentilles de la mine East-Sullivan... ..	124
Tableau 4.4 : Composition moyenne des sphalérites selon les analyses à la microsonde. ..	132
Tableau 4.5 : Composition moyenne des pyrites selon les analyses à la microsonde.	139

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Résultats des analyses d'éléments majeurs des roches volcaniques.....	195
Annexe 2 : Résultats des analyses des ETR-UQAC des roches volcaniques.....	202
Annexe 3 : Résultats des analyses des ETR-CRM des roches volcaniques.....	204
Annexe 4 : Résultats des analyses des chlorites à la microsonde électronique.....	206
Annexe 5 : Résultats des analyses des épidotes à la microsonde électronique	210
Annexe 6 : Résultats des analyses des sphalérites à la microsonde électronique.....	217
Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique.....	227
Annexe 8 : Résultats des analyses des chalcopyrites à la microsonde électronique.....	238
Annexe 9 : Résultats des analyses d'éléments majeurs des roches plutoniques	243
Annexe 10 : Description des échantillons analysés à la microsonde électronique.....	244
Annexe 11 : Résultats de la coloration des échantillons altérés	257

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Ma	Millions d'années
on/t	Onces troy par tonne
g/t	Grammes par tonne
ETR	Éléments du groupe des terres rares
Fm	Formation
FVO	Formation de Val-d'Or
FH	Formation de Héva
PDB	Porphyre dioritique de Bourlamaque
PFE	Porphyre feldspathique de East-Sullivan
SES	Stock de East-sullivan
Qz	Quartz
Cb	Carbonate
Cl	Chlorite
Ep	Épidote
Se	Séricite
Py	Pyrite
Po	Pyrhhotite
Cpy	Chalcopyrite
Sp	Sphalérite
Mg	Magnétite
Gn	Galène
Tt	Titanite (sphène)
Hm	Hématite
Mu	Muscovite

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1 OBJECTIFS ET PROBLÉMATIQUE

Avec une taille de près de 16,4 millions de tonnes, la mine East-Sullivan constitue le plus gros gisement de sulfures massifs volcanogènes à avoir été exploité dans le camp minier de Val-d'Or, de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi (figure 1.1). Le contexte géodynamique et la nature de son environnement de mise en place n'ont à peu près pas été étudiés. La seule étude portant sur ce gisement est la thèse de Ph.D. d'Assad (1958). Cet auteur relie la minéralisation au stock intrusif de East-Sullivan. Il n'y a aucune discussion sur le milieu de dépôt. Le gîte de East-Sullivan était donc considéré à cette époque comme un gisement de type remplacement, contemporain des phases plutoniques tardives de la région.

Cette étude de la mine East-Sullivan a pour but de mieux comprendre le contexte paléogéographique global, la stratigraphie, l'environnement de dépôt et le mode de mise en place de la minéralisation. Les résultats obtenus pourront ensuite être utilisés dans une étude plus large comparant la stratigraphie de la mine East-Sullivan avec celle des autres mines de la Formation de Val-d'Or.

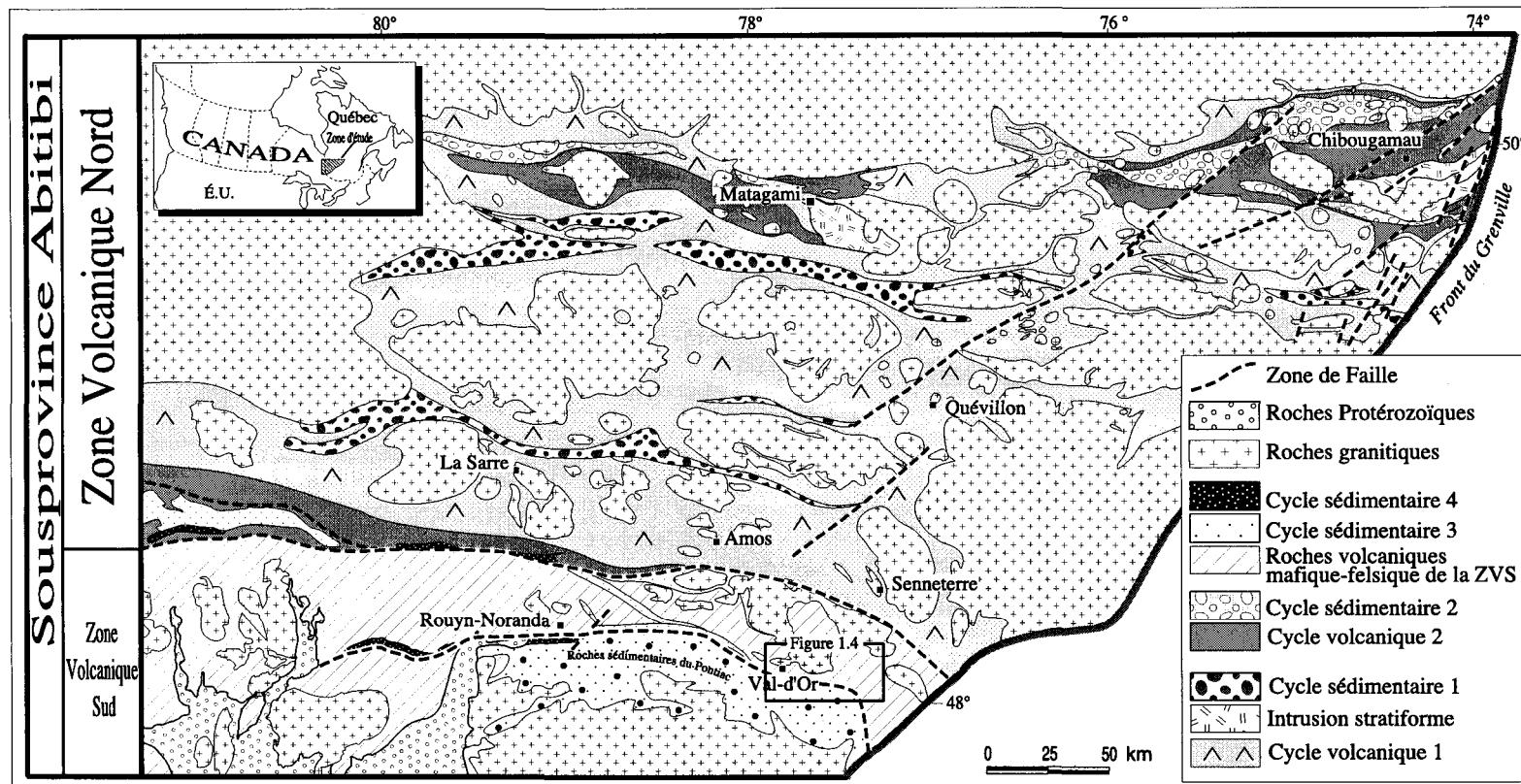


Figure 1.1 : Géologie générale de la ceinture de roches vertes d'Abitibi incluant les zones Volcanique Nord (ZVN) et Sud (ZVS). Modifiée de Dostal et Mueller (1997)

Dans ce dessein, les objectifs spécifiques suivants devront être atteints : a) identifier et caractériser les unités lithologiques et les altérations présentes; b) établir les relations entre la minéralisation et les unités lithologiques encaissantes; c) spécifier la signature géochimique des unités lithologiques et leurs altérations; d) établir la typologie du gisement. Les objectifs de synthèse suivants doivent aussi être atteints suite à la réalisation des objectifs spécifiques : e) établir la stratigraphie de la mine; f) élaborer un modèle de mise en place du gisement; g) reconstruire l'environnement paléogéographique.

1.2 MÉTHODOLOGIE

1.2.1 Approche générale

La réalisation de ce projet a impliqué des travaux sur le terrain et en laboratoire. Les travaux sur le terrain ont été réalisés à temps partiel dans le cadre plus global du projet Val-d'Or et financés par le ministère des Ressources naturelles du Québec au cours des étés 1997 et 1999 ainsi que l'automne 1998. Les travaux de terrain consistaient en la cueillette d'échantillons et de données, incluant les observations pétrographiques, macroscopiques et l'analyse de la volcanologie physique de tous les affleurements rocheux connus autour du site de la mine (figure 1.2). Une nouvelle description ainsi que l'échantillonnage de forages

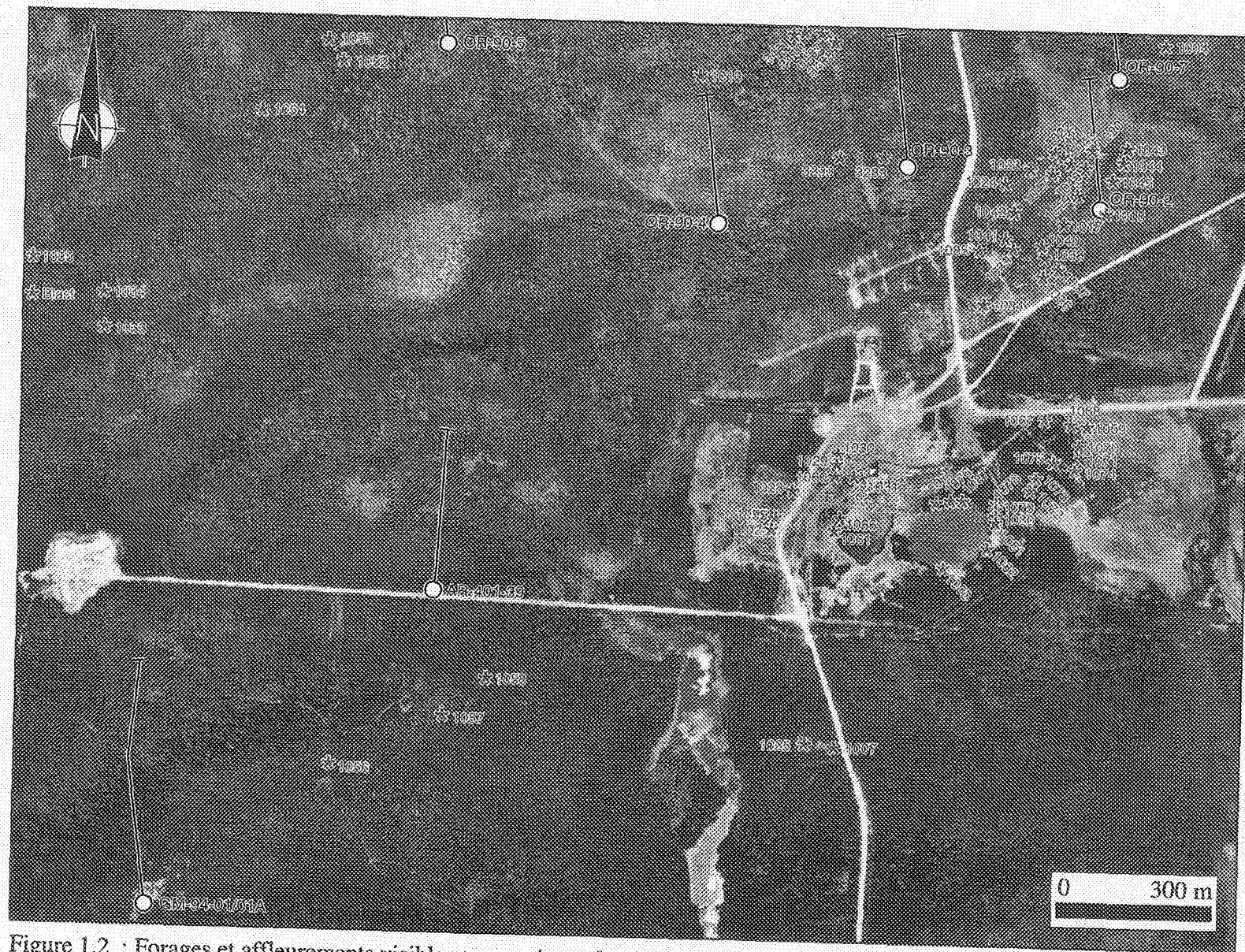


Figure 1.2 : Forages et affleurements visibles aux environs du gisement.

au diamants effectués sur les propriétés adjacentes à l'Est et au Nord de la mine a permis une meilleure compréhension de la stratigraphie des unités lithologiques encaissant le gisement (figure 1.3). Les travaux de laboratoire qui ont été faits par la suite consistaient principalement en l'analyse et le traitement des échantillons recueillis.

Les travaux de terrain se sont concentrés sur les roches volcaniques de l'environnement immédiat du gisement. La totalité des affleurements rocheux visibles sur les photos aériennes ou mentionnés dans les cartes de compilation géoscientifique et des travaux statutaires, et ce dans un rayon de trois kilomètres autour du chevalement de la mine, ont été visités (figure 1.4). Les sites d'affleurement ont été identifiés et catalogués dans le système de coordonnée UTM (NAD 83).

Les caractérisations géologique et géochimique de l'environnement de la mine East-Sullivan se sont donc réalisées en quatre étapes : 1) cartographie à grande et à petite échelle avec un échantillonnage des différentes unités lithologiques ; 2) une étude stratigraphique à l'aide de forages au diamant ; 3) une étude pétrographique ; et 4) une étude géochimique.

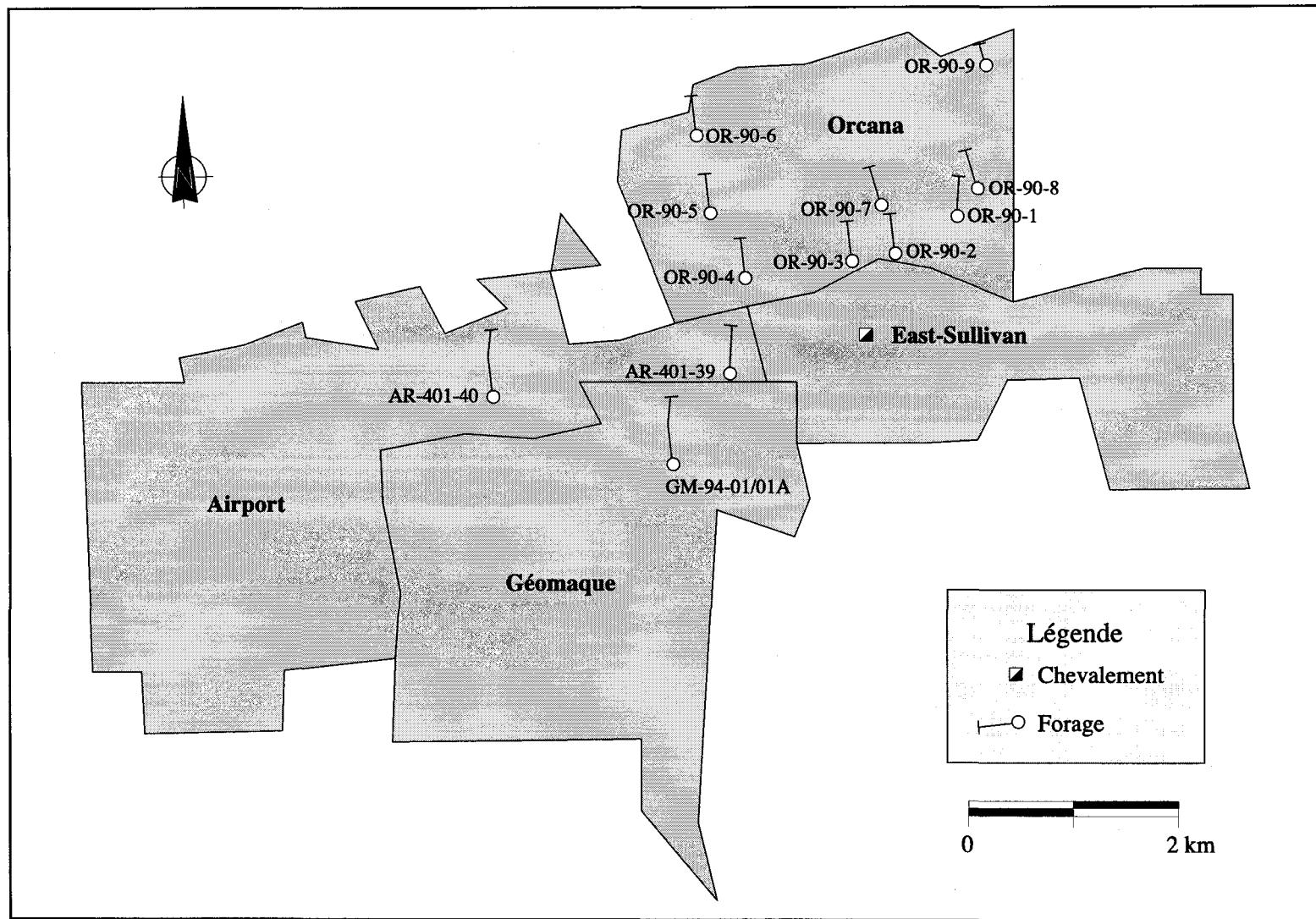


Figure 1.3 : Localisation des forages utilisés dans l'étude et contour des propriétés minières adjacentes à la mine East-Sullivan.

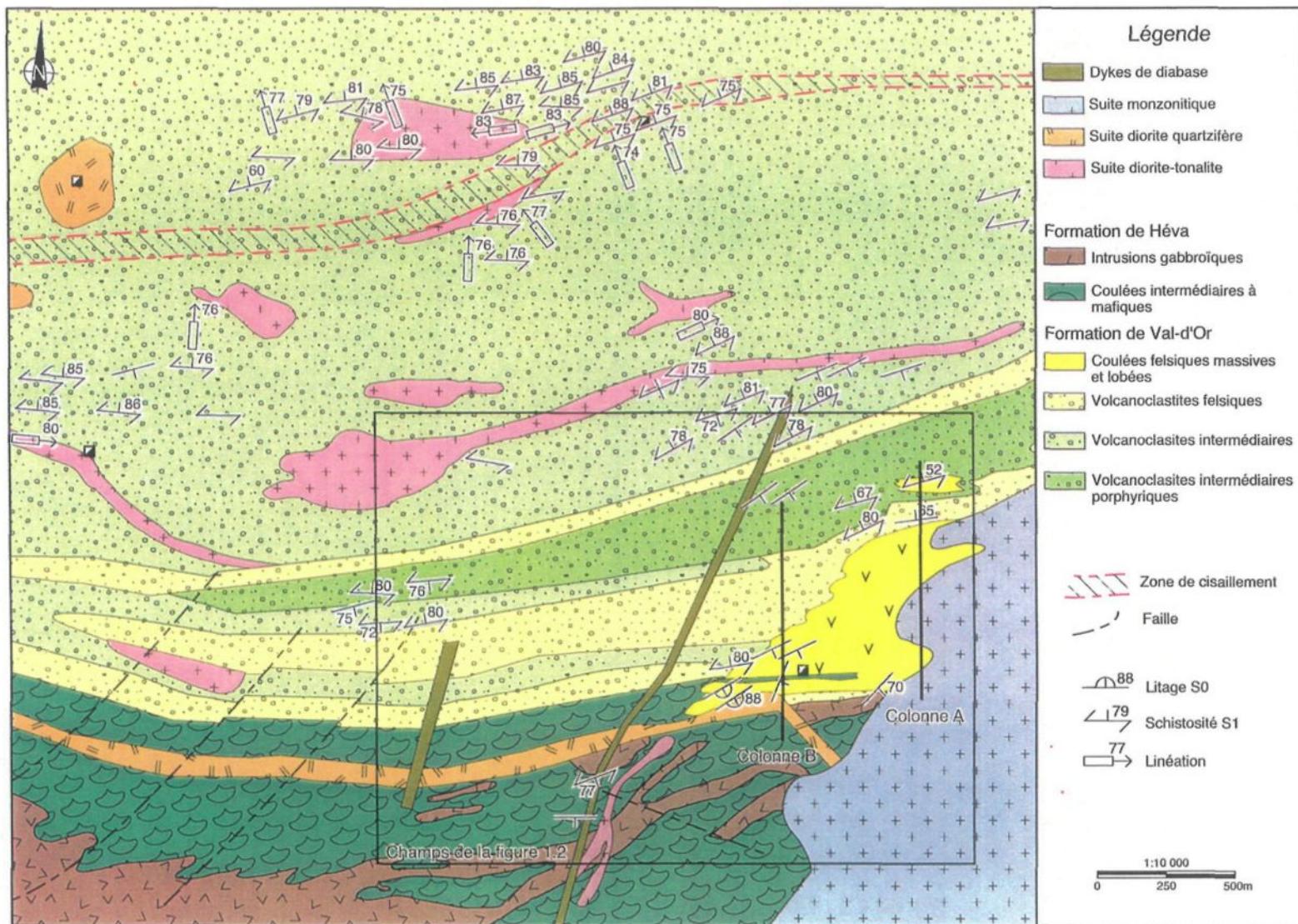


Figure 1.4 : Géologie et structures locales du gisement de East-Sullivan.

1.2.2 Travaux de terrain en affleurements

Une aire de 12 km² centrée sur le puits de la mine East-Sullivan a été cartographiée à l'échelle de 1:5000 dans le but de vérifier la géologie locale existante (figure 1.5). Lors de cette cartographie, l'identification et la description macroscopique détaillée des unités lithologiques et des différents faciès rencontrés en affleurement ont été faites. Suite à leur identification, les unités les plus importantes pour la compréhension de l'environnement ont été échantillonnées. Il s'agit des roches volcaniques qui présentent des textures et des structures volcaniques qui découlent du mode de mise en place, par exemple des faciès bréchiques ou coussinés ou qui affichent une certaine vésicularité. Les échantillons récoltés ont servi de matériel d'étude pour les parties pétrographiques et géochimiques. La cartographie à grande échelle s'est faite par un réseau de traverses systématiques dans les boisés avoisinants et par la vérification de chacun des affleurements déjà connus dans les compilations.

La cartographie des environs de l'ancienne fosse d'exploitation de la mine a été faite avec plus de détails pour tenter de mettre en évidence les indicateurs de polarité et d'écoulement volcaniques. Lorsque la qualité des affleurements était adéquate, une cartographie au 1 :100 a été effectuée pour identifier les changements dans les textures et les faciès volcaniques. La description détaillée des textures et des structures volcaniques a été faite dans le but de déterminer l'environnement de mise en place. Dans le même esprit,

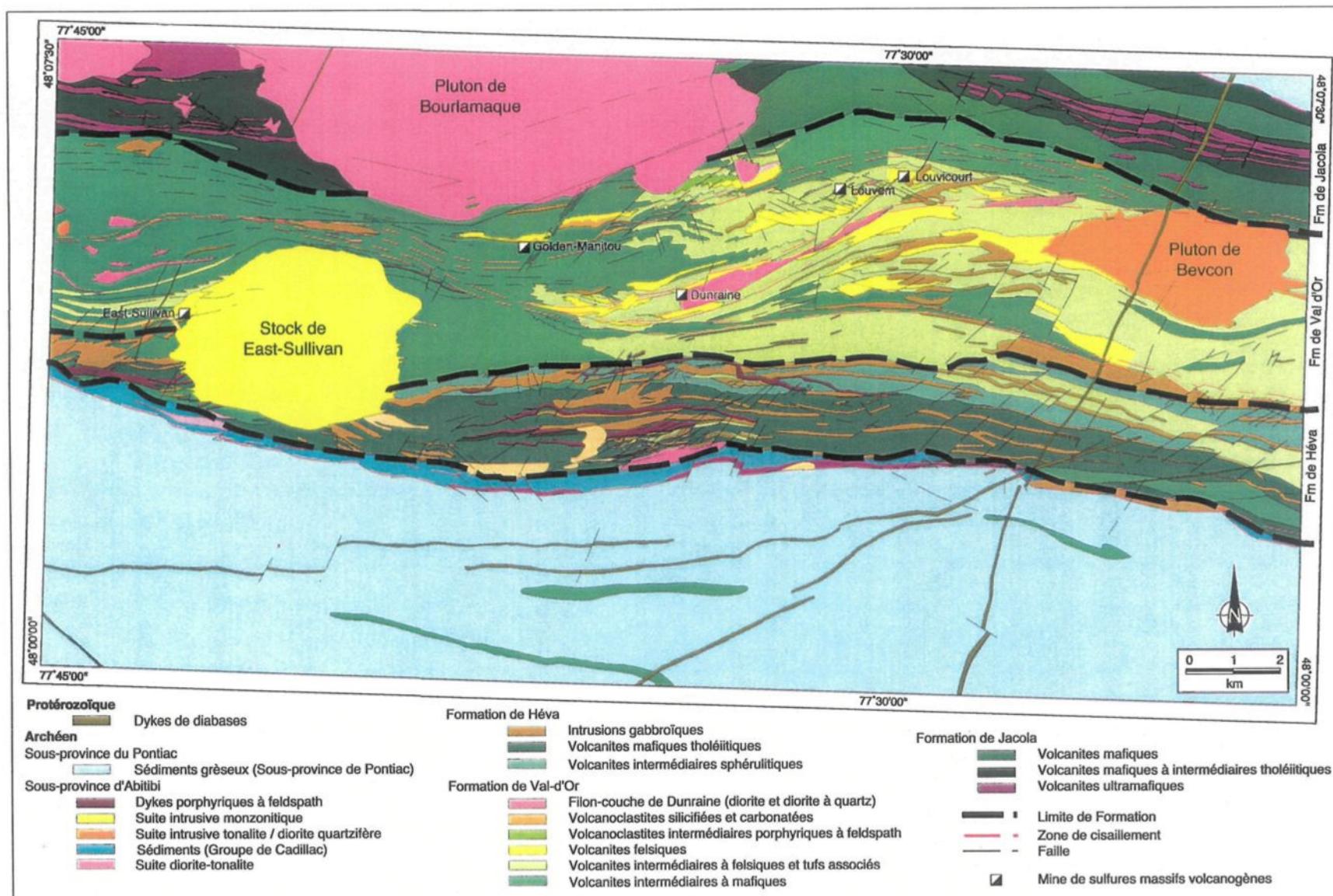


Figure 1.5 : Géologie de la région de Val-d'Or, feuillets 32C04-200-0102 et demie Est de 32C03-200-0101. Modifiée de Pilote et al. (1999).

les assemblages d'altération visible ont été systématiquement échantillonnés. Une grille d'échantillonnage géochimique beaucoup plus serrée a été utilisée dans les roches massives sous-jacentes à la minéralisation pour vérifier leur protolite et pour déterminer la nature et la limite des zones d'altération. De plus, la cartographie sommaire et l'échantillonnage de l'intérieur de la fosse ont été effectués à l'aide d'une embarcation. Cette partie de la cartographie a permis d'avoir une vue en trois dimensions des unités lithologiques immédiatement adjacentes au gisement de East-Sullivan.

1.2.3 Travaux de terrain en forages

Les compagnies "Les Ressources Aur" et "Mines et Exploration Noranda" possèdent toutes deux des propriétés (figure 1.3) adjacentes à la mine East-Sullivan. Ces deux compagnies se sont impliquées dans le présent projet en rendant disponibles leurs données et leurs carottes de forages au diamant provenant de ces terrains. La description des douze forages les plus rapprochés du site de la mine a été faite en conjonction avec un échantillonnage des unités massives pour en faire l'étude géochimique et corroborer les faciès volcaniques observés en surface. Ces vérifications ont permis d'incorporer à cette étude avec un niveau de confiance satisfaisant les autres descriptions de forages provenant de ces compagnies. L'observation des unités lithologiques visibles en forages a permis d'avoir une vue d'ensemble de la mine et aussi d'établir sa stratigraphie propre.

Plusieurs rapports historiques, faisant état des campagnes de forages d'exploration et de définition ou de divers travaux d'exploration, sont déposés dans la série des travaux statutaires (série GM) du Ministère des Ressources naturelles du Québec et ont également été consultés. Les carottes de roche associées à ces forages ne sont cependant plus disponibles, la carothèque de la mine East-Sullivan ayant été détruite lors de la fermeture de la mine ou peu de temps après. L'absence d'arrimage entre ces descriptions et des échantillons-témoins entretient une certaine incertitude quant à la nature véritable des lithologies souterraines présentes dans un rayon de plus de un kilomètre autour de la mine. Sans oublier que la nomenclature géologique utilisée à l'époque pour décrire les roches souffre par un manque de détails et de rigueur. Ces carences sont le produit d'une description du gisement dans une optique d'opération minière essentiellement et illustrent les façons de faire standards de cette époque. Le rapport de Bérubé (1974) présente une équivalence entre les descriptions géologiques des années cinquante et les classifications plus récentes.

1.2.4 Étude pétrographique

L'étude pétrographique a été faite dans l'optique d'identifier les caractéristiques des roches volcaniques, telles que la quantité et la composition de phénocristaux, les textures de refroidissement ou encore la présence plus ou moins importante de matrice. Cette étude pétrographique a aussi permis de préciser les unités lithologiques en place et d'identifier les

paragénèses hydrothermales et métamorphiques. Les minéraux de remplacement ont été étudiés pour mettre en évidence les niveaux d'altération rencontrés tout autour du gîte. Pour cette partie, environ cent lames minces ont été étudiées. L'étude des textures volcaniques au microscope a été associée aux observations et descriptions macroscopiques faites sur les affleurements. Une série de seize lames polies a été étudiée plus particulièrement en vue de déterminer les textures primaires et la paragénèse de la minéralisation de sulfures. Sur ce lot, six échantillons de sulfures massifs ne sont cependant pas localisés, ce sont des débris récupérés dans la halde à résidus de la mine East-Sullivan. Ce procédé d'échantillonnage peu orthodoxe est nécessaire du fait de l'inaccessibilité du gisement qui est maintenant noyé sous plusieurs dizaines de mètres d'eau.

1.2.5 Étude géochimique

L'étude géochimique a été effectuée sur l'ensemble des unités lithologiques rencontrées pour en faire la caractérisation. L'échantillonnage a été fait pour couvrir la plus grande surface possible autour de la mine. Les unités lithologiques échantillonnées sont les unités massives, car elles sont moins sensibles à l'altération et elles donnent une meilleure image de la composition originale des roches. Bien qu'elles soient identifiées comme des laves, les roches encaissant la minéralisation sont très altérées et leur composition était incertaine. Au total, 84 analyses pour les éléments majeurs et pour les éléments traces ont été faites. Une série de seize ensembles d'analyses de terres rares ont

aussi été effectués au Centre de Recherche Minérale du ministère des Ressources naturelles du Québec et ce pour mieux caractériser les coulées massives qui encaissent la minéralisation. Un groupe de seize échantillons supplémentaires comprenant les éléments du groupe des terres rares a été analysé par activation neutronique dans les laboratoires de l'Université du Québec à Chicoutimi. Il s'agit de rhyolites et d'andésites massives.

L'ensemble de ces analyses avait pour objectif de préciser la stratigraphie en divisant les roches massives en unités lithologiques distinctes et si possible de subdiviser l'édifice volcanique en plusieurs centres effusifs ou séries d'épanchements.

1.2.6 Microsonde électronique

Des analyses à la microsonde électronique ont aussi été faites sur les minéraux d'altération et sur la minéralisation de sulfures. Ces analyses permettent d'identifier précisément leur composition et leur genèse en spécifiant par exemple le contenu en fer des chlorites et des sulfures. La nature des minéraux d'altération, comme les carbonates, est souvent difficile à déterminer lors de l'étape pétrographique. D'autres, comme les chlorites, sont même totalement impossibles à classer (Hey 1954). Les analyses à la microsonde électronique effectuées dans les laboratoires de l'université McGill à Montréal ont donc servies de complément à l'étude pétrographique.

La détermination exacte des minéraux d'altération permet de préciser la composition et la température des fluides minéralisateurs. Le type d'altération est aussi relié à un environnement et des processus spécifiques.

1.3 GÉOLOGIE

1.3.1 Introduction

La mine East-Sullivan est située dans un des plus prolifiques camps miniers du Québec, tant par la quantité et la qualité de sa minéralisation en métaux précieux et usuels ainsi qu'en minéraux industriels. Cependant, avant la mise en branle des nouveaux travaux du Ministère des Ressources naturelles du Québec au milieu de années 90, la compréhension de sa géologie était encore fragmentaire.

1.3.2 Géologie régionale

Le secteur à l'étude est situé dans la plus large ceinture de roches vertes au monde, la ceinture de l'Abitibi, qui fait elle-même partie de la Province archéenne du Supérieure (Goodwin et Riddler 1970; Card et Ciesielski 1986).

La Sous-province de l'Abitibi est subdivisée en deux grands terrains géologiques (figure 1.1) limités par une faille régionale majeure orientée vers l'est, soit les Zones Volcaniques Nord et Sud (Chown et al. 1992). Ces zones sont définies par leur disparité volcano-sédimentaire, la dominance de plutons, de complexes lités, de filons-couches mafiques à ultramafiques (Dimroth et al. 1982) et d'unités sédimentaires au nord (Mueller et Donaldson 1992), le tout étant appuyé par de nombreuses données géochronologiques (Chown et al. 1992; Mortensen 1993).

La région de Val-d'Or est dominée par un assemblage de roches supracrustales volcano-sédimentaires d'âge archéen composé d'unités de roches volcaniques et volcanoclastiques ultramafiques, mafiques et felsiques (2714 ± 2 Ma à 2704 ± 2 Ma); Wong et al. (1991); Pilote et al. (1997a; 1998a; 1999a); Scott et al. (1999) séparées par d'étroites bandes de roches sédimentaires épiclastiques (plus jeunes que 2687 Ma; (Mortensen 1993)).

Ces unités lithologiques, majoritairement métamorphisées au faciès des schistes verts, avec quelques zones au faciès des amphibolites, s'orientent est-ouest avec un fort pendage nord. De nombreux plutons et dykes d'âge archéen et de composition dioritique-tonalitique à monzonitique recoupent la séquence volcanique.

La description simplifiée de la géologie de la région de Val-d'Or est basée sur les travaux de Sharpe (1968), d'Imreh (1984), de Desrochers et al. (1993; 1996), de Desrochers et

Hubert (1996), de Pilote et al. (1997a; 1998a; 1999a), et de Scott et al. (en préparation). La nomenclature stratigraphique utilisée pour la géologie de la région, est celle développée par Latulippe (1966), Dimroth et al. (1983), Imreh (1984), Pilote et al. (1998b; 1999a) et modifiée par (Scott et al. 2002).

Le segment est de la zone volcanique sud, qui englobe la région de Val-d'Or, est subdivisé en deux groupes (tableau 1.1) ; le Groupe de Malartic, qui représente un fond océanique primitif sous l'influence d'un panache mantellique et le Groupe de Louvicourt qui est l'étape plus évoluée de la construction d'un environnement d'îles en arcs. Le Groupe de Louvicourt, qui englobe le secteur à l'étude, est constitué de la Formation de Val-d'Or à sa base et de la Formation de Héva à son sommet.

La Formation de Val-d'Or, d'une épaisseur de 3 à 5 km (figure 1.5), est caractérisée par une interdigitation complexe de lithofaciès volcano-sédimentaires intermédiaires à felsiques d'affinité transitionnelle à calco-alcaline (Desrochers et al. 1996). À l'Ouest aux abords de la ville de Val-d'Or, le volcanisme est représenté par des coulées massives à coussinées de composition intermédiaire, intercalées avec des roches volcanoclastiques, elles aussi principalement intermédiaires. Plus à l'Est, vers le village de Louvicourt, le volcanisme felsique est dominant avec des coulées massives à bréchiques ainsi que quelques coulées massives à coussinées de composition intermédiaire.

Tableau 1.1 : Caractéristiques des formations géologiques constituant le bloc de Malartic. Modifié de Scott *et al.* (2002).

	Formation de Jacola	Formation de Val d'Or		Formation de Héva
		FVDO inférieure	FVDO supérieure	
Âge (U-Pb) et roche datée	2703.8 ± 1.3 Ma Volcanoclastites, mine Sigma	2704 ± 2 Ma Rhyolites, mine Louvicourt		2702 ± 2 Ma Volcanoclastites, mine Akasaba
Composition	Komatiites et basaltes-Mg	Andésites, dacites et rhyolites	Andésites, dacites et rhyolites	Basaltes et dacites (riches en Fe)
Affinité géochimique	Tholéïtique	Tholéïtique à transitionnelle	Transitionnelle à calco-alkaline	Tholéïtique
Morphologie des unités volcaniques	Massives à coussinées Minces coulées lenticulaires	Amyboïdes à coussinées Coulées de débris et turbidites à haute et basse concentration	Coussinées à lobées Turbidites à haute et basse concentration Dômes volcaniques	Coussinées à lobées Minces coulées lenticulaires Turbidites à basse concentration et coulées de masse Dykes et sills pépéritiques
Vésicularité (%)	0 à 5	0 à 40	0 à 40	0 à 20
Épaisseur des coulées et des lits	1 m à 200 m	10 cm à 100 m	5 cm à 100 m	5 cm à 400 m
Extension des coulées	Plus de 5 km	2 à 5 km	2 à 5 km	Jusqu'à 40 km
Source du volcanisme	Fissural	Évents volcaniques multiples	Évents volcaniques multiples	Fissural et localement événements volcaniques
Environnements et styles éruptifs	Sous-marin Effusif et rare hydroclastique	Sous-marin Autoclastique, hydroclastique et pyroclastique	Sous-marin Autoclastique, hydroclastique et pyroclastique	Sous-marin Effusif et localement autoclastique et pyroclastique
Milieu tectonique	Plaine ou plateau sous-marin et proto-arc	Développement de l'arc	Construction de l'arc	Démembrement de l'arc et rifting

La complexité latérale et verticale apparente des unités lithologiques rend difficile l'utilisation d'horizons-repères dans la formation. Cette lacune résulte de la nature discontinue des lithofaciès cartographiables et de la mauvaise dispersion des expositions rocheuses. Néanmoins, il est possible de regrouper plusieurs lithofaciès en assemblages volcanologiques distincts qui présentent une minéralogie, une composition et des textures similaires (Scott et al. 2002). Ces assemblages volcaniques sont probablement le reflet de complexes volcaniques centraux isolés ou de cônes parasites et de leurs satellites associés. À l'intérieur de la Formation de Val-d'Or, sept de ces complexes volcaniques ont été identifiés, tous à prédominance felsique, composés de lithofaciès massifs et clastiques. Ces complexes volcaniques felsiques centraux ne sont pas très volumineux, ayant des dimensions maximales de 2,5 km à 10 km. Les roches volcaniques intermédiaires montrent une extension latérale plus considérable de sorte qu'il est plus difficile de les contraindre à une source particulière. De ces sept édifices volcaniques, trois sont associés à des dépôts de sulfures massifs volcanogènes, qui sont, d'est en ouest ; les mines Louvicourt, Manitou et East Sullivan.

Le contact entre les Formations de Val-d'Or et de Héva est concordant mais progressif sur plus d'une centaine de mètres. Sur le terrain, le contact est marqué par un changement compositionnel du volcanisme qui passe à des basaltes tholéïtiques ainsi que par l'apparition de nombreuses intrusions gabbroïques et filons-couches ou par l'apparition d'une unité de dacite sphérolitique elle aussi tholéïtique (Norman 1943; Sauvé 1995). Un

changement du style de volcanisme est aussi visible. Le type de dépôt clastique qui domine dans la Formation de Val-d'Or est beaucoup plus rare dans la Formation de Héva qui reflète une dynamique nettement plus effusive.

La Formation de Héva d'une épaisseur de 2 à 3 km à l'Est s'amincit vers l'Ouest jusqu'au contact avec le Stock de East-Sullivan pour ensuite disparaître sous le recouplement de la zone de faille de Cadillac. Contrairement à la Formation de Val-d'Or, la Formation de Héva à une grande homogénéité sur toute sa longueur. Elle est composée principalement de roches volcaniques mafiques intercalées de filons-couches et de dykes gabbroïques. Des turbidites et des coulées felsiques sont aussi retrouvées localement. La base de la formation est caractérisée par des tufs bréchiques polygéniques, des coulées mafiques coussinées et par l'unité de dacite sphérolitique. Cette dernière se prolonge sur plus de 21 km présentant une épaisseur de 300 à 700 m. Cette unité est le seul horizon repère retrouvé sur toute la longueur de la formation dans la région étudiée. Les tufs bréchiques polygéniques sont constitués de fragments felsiques et mafiques. Les fragments felsiques représentent possiblement des fragments érodés originaires de la Formation de Val-d'Or sous-jacente. Grâce à la morphologie bien développée des coussins, de même qu'à la présence de turbidites felsiques, une polarité vers le Sud a été constatée dans l'ensemble de la formation.

1.3.3 Géologie locale

La séquence stratigraphique de la mine East-Sullivan semble être monoclinale avec une polarité vers le Sud (figure 1.6)(Lavoie et al. 1998; Lavoie et al. 1999a; Lavoie et al. 1999b, 2001). La base de la séquence se compose d'une suite de coulées volcanoclastiques mafiques à intermédiaires de plus d'un kilomètre d'épaisseur. Ces volcanoclastites, composées de tufs à bloc et à lapilli à phénocristaux de hornblende et de feldspath, sont caractéristiques des niveaux centraux de la Formation de Val-d'Or (Pilote et al. 1997b; Scott et al. 1999). Ces volcanoclastites sont surplombées par un ensemble de lobes et de dykes felsiques variant entre 200 et 500 mètres d'épaisseur. Le contact entre les volcanoclastites et le complexe felsique n'est pas exposé. Cependant, selon les relations géométriques entre les affleurements, la zone de transition, si elle existe, ne peut pas excéder plus d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur. Ceci indique probablement un changement abrupt dans l'évolution du régime volcanique. De rares niveaux de matériel volcanoclastique de moins de dix mètres d'épaisseur sont interdigités entre les lobes felsiques, mais ils constituent moins de 5 % de la séquence. Le troisième ensemble lithologique de la séquence est une mince (<25 m) série de coulées coussinées à massives de composition intermédiaire. Ces coulées de laves intermédiaires semblent représenter l'unité basale du gisement de East-Sullivan. L'unité suivante constitue l'encaissant du gisement; c'est un ensemble de tufs felsiques fins à grossiers en lits métriques et associés à des lobes décimétriques bréchifiés de lave felsique. La séquence de la mine se termine par

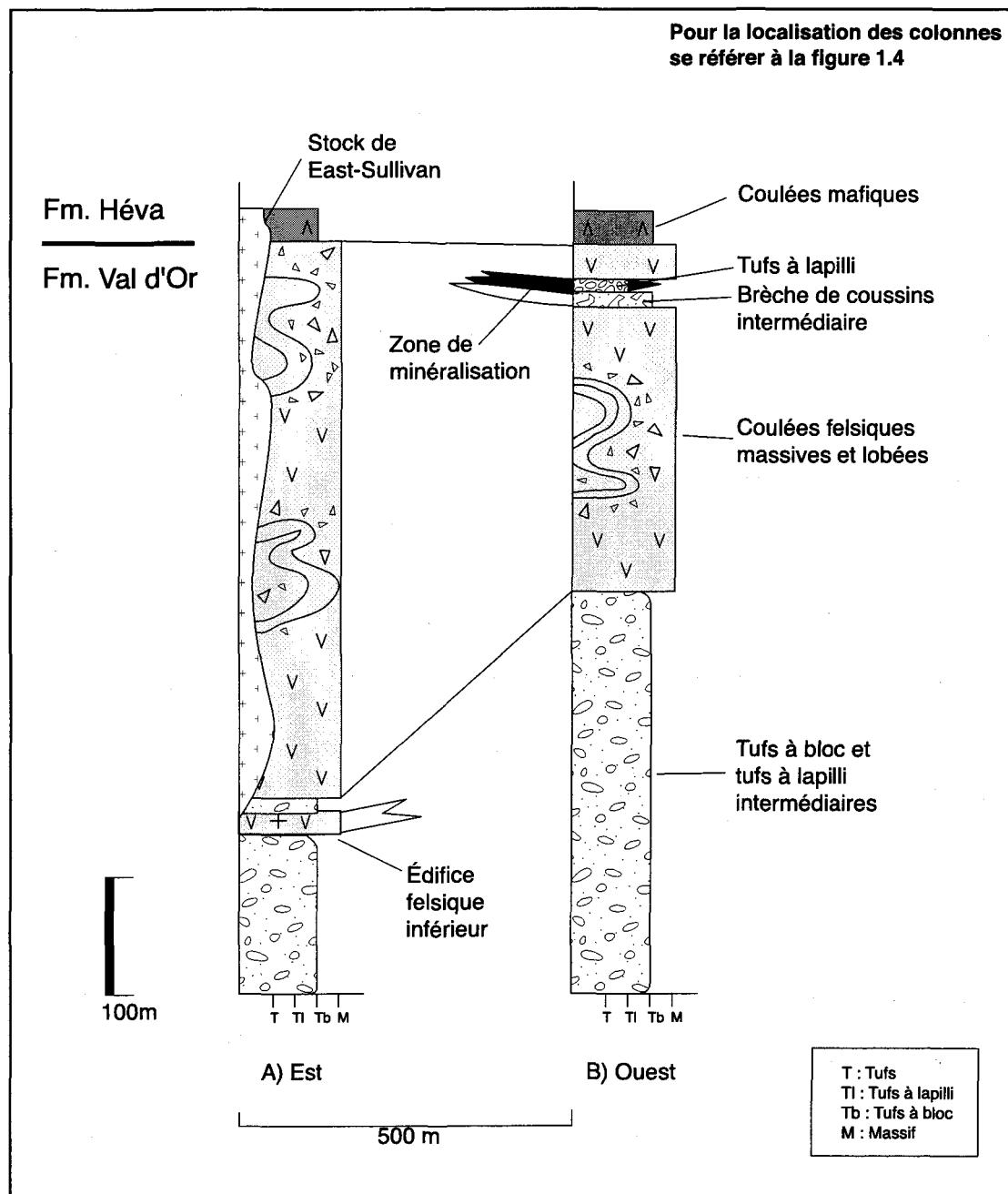


Figure 1.6 : Colonnes stratigraphiques simplifiées de la séquence de la mine.

des coulées intermédiaires massives. Les premiers affleurements ensuite visibles au sud du gisement consistent en un complexe de laves et de dykes de composition mafique appartenant probablement à la Formation de Héva sus-jacente en séquence continue avec la Formation de Val-d'Or (Pilote et al. 1999a; Pilote et al. 1999b).

Outre les roches volcaniques, quelques unités de roches intrusives sont présentes dans la région du gisement de East-Sullivan. Sous le gîte, quelques intrusions porphyriques à quartz et feldspaths ont été mises en évidence par de nombreux forages. Des indices de minéralisations aurifères sont d'ailleurs associés à ces porphyres (Simard 1991). Le gisement de East-Sullivan est lui-même recoupé par deux séries de dykes. La première, la diorite porphyrique de Bourlamaque, est un important dyke syn-volcanique dioritique à phénocristaux de feldspath vert. Ce dyke, d'une épaisseur de près de cent mètres (figure 1.4), recoupe au Sud-Est la partie supérieure du gisement pour être ensuite tronqué à son tour par les unités subséquentes. La seconde série de dykes, est illustrée par le porphyre de East-Sullivan, d'âge tardif (2684 +/- 1 Ma) (Pilote et al. 1999a) et à phénocristaux de feldspath rose. Ce dyke est probablement contemporain au Stock de East-Sullivan parfois aussi nommé "Centre Post" (Bérubé 1974) ou stock de East-Sullivan. Le Stock de East-Sullivan est une intrusion multiphasée concentrique de 5 kilomètres de diamètre de composition monzonitique à trachytique (Assad 1958; Bérubé 1974; Taner 1996). Cet intrusif tardif recoupe la partie Est du gisement de East-Sullivan et fût autrefois associé,

selon l'école épigénétique des années cinquante, à la genèse du gîte de sulfures massifs par Assad (1958).

1.3.4 La mine East-Sullivan

La mine East-Sullivan (planche 1.1) est située à moins de six kilomètres de la ville de Val-d'Or (SNRC 32C/04) dans la partie ouest du canton de Bourlamaque (figure 1.5).

Le gisement fut découvert par le géologue George Dumont au milieu des années quarante. En 1944, une anomalie magnétique a été délimitée suite à un levé géophysique au magnétomètre (Innes 1949; Assad 1958). Une campagne de forages fut effectuée en 1944-1945 pour vérifier l'anomalie. Vers la fin de 1945, deux lentilles de sulfures massifs sub-affleurantes étaient connues. Un puit d'exploration fut creusé en 1946 et vers la fin de 1947, 3,5 Mt de minerai avec une teneur moyenne de 2,2 % Cu était délimitées (Assad 1958). La mine entra en production le 2 janvier 1949 avec une production journalière moyenne de 2500 tonnes par jour pour la première année (tableau 1.2). La teneur moyenne du minerai a diminué de façon constante tout au long de l'exploitation de la mine.

Ces faibles teneurs ont obligé, au début des années soixantes, à porter l'extraction de minerai à plus de 2800 tonnes par jour. En 1956, le puits a été approfondi à 4000 pieds et durant les années subséquentes des galeries d'exploration ont été creusées mais sans



A. «Pole track» reliant la Route 117 à la mine East Sullivan, en 1949 au début de la mise en chantier.
(Photo: Société d'histoire de Val d'Or, Fonds Herby Goyette)



B. Vue aérienne vers l'est de la mine East Sullivan en 1964, quelques années avant sa fermeture.
L'exploitation des piliers de surface apparaît en phase initiale avec une seule petite fosse. (Photo: Société d'histoire de Val d'Or, Fonds Lorenzo Gauthier).

Planche 1.1 : La mine East-Sullivan.

Tableau 1.2 : Statistiques de production de la mine East-Sullivan

Année	Valeur \$	Usinage t	Cu %	Zn %	Au once/t	Ag once/t	Moulin t/jour	Réserves connues t
1949	7 326 906	768 746	2,05	1,14	0,02	0,51	2 500	4 372 000
1950	13 523 035	869 587	2,16	2,09	0,03	0,78	2 383	4 918 000
1951	13 558 674	904 762	1,64	1,90	0,03	0,61	2 479	4 375 252
1952	12 091 100	898 338	1,75	1,45	0,02	0,49	2 454	3 826 577
1953	7 717 231	909 140	1,38	0,45	0,01	0,32	2 550	3 421 000
1954	5 907 191	916 119	1,13	0,10	0,01	0,20	2 550	3 402 500
1955	8 781 107	958 225	0,92	0,88	0,01	0,27	2 550	3 405 700
1956	7 966 978	895 188	1,00	0,69	0,01	0,31	2 550	3 435 500
1957	4 910 879	905 241	0,95	0,44	0,01	0,28	2 480	3 104 000
1958	3 240 146	896 375	0,75	nd	0,00	0,17	2 455	3 050 000
1959	4 742 840	957 137	0,75	0,76	0,00	0,17	2 620	3 004 000
1960	6 389 545	974 532	0,70	1,18	0,01	0,38	2 663	2 790 000
*1961	3 194 157	674 802	0,69	0,47	0,01	0,19	2 817	2 550 000
1962	5 572 211	997 403	0,72	0,61	0,01	0,22	2 733	2 100 000
1963	4 471 373	1 017 575	0,63	0,15	0,00	0,17	2 760	1 560 000
1964	4 494 528	990 669	0,53	0,32	0,00	0,17	2 710	1 177 000
1965	4 361 402	993 321	0,54	0,19	0,00	0,13	2 721	350 000
1966	5 113 174	954 536	0,61	nd	0,00	0,13	2 700	165 000
Total:	123 362 477	16 481 696	1,03	0,70	0,01	0,30	2 595	

*Arrêt de la production 4 mois pour l'amélioration au circuit de flottation et permettre de traiter un plus grand tonnage.

permettre l'augmentation des réserves. Lors de la dernière année d'opération, la production de la mine provenait principalement de l'exploitation des piliers de surface. Les opérations de renouvellement des réserves, consistant en des forages profonds à partir des derniers niveaux de la mine et des galeries d'exploration dans le stock de East-Sullivan, se sont soldées par un échec. La mine a cessé sa production en 1966 avec seulement 165 000 tonnes de réserves connues. Au total, plus de 16 millions de tonnes de minerai avec des teneurs moyennes de 1,023 % Cu, 0,695 % Zn et 0,329 g/t Au (Pilote et al. 1997b) ont été extraites de vingt-quatre lentilles de sulfures massifs.

1.3.5 Les gisements de sulfures massifs volcanogènes de la région de Val-d'Or

La région de Val-d'Or (figure 1.1) est l'hôte de plusieurs gisements de métaux de base de type sulfures massifs volcanogènes qui totalisent plus de 45 Mt (Couture 1991). Le potentiel en métaux de base du camp de Val-d'Or est souvent considéré comme faible malgré le fait que trois gisements (figure 1.5) importants ont été exploités avec profit par le passé.

Les principaux gisements (tableau 1.3) de sulfures massifs volcanogènes de la région de Val-d'Or sont ; la mine East-Sullivan (16,4 Mt), la mine Manitou-Barvue (11,2 Mt), le gîte de Dunraine (0,3 Mt), les lentilles de Louvem (1,6 Mt) et la mine Louvicourt (12,5 Mt et toujours en exploitation). Pour fin de comparaison, suivent de courtes descriptions basées

Tableau 1.3 : Mines de sulfures massifs volcanogènes de la Formation de Val-d'Or

	East-Sullivan (Sullico)	Louvicourt	Manitou-Barvue (Golden-Manitou)	Louvem	Dunraine
Canton	Bourlamaque	Louvicourt	Bourlamaque	Louvicourt	Louvicourt
Date de découverte	1944	1989	1923		
Duré d'exploitation	1949-1966	1995-en cours	1942-1979	1970-1981	1956-1958
Tonnage (Mt)	16,4	15,1	11,2	1,6	0,3
Teneurs moyennes	1,03% Cu, 0,7% Zn 0,3g/t Au, 9,6g/t Ag	3,6% Cu, 1,7% Zn 0,8g/t Au, 28g/t Ag	0,31% Cu, 3% Zn 0,9g/t Au, 71g/t Ag	% Cu, % Zn g/t Au, g/t Ag	1,5% Cu 0,2g/t Au, 2,9g/t Ag
Métaux totaux*	141kt Cu, 73kt Zn 3,7t Au, 119t Ag	1160kt Cu, 194kt Zn 6,2t Au, 168t Ag	33kt Cu, 300kt Zn 9,3t Au, 1,1t Ag	18kt Cu, 60kt Zn 1,2t Au, 31,4t Ag	4kt Cu 0,05t Au, 0,9t Ag
Minéralogie	Cpy, Po, Py, Sp	Cpy, Po, Py, Sp	Cpy, Sp, Py, Ga		Cpy, Py
Forme de la minéralisation	Zn discordante Zn-Cu concordante	Cu discordante Zn-Cu concordante	Cu discordante Zn-Ag concordante		Disséminée dans des couloirs de cisaillement
Encaissant	Volcanoclastites felsiques	Volcanoclastites felsiques	Volcanoclastites felsiques	Volcanoclastites felsiques	Volcanoclastites et coulées felsiques

Source : Pilote et al. (1998a), *Couture (1991)

sur Pilote et al. (en préparation), de deux gisements de la région de Val-d'Or, soit la mine Manitou-Barvue et la mine Louvicourt.

La mine Manitou-Barvue est située à 10 km à l'est de la ville de Val-d'Or vers le milieu stratigraphique de la Formation de Val-d'Or soit à 1,2 km de la base sur une épaisseur de 2,5 à cet endroit. La découverte originale, un indice de chalcopyrite et de pyrite, a été réalisée par prospection en 1923. La production a débuté en août 1942 pour se terminer en 1979. Deux zones ont été exploitées. La Zone A, minée de 1942 à 1979, a produit 7,95 Mt @ 4,52% Zn, 0,45 % Pb, 3,36 on/t Ag, et 0,033 on/t Au. La Zone B, exploitée de 1955 à 1971, a produit 4,02 Mt @ 0,92 % Cu et 0,022 on/t Au. La mine se composait de deux zones : 1) une zone discordante à cuivre, et 2) une zone subconcordante à zinc et argent.

La mine Louvicourt est située à 25 km à l'est de la ville de Val-d'Or, dans la portion inférieure de la Formation de Val-d'Or . C'est un gisement polymétallique à Cu-Zn-Au-Ag de type sulfures massifs volcanogènes. En date du 1er janvier 1997, les réserves minières étaient de 12,5 millions de tonnes à une teneur de 3,6% Cu, 1,7%, Zn, 0,8 g/t Au et 28 g/t Ag (Moorhead et al. 2000). La mine a été découverte en juin 1989 grâce à un programme de forages profonds sous les lentilles de sulfures massifs exploitées au cours des années 1970 par Louvem (Whiteway 1995). Le gisement de Louvicourt se situe près du contact nord de la Formation de Val-d'Or, à la base de la séquence de volcanites felsiques. La

séquence volcanique locale est renversée avec une orientation est-ouest, un pendage de 70° vers le Nord et une polarité vers le Sud (Moorhead et al. 2000).

1.4 CLASSIFICATION

1.4.1 Métallogénie et classification des sulfures massifs volcanogènes

Dans la partie québécoise de la ceinture de l’Abitibi, la majorité des gisements de Cu-Zn de type sulfures massifs volcanogènes se retrouvent dans des complexes volcaniques évolués. Le volcanisme change graduellement de suites tholéïitiques vers des suites calco-alcalines. Les séquences volcaniques évoluent aussi de mafiques à felsiques et sont associées à des intrusions comagmatiques (Franklin 1990; Chartrand 1991). Ces complexes sont édifiés sur des plaines sous-marines de grande étendue, composées de laves d'affinité tholéïitique à komatiitique et d'intrusions de composition mafique à ultramafique. Les complexes volcaniques peuvent être bimodaux (mafiques-felsiques) ou montrant une évolution compositionnelle continue (basalte-andésite-dacite-rhyolite). Les principaux constituants des séquences volcaniques sont les coulées de laves, les dômes felsiques sous-marins et les séquences volcanoclastiques qui leur sont associées.

La présence d'intrusions synvolcaniques (Galley 1995) et la topographie sous-marine (Lydon 1984b) contrôlée par des processus géomorphologiques et structuraux sont les

principales contraintes qui dictent l'emplacement des dépôts de sulfures massifs volcanogènes. Les dépôts se localisent dans des dépressions situées entre les dômes rhyolitiques, au sommet, sur les flancs ou encore à l'intérieur de ces dômes. La formation d'un dépôt de sulfures massifs volcanogènes est généralement associée à une période de relative tranquillité ou passivité du volcanisme.

De façon simplifiée, un gisement de sulfures massifs volcanogènes se présente généralement sous la forme d'une épine de filonnets minéralisés discordante surmontée d'un chapeau stratiforme de sulfures massifs (figure 1.7). Ce modèle descriptif classique des gîtes de sulfures massifs volcanogènes est présenté en détail dans Lydon (1984a).

Les dépôts de sulfures massifs volcanogènes ont déjà été classifiés sur la base de leur contenu en métaux de base (Franklin et al. 1981), ou en or (Poulsen et Hannington 1996), de leur environnement géologique et de leur roches hôtes (Barrie et Hannington 1997), par la composition de leur encaissant (Divi et al. 1979), ou bien par le type et la distribution de leurs zones d'altération (Morton et Franklin 1987). Franklin et al. (1997) soutiennent pour leur part, que l'utilisation de l'environnement géologique comme critère de classification est supérieur aux systèmes utilisant la composition du minéral. Ces derniers mettent en évidences les membres atypiques d'une classe de minéralisation, alors que la classification par l'environnement géologique facilite la compréhension générale du mode de mise en

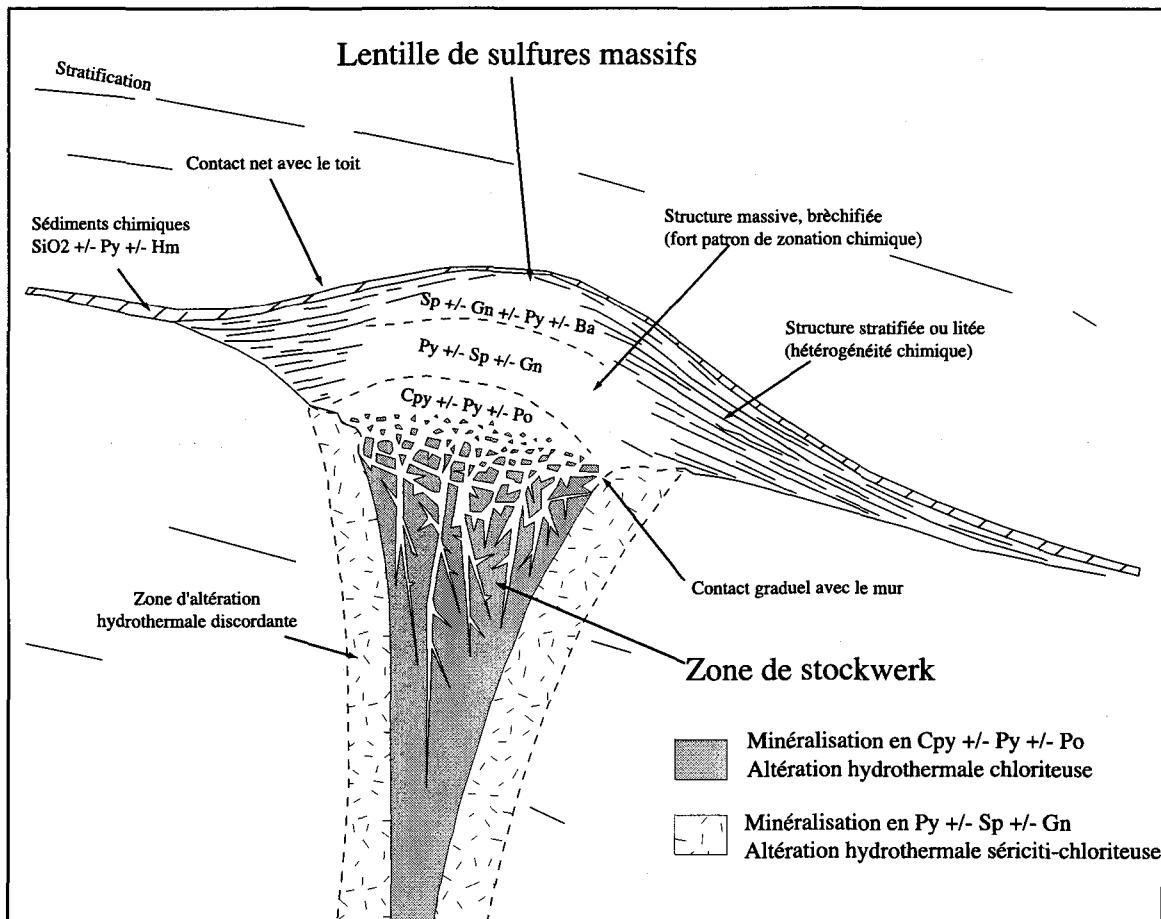


Figure 1.7 : Caractéristiques essentielles d'un dépôt idéalisé de sulfures volcanogènes.
(Modifié de Lydon 1984)

place. Une fois ces processus connus, la discrimination de critères d'exploration efficaces est chose plus facile.

Dans le cadre de cette étude, deux systèmes de classification ont été privilégiés. Le système de Morton et Franklin (1987) est basé sur la bathymétrie présumée de mise en place, sur le type d'altération et sur la distribution des zones d'altération. Puis celui plus récent de Franklin et al. (1997) qui s'appuie sur la composition de l'encaissant immédiat au gisement. Ces deux classifications sont utilisées dans un objectif de concordance et de facilité de comparaison avec la littérature existante, pour la première, et les toutes dernières études concernant les gisements de sulfures massifs volcanogènes pour la seconde. Une description résumée de chacun des systèmes de classification suit.

1.4.2 Ancienne classification des sulfures massifs volcanogènes (Morton et Franklin, 1987)

Le type Noranda discordant (tableau 1.4), nommé selon les gîtes de la région de Rouyn-Noranda (Franklin 1993), est aussi représentatif des gîtes de la région de Matagami au Québec, de même que ceux de Flin-Flon au Manitoba (Franklin 1996). Ces gisements sont réputés s'être formés à des profondeurs de plus de 500 mètres. Les faciès volcaniques sont généralement massifs et il n'y a pas de signe d'explosion hydrovolcanique (Morton et Franklin 1987). L'absence d'explosion sous-marine résulte probablement du confinement

Tableau 1.4 : Classification des sulfures massifs volcanogènes selon la nomenclature de Morton et Franklin (1987)

Type de Gisement	Mattabi	Noranda
Bathymétrie	< 500 m	> 500 m
Roches encaissantes	Coulées pyroclastiques, Coulées de laves felsiques	Coulées de laves felsiques et mafiques, Hyaloclastites
Zones d'altération	Altération semi-concordante mal définie	Grande cheminée d'altération discordante
Minéraux d'altération	Chlorite-Fe,Mg, sidérite, ankérite, séricite, quartz	Chlorite-Fe,Mg, séricite, quartz
Types d'altération	Carbonatation	Chloritisation
Variations chimiques	+Fe +Co2 +K +Mn -Ca -Na	+Mg +Fe +K -Na

des laves sous la pression exercée par l'épaisse colonne d'eau (Fisher 1984). Cependant, les faciès autoclastiques et de fragmentation hydroclastique peuvent être présents car ils sont indépendants de la pression externe (Fisher et Schmincke 1984). La cheminée d'altération discordante des gisements Noranda est caractérisée par la chlorite magnésienne, le quartz, la séricite et les carbonates (Morton et Franklin 1987; Groves et Barley 1994; Franklin 1996).

Le type Mattabi concordant (Galley 1993) a été défini selon les gîtes de la région de Sturgeon Lake, Ontario (Groves et Barley 1994). D'autres exemples sont les gisements de Hackett River, Territoires du Nord-Ouest, Kidd Creek, Ontario (Franklin 1996), la mine Mobrun, Québec (Larocque et Hodgson 1993) et Normétal, Québec (Lafrance et al. 2000). Les unités lithologiques encaissantes des gisements de type Mattabi sont dominées par les roches volcaniques fragmentaires. On retrouve des tufs, des coulées pyroclastiques et hyaloclastiques et des brèches de coulées (Morton et Franklin 1987; Groves et al. 1988; Morton et al. 1991). La minéralisation est associée aux unités de tufs fins lités d'origine pyroclastique (Morton et al. 1991). Les laves bréchiques et à coussins sont aussi présentes (Groves et al. 1988) avec un important pourcentage d'amygdales (jusqu'à 50 %) (Morton et Franklin 1987). Ces assemblages de roches hautement vésiculaires et bréchiques sont interprétés comme des gîtes formés par l'interaction explosive de l'eau et du magma en milieu sous-marin peu profond ou subaérien (Morton et Franklin 1987; Groves et al. 1988; Morton et al. 1991). L'absence de vésicularité dans les roches produites à grande

profondeur est cependant remise en cause. La découverte de basaltes vésiculaires qui se seraient mis en place sous plus de 1800 m d'eau jette un doute sur ce critère de bathymétrie (Gill et al. 1990).

La zone d'altération sous les gisements de type Mattabi est moins bien définie, généralement plus large et la zonation des paragénèses d'altération est plus diffuse que celle présente sous le type Noranda (Franklin et al. 1975; Morton et Franklin 1987). Les minéraux d'altération y sont la chlorite ferrifère, les carbonates de fer, la séricite et le quartz (Morton et Franklin 1987; Franklin 1990). La sidérite est le carbonate d'altération dominant dans la cheminée d'altération (Franklin et al. 1975) alors que c'est l'ankérite dans la zone semi-concordante (Morton et Franklin 1987). La zonation des types de carbonates semble contrôlée par deux facteurs, (a) la composition originale de la roche hôte, et (b) la proximité des zones d'altérations discordantes riches en fer qui se retrouvent communément sous les gîtes de sulfures massifs volcanogènes (Galley 1993). Contrairement aux gisements de type Noranda, la zone d'altération semi-concordante et la cheminée d'altération ont une composition similaire (Morton et Franklin 1987). La distinction entre ces deux faciès doit donc être établie avec d'autres critères que la paragénèse d'altération.

1.4.3 Nouvelle classification des sulfures massifs volcanogènes (Franklin et al., 1997)

L'examen attentif de nombreux gisements de sulfures massifs volcanogènes et de leur contexte tectono-stratigraphique permet de les classer en cinq types généralisés basés sur leur association lithologique (Franklin et al. 1997). L'utilisation des associations lithologiques ou de l'environnement géologique comme critère de classification, quoique plus sujet à l'interprétation, permet une spécification qui est plus robuste quand vient le moment d'émettre des critères d'exploration efficaces. Ces descriptions permettent de regarder au-delà de l'altération proximale au gisement qui est impliquée dans la classification Mattabi-Noranda et de regarder un environnement géologique de taille kilométrique dans tout son ensemble.

Les cinq types de cette classification sont : 1) bimodal-mafique dominant, 2) bimodal-felsique dominant, 3) ophiolite, 4) mafique-sédimentaire associé et 5) bimodal-sédimentaire dominant. Leurs caractéristiques principales sont résumées au tableau 1.5.

Le type « bimodal-mafique » dominant est défini comme ayant plus de 50% de roches volcaniques mafiques et plus de 3% de roches volcaniques felsiques, le reste de la séquence stratigraphique hôte du gisement est généralement composé de roches sédimentaires associées. L'abondance des roches mafiques est au moins trois fois supérieure à celle des roches felsiques, mais ces dernières constituent généralement l'encaissant immédiat des

Tableau 1.5 : Classification des sulfures massifs volcanogènes selon la nomenclature de Franklin *et al.* (1997)

Type de Gisement	Bimodal-mafique dominant	Bimodal-felsique dominant	Ophiolite	Mafique-sédimentaire associé	Bimodal-sédimentaire dominant
Environnement	Arc volcanique primitif	Arc volcanique mature	Fond océanique	Rift continentaux et océaniques	Arc continental
Lithologies dominantes	>50% volc. mafiques >3% volc. felsiques	>50% volc. felsiques <15% sédiment	>75% volc. mafiques <1% volc. felsiques	Rapport égal entre roches mafiques et turbidites terrigènes	Rapport égal entre roches volcaniques et roches sédimentaires
Encaissant immédiat	Felsique calco-alcalin	Felsique calco-alcalin	Mafique tholéïtique	Sédiment	Felsique calco-alcalin
Exemple classique	Camp Noranda, Qc Camp Flin-Flon, Ma	Hokuroku, Japon	Mine Potter, On Troodos, Chypre	Besshi, Japon	Camp Bathurst, Nb Ceinture Ibérienne
Minéralogie et taille	Riche en Cu	Plus riche en Zn, Ag fort tonnage	Riche en Cu et pauvre en Pb	Riche Cu, Pb fort tonnage	Les plus gros SMV faible Cu, haut Pb
Période d'abondance	Archéen tardif à PaléoProtérozoïque	Archéen jusqu'à Phanérozoïque	Exclusivement Phanérozoïque	MésoProtérozoïque et plus jeune	Exclusivement Phanérozoïque

gisements. Ce type de gisement de sulfures massifs volcanogènes est le plus commun et il présente un contenu moyen en cuivre supérieur aux autres à l'exception du type ophiolite associé. Ils sont les plus courants à l'Archéen tardif et au Protérozoïque précoce. De façon simplifiée, la composition de la roche encaissant le gisement peut être associée aux arcs volcaniques primitifs. Les volcanites mafiques sont le plus souvent des basaltes tholéitiques; elles peuvent toutefois localement être d'affinité transitionnelle ou calco-alcaline. Les roches felsiques sont des rhyolites de série transitionnelle à calco-alcaline. Les exemples classiques pour ce type de gisement sont ceux du camp minier de Rouyn-Noranda.

Le type « bimodal-felsique » dominant est caractérisé par une abondance de plus de 50 % de roches felsiques, de moins de 15 % de roches sédimentaires alors que des roches volcaniques mafiques et des roches intrusives composent le restant des unités lithologiques de la séquence stratigraphique encaissante. Ces gisements ont une distribution temporelle comparable à ceux de type bimodal-mafique dominant, mais ils sont aussi plus abondants au Phanérozoïque. Ils se retrouvent dans des environnements d'arc volcanique plus mature que les premiers. Les roches felsiques encaissantes sont principalement calco-alcalines, même si des rhyolites transitionnelles très siliceuses sont courantes. Similairement, les roches mafiques sont d'affinité transitionnelle à calco-alcaline. Les exemples classiques de ce type sont les dépôts du camp Hokuroku au Japon. Le type bimodal-felsique dominant est celui qui a en moyenne les plus hautes concentrations en zinc et argent.

Le type « ophiolite » est défini par deux critères : une séquence stratigraphique hôte dominée à plus de 75 % par des roches mafiques et la quasi absence de roches felsiques avec moins de 1 % d'occurrences. L'encaissant du gisement présente souvent des roches sédimentaires ou des roches ultramafiques ou les deux. Ce type caractérise les gisements en terrains ophiolitiques et est presque exclusivement d'époque Phanérozoïque. Comparativement aux autres dépôts, ils sont riches en cuivre et pauvres en plomb.

Le type « mafique-sédimentaire » associé se présente comme ayant des proportions à peu près égales de roches mafiques intrusives ou extrusives et de sédiments turbiditiques terrigènes. Il peut aussi y avoir une fraction mineure de carbonates dans les sédiments. Les gisements de ce type sont d'âge Protérozoïque moyen à plus jeune et sont communément très déformés. Le gisement de Besshi au Japon est un exemple sub-aérien de ce type. Les dépôts de type « mafique-sédimentaire » associé sont les moins courants des sulfures massifs volcanogènes; leur tonnage moyen est cependant second au type bimodal-sédimentaire dominant.

Le dernier type de sulfures massifs volcanogènes, le « bimodal-sédimentaire dominant », est caractérisé par un assemblage en proportion plus ou moins égale de roches volcaniques et de roches sédimentaires. Les laves felsiques sont habituellement plus abondantes que les unités mafiques. Ce type de gisement est presque exclusivement d'âge Phanérozoïque; les gîtes de la ceinture de pyrite Ibérique en Espagne et au Portugal ainsi

que ceux du camp minier de Bathurst au Nouveau-Brunswick en sont des exemples. Les roches felsiques hôtes de ces gisements sont le plus souvent calco-alcalines alors que les roches mafiques sont plutôt tholéïitiques. Les dépôts de type « bimodal-sédimentaire dominant » sont les plus gros de tous les sulfures massifs volcanogènes; ils ont par contre les plus basses teneurs en cuivre et les plus hautes en plomb.

CHAPITRE II

CARACTÉRISATION VOLCANOLOGIQUE ET PÉTROGRAPHIQUE DES UNITÉS LITHOLOGIQUES PRÉSENTES DANS LE SECTEUR À L'ÉTUDE

2.1 INTRODUCTION

Pour bien comprendre le contexte de mise en place de l'altération et de la minéralisation dans les unités lithologiques du secteur à l'étude, ce chapitre sera consacré à la description pétrographique mégascopique et microscopique ainsi qu'à la description des structures et textures volcanologiques de ces unités lithologiques. Les roches de la séquence volcanosédimentaire encaissante seront traitées individuellement (figure 1.6), alors que les roches intrusives tardives seront présentées sommairement. Les roches volcaniques sont séparées en 4 types d'unités principales selon leurs diverses textures et structures volcaniques et selon leur composition apparente sur le terrain. Ces quatre types sont : les volcanoclastites de la Formation de Val-d'Or, les coulées felsiques, les coulées intermédiaires et les volcanoclastites de East-Sullivan. Un résumé des principales caractéristiques de chacune des unités encaissantes est présenté au tableau 2.1.

Tableau 2.1 : Synthèse des caractéristiques des unités lithologiques de la séquence stratigraphique de la mine East-Sullivan.

	Volcanoclastites de la Formation de Val d'Or	Coulées felsiques de East-Sullivan	Coulées intermédiaires de East-Sullivan	Volcanoclastites felsiques de East-Sullivan
Âge (U-Pb) et roche datée	2704 ± 2 Ma Rhyolites, mine Louvicourt		Plus de 2702 ± 2 Ma, selon les relations stratigraphiques Volcanoclastites, mine Akasaba	
Épaisseur	1-2 km	500 m	25 m	25 m
Composition	Andésites, dacites et rhyolites	Dacites et rhyolites	Andésites et dacites	Dacites et rhyolites
Affinité géochimique	Tholéïtique à transitionnelle	Calco-alcaline	Transitionnelle à calco-alcaline	Calco-alcaline
Morphologie des unités volcaniques	Amiboïdales à coussinées Coulées de débris et turbidites à haute et basse concentration	Dômes volcaniques massifs et lobés, volcanoclastites	Massives, coussinées à brèches de coussins	Lobes, brèches in-situ et volcanoclastites remaniées
Taille des fragments	0 à 80 cm	0 à 10 cm	0 à 20 cm	0 à 70
Vésicularité (%)	0 à 40	0 à 10	0 à 30	0 à 5
Épaisseur des lits	10 cm à 10 m	5 cm et plus	1 à 10 m	1 à 50 cm
Minéralisation		Sulfures disséminés	Sulfures disséminés	Sulfures disséminés et clastes de sulfures semi-massifs
Environnement	Sous-marin	Sous-marin	Sous-marin	Sous-marin
Style éruptif	Autoclastique, hydroclastique et pyroclastique	Effusif et pyroclastique	Effusif et autoclastique	Lobe intrusif, autoclastique, hyaloclastique et pyroclastique
Milieu tectonique	Développement de l'arc et proto-arc	Construction de l'arc	Construction de l'arc	Construction d'édifices felsiques

2.2 LES VOLCANOCLASTITES DE LA FORMATION DE VAL-D'OR

L'unité de matériel volcanoclastique, qui forme la base de la séquence (figure 1.6), est caractéristique de la Formation de Val-d'Or (Simard 1991; Scott et al. 1999) dans sa partie ouest. L'ensemble est constitué de lits amalgamés en unités de 5 à 40 m d'épaisseur et composé de tufs, de tufs à lapilli et de tufs à blocs. Les différents lits montrent des variations latérales et verticales de leurs textures allant de coussinés, bréchiques et finement lités. L'orientation moyenne du litage au niveau de la séquence de la mine East-Sullivan est de 062°N et la schistosité est orientée 075°N. Les roches, généralement de couleur verdâtre, sont composées de tufs à blocs avec des fragments peu déformés flottant dans une matrice de tufs grossiers à cristaux de feldspath. Les fragments mesurent de 1 à 40 cm; ils sont sub-anguleux à sub-arrondis et étirés selon la schistosité. Le niveau de déformation est de plus en plus important vers la zone de cisaillement qui contient le gîte aurifère de Aumaque, situé un kilomètre au nord de la mine East-Sullivan. Les fragments sont vésiculaires (0-40%) et contiennent communément des phénocristaux de hornblende (5%) et de feldspath (<5%) (planche 2.1a). Cette unité présente par endroits un litage très bien défini (10 à 150 cm) et parfois des petits niveaux de laves coussinées intercalées (<3m). Il y a des unités volcaniques équivalentes à ces volcanoclastites à hornblende qui sont visibles jusque dans le territoire de la ville de Val-d'Or. À l'Ouest du gisement, dans l'extension latérale de l'unité de matériel volcanoclastique (figure 1.4) les unités lithologiques deviennent plus



A. Tufts à bloc de composition intermédiaire à phénocristaux de hornblende et à matrice chloriteuse. Les fragments sont légèrement étirés selon la schistosité dominante. La déformation principale restreinte à cette localité résulte du couloir de cisaillement de Aumaque. Échelle 5 cm. Affleurement 97-SL-1001.

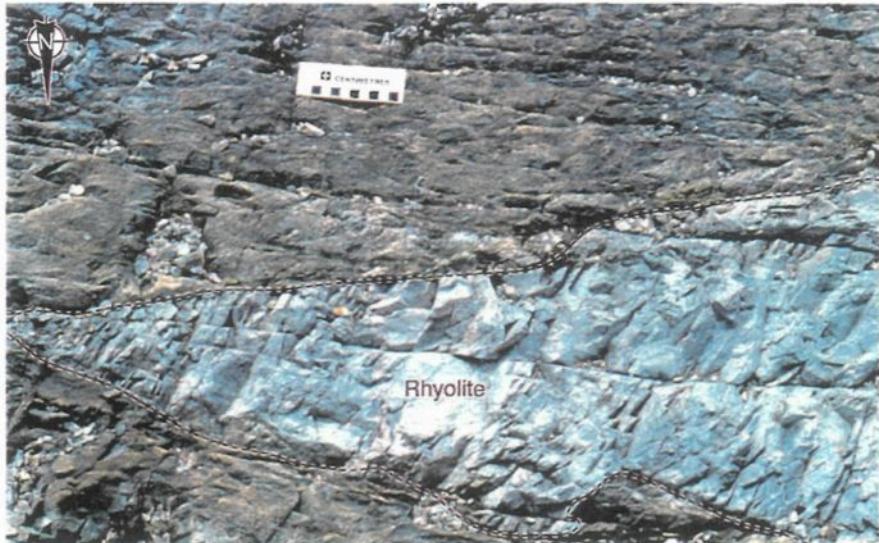


B. Brèche pyroclastique sans matrice fine provenant de l'est de la zone d'étude. Les blocs sont de composition intermédiaire. Marteau 30 cm. Affleurement 99-SL-3205.

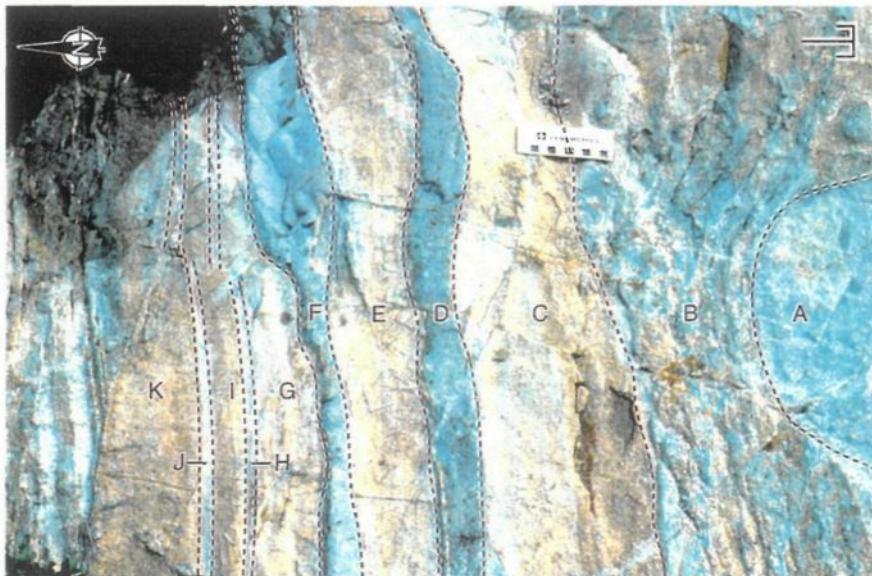
massives, sans stratification et sans granoclassement. De composition intermédiaire, ces volcanoclastites sont par endroits partiellement ou complètement dépourvues de matrice. Les fragments, de la taille du lapilli à celle du bloc, sont partiellement arrondis et se supportent (planche 2.1b).

La première occurrence de volcanisme felsique dans la séquence stratigraphique de la mine East-Sullivan, nommée ici « l'édifice felsique inférieur », est située dans l'unité de roches volcanoclastiques de la Formation de Val-d'Or. Un petit édifice felsique partiellement mesurable de 30 m de haut par 50 m de large, constitué de lobes felsiques métriques mal définis, de dykes et de volcanoclastites peu ou non remaniés, est situé à environ 500 m dans la stratigraphie sous le gisement et observable à l'affleurement 97-SL-1020 (figure 1.2). Les lobes felsiques sont aphanitiques et ne montrent aucune texture volcanique particulière. Ces lobes felsiques massifs sont fortement diaclasés, recoupent et sont eux aussi recoupés par des dykes mafiques (planche 2.2a).

Une série de volcanoclastites intermédiaires à felsiques, de la taille des tufs grossiers et exceptionnellement de celle des tufs à lapilli, est associée à l'édifice de lobes felsiques. Ces tufs lités sont orientés 080°N avec un pendage de 72° vers le Sud et recoupés par une schistosité orientée 062°N. Ces unités volcanoclastiques se présentent sous deux faciès : 1) les tufs felsiques moyens à grossiers beiges contenant 10 % de cristaux de feldspath d'une taille de 1 à 2 mm (B, D et F) et 2) les tufs fins verts et aphanitiques (planche 2.2b).



A. Première occurrence d'unité felsique dans la colonne stratigraphique de la mine East-Sullivan. Un lobe de lave felsique fortement diaclasé est recoupé par des dykes mafiques peu fracturés. Échelle 10 cm. Affleurement 97-SL-1020.



B. Tufs felsiques à cristaux de feldspath (B-D-F) interlités avec des tufs fins. Les lits sont parfois lités (B et E) ou granoclassés (C et G). À la droite, un gros bloc felsique (A) à cristaux de feldspath repose en discordance sur le litage d'un tuf mal défini (B). Polarité au sud. Échelle 10 cm. Affleurement 97-SL-

Planche 2.2 : Édifice felsique inférieur localisé 150m sous l'horizon minéralisé.

Toujours sur cette planche, les lits de 1 à 20 cm d'épaisseur sont parfois laminés (B et E), massifs (D, F, H et J), ou avec un granoclassement normal (K et G) ou inverse (C) et ce indépendamment de leur granulométrie. Au moins un gros bloc felsique (A) à cristaux de feldspath repose en discordance sur le litage d'un tuf mal défini (B) déformé sous le poids de la charge. Les tufs à lapilli affichent un aspect plus hétéroclite et leur stratification se confond avec la schistosité. Les fragments de composition intermédiaire, dont la taille s'étend de 1 à 8 cm, sont généralement aphanitiques, sub-arrondis et une faible proportion de lapilli présente une vésicularité de 15 %. Les fragments, tout comme la matrice, affichent une légère altération en chlorite.

2.3 LES COULÉES FELSIQUES DE EAST-SULLIVAN

Les coulées felsiques de East-Sullivan marquent un changement majeur dans le régime volcanique de l'environnement immédiat de la mine East-Sullivan. La Formation de Val-d'Or passe d'une dynamique effusive principalement pyroclastique à une autre moins explosive. L'atténuation de l'intensité énergétique du volcanisme se traduit par le remplacement des unités volcanoclastiques intermédiaires de la Formation de Val-d'Or pour des coulées felsiques massives.

Les coulées felsiques de East-Sullivan se présentent sous un aspect massif très uniforme et d'un bleu foncé. Aucune coulée de quelque grosseur que ce soit n'a été

différenciée sous le gisement, la construction felsique semblant monolithique. À quelques endroits dans les coulées felsiques (affleurements 97-SL-1036 et 97-SL-1037), des amygdales de quartz sont visibles. Elles mesurent en moyenne 3 mm, comptent pour moins de 1% du volume et sont presque toutes déformées plastiquement. L'étirement des amygdales forme des arrangements circulaires aléatoires qui ne suivent pas la schistosité.

À l'ouest du gisement, les unités felsiques montrent un peu plus de variété au niveau de leurs textures et sont par endroits interlitées avec des coulées intermédiaires (figure 2.1). Les coulées felsiques se présentent sous la forme de petits lobes décimétriques différenciables avec une bordure de trempe bien définie (planche 2.3a). Ces lobes, à forme de pseudo-coussins, mesurent entre 75 et 150 cm de largeur par moins de 80 cm de hauteur. Ils sont massifs, aphanitiques et sans vésicularité apparente. La bordure de trempe altérée et en relief négatif permet de séparer chacun des lobes individuels et de détailler leurs formes qui indiquent une polarité vers le Sud (planche 2.3a). Sous le niveau de petits lobes, le contact entre de gros lobes endogènes felsiques et des coulées intermédiaires est identifiable. À l'échelle de l'affleurement, les dimensions totales du lobe ne sont pas visibles; de ce fait, il mesure au moins plus de 3 m par 5 m. Le contact est très net avec les roches intermédiaires et le lobe felsique montre de nombreuses traces d'écoulement laminaire (planche 2.3b). Ces traces d'écoulement montrent des circonvolutions internes décimétriques à laminations centimétriques apparemment désordonnées (planche 2.4a). D'autres traces d'écoulement laminaire décimétrique sont visibles à l'est du gisement sur

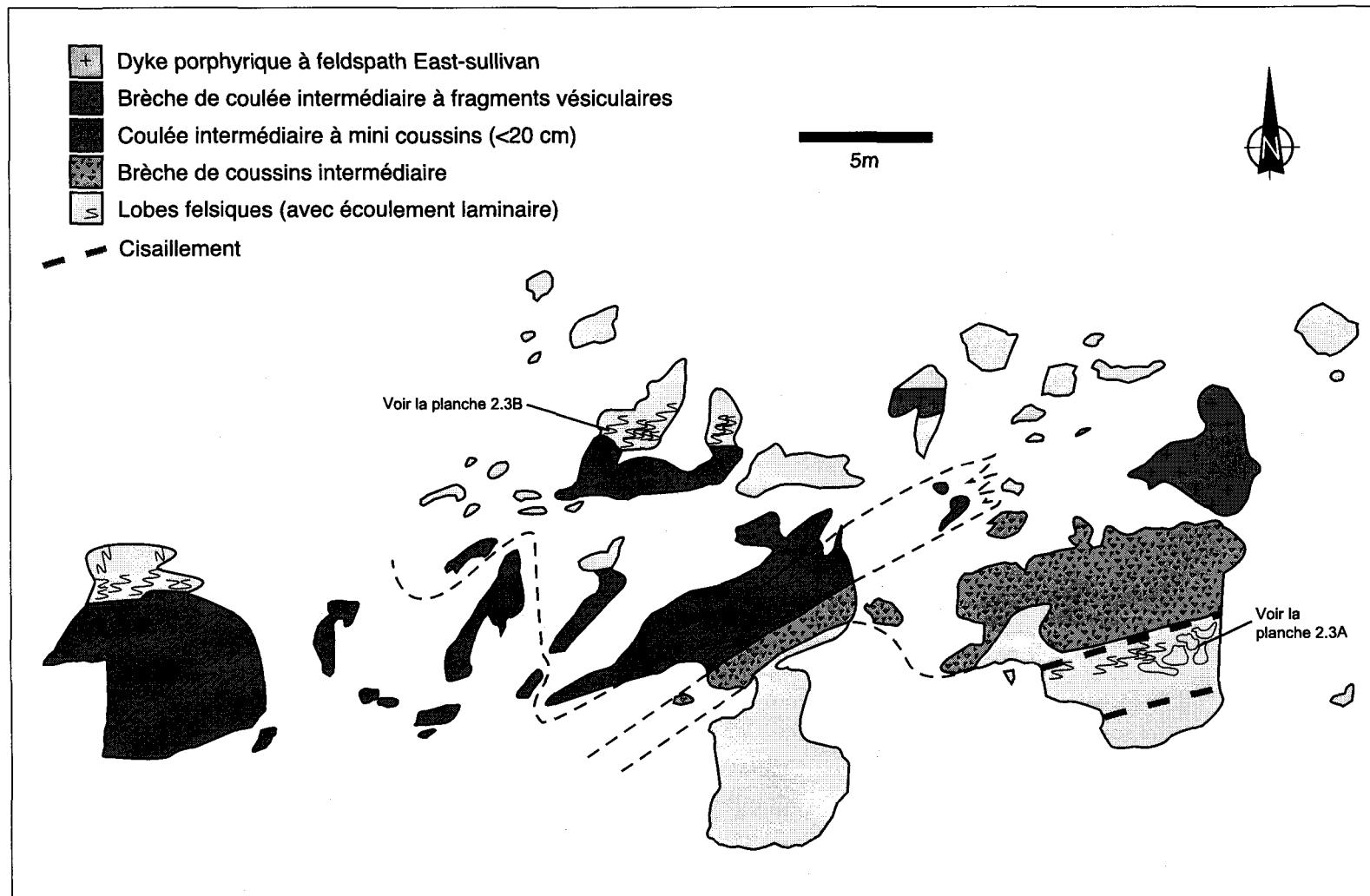
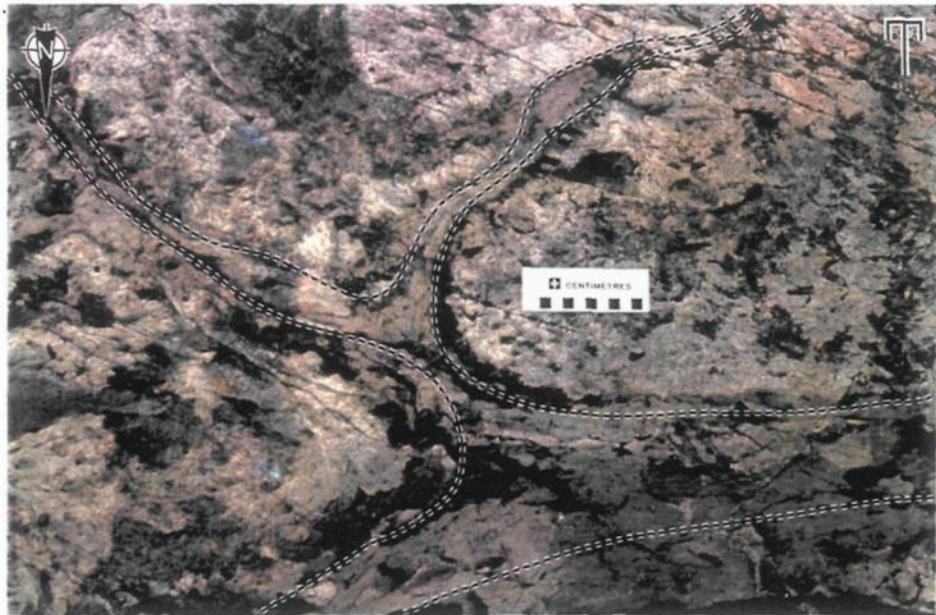
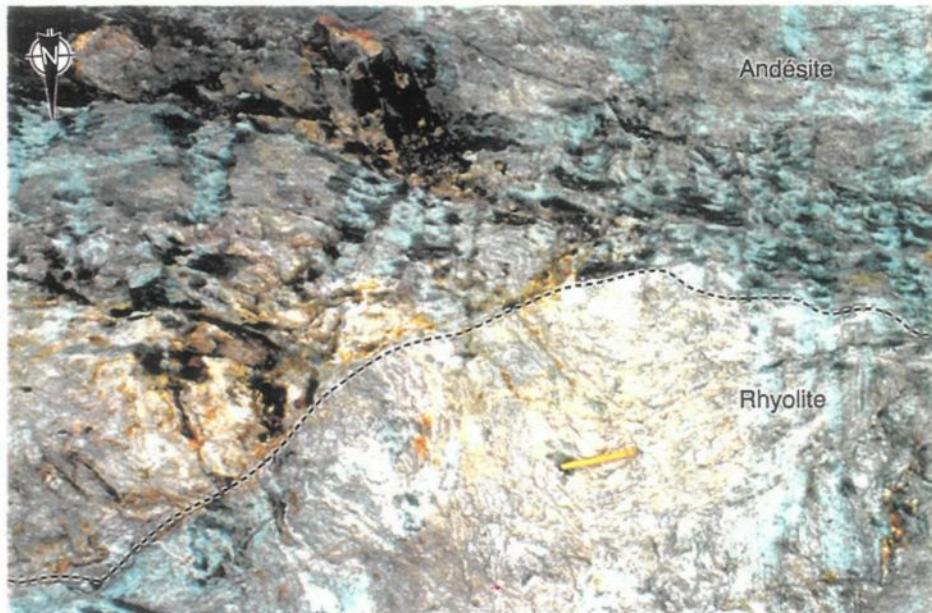


Figure 2.1 : Zone d'affleurements 97-SL-1055. Des coulées intermédiaires coussinées et des brèches de coussins et de coulées à fragments vésiculaires sont interlitées avec des lobes felsiques. Les lobes felsiques sont massifs, aphanitiques et présentent des textures d'écoulement laminaire.



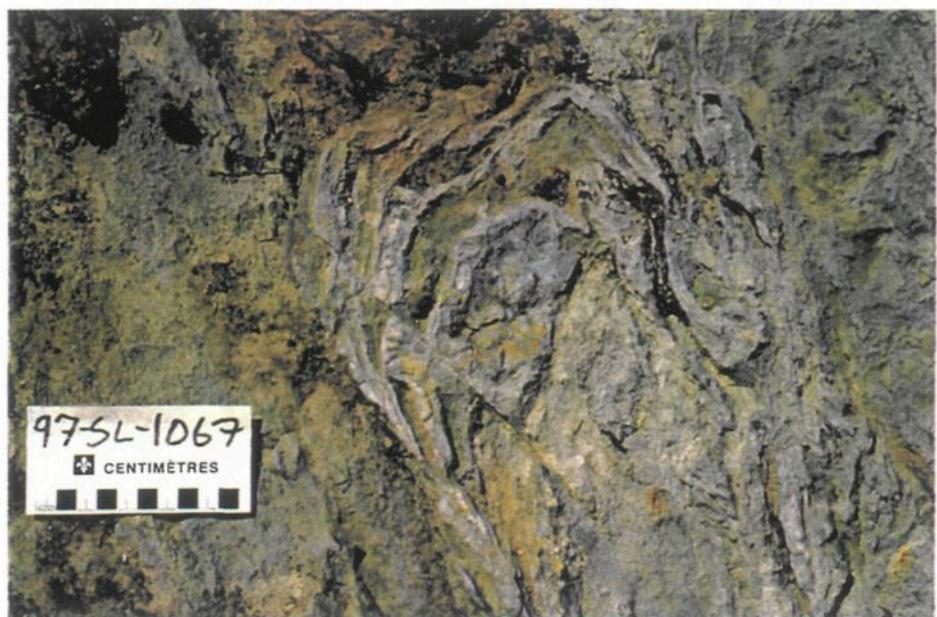
A. Lobes felsiques décimétrique : ses bordures montrent des zones de trempe et d'écoulement laminaire. Échelle 10 cm. Affleurement 97-SL-1055.



B. Lobe felsique à texture d'écoulement laminaire en contact direct avec l'unité de laves intermédiaires coussinées. Crayon 15 cm. Affleurement 97-SL-1055.



A. Fins détails d'écoulement laminaire recourbé au cœur d'un lobe felsique métrique. Crayon 8 cm.
Affleurement 97-SL-1055.

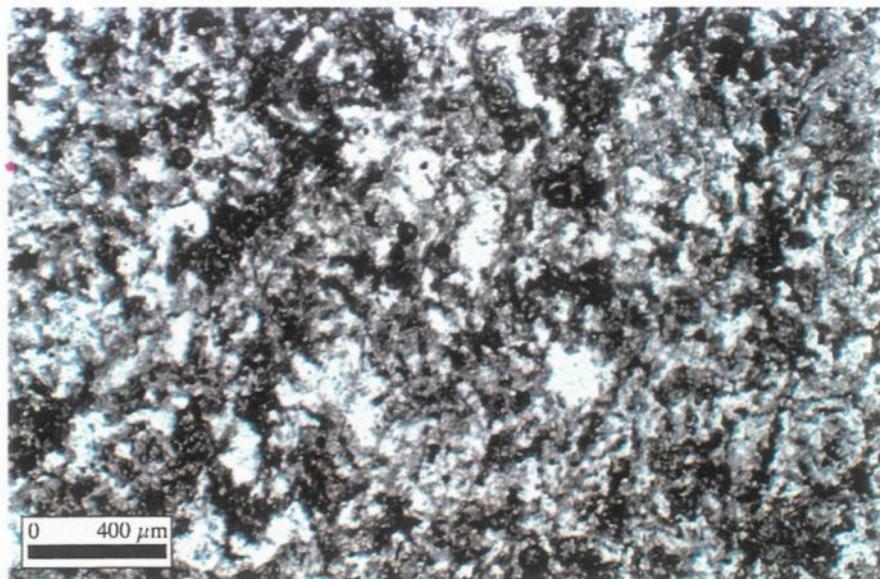


B. Lobe circulaire d'écoulement laminaire souligné par un haut relief siliceux. Échelle 10 cm.
Affleurement 97-SL-1067.

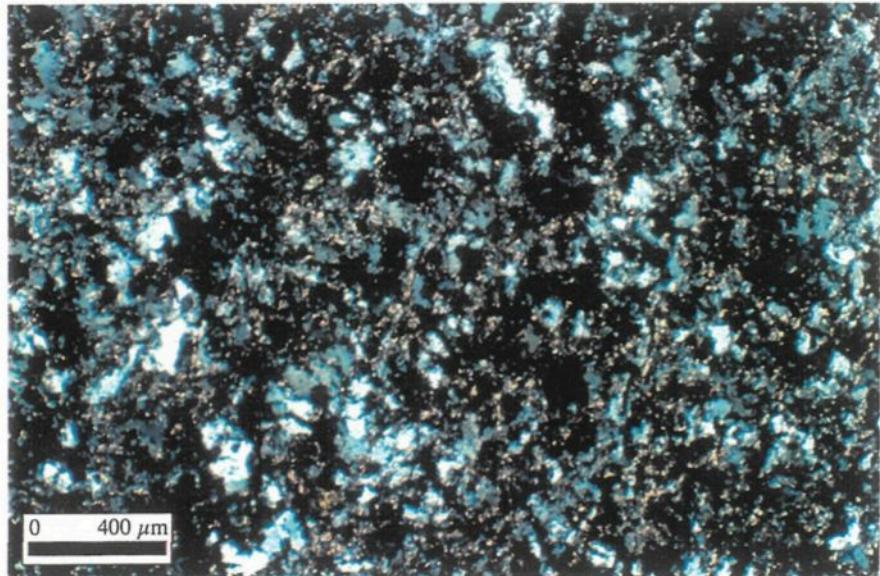
l'affleurement 97-SL-1067. Dans cet exemple, la déformation interne de la roche felsique est mise en évidence par une silicification (planche 2.4b) qui a permis de faire ressortir en haut relief la trace des structures.

L'aspect massif des laves en affleurement est confirmé par de nombreuses observations en lames minces (planche 2.5). La masse aphanitique montre une matrice quartzofeldspathique sans texture particulière. De rares échantillons montrent des phénocristaux (planche 2.6), mais seulement sous forme de spectres résiduels. La minéralogie originale est complètement oblitérée par une légère altération siliceuse et par le métamorphisme régional. Ce manque de texture est peut-être indicateur d'une nature originelle vitreuse et non cristalline des coulées rhyolitiques de la mine East-Sullivan (Cas et Wright 1987).

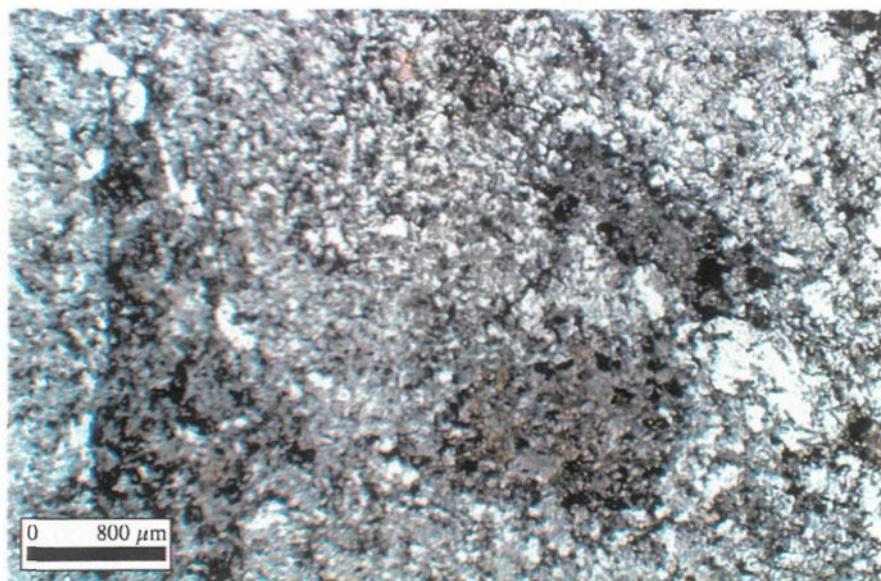
La série d'affleurements massifs, située aux environs de l'ancien chevalement de la mine, montre une faible schistosité orientée 075°N et un des rares indicateurs de déformation des environs. Cette schistosité peu développée est cependant caractéristique des environs de la mine et souligne le faible niveau de déformation qui y est associée. Une autre variation texturale est observée dans les rhyolites qui sont associées à la minéralisation (affleurement 97-SL-1080, 97-SL-1081). Ces coulées, situées à l'Est du gisement, sont affectées par une fracturation et une altération marquée qui peuvent résulter de la mise en place de la minéralisation.



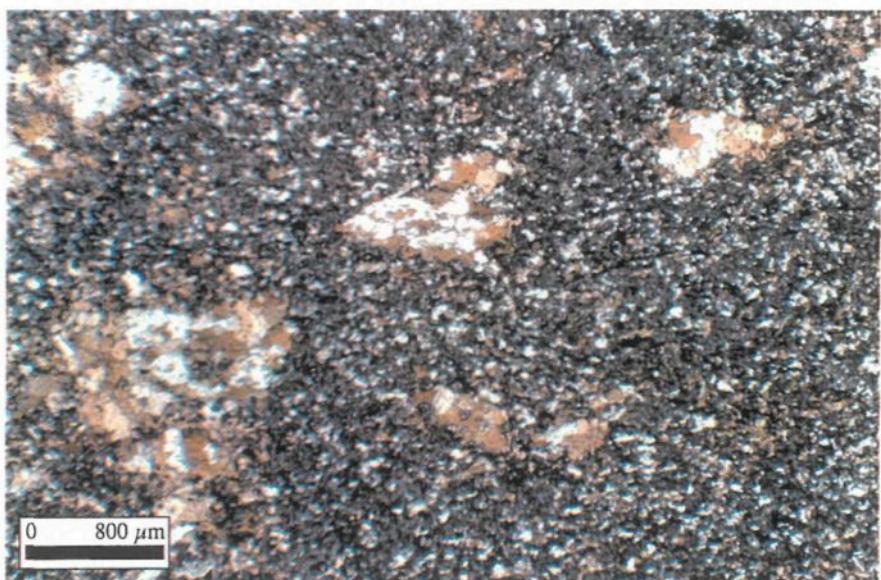
A. Microphotographie des coulées de lave felsiques de East-Sullivan, massives, bleu-gris et aphanitiques. En affleurement, ce faciès volcanique est le plus commun à la mine. La matrice quartzofeldspathique est accompagnée d'une altération en leucoxène brun. Lumière naturelle. Lame 97-SL-



B. Même échantillon en lumière polarisée. L'altération en leucoxène est accompagnée d'une légère séricitisation. Aucune texture volcanique primaire n'est observable.



A. Microphotographie des laves felsiques massives. Des fantômes de phénocristaux de feldspath sont encore visibles sous l'altération. Lumière naturelle. Lame 97-SL-1030-A.



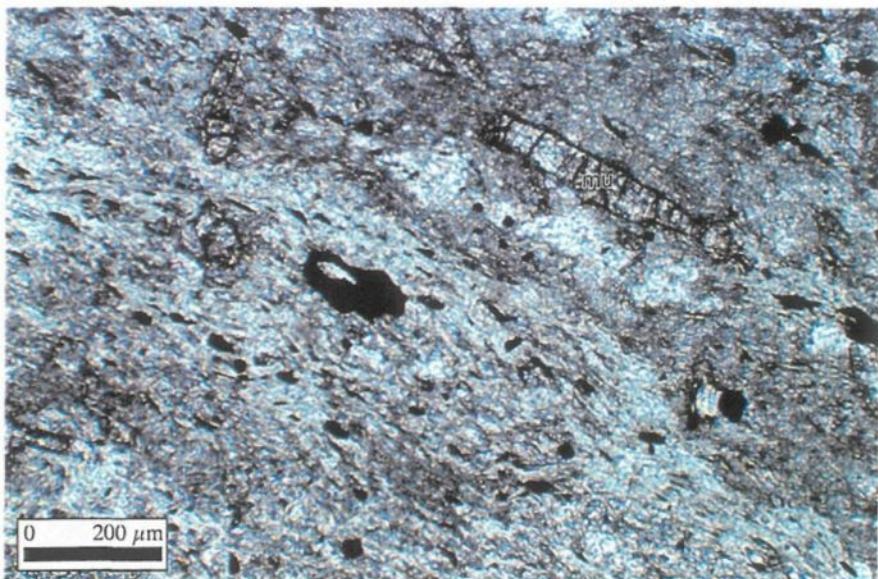
B. Un autre échantillon du même affleurement montre une surimposition de biotite métamorphique sur des phénocristaux de feldspath. Lumière naturelle. Lame 97-SL-1030-B.

Planche 2.6 : Textures à phénocristaux des coulées felsiques massives de l'affleurement 97-SL-1030 sous-jacent au gisement.

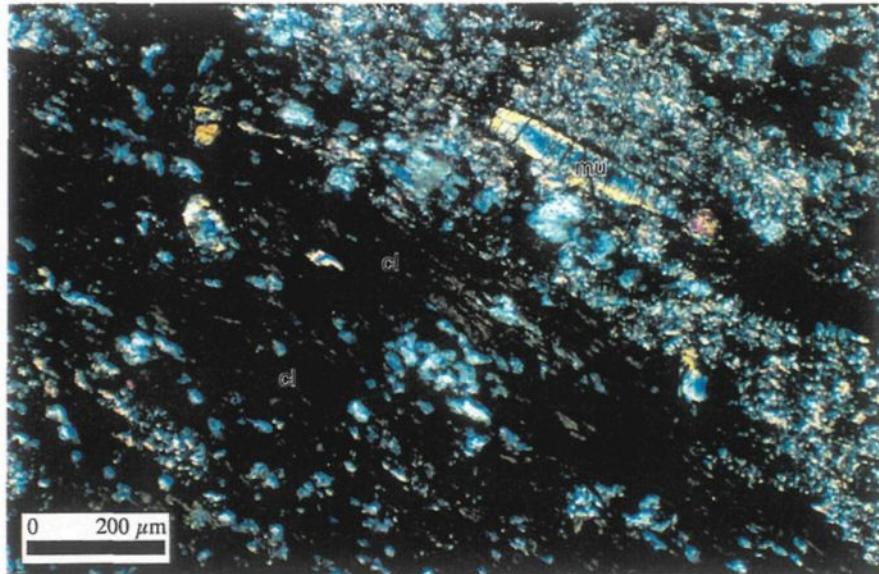
La planche 2.7 montre les premières occurrences de chlorite ripidolite d'origine hydrothermale. Les autres échantillons sont sous-jacents au gisement et montrent plutôt de la pycnochlorite métamorphique. Ces variétés de chlorite sont différenciables premièrement au niveau de leur composition chimique (voir chapitre 4) et ensuite par leur texture, en grandes plages millimétriques pour la première et en grains isolés pour la seconde. Ces laves sont en général lessivées, de couleur gris blanc et farineuses en surface. Une altération d'origine métamorphique est probablement aussi présente sous l'influence du stock de East-Sullivan qui se situe à moins de 20 m. Ce métamorphisme de contact est visible sous la forme d'un picotement de biotite noire présente sur la patine d'altération

2.4 LES COULEÉES INTERMÉDIAIRES DE EAST-SULLIVAN

L'épanchement volcanique intermédiaire est constitué de coulées massives (5-10m), coussinées (<10m) et de brèches de coussins (<5m) dont l'épaisseur totale ne dépasse pas 25 mètres. Comme le montre la figure 1.4, l'ensemble des roches andésitiques couvre peu d'étendues en surface.



A. Microphotographie d'une coulée latérale au gisement qui contient une minéralisation de pyrite disséminée ainsi que de grands cristaux de muscovite. Lumière naturelle. Lame 97-SL-1080-B.



B. Le même échantillon sous lumière polarisée montre près de 40% de chlorite. L'altération en chlorite et aussi en séricite est alignée préférentiellement à la schistosité.

Planche 2.7 : Coulées felsiques massives latérales au gisement.

Malgré leur faible présence, les coulées intermédiaires interlitées avec les coulées felsiques forment l'unité basale sous la majorité du gisement (figures 2.2, 2.3 et 2.4).

Tel que mentionné précédemment, le contact entre les laves felsiques et les laves intermédiaires est observable à un endroit (planche 2.3b) mais, dans les autres cas, les affleurements ne montrent qu'une seule lithologie. Les coulées intermédiaires de East-Sullivan sont différenciables des coulées felsiques de par leur nombreux faciès volcaniques et par la présence commune de petits phénocristaux de feldspath de moins d'un millimètre de diamètre. Sous le gisement, aux abords de la fosse, toutes les laves intermédiaires sont massives et ne présentent pas de structures observables. Outre la présence de phénocristaux, rien visuellement ne permet de les différencier des laves felsiques massives altérées. Au nord-est de la fosse, les coulées intermédiaires massives sont vert brun, homogènes et présentent une forte altération chloriteuse (affleurement 97-SL-1087). La chlorite est présente dans la roche sous forme disséminée et sous forme de veinules millimétriques noires. À certains endroits, il est possible d'estimer une densité de plusieurs dizaines de veinules au mètre, toutes étant plus ou moins orientées selon la direction 034°N. Il n'y a qu'immédiatement sous le gisement que ce type de coulées intermédiaires massives est observable.

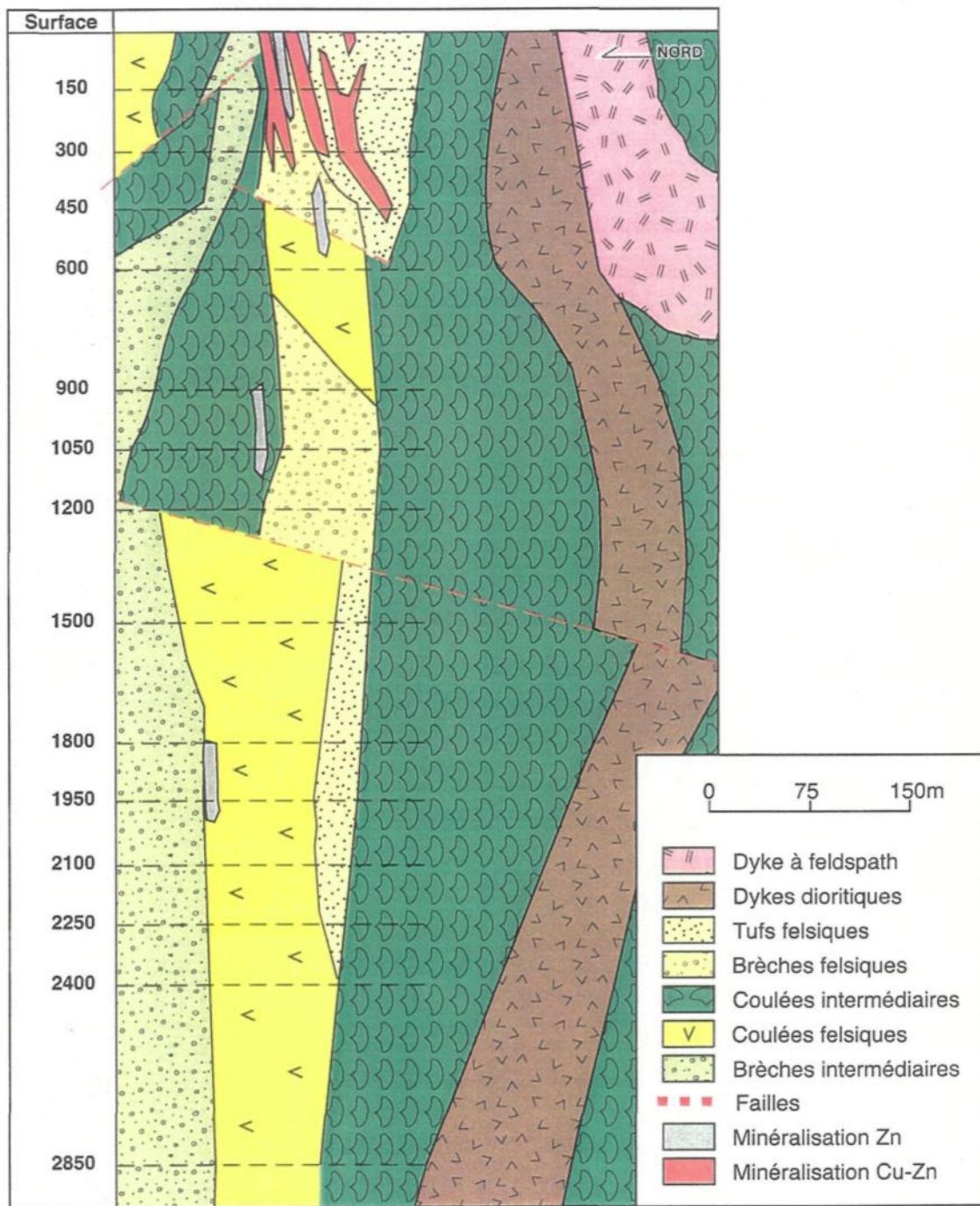


Figure 2.2 : Section 3400E de la mine East-sullivan regard vers l'est.

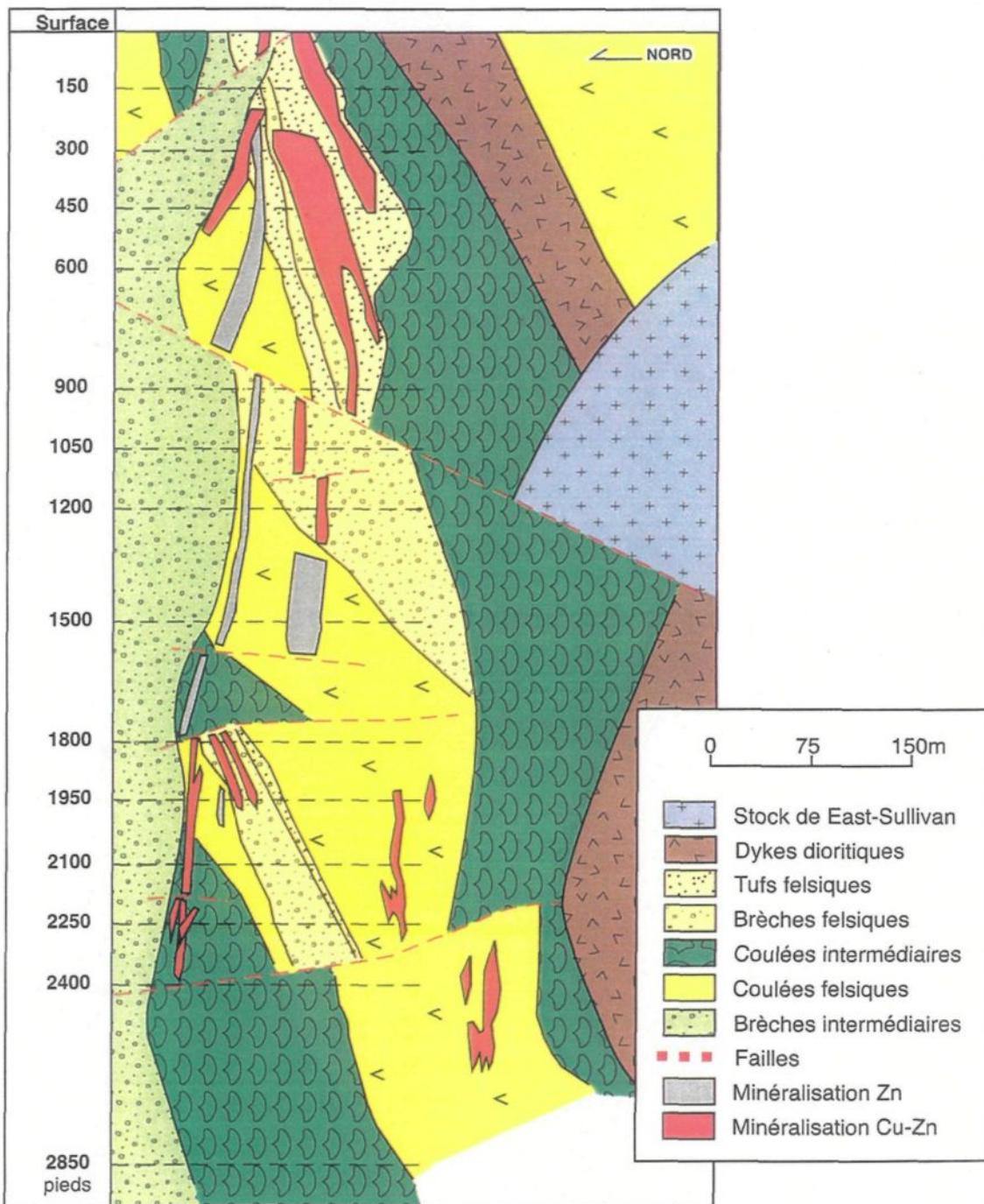


Figure 2.3 : Section 3700E de la mine East-sullivan regard vers l'est. Modifiée de Tremblay (1994).

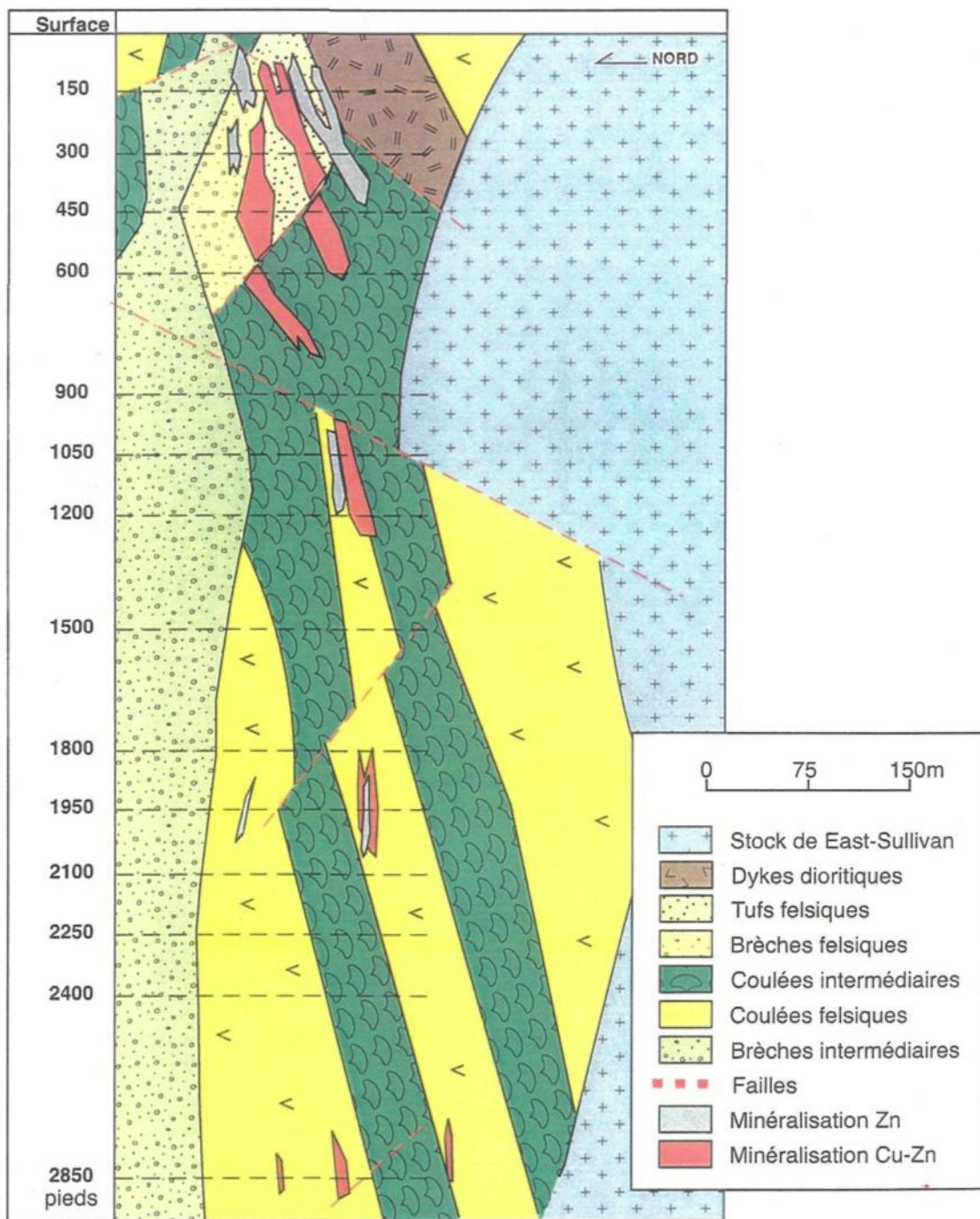
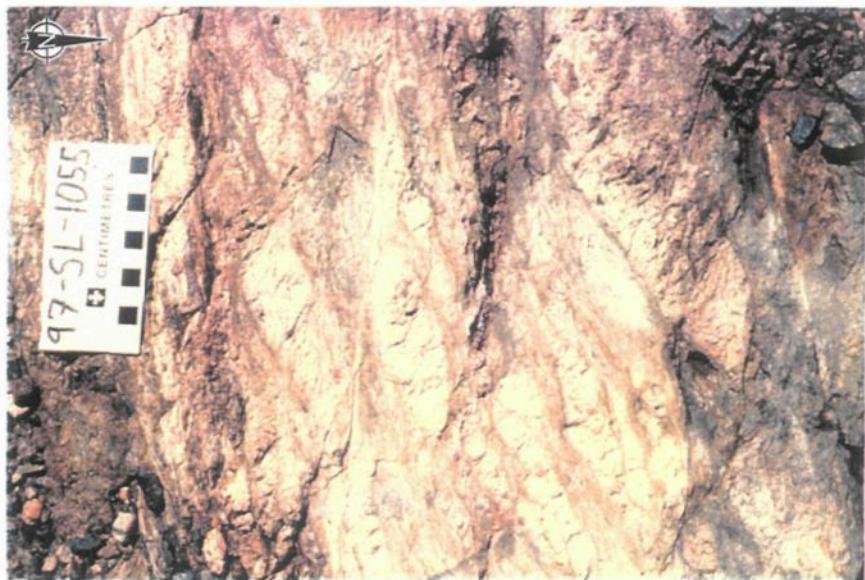


Figure 2.4 : Section 4000E de la mine East-sullivan regard vers l'est.

À l'ouest de la fosse, les faciès visibles plus éloignés du gisement, mais de composition similaire, sont soit coussinés ou bréchiques. Dans le secteur du groupe d'affleurements 97-SL-1055 (figure 2.1), la première unité visible est bréchique. Les blocs sont sub-arrondis, de tailles qui s'étaisent de 5 à 40 cm et quelques-uns montrent une zone de trempe. Certains fragments présentent une vésicularité de 30 %, avec des amygdules de quartz ayant jusqu'à 7 mm de diamètre (planche 2.8a). Par contre cette forte vésicularité reste exceptionnelle. La matrice est de composition similaire aux fragments, mais affiche une plus grande intensité d'altération.

Toujours au même endroit, des coulées intermédiaires coussinées de couleur vert jaunâtre sont en contact direct avec un lobe felsique bleu gris (planche 2.3b). Les coussins de lave sont uniformes, en damier losangé et d'une taille moyenne de 20 cm (planche 2.8b). Quoique légèrement déformés, ces coussins sont encore massifs et n'affichent aucune vésicularité. Le niveau des laves coussinées a une épaisseur maximale de 8 m à l'ouest et de 3 m en moyenne. L'altération en carbonate est assez intense et est par endroits accompagnée de traces de sulfures donnant une couleur rose rouille à la patine d'altération.

Au centre de la zone d'affleurement, l'unité de petits coussins se transforme graduellement en brèches de coussins. Les fragments démembrés sont déformés, ont un aspect anguleux à sub-anguleux et se confondent avec la matrice par endroits. La granulométrie moyenne est moins de 15 cm et les fragments sont sans vésicularité.



A. Laves intermédiaires à mini-coussins un damier losangé, centimétriques, déformés. L'ensemble de ces coulées subit une altération partielle de carbonate et d'épidote. Échelle 10 cm.



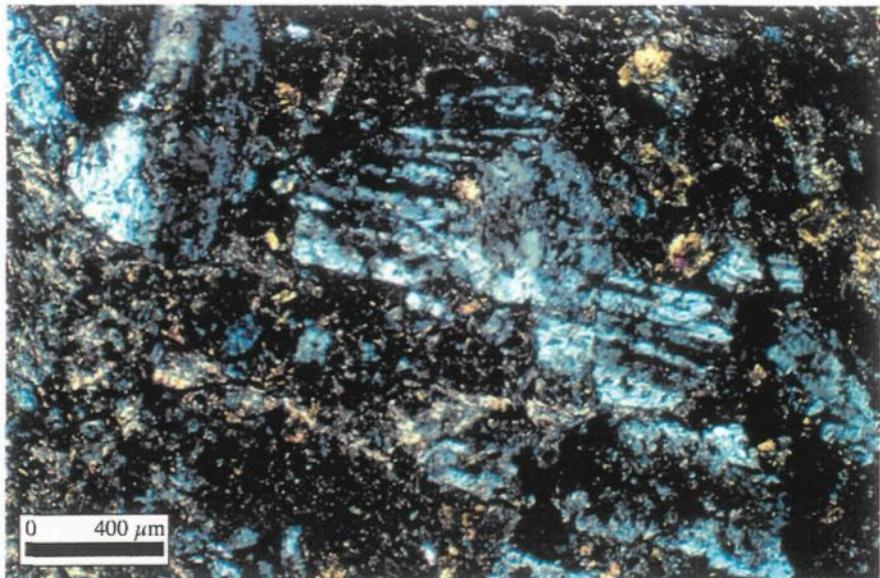
B. Brèche de coussins intermédiaire à vésiculéarité de plus de 30%. Échelle 5 cm.

Planche 2.8 : Laves intermédiaires coussinées de l'affleurement 97-SL-1055 latéral au gisement.

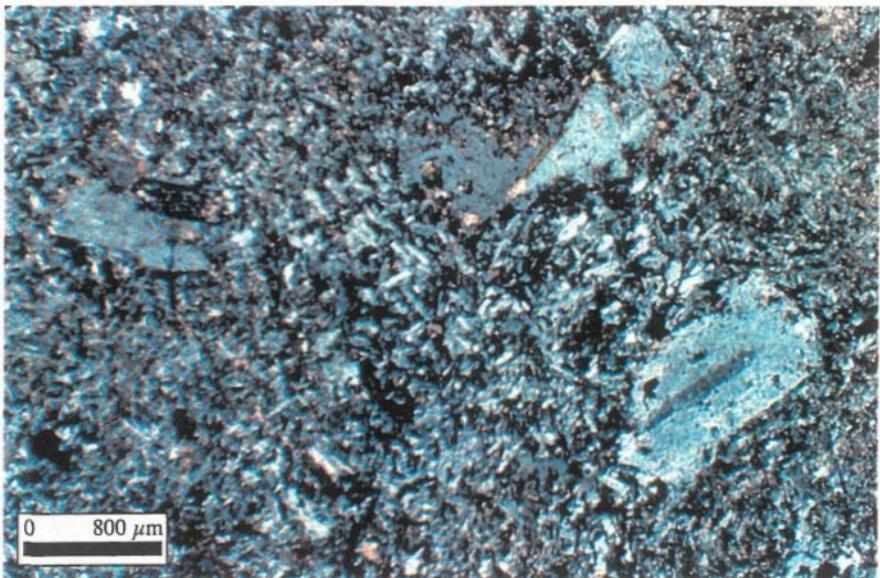
En lames minces, les unités massives à phénocristaux de feldspath montrent des textures assez bien conservées. Les phénocristaux sont des plagioclases maclés de forme idiomorphe à hypidiomorphe et sans textures de résorption. Par endroits une altération par l'assemblage carbonate-épidote est visible avec en surimposition celle de chlorite métamorphique (planche 2.9a). Lorsque la matrice est peu altérée comme sur l'échantillon 97-SL-1059-A, il est possible d'apprécier sa texture trachytique à petits plagioclases (planche 2.9b).

2.5 LES VOLCANOCLASTITES FELSIQUES DE EAST-SULLIVAN

En lits de dimension décimétrique à métrique avec une épaisseur totale de moins de 20 mètres, les volcanoclastites felsiques de East-Sullivan se présentent sous des granulométries allant de 1 à 70 mm. L'encaissant principal du gisement est l'unité lithologique la moins bien connue. Selon les descriptions d'observateurs disponibles (Assad 1958; Bérubé 1974; Tremblay 1994), la minéralisation est contenue dans une unité de tufs felsiques grossiers lités ayant une orientation 050-060°N et un pendage de 90° (figure 2.2). Le pendage s'incurve vers le sud en profondeur pour atteindre 65° (figure 2.4). Il n'existe que deux occurrences de matériels volcanoclastiques qui sont plus ou moins alignées stratigraphiquement avec la minéralisation de East-Sullivan, toutes deux à l'ouest du gisement.



A. Microphotographie d'une lave intermédiaire porphyrique. Les plus gros phénocristaux de plagioclase mesurent près de 2 mm. Légère altération par l'assemblage carbonate-épidote. Lumière polarisée. Lame 97-SL-1076-A.



B. Autre lave intermédiaire massive avec phénocristaux de plagioclase mais présentant en plus une matrice trachytique elle aussi composée de plagioclase. Lumière polarisée. Lame 97-SL-1059-A.

Planche 2.9 : Textures porphyriques des laves intermédiaires sous-jacentes à la minéralisation.

La série d'affleurements 97-SL-1055, décrite à la section 2.4, est dominée par des coulées de composition intermédiaire alors que l'affleurement 98-SL-1102 est composé d'un mélange d'unités felsiques massives et fragmentaires. Ce dernier affleurement (figure 2.5) montre les plus beaux exemples de volcanoclastites felsiques sur le site de la mine. De nombreuses fractures recoupent l'affleurement, mais les décalages apparents sont d'ordre centimétrique seulement. Outre les fractures, l'intensité de la déformation devient faible sur cet affleurement et la schistosité est peu apparente.

Au nord-est de l'affleurement (figure 2.5), des tufs grossiers sans structure sédimentaire contiennent environ 30 % de fragments de plus d'un millimètre et près de 10 % de lapilli. Les lapilli, dont la taille s'étale de 3 à 8 cm, sont arrondis et contiennent des phénocristaux de feldspath. Il n'y a pas de vésicularité apparente.

Un lobe felsique massif recoupe l'unité de tufs grossiers porphyriques (figure 2.5). Le contact net avec les unités fragmentaires est souligné par une zone d'écoulement laminaire de 15 cm d'épaisseur. La partie centrale du lobe felsique est massive et légèrement vésiculaire. Une brèche à fragments jointifs (planche 2.10a) borde la partie Est du lobe. Cette brèche est constituée de fragments anguleux de 5 à 25 cm qui montrent de 5 à 7 % d'amygdales de quartz. Ces fragments se supportent et sont accompagnés de moins de 15 % d'une matrice grossière de composition similaire.

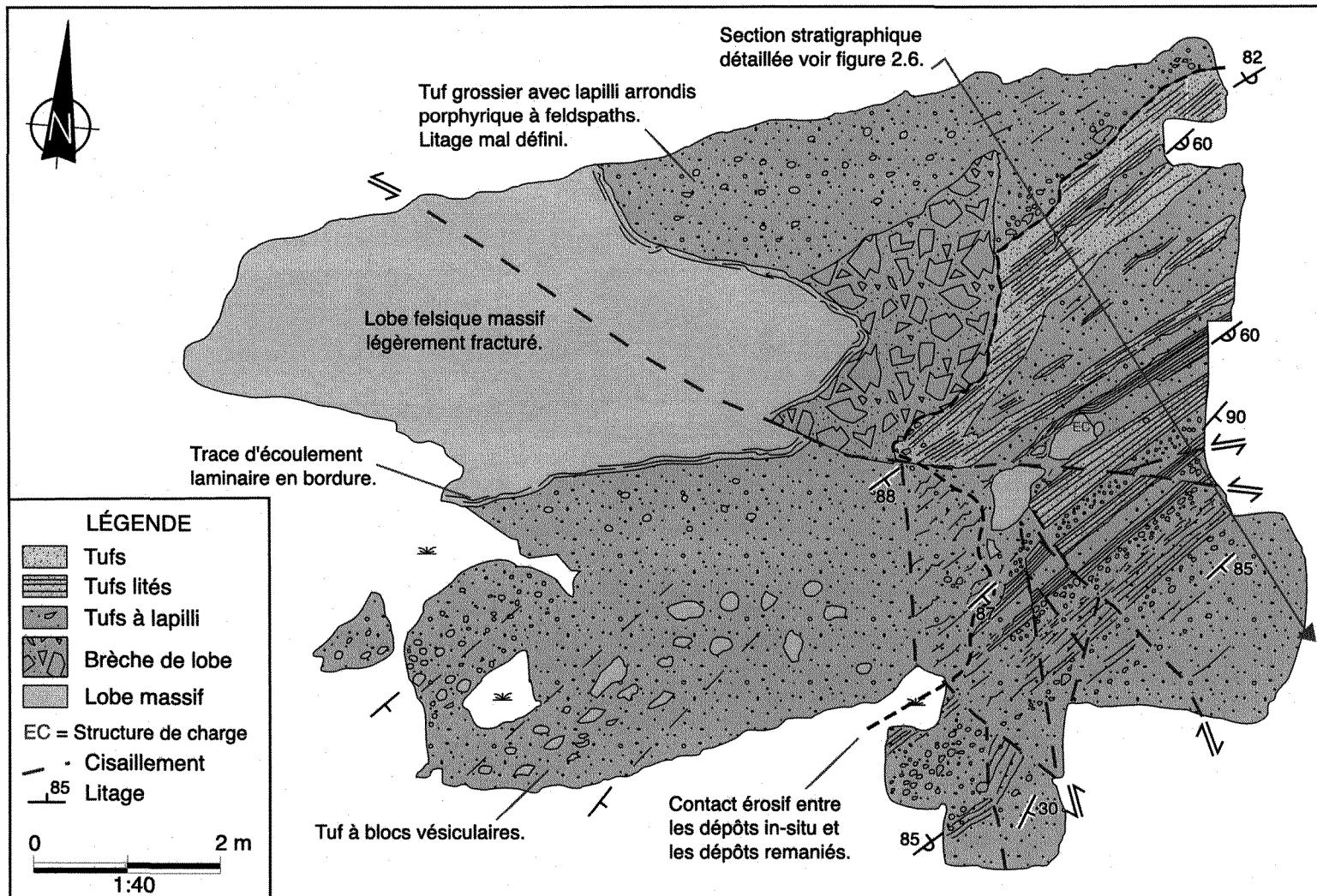
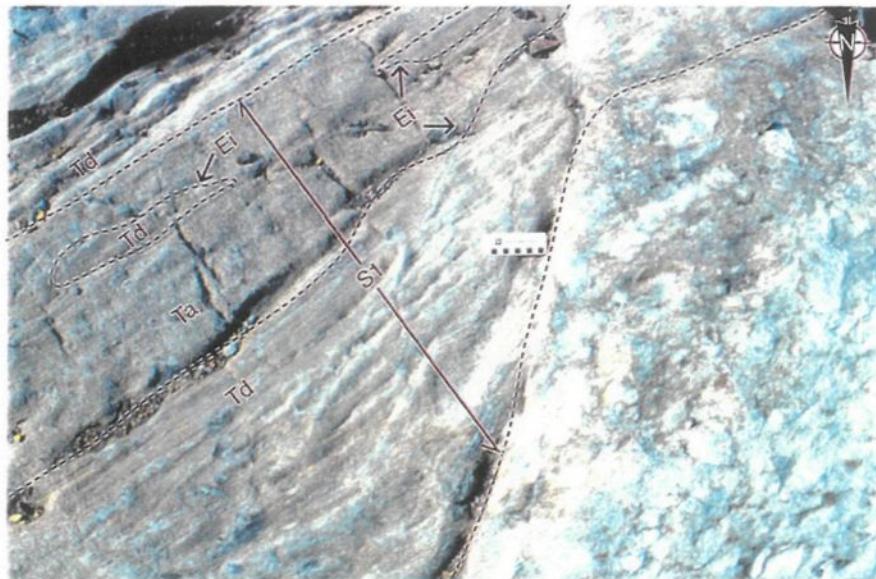


Figure 2.5 : Lobe felsique massif entouré de brèche hyaloclastique et de matériel remanié. Affleurement 98-SL-1102.



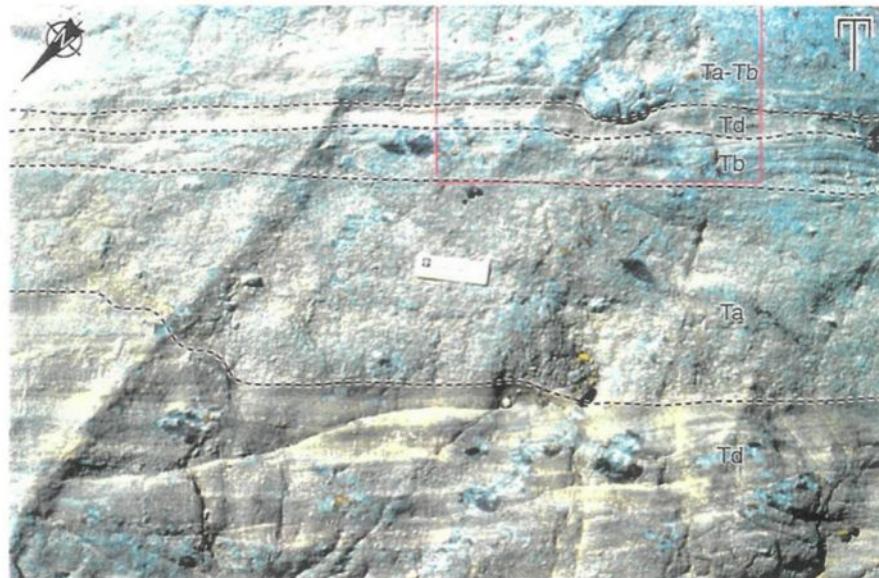
A. Tufs fins et grossiers lités déposés en discordance sur une brèche à fragments jointifs. La présence d'un niveau lité (Td) et de structures érosives internes (Ei) (voir aussi figure 2.5) semble correspondre à une unité S1 telle que décrite par Lowe (1982). Échelle 10 cm. Aaffleurement 98-SL-1102.



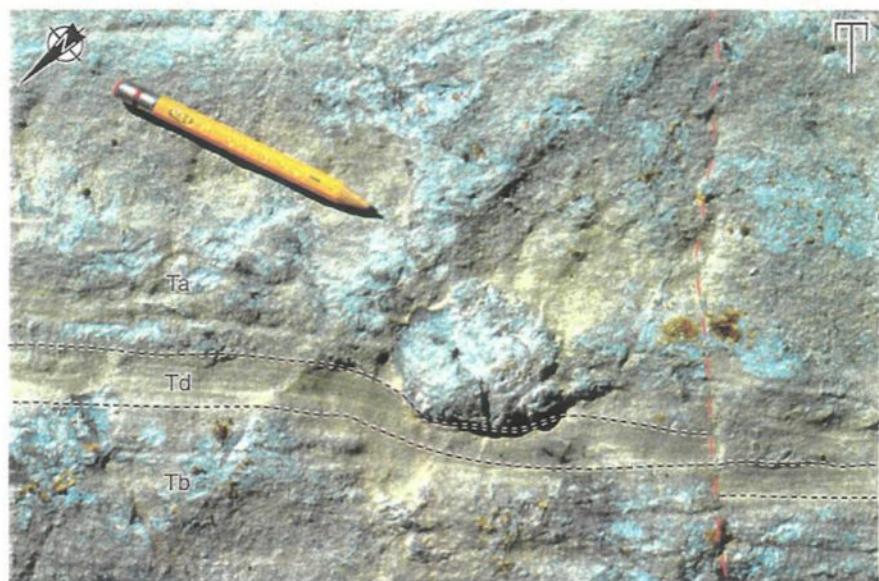
B. Série de tufs lités alternant de grossiers à fins. La séquence montre une alternance de lits turbiditiques grossiers massifs (Ta) et lités fins (Td) (Lowe 1982). L'alternance et les granoclassements donnent une polarité vers le sud. Noter aussi les veinules de chlorite qui recoupent la séquence et les petites failles qui déplacent les niveaux de tuf. Échelle 5 cm.

Planche 2.10 : Volcanoclastites felsiques de East-Sullivan.

Une série de tufs fins à grossiers, à cristaux de feldspath sub-anguleux de 1 à 3 mm et bien lités (planche 2.10) sont déposés en discordance sur la brèche à fragments jointifs. Le contact érosif entre ces deux types de dépôts est indiqué par le pointillé bleu sur la figure 2.5. Ces tufs présentent de légers granoclassements et de nombreuses structures érosives qui indiquent tous une polarité vers le Sud ($S0=060^{\circ}\text{N}/85^{\circ}$) (planche 2.11a). Les contacts érosifs nets sont très présents à la base de la séquence dans l'alternance tufs fins lités et tufs grossiers massifs, alors que le sommet en est dépourvu. Il y a 3 niveaux de tuf à lapilli à granoclassement inverse à normal interlités avec les tufs fins. Cette série de lits décrits selon la classification de turbidites de haute densité de Lowe (1982) est : (Ta) massif granoclassé, (Tb) laminations parallèles par traction et (Td) laminations parallèles par suspension. Une section stratigraphique plus détaillée des niveaux de tufs est présentée à la figure 2.6. Cette colonne stratigraphique permet de mettre en évidence l'alternance de série Ta et Td, soit de traction et de suspension dans le haut de la séquence. La base quant à elle, se caractérise par une abondance de structures érosives et par des granoclassements inverses dans les tufs à lapilli (S2). Les empreintes de charge, qui recouvrent le litage et les figures d'érosion produites par des fragments retombés, montrent aussi des polarités vers le Sud (planche 2.11b). Des blocs de lave massive de dimension décimétrique sont aussi présents dans la séquence de tufs lités (planche 2.12a). Ces blocs ont un aspect et une composition similaires au lobe felsique massif qui recoupe les tufs lités. Une autre observation pertinente est la présence de fragments à sulfures dans les tufs à lapilli (planche 2.12b).



A. Chenal d'érosion dans des tufs fins. Les lits fins sont recoupés par un tuf grossier. Le tuf grossier montre aussi un granoclassement normal et se termine par une série de lits de tufs fins concordants. Ces bancs granoclassés mesurent entre 20 et 60 cm d'épaisseur. Échelle 5 cm. Affleurement 98-SL-1102.



B. Agrandissement d'une partie de la photographie précédente. Gros plan d'un lapilli grossier retombé ou transporté qui recoupe et recourbe les lamination de tufs fins (Td) localisées en dessous. Indicateur de polarité vers le sud. Crayon 15 cm. Affleurement 98-SL-1102.

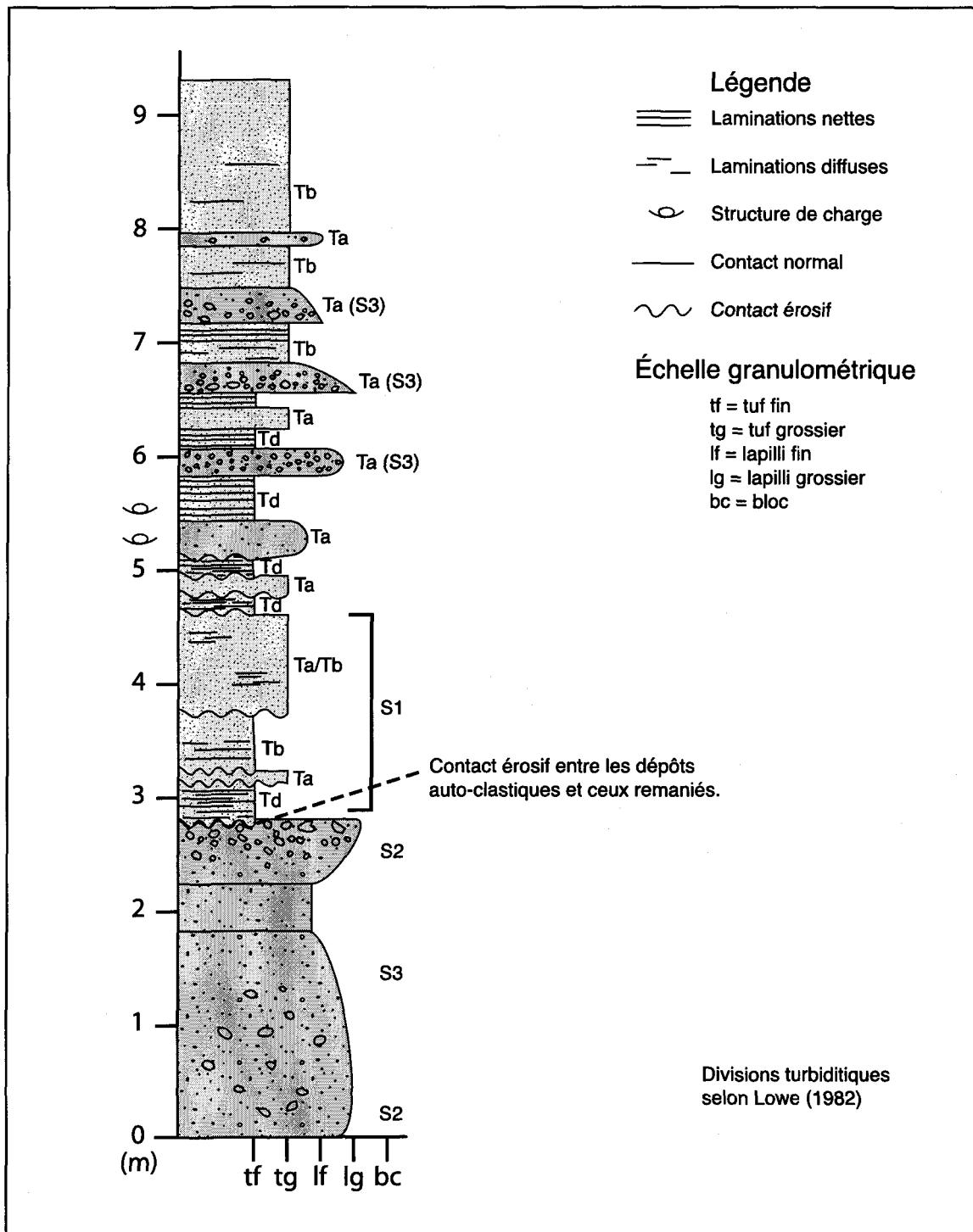


Figure 2.6 : Section stratigraphique schématique des volcanoclastites felsiques de l'affleurement 98-SL-1102. Pour la localisation voir la figure 2.5.



A. Bloc felsique massif recourbant et recouvrant les lits de tufs fins et grossiers. De par sa taille la provenance de ce bloc ne peut pas être très éloignée. Il constitue une structure de charge indicatrice de polarité au sud. Affleurement 98-SL-1102.



B. Gros plan de deux lapilli à sulfures semi-massifs. Leur présence indique un processus minéralisateur contemporain à l'activité volcano-sédimentaire. Échelle 50 mm. Affleurement 98-SL-1102.

Planche 2.12 : Évidences de remobilisation synvolcanique.

La dernière unité distincte dans la partie sud de l'affleurement est plus grossière. C'est une série de tufs à blocs à fragments aphanitiques anguleux de 10 à 50 cm avec un faible alignement de direction similaire au litage des tufs lités. Ces blocs ont des vésicules maintenant remplies de quartz, déformées et allongées dans plusieurs directions (planche 2.13).

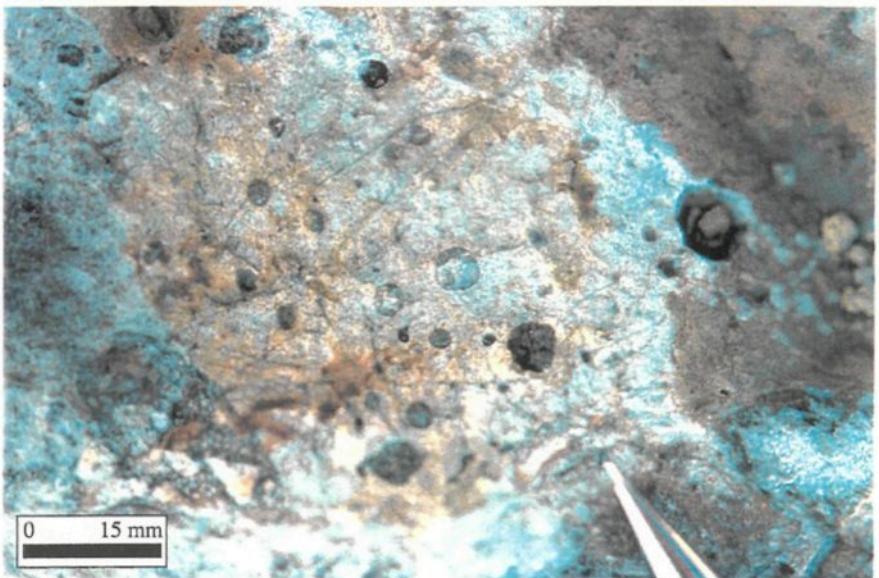
Stratigraphiquement, la position de ces affleurements semble se corréler correctement avec celle occupée par les sulfures. Aucune preuve ne permet cependant de confirmer ou d'infirmer que ces lithologies sont vraiment similaires avec celle qui contenait la minéralisation. Selon son orientation, l'horizon marqueur de tufs est recoupé à moins d'un kilomètre à l'Ouest par la zone tectonique de Cadillac et à l'Est par le Pluton de East-Sullivan. Une zone de mudstones qui pourrait être l'équivalent distal des tufs a été recoupée par forage à moins d'un kilomètre à l'Ouest dans le forage 401-39 (figure 1.3). Historiquement, aucune lithologie apparentée, pouvant représenter le niveau stratigraphique de la mine East-Sullivan, n'a été identifiée à l'est du stock de East-Sullivan.

2.6 LES COULÉES MAFIQUES DE LA FORMATION DE HÉVA

La séquence stratigraphique de la mine East-Sullivan se termine par une série de laves mafiques massives et coussinées de plus de 1 km d'épaisseur. Cet ensemble de laves est recoupé au sud par la zone tectonique de Cadillac. Un seul affleurement de ces coulées à



A. Fragment felsique à amygdales siliceuses étirées. L'étirement synvolcanique des vésicules est visible selon différentes intensités sur plusieurs fragments dans les tufs à bloc de l'affleurement 98-SL-1102. Crayon 10 cm.



B. Gros plan d'un fragment felsique à amygdales circulaires de silice. Il provient de la brèche volcanique entourant le lobe massif voir figure 2.5. Affleurement 98-SL-1102.

Planche 2.13 : Fragments vésiculaires des volcanoclastites de East-Sullivan.

coussins décimétriques à métriques est visible aux environs de la mine East-Sullivan. Il est situé au niveau de l'ancienne mine Orcana au sud. Historiquement, le passage de l'épanchement volcanique d'une série felsique d'affinité calco-alcaline à une série mafique tholéïitique est utilisé comme marqueur pour la base de la Formation de Héva. L'autre indicateur du passage de la Formation de Val-d'Or à la Formation de Héva est la présence de l'unité de dacites sphérolitiques de Norman (Sauvé 1995). Cette unité de laves sphérolitiques a été retrouvée lors du réexamen du forage 401-40 de la propriété Airport de Aur Resources (figure 1.3) à près de 3 km à l'ouest de la mine. L'analyse lithogéochimique (voir chapitre 3) confirme la nature tholéïitique de l'intervalle de 6 mètres dans le forage. C'est la première fois que cette unité est reconnue à l'ouest du stock de East-Sullivan.

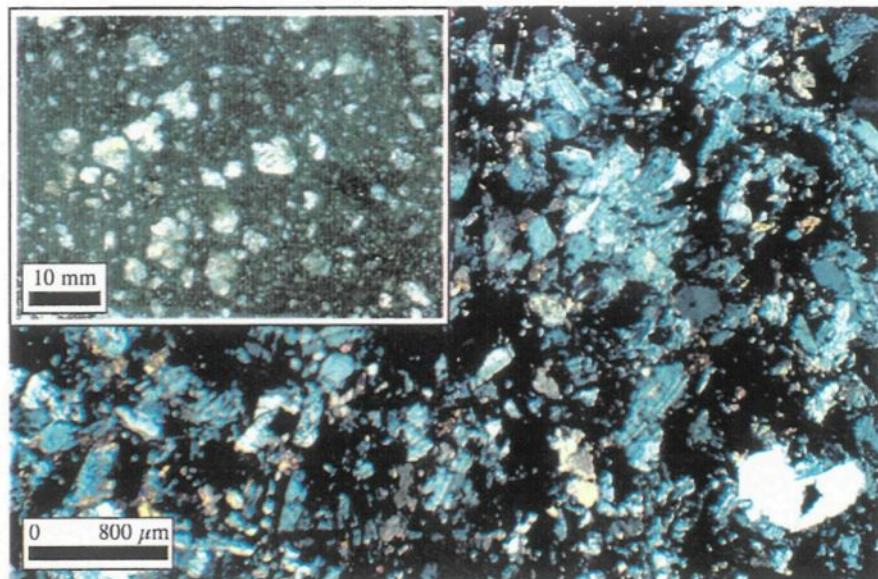
Comme dans le reste de la Formation de Héva, les laves mafiques qui surmontent la mine East-Sullivan sont recoupées par de nombreux dykes de gabbro massifs (figure 1.5). Un exemple de ces dykes est situé près de la mine East-Sullivan. C'est l'affleurement 97-SL-1007 qui forme une colline importante près de la route qui mène à la mine Orcana.

2.7 LES ROCHES INTRUSIVES DE L'ENVIRONNEMENT IMMÉDIAT AU GISEMENT

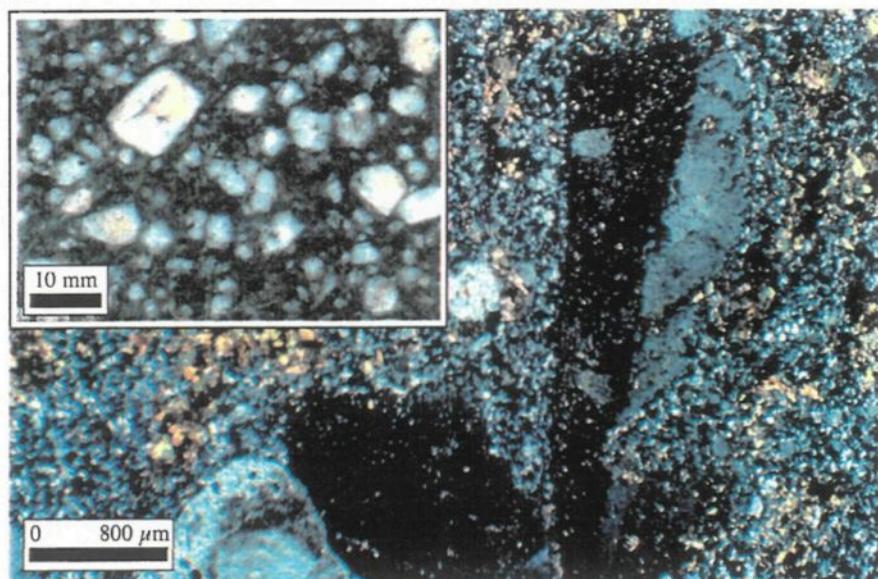
2.7.1 La Diorite porphyrique de Bourlamaque

Celle-ci se présente sous la forme d'un dyke dioritique syn-volcanique de couleur verte à phénocristaux feldspathiques très altérés (planche 2.14a). Les feldspaths verts, dispersés en amas gloméropophyriques dans une matrice elle aussi d'un vert très foncé, comptent pour près de 20 % du volume. Visible sur les deux affleurements (97-SL-1082 et 97-SL-1083) qui forment le mur sud-est de la fosse à ciel ouvert, la diorite porphyrique de Bourlamaque est aussi identifiable (Assad 1958; Tremblay 1994) à grande profondeur (figure 2.3 et 2.4). Recouplant presque le gisement en surface dans sa partie est près du stock de East-Sullivan (figure 2.3), le dyke s'éloigne vers le Sud plus en profondeur et dans les sections ouest (figure 2.2).

Les relations de recouplement entre le dyke et les unités lithologiques du gisement ainsi que la forte altération qui l'affecte indique un âge syn-volcanique pour ce dyke.



A. Cadre principal: microphotographie de la diorite porphyrique de Bourlamaque. Dyke d'âge synvolcanique et de composition semblable aux coulées intermédiaires, il borde le gisement dans sa partie sud-est. Lumière polarisée. Lame 97-SL-1056-A. En encadré: un échantillon de taille et couleur réelles.



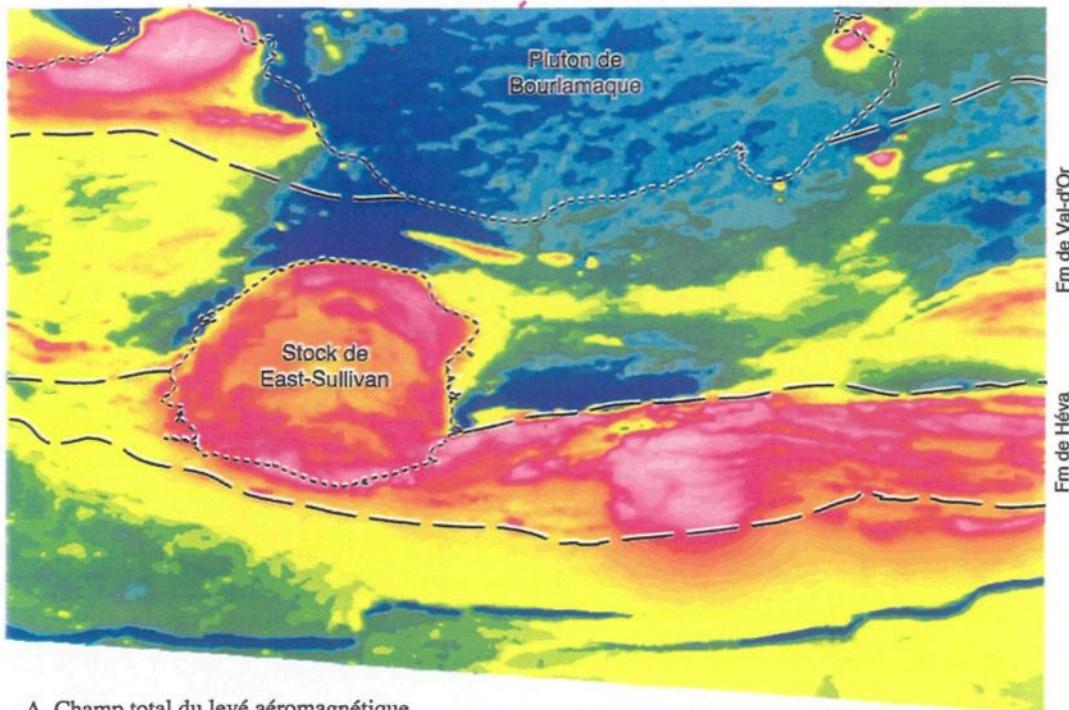
B. Cadre principal: microphotographie du porphyre de East-Sullivan. Intrusion felsique tardive associée avec la mise en place du stock de East-Sullivan, il recoupe la partie sud-ouest du gisement. Lumière polarisée. Lame 97-SL-1061-A. En encadré: un échantillon de taille et couleur réelles.

Planche 2.14 : Dykes bordant le gisement de East-Sullivan dans sa partie sud.

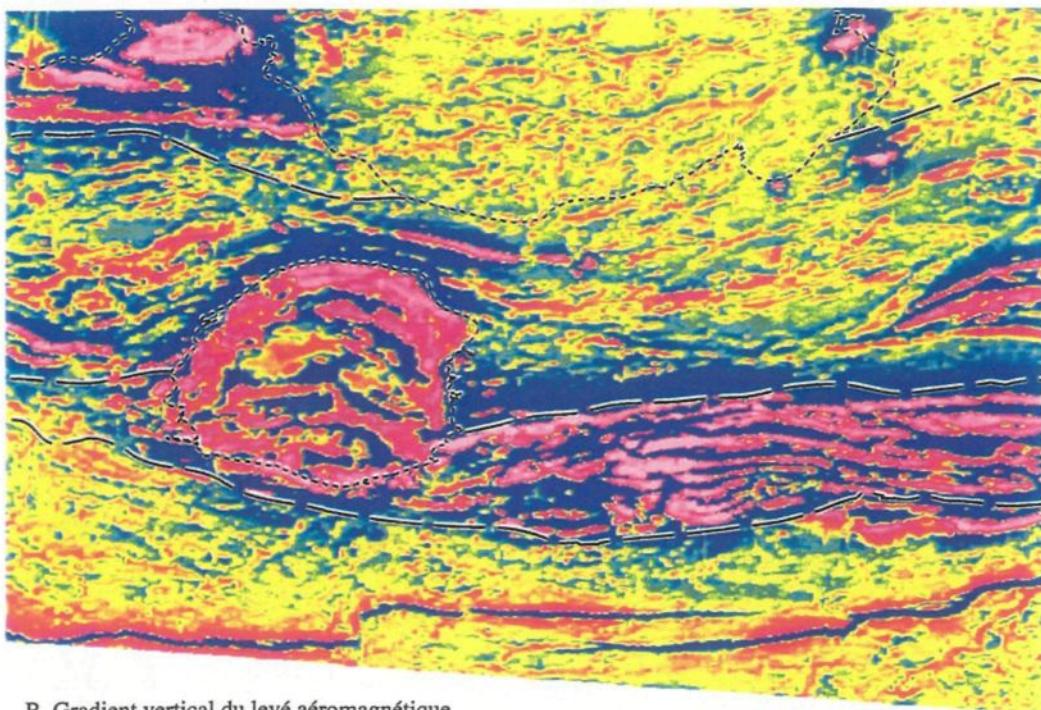
2.7.2 Le Stock de East-Sullivan

Ce pluton est multiphasé, concentrique et de composition monzonitique. Jusqu'à quatre faciès différents ont été reconnus avec des phases à textures trachytique et porphyrique (Taner 1996). Le Stock de East-Sullivan se démarque nettement, grâce à sa composition potassique, de toutes les autres intrusions de la région de Val-d'Or. Les faciès plus précoces ont une plus forte susceptibilité magnétique (figure 2.7) (Commission Géologique du Canada 1981; Les Relevés Géophysiques Inc. 1985; Dion 1997). Des indices minéralisés de type Cu-Mo porphyrique y ont été identifiés, de même que de nombreux cisaillements aurifères d'orientation est-ouest (Taner 1996). Des comparaisons avec des intrusions semblables, situées du côté ontarien, suggèrent que ce pluton doit être d'âge Témiscamingue (i.e. âgé de 2680 à 2685 Ma) soit tardi-tectonique.

Un métamorphisme de contact intense affecte les rhyolites sur les 5 premiers mètres de la bordure du stock de East-Sullivan. Le pluton est aussi responsable d'une plus grande zone d'influence métamorphique dans un rayon d'environ 500 m sur son pourtour. Ce métamorphisme de contact plus faible est caractérisé par de la biotite métamorphique qui se présente sous l'aspect de bandes plus ou moins bien définies qui suivent la schistosité. Le pluton est aussi responsable de la dévolatilisation de l'ensemble des roches dans le même rayon. Les altérations carbonatées sont presque complètement absentes; la majorité ont été remplacées par un assemblage d'épidote clinozoïsite.



A. Champ total du levé aéromagnétique.



B. Gradient vertical du levé aéromagnétique.

Figure 2.7 : Levé aéromagnétique pour le feuillet 32C/04-200-102 (Mir Télédétection, 1999).

2.7.3 Le dyke porphyrique à feldspath de East-Sullivan

Ce dyke discordant est porphyrique à phénocristaux de feldspath potassique rose dans une matrice microcristalline grise (planche 2.14b). Les phénocristaux, d'une taille moyenne de 6 mm comptent pour près de 30 % du volume total de la roche. Daté à 2684 +/- 1 Ma par Pilote et al. (1999a), il semble contemporain à la mise en place du stock de East-Sullivan. Le dyke borde la partie sud-ouest du gisement dans les niveaux supérieurs (figure 2.2).

Faiblement altéré et très massif, l'affleurement 97-SL-1061 est le plus représentatif de ce type d'intrusion porphyrique à feldspath de East-Sullivan. C'est d'ailleurs sur ce dernier qu'à été effectué l'échantillonnage de matériel pour la datation. Une partie plus altérée du dyke est aussi visible à la série d'affleurements 97-SL-1055 (figure 2.1). Par contre les relations stratigraphiques entre les unités volcaniques et le porphyre n'y sont cependant pas visibles.

Ce dyke a aussi une forte ressemblance avec une série de dykes très courants dans la région de la mine Akasaba. C'est d'ailleurs les deux seules localités dans la Formation de Val-d'Or où des dykes à gros phénocristaux de feldspath sont visibles. Situé sensiblement au même niveau stratigraphique, il se pourrait que les deux familles soient apparentées.

CHAPITRE III

CARACTÉRISATION LITHOGÉOCHIMIQUE DES ROCHES VOLCANIQUES DE EAST-SULLIVAN

3.1 INTRODUCTION

3.1.1 Subdivision des unités volcaniques

La caractérisation géochimique des unités lithologiques encaissantes et associées est primordiale dans la compréhension des phénomènes d'altération, du contexte géologique et paléogéographique d'un gisement de sulfures massifs volcanogènes. Une présentation des caractéristiques géochimiques des unités lithologiques est donc faite dans ce chapitre. Les roches de East-Sullivan seront identifiées selon leur classification pétrographique, par leurs caractéristiques génétiques et ensuite par environnement géotectonique. Les résultats complets des différentes analyses lithogéochimiques sont disponibles aux annexes 1, 2 et 3.

Dans cette section, les roches volcaniques de East-Sullivan sont séparées en trois groupes selon leur identification initiale de terrain. Ces groupes sont : 1) les volcanoclastites de composition principalement felsique, 2) les coulées massives intermédiaires à mafiques et 3) les coulées massives felsiques. À la suite du traitement

initial des données géochimiques, ce dernier groupe a été séparé en deux. Le groupe "A" est près de deux fois plus riche en éléments incompatibles et en ÉTR que les laves felsiques du groupe "B". De plus la géochimie permet de nettement distinguer entre les formations de Val-d'Or et de Héva.

3.1.2 Méthodes analytiques et limites de détection

Les analyses d'éléments majeurs, d'éléments traces et d'éléments du groupe des terres rares ont été faites aux laboratoires du Centre de recherche minérale (CRM) du Ministère des Ressources Naturelles du Québec. Les éléments majeurs sont dosés par fluorescence X avec une préparation sous forme de perle boratée. L'ensemble des éléments traces est dosé par spectrométrie d'émission atomique au plasma, sous forme d'une préparation solubilisée par les acides perchlorique et fluorhydrique. Les éléments majeurs SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO et Na₂O ont une limite de détection de 0,1 %, K₂O, TiO₂, MnO, P₂O₅ et Cr₂O₃ ont une limite de détection de 0,01 % et CaO est détectable jusqu'à 0,02 %. Le zirconium et l'yttrium ont une limite de détection de 3 ppm. Le cuivre et le zinc sont quant à eux détectables jusqu'à 1 ppm.

Une partie des résultats d'éléments du groupe des terres rares (annexe 2) proviennent d'analyses par activation neutronique (INAA) réalisées dans les laboratoires d'analyses géochimiques du département des Sciences Appliquées de l'Université du Québec à

Chicoutimi. Ces dernières analyses d'éléments du groupe des terres rares ont été faites selon la méthode analytique décrite par Bédard et Barnes (1990). La précision des analyses est de 5% pour le Sc, de 10% pour le As, Hf, La, Sb, Ta, Tb, Yb, de 15% pour le Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Nd et de 20% pour le Lu.

3.2 CLASSIFICATION DES ROCHES

3.2.1 Classification pétrographique

Les compositions lithogéochimiques des unités volcaniques de la mine East-Sullivan montrent une grande diversité dans les éléments majeurs (figure 3.1). Les diagrammes classiques de classification qui utilisent la somme des alcalis versus la silice (Le Maitre 1989) ou d'autres qui utilisent les oxydes métalliques (Jensen et Pyke 1982; Rickwood 1989) sont généralement efficaces pour des laves fraîches, mais ils arrivent difficilement à séparer les roches altérées et métamorphisées des ceintures de roches vertes archéennes. Par exemple, sur le diagramme de Le Maitre et al. (1989) (figure 3.1), les roches volcaniques de East-Sullivan varient de près de 40% à 75% SiO₂, ce qui indique des compositions théoriques qui vont des rhyolites aux komatiites, alors qu'il n'y a pas de roche ultramafique à East-Sullivan. Les concentrations en éléments alcalins sont facilement influencées par l'altération hydrothermale qui est souvent associée à des changements de masse pouvant

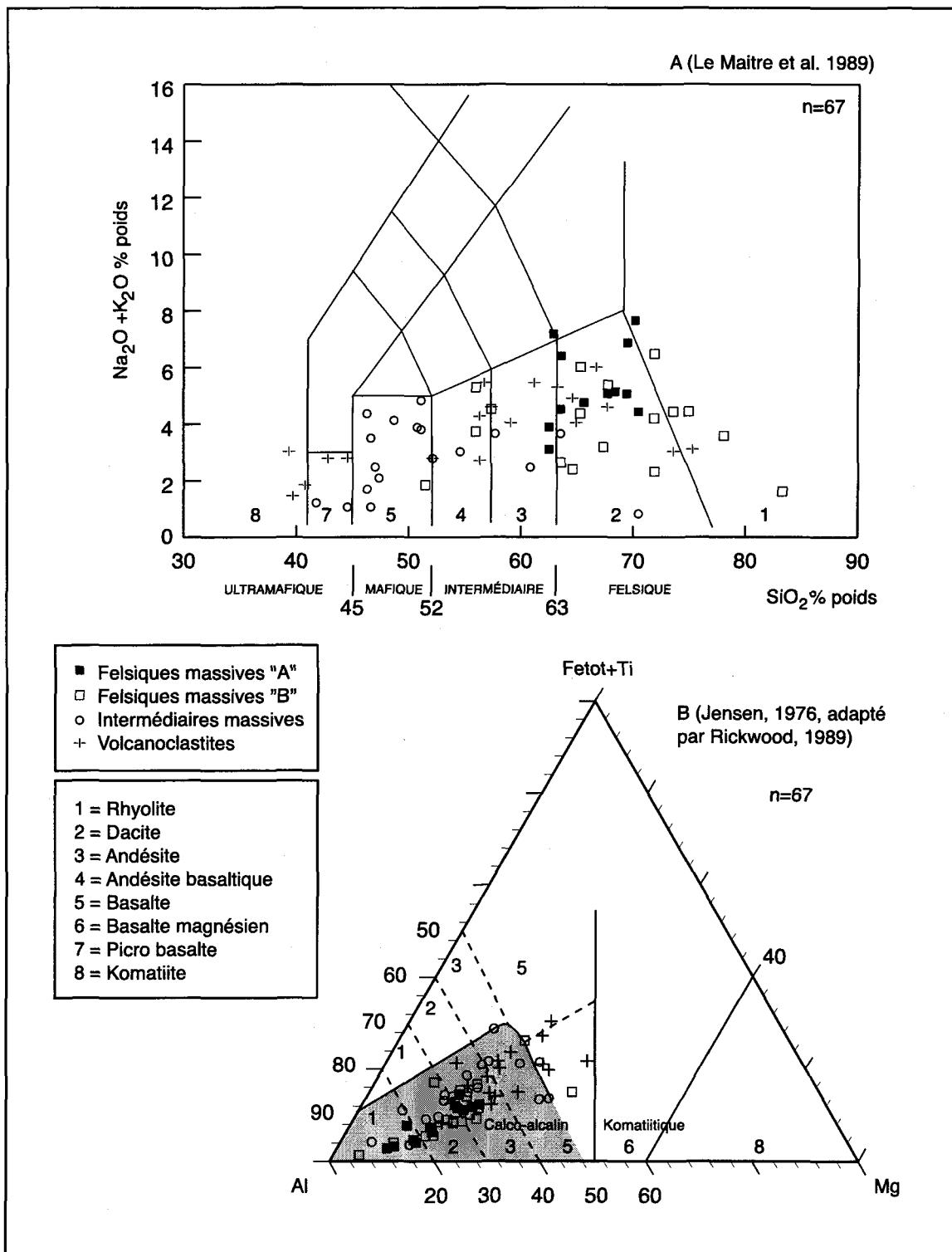


Figure 3.1 : Classification pétrographique des roches volcaniques de East-Sullivan.

aller jusqu'à 50 % en plus ou en moins (Barrett et MacLean 1994). Les mêmes échantillons mis dans un diagramme de Jensen (1976) vont cette fois-ci des rhyolites aux basaltes, mais presque toutes les analyses sont regroupées à la limite du champ tholéïitique et du champ calco-alcalin en gris sur le diagramme. La classification pétrographique des laves de East-Sullivan avec la seule utilisation des éléments majeurs présente donc des difficultés importantes.

Les diagrammes Winchester et Floyd (1977) (figure 3.2), qui utilisent la conjonction d'éléments traces beaucoup moins sensibles à l'altération et aux phénomènes métamorphiques avec la silice, permettent de mieux séparer les laves. Le diagramme de la silice versus le rapport zirconium sur titane donne d'assez bons résultats. Toutes les coulées identifiées sur le terrain comme intermédiaires sont dans les champs des andésites ou des basaltes alors que les unités felsiques massives montrent un éventail plus large de composition qui va des andésites aux rhyolites. Les unités volcanoclastiques de par leur nature détritique et souvent polymictes sont éparpillées dans tout le spectre de silice. Toutes ces valeurs sont conformes avec les variations généralement observées dans la Formation de Val-d'Or (Scott et al. 2002).

Sur un diagramme impliquant uniquement des éléments immobiles, soit Zr/TiO₂ versus Nb/Y (figure 3.2b), la dispersion de la composition des unités volcaniques se rétrécie. Les laves felsiques se classent dans les champs andésitique et dacitique alors que les unités

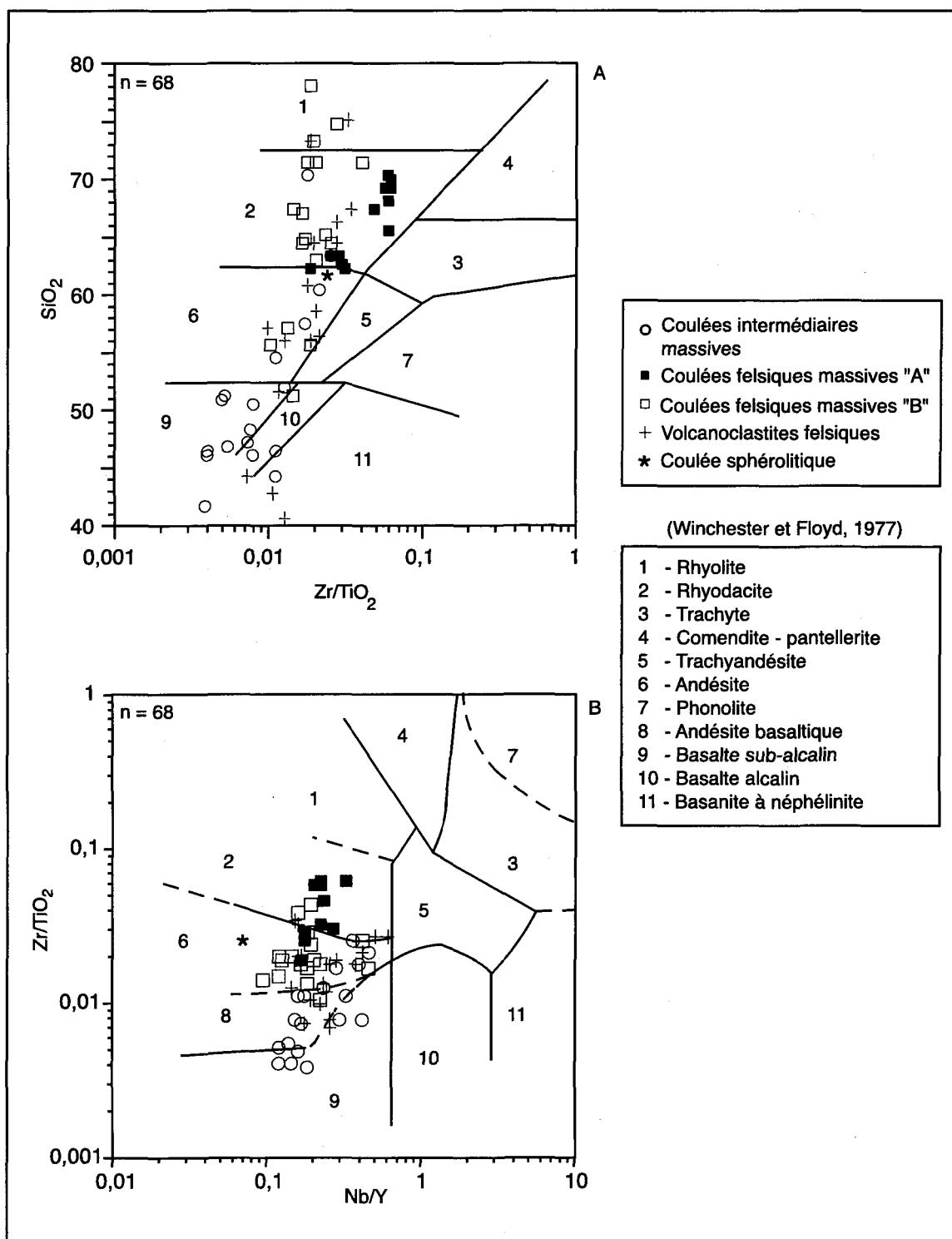


Figure 3.2 : Classification pétrographique avec les éléments traces.

intermédiaires sont séparées en deux groupes bien définis de basaltes et de basaltes subalcalins. La majorité des échantillons classés comme basaltes sub-alcalins ont été prélevés dans des forages. L'unité de laves sphérolitiques rencontrée à l'est dans un forage, marquée pour fin de comparaison, est nettement séparée du regroupement car sa teneur exceptionnelle en yttrium (103 ppm) a un effet réducteur important sur le ratio Nb/Y.

3.2.2 Signatures géochimiques

Les éléments du groupe des terres rares ainsi que les éléments traces qui sont analysés de façon plus routinière servent à caractériser l'affinité géochimique des roches volcaniques. Cette filiation magmatique est ensuite utile lors de l'identification de l'environnement géodynamique de l'éruption. Les données sur les diagrammes sont séparées par type et composition des coulées : 1a) les coulées felsiques massives sous-jacentes au gisement ; 1b) les coulées felsiques massives encaissantes du gisement ; 2) les coulées intermédiaires et 3) les volcanoclastites felsiques.

Les analyses géochimiques des différents types de roches volcaniques de East-Sullivan varient majoritairement entre 40 et 75 % SiO₂. Sur un diagramme de Harker, la sommation absolue à 100 % donne une relation négative à tout autre élément majeur lorsque qu'il est mis en relation avec SiO₂ (Rollinson 1993). Selon cette prémissse, les diagrammes doivent généralement présenter une courbe de différentiation magmatique linéaire (figure 3.3).

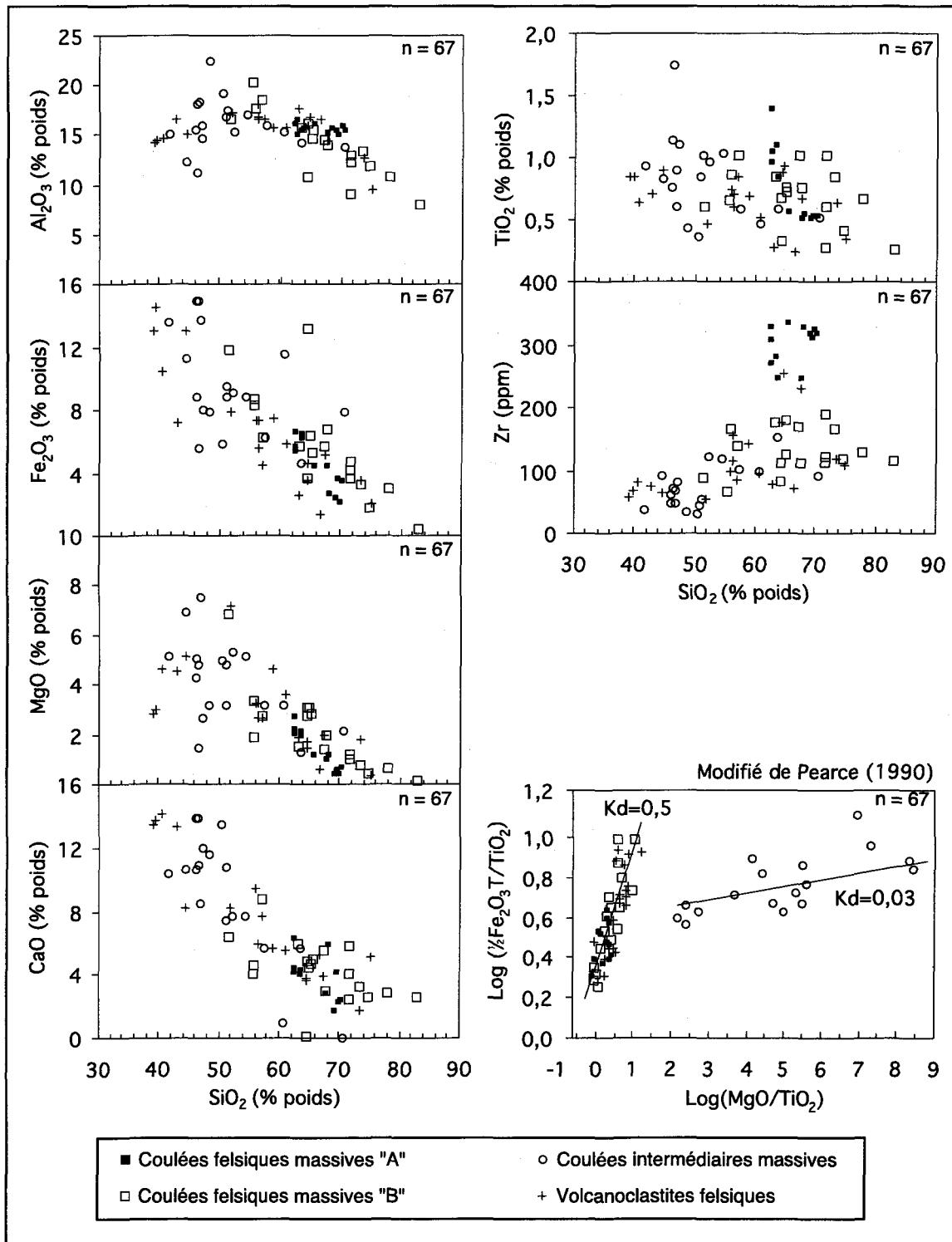


Figure 3.3 : Diagrammes de Harker de certains éléments majeurs et éléments traces des différents types de roches volcaniques de East-Sullivan.

Les éléments qui ont un coefficient de partage (Kd) supérieur et qui diminuent linéairement avec l'augmentation du SiO_2 sont : $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$, MgO , CaO . Ces éléments laissés derrière par les différentes étapes de différentiation peuvent tous entrer dans le système cristallin de la hornblende (Green et Pearson 1985). Les éléments qui semblent avoir une évolution différente des autres sont le Al_2O_3 et le TiO_2 . Ces éléments montrent un profil plutôt plat par rapport à l'augmentation du SiO_2 . Le Al_2O_3 est un élément qui entre dans le système cristallin de la hornblende et du plagioclase (Deer et al. 1992). La combinaison de la cristallisation fractionnée de la hornblende et du plagioclase peut produire une courbe de différentiation relativement planaire. Cependant, les tendances sur un diagramme binaire sont significatives seulement dans le cas où le dénominateur commun serait conservé tout au long des processus physico-chimiques ayant produit les variations chimiques dans les données (Nicholls et Russel 1990). Le dénominateur commun dans ce cas est l'élément en abscisse soit SiO_2 (figure 3.3).

Pour mettre en évidence les familles de magmas différenciés présentes dans les données, il faut utiliser un dénominateur immobile commun sur les deux axes. Le diagramme $\text{Log}(0,5\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}/\text{TiO}_2)$ sur $\text{Log}(\text{MgO}/\text{TiO}_2)$ (figure 3.3) montre un Kd moyen bien aligné de 0,5 pour l'ensemble des laves felsiques et une dispersion avec un Kd moyen de 0,03 pour les laves intermédiaires. Ces valeurs démontrent que l'ensemble des laves felsiques provient du même processus de cristallisation fractionnée alors que les roches intermédiaires originent d'une autre source et processus (Pearce 1990).

La figure 3.4a présente les valeurs de Zr versus Y des laves de East-Sullivan. Elles se séparent plus ou moins en deux séries d'affinité géochimique bien distincte. Les champs magmatiques définis par le rapport Zr/Y sont tholéïtique de 2 à 4,5, transitionnel de 4,5 à 7 et calco-alcalin lorsque >7 (Barrett et MacLean 1997). Les laves felsiques se situent dans les champs transitionnel et calco-alcalin alors que les laves intermédiaires sont restreintes au champ tholéïtique. La majorité des roches felsiques ont des rapports Zr/Y qui se situent entre 4,5 et 8. Les roches intermédiaires présentent des rapports Zr/Y situés entre 2 et 3,5. Les roches felsiques se séparent en deux familles "A" et "B", la plus différenciée "A" est plus enrichie en éléments incompatibles avec plus de 230 ppm de Zr et 30 ppm de Y. Dans le diagramme de classification de Miyashiro (1974), les coulées intermédiaires sont aussi plus ou moins dans le champ tholéïtique. En raison du faible nombre d'échantillons analysés, les roches volcanoclastiques ne présentent pas d'affinité bien définie.

Tous les éléments du groupe des terres rares permettent de séparer efficacement les laves felsiques en 2 groupes (figure 3.5). La variété "A" a des teneurs près de 2 fois plus élevées en éléments du groupe des terres rares que la variété "B". Les roches intermédiaires ont quant à elles une concentration en éléments du groupe des terres rares équivalente à moins du quart de celle des laves felsiques "A". Les roches volcanoclastiques ont des teneurs en éléments du groupe des terres rares qui s'étalent du champ des roches intermédiaires à celui des laves felsiques "B".

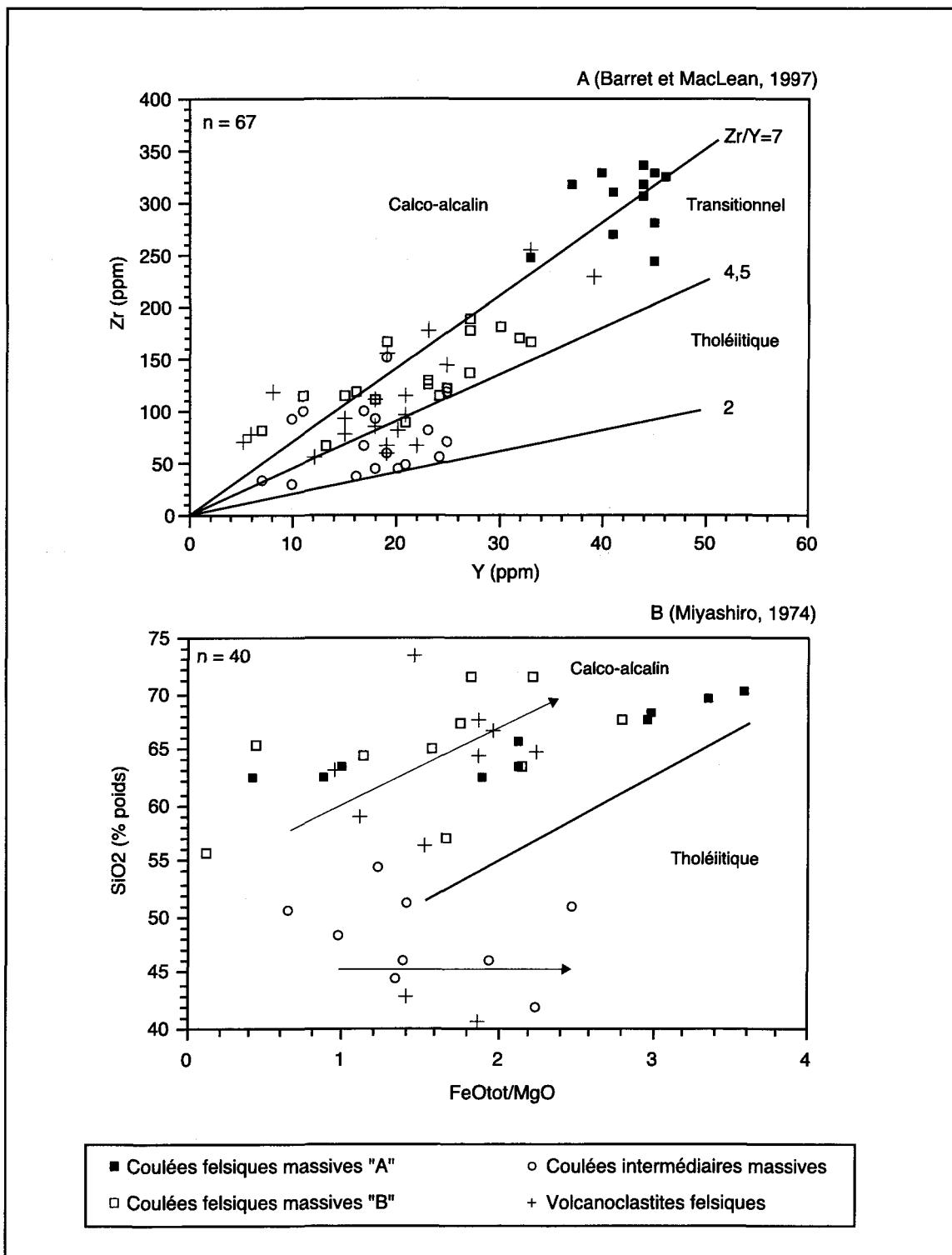


Figure 3.4 : Caractérisation des signatures géochimiques des roches volcaniques de East-Sullivan.

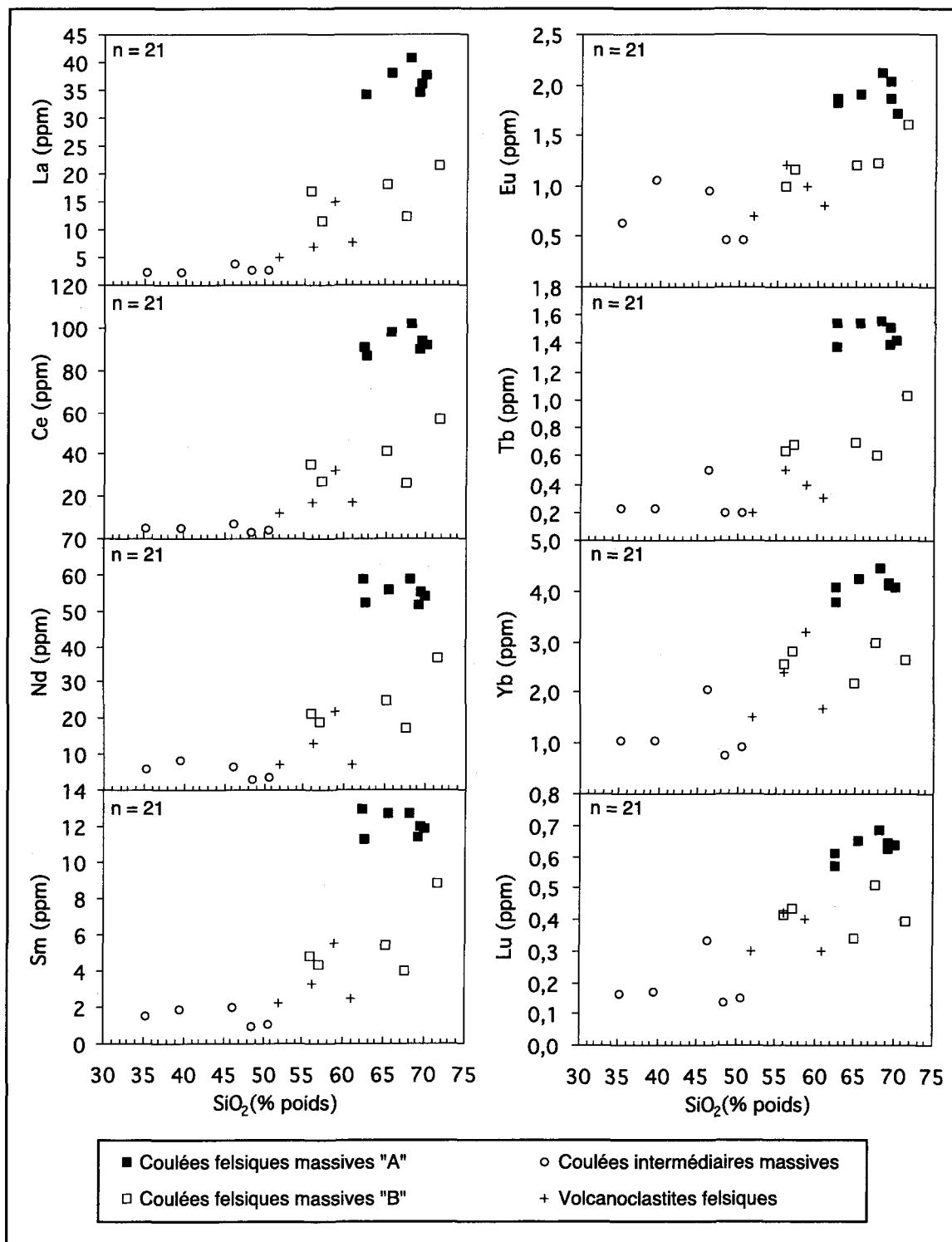


Figure 3.5 : Diagrammes de Harker des éléments des terres rares des différents types de roches volcaniques de East-Sullivan.

Les profils d'éléments du groupe des terres rares, normalisés à une moyenne de chondrites (Boynton 1984), des roches volcaniques intermédiaires et felsiques sont illustrés aux figures 3.6a et 3.6b, les données complètes étant disponibles à l'annexe 2. Les profils des coulées felsiques massives présentent un enrichissement dans les éléments du groupe des terres rares légères, une pente régulière avec un ratio moyen de La/Yb de 5,23 (tableau 3.1) et une petite anomalie négative en europium. Les profils parallèles, mais avec des différences de concentration, indiquent des niveaux différents de différenciation. La série des laves felsiques "B" particulièrement peu différenciées ont un enrichissement moyen de 20x chondrites alors que toute la série "A" ont des teneurs de près de 85x chondrites. Les coulées intermédiaires avec leurs profils beaucoup plus bas, une moyenne de 8x chondrites et de ratio La/Yb plat de 1,76 sont tholéïtiques. Le profil légèrement au-dessus des autres (97-SL-1055-C2) représente la coulée à petits coussins alors que ceux plus bas sont des coulées massives. Les anomalies positives en Europium contrastent aussi avec celles négatives des laves felsiques.

Le dernier profil d'éléments du groupe des terres rares (figure 3.6c) présente des volcanoclastites felsiques et intermédiaires. Les données complètes de ces analyses sont disponibles à l'annexe 3. Cette dernière série d'analyses a cependant un problème de fiabilité avec les éléments du groupe des terres rares lourdes Tm, Yb et Lu. Ces profils sont à mi-chemin entre les deux types de laves massives. Le profil à forte pente négative (98-SL-1102-B) est celui des tufs encaissant la minéralisation, alors que les trois autres

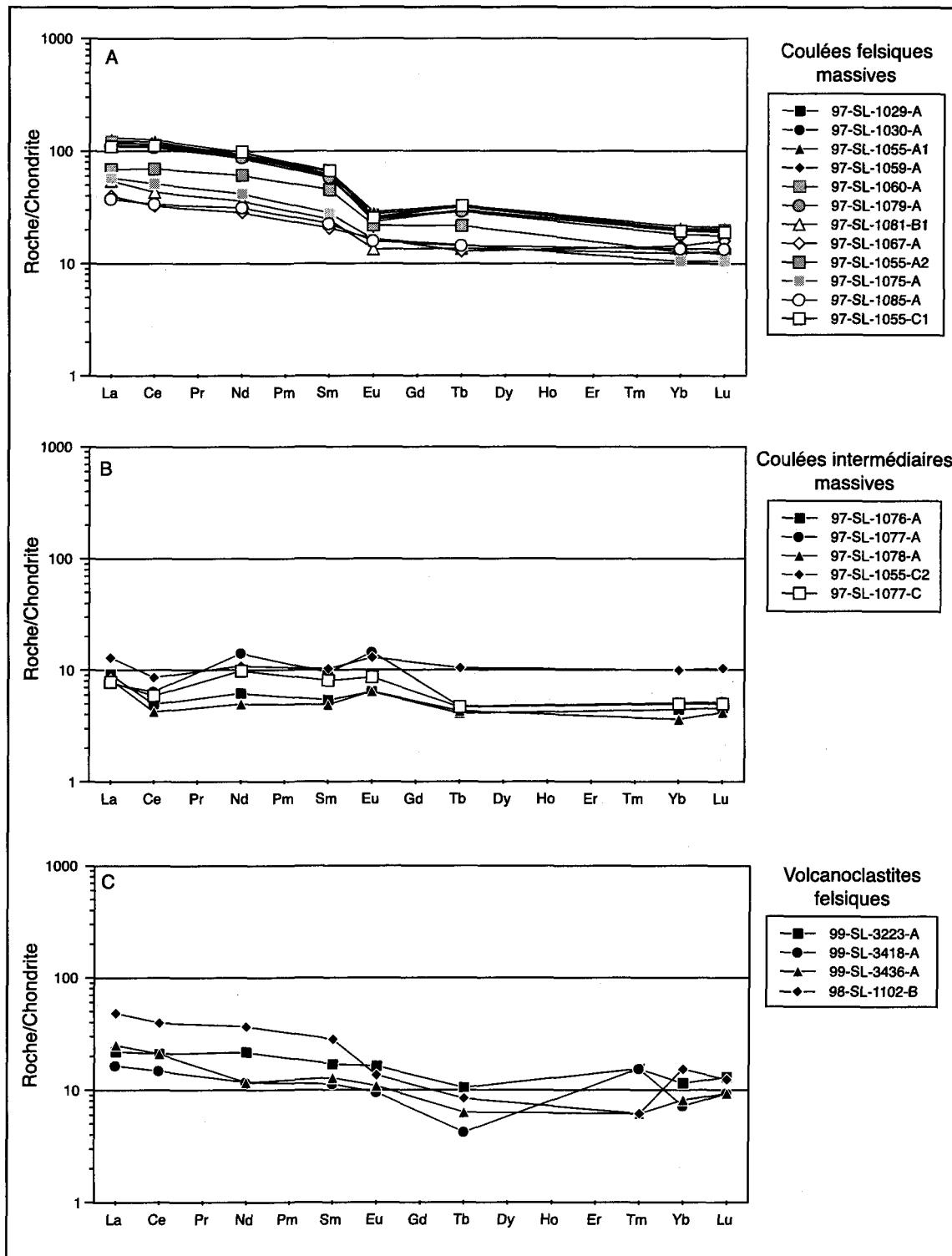


Figure 3.6 : Profils des ÉTR pour les roches volcaniques de East-sullivan (Normalisé sur les chondrites selon Boynton, 1984).

Tableau 3.1 : Rapports d'éléments traces pour les laves de East-Sullivan.

Échantillon Dépôt	1029-A Massive Felsique "A"	1030-A Massive Felsique "A"	1055-A1 Massive Felsique "A"	1055-C1 Massive Felsique "A"	1059-A Massive Felsique "A"	1060-A Massive Felsique "A"	1079-A Massive Felsique "A"	1055-A2 Massive Felsique "B"	1067-A Massive Felsique "B"	1075-A Massive Felsique "B"	1081-B1 Massive Felsique "B"	1085-A Massive Felsique "B"
La/Yb	8,71	9,00	9,16	8,39	8,37	9,22	9,08	8,10	4,15	8,22	6,56	4,13
(La/Yb)N	5,87	6,07	6,18	5,66	5,65	6,21	6,12	5,46	2,80	5,54	4,42	2,79
La/Sm	3,00	3,02	3,19	2,62	3,01	3,17	3,05	2,43	3,10	3,28	3,51	2,64
(La/Sm)N	1,89	1,90	2,01	1,65	1,89	1,99	1,92	1,53	1,95	2,07	2,21	1,66
Sm/Yb	2,90	2,98	2,87	3,20	2,78	2,91	2,98	3,34	1,34	2,50	1,87	1,56
(Sm/Yb)N	3,11	3,20	3,07	3,43	2,98	3,12	3,19	3,57	1,43	2,68	2,00	1,68
Ba/La	12,48	22,18	9,86	19,67	30,67	19,36	38,86	21,51	41,06	14,96	4,22	10,29
Th/Yb	1,51	1,55	1,46	1,36	1,52	1,54	1,41	1,29	0,49	1,03	1,09	0,53
Nb/U	6,61	5,87	6,99	8,24	8,22	12,99	10,35	8,10	10,52	8,99	4,87	15,47
Ba/Nb	50,08	94,21	40,21	66,98	105,81	48,49	121,22	76,57	169,69	67,01	17,78	29,92
Hf/Yb	2,14	2,22	2,08	2,05	2,24	2,28	2,21	1,95	1,00	1,51	1,91	1,30
Zr/Hf	36,65	32,80	46,24	32,95	43,92	29,05	34,12	23,62	20,61	60,04	15,25	53,36
Nb/Ta	10,13	9,27	10,68	11,27	11,19	16,68	11,39	10,31	8,59	11,68	8,43	11,16
Y/Nb	4,56	4,89	4,50	4,40	4,40	3,07	3,64	4,50	8,00	5,75	4,75	6,75
Zr/Y	7,94	7,03	9,50	6,22	9,20	5,86	7,13	4,49	2,57	8,57	3,93	7,24

Échantillon Dépôt	1055-C2 Coussinée Intermédiaire	1076-A Massive Intermédiaire	1077-A Massive Intermédiaire	1077-C Massive Intermédiaire	1078-A Massive Intermédiaire	Échantillon Dépôt	1102-B Tuf	3223-A Tuf à lapilli	3418-A Tuf à bloc	3436-A Tuf à bloc
La/Yb	1,94	3,08	2,22	2,33	3,41	La/Yb	4,69	2,83	3,40	4,59
(La/Yb)N	1,31	2,08	1,50	1,57	2,30	(La/Yb)N	3,16	1,91	2,29	3,09
La/Sm	2,01	2,73	1,28	1,55	2,71	La/Sm	2,73	2,06	2,32	3,12
(La/Sm)N	1,26	1,71	0,80	0,97	1,71	(La/Sm)N	1,72	1,30	1,46	1,96
Sm/Yb	0,97	1,13	1,74	1,51	1,26	Sm/Yb	1,72	1,38	1,47	1,47
(Sm/Yb)N	1,03	1,21	1,86	1,62	1,35	(Sm/Yb)N	1,84	1,47	1,57	1,58
Ba/La	15,32	69,34	10,25	5,36	29,13	Ba/La	20,67	11,91	33,33	15,38
Th/Yb	0,20	0,34	0,48	0,31	0,45	Th/Yb	1,28	0,21	0,26	0,42
Nb/U	40,32	39,89	16,49	31,98	29,01	Nb/U	5,71	10,00	6,00	8,00
Ba/Nb	20,46	65,87	8,03	4,34	25,05	Ba/Nb	77,50	16,20	56,67	30,00
Hf/Yb	0,74	0,67	0,78	0,78	1,16	Hf/Yb		1,13	0,93	1,59
Zr/Hf	39,88	48,76	84,33	47,15	38,55	Zr/Hf		36,30	39,29	34,81
Nb/Ta	17,64	42,86	24,14	22,29	36,45	Nb/Ta	8,00	50,00	30,00	20,00
Y/Nb	6,33	3,33	3,67	4,00	2,33	Y/Nb	11,25	4,20	4,00	3,75
Zr/Y	3,21	3,00	6,33	3,17	4,86	Zr/Y	3,20	4,67	4,58	6,27

échantillons proviennent des volcanoclastites intermédiaires de la Formation de Val-d'Or. Ces trois derniers sont de nature transitionnelles alors que les tufs felsiques affichent un caractère calco-alcalin (Pearce 1996).

Les roches volcaniques de East-Sullivan forment trois groupes distincts lorsque les données sont présentées sur un diagramme Yb-Zr (figure 3.7a). Ces regroupements reflètent plus ou moins ceux qui sont observés dans le diagramme Zr/Y (figure 3.4a). Les coulées intermédiaires sont situées dans le champ tholéïitique alors que les roches felsiques s'étalent de transitionnelles à calco-alcalines. Cette similarité peut résulter du fait que Yb et Y ont des caractéristiques géochimiques similaires (Barrett et al. 1994). Le rapport Yb/Zr accentue la différence entre les laves felsiques "A" et "B". Cependant, aucune évidence de terrain, distribution ou aspect, ne soutient l'existence de ces deux familles de roches felsiques. Cette séparation est encore plus évidente dans un diagramme La-Zr (figure 3.7b). Cependant, dans ce cas, tous les échantillons forment un seul groupe linéaire de ratio La/Zr de 9. Cet alignement indique que les éléments du groupe des terres rares lourdes caractérisent plus nettement les séries volcaniques que les éléments du groupe des terres rares légères, en fonction de Zr (Barrett et al. 1994). Il en résulte une impossibilité d'utiliser les données des volcanoclastites, leurs éléments du groupe des terres rares lourdes n'étant pas fiables. Pour fin de comparaison seulement l'analyse XRF de La et Zr pour l'échantillon sphérolitique est mis dans le même diagramme.

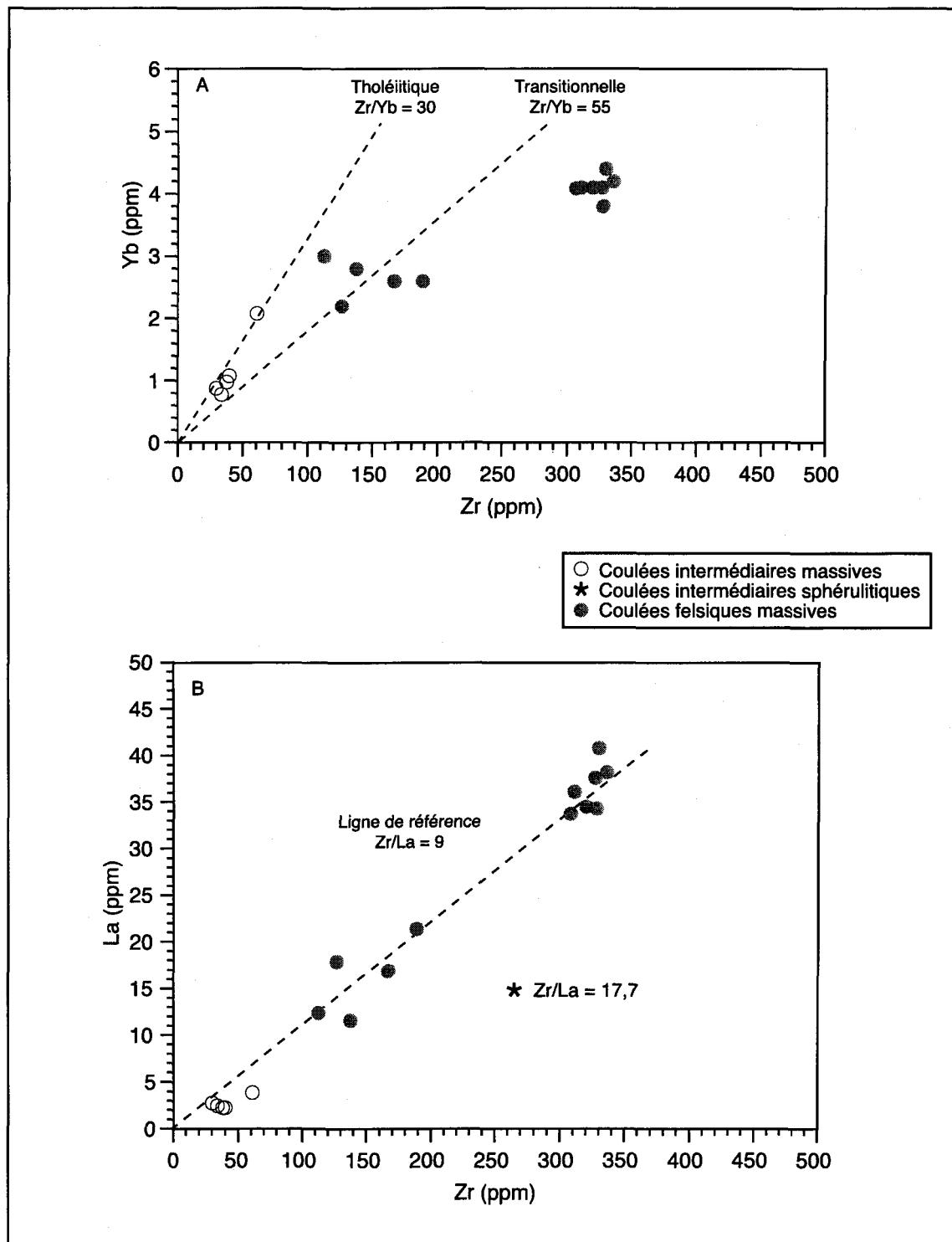


Figure 3.7 : Caractérisation de l'affinité magmatique primaire des roches volcaniques de East-Sullivan.

Les diagrammes multi-éléments sont présentés selon trois catégories : laves felsiques massives "A", laves felsiques massives "B" et laves intermédiaires (figure 3.8). Comme les unités volcanoclastiques ne présentent pas de spectre uniforme, elles ont été laissées de côté. Les diagrammes multi-éléments sont une extension des spectres des ETR et sont basés sur les principes de compatibilité des éléments. Les diagrammes multi-éléments sont normalisés selon les valeurs du manteau primitif de McDonough *et al.* (1991).

Les diagrammes multi-éléments des différents types de laves felsiques montrent des pentes négatives alors que ceux des laves intermédiaires ont des profils désordonnés plus ou moins horizontaux (figure 3.8). Les rapports Th/Yb et Hf/Yb présentent le degré de fractionnement. Pour les laves felsiques, le rapport Th/Yb moyen est de 1,48 pour les laves felsiques "A", de 0,89 pour les laves felsiques "B" et de 0,36 pour les laves intermédiaires (tableau 3.1). Le rapport Hf/Yb varie d'une moyenne de 2,17 pour les laves felsiques "A", à 1,53 pour les laves felsiques "B" et à 0,82 pour les coulées intermédiaires (tableau 3.1). Les laves felsiques des deux familles présentent d'importants appauvrissements en Nb et Ti.

Les diagrammes multi-éléments des laves felsiques indiquent un enrichissement de près d'un ordre de grandeur en éléments à potentiel ionique moyen (Th, La, Ce, Nd, Sm, Zr, Hf) par rapport aux éléments à champ de force élevé (Eu, Tb, Dy, Y, Ho, Yb, Lu) (figure 3.8). Ce spectre d'éléments incompatibles correspond à celui d'une source calco-alcaline de

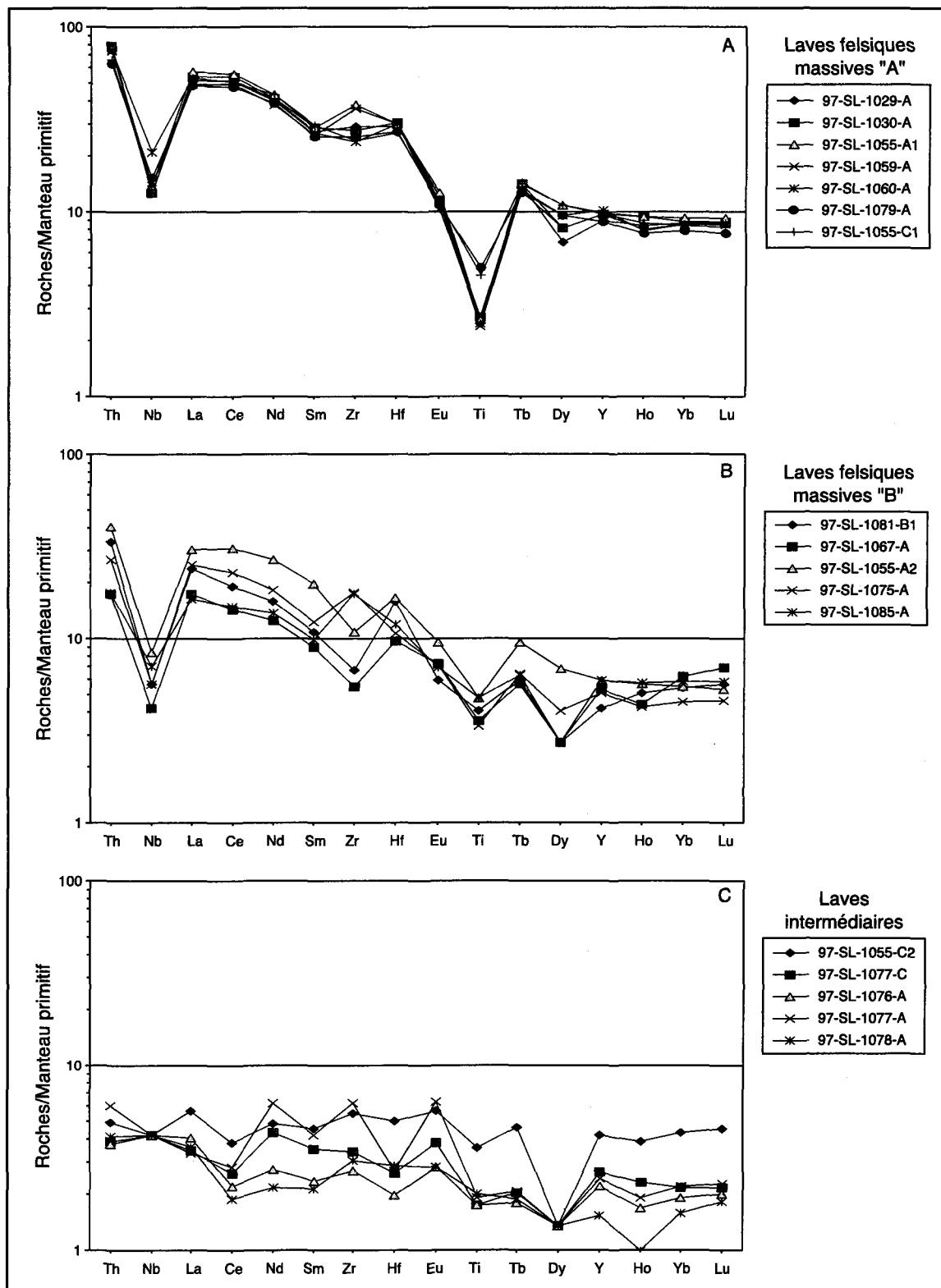


Figure 3.8 : Diagrammes multi-éléments pour les roches volcaniques de East-sullivan (Normalisé sur manteau primitif selon McDonough *et al.*, 1991).

subduction. Le diagramme multi-éléments de laves intermédiaires présente un profil plat avec des teneurs d'ordre comparables pour tous les éléments.

3.2.3 Environnement tectonique

Les rapports de Zr et de Y peuvent être utilisés directement pour évaluer efficacement le contexte pétrogénétique des laves (Pearce et Norry 1979). Les coulées intermédiaires de East-Sullivan se situent dans le champ des basaltes d'arc-volcanique (figures 3.9a). Comme les champs de Pearce et Norry (1979) sont spécifiques aux laves mafiques, les compositions plus différenciées des coulées felsiques les font tous apparaître dans le champ des basaltes intra-plaque. Les éléments (Th, Ta et Yb), utiles pour l'identification de l'environnement tectonique des roches felsiques (Gorton et Schandl 2000), sont tous au seuil de détection. Donc, seules les roches mafiques sont utilisables dans cette étude.

La classification pétrogénétique (Pearce et Norry 1979) des laves de East-Sullivan mentionnée précédemment (figure 3.9a) indiquait pour les andésites un site d'écoulement situé dans un milieu d'arc océanique. Dans un diagramme triangulaire Ti-Zr-Y (Pearce et Cann 1973), la classification du milieu tectonique ne semble pas efficace (figure 3.9b). Les andésites de East-Sullivan sont principalement dans le domaine des basaltes intra-plaque ou tout simplement hors champ. Le diagramme Nb-Zr-Y (Meschede 1986) semble plus

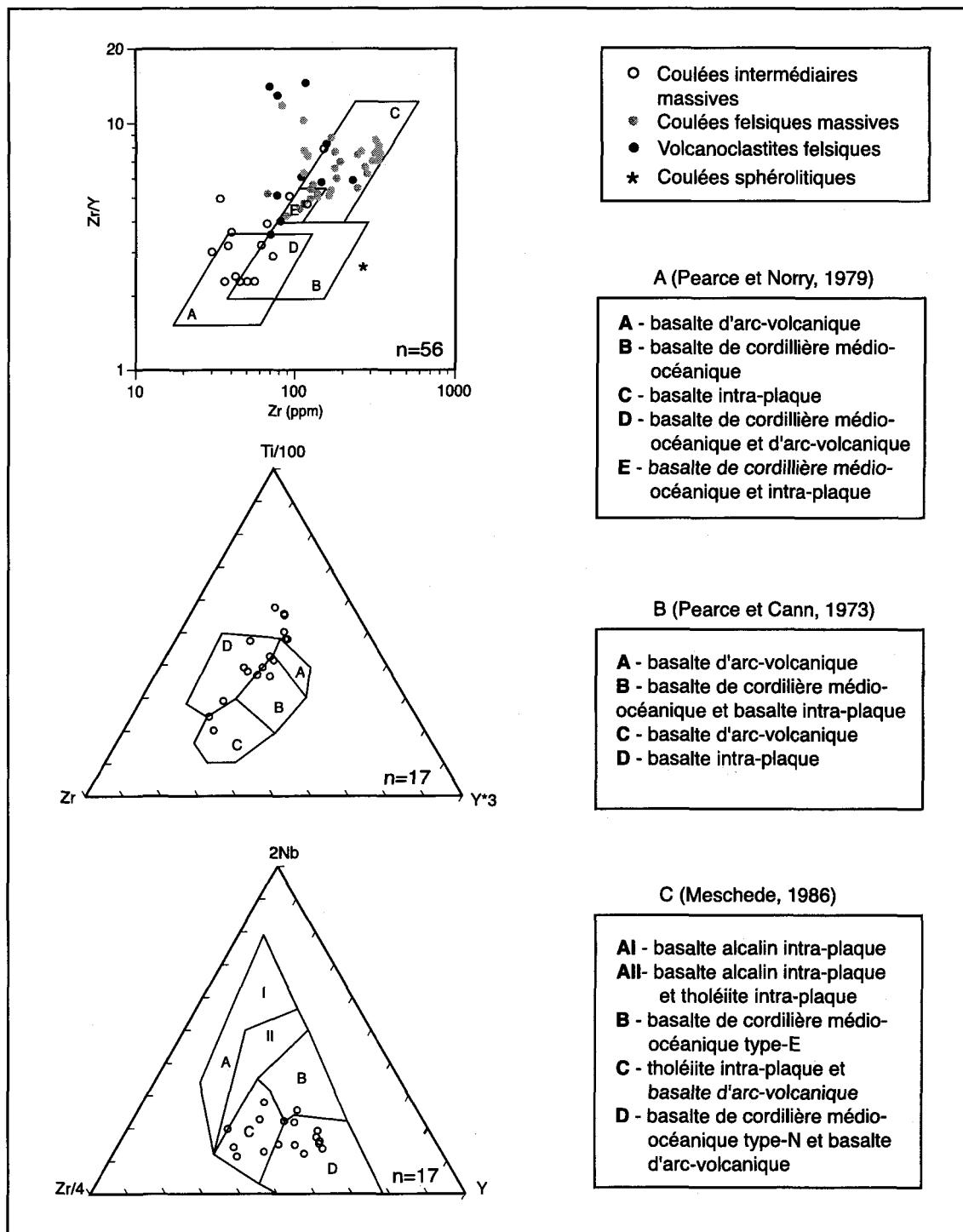


Figure 3.9 : Caractérisation pétrogénétique des coulées de laves de East-Sullivan.

efficace pour classifier les andésites de East-Sullivan. Dans ce dernier diagramme (figure 3.9c) les laves mafiques sont toutes dans les champs associés au basalte d'arc-volcanique.

Outre le système Ti-Zr-Y toutes les classifications semblent indiquer que l'environnement de mise en place pour les andésites de la mine East-Sullivan est un arc-volcanique. Ce milieu et la composition tholéïtique correspondent avec le modèle actuel des Formations de Val-d'Or et de Héva (Pilote et al. 1999a; Scott et al. 2002), soit un arc-volcanique en milieu de subduction remplacé ensuite par un système à épanchement important associé à un panache mantellique.

CHAPITRE IV

ALTÉRATION ET MINÉRALISATION DU GISEMENT DE EAST-SULLIVAN

4.1 MINÉRAUX D'ALTÉRATION

L'étude des altérations est un élément important dans la caractérisation des dépôts de sulfures massifs volcanogènes et aussi dans la détermination des conditions physico-chimiques des fluides minéralisateurs. La chronologie des suites d'altération est basée sur des relations de recouplement entre les veines ou veinules et les associations de celles-ci avec les altérations diffuses. Les unités proches de la minéralisation de East-Sullivan sont affectées par une série d'altérations diffuses composées principalement de chlorite et d'épidote clinzoïsite. Outre ces deux altérations principales, plusieurs minéraux mineurs sont présents : ce sont la séricite, les carbonates et la biotite, cette dernière originant d'un remplacement métamorphique de la séricite hydrothermale.

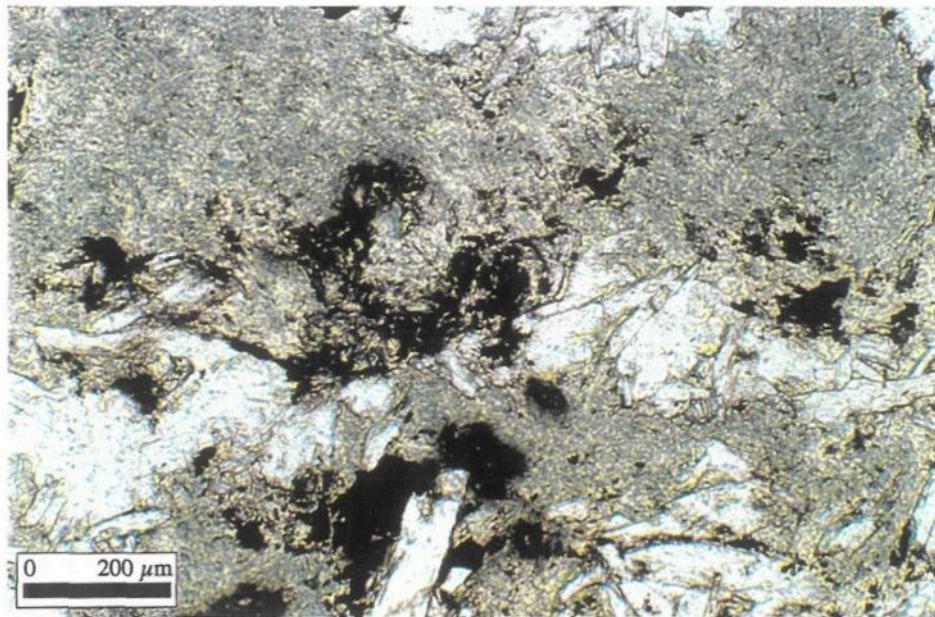
4.1.1 Séricite et biotite

La séricite (formule simplifiée : $K_{1.5}Al_4(Si_{8-1.5},Al_{1.5})O_{20}(OH)_4$) se présente en petites paillettes disséminées dans la matrice cryptocrystalline des rhyolites massives et bréchiques,

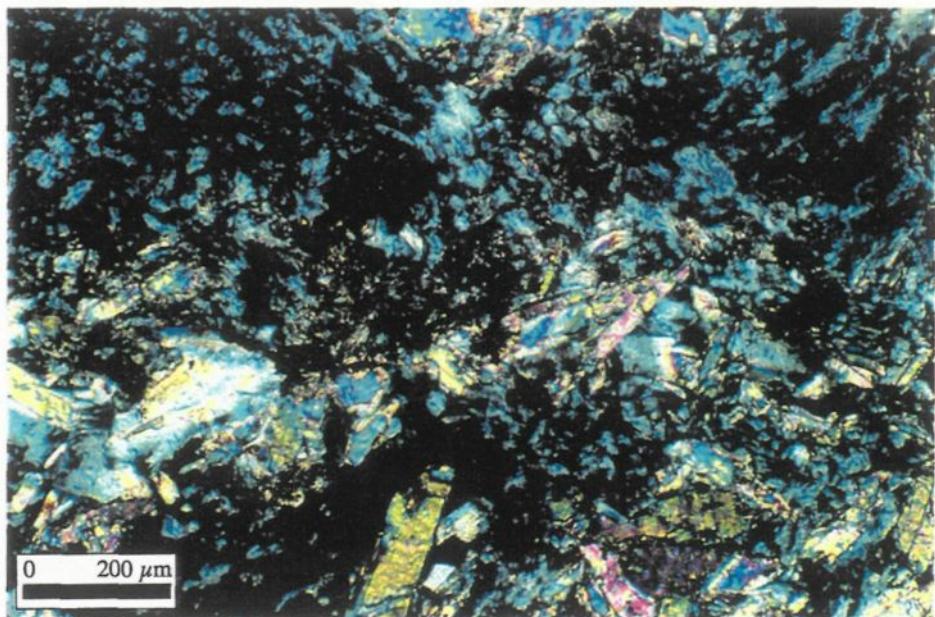
et parfois associée au leucoxène (planche 2.5b). La séricite peut aussi être visible en cristaux idiomorphes associés à l'altération de chlorite et à la minéralisation disséminée toujours dans les rhyolites (planche 2.7 et 4.1). La séricite est presque toujours séparée physiquement de la biotite.

La séricitisation représente la première étape d'altération hydrothermale précoce des roches felsiques. Cette étape d'altération initiale peut facilement être oblitérée par les phases d'altération subséquentes. La réaction de l'eau de mer avec les unités de roches volcaniques felsiques qui sont encore chaudes, peu profondes et plus ou moins perméables produit la séricite. Cette réaction est l'étape initiale du lessivage des éléments alcalins comme le potassium contenu dans les roches. Elle a aussi pour effet de diminuer le pH de l'eau de mer et de faire précipiter une partie de son sodium (Hajash et Chandler 1981). La séricitisation est aussi la première étape d'augmentation de la porosité de la roche initiale. La solution riche en potassium qui en résulte en chauffant migre vers le haut et commence à transformer les plagioclases en séricite et quartz.

La biotite (formule alumineuse simplifiée : $K_2(Mg,Fe^{2+})_4Al_2[Si_4Al_4O_{20}](OH)_4$) est l'autre mica présent en quantité appréciable aux environs de la mine East-Sullivan. Grâce à sa couleur brune, elle se reconnaît facilement en affleurement et en lame mince (planche 2.6b). Les cristaux de biotite souvent associés à l'épidote sont présents sous forme de plaquettes localisées surtout au niveau des phénocristaux de feldspath dans les andésites et



A. Microphotographie de laze felsique avec pyrite disséminée proximale à la minéralisation. Une forte altération de chlorite et de séricite remplace complètement la texture originale. Lumière naturelle. Lame 97-SL-1080-A.



B. Le même échantillon en lumière polarisée révèle la couleur bleutée caractéristique des chlorites ferrifères.

Planche 4.1 : Altération proximale de l'encaissant felsique massif par l'assemblage quartz-chlorite-séricite.

les rhyolites. Cette altération présente seulement au nord de la mine East-Sullivan a été nommée altération « zébrée » soulignant son arrangement qui mime la schistosité en formant des alignements bruns sinuieux plus ou moins continus.

Le développement de la biotite dans la roche est communément associé à celui de la séricite, mais cette dernière à un champ de stabilité plus restreint. La biotite de East-Sullivan est cependant le résultat de la transformation métamorphique des roches intermédiaires d'affinité calco-alcaline (Deer et al. 1992). Lorsque le métamorphisme dépasse le grade des schistes verts pour se déplacer vers celui des amphibolites, la muscovite est transformée en biotite par l'ingestion de calcium selon la réaction 4.1.



Cette transformation explique en partie la quantité importante de biotite visible dans les unités de volcanoclastites intermédiaires de la Formation de Val-d'Or. Les roches volcanoclastiques sont en effet localisées dans l'auréole de métamorphisme de contact du stock de East-Sullivan.

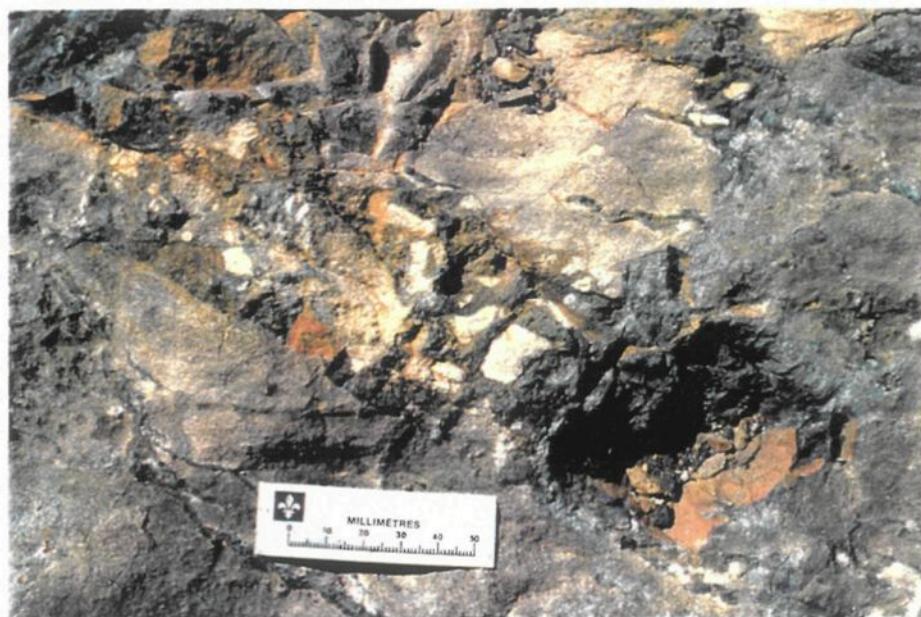
4.1.2 Chlorite

La chlorite (formule générale : $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Mn},\text{Al})_{12}[(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_{16})$) est présente dans la majorité des échantillons sous forme de porphyroblastes de composition magnésienne à biréfringence brune (Yardley et al. 1990). Cette présence à moins de 10 % est normale pour des roches volcaniques au grade des schistes verts. Sa présence est par contre beaucoup plus importante près du gisement. Deux occurrences de petites brèches chloriteuses sont observables. La première est située aux abords de la mine; elle recoupe les laves massives; c'est une brèche à fragments anguleux (planche 4.2a) de laves felsiques lessivées blanches qui flottent dans une matrice verte. Dans cette brèche (affleurement 97-SI-1031), la chlorite (75 %) constitue avec de l'actinolite (10 %), des carbonates (10 %) et des traces de biotite, la matrice où flottent les fragments rhyolitiques détachés de dimension centimétrique. La chlorite est en cristaux pœciloblastiques avec de nombreuses inclusions d'actinolite dispersées en forme d'aiguilles. La deuxième localisation de brèche chloriteuse est située sur l'affleurement 98-SL-1102 (figure 2.5). Sa composition et son aspect sont similaires mais de dimension beaucoup moins importante, moins de 10 cm contre près de 1 m d'épaisseur pour la première.

Sous le gisement, dans les coulées intermédiaires massives (ex : affleurements 97-SL-1076 et 97-SL-1077), la chlorite est présente dans des veinules millimétriques. Ces veinules



A. Brèche à fragments felsiques altérés dans une matrice de chlorite-épidote-actinolite. La brèche d'une largeur moyenne de 50 cm située près du chevalement de la mine recoupe les coulées à angle droit. Échelle 10 cm. Affleurement 97-SL-1031.



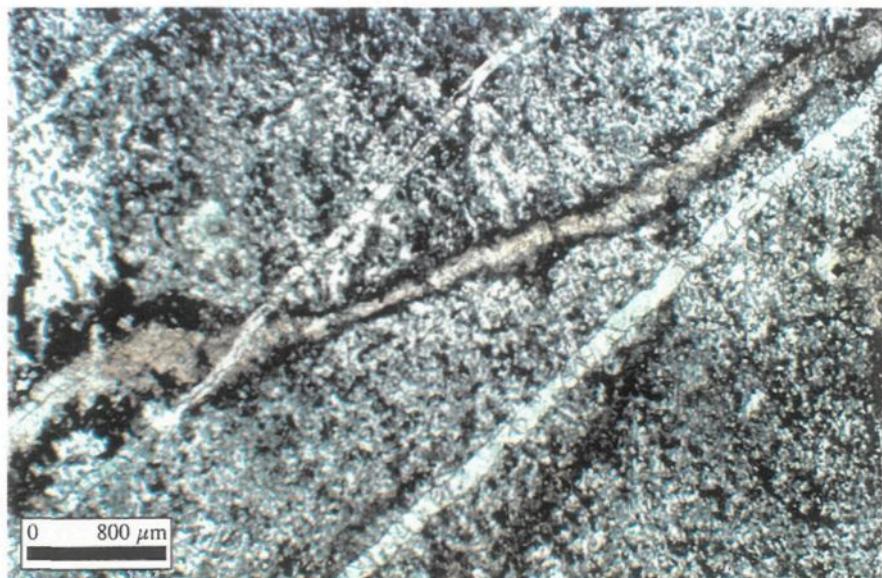
B. Brèche hydrothermale qui recoupe tous les faciès de l'affleurement 98-SL-1102. Les fragments altérés qui subsistent à l'intérieur de la brèche sont complètement lessivés et entourés de chlorite massive. Les veinules de chlorite (planche 2.10b) représentent un stade moins développé de ce système d'altération. Échelle 5 cm.

Planche 4.2 : Brèches d'altération hydrothermale aux environs du gisement.

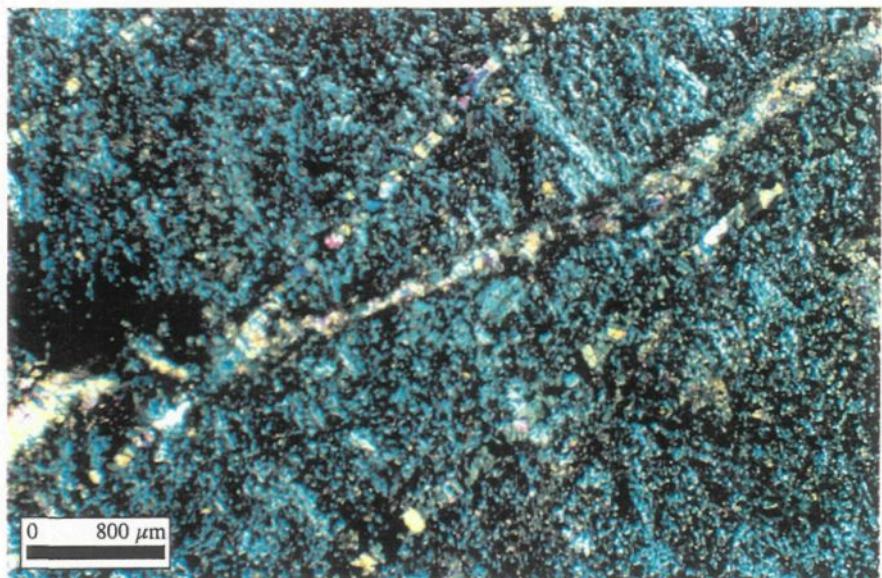
noires en affleurement et qui semblent très précoce au moyen de leur recouplement ont les parois bordées de chlorite et un cœur en épidoite (planche 4.3).

Dans les coulées felsiques massives qui présentent des sulfures disséminés, la chlorite a une biréfringence bleu, indicatrice de composition ferrifère (Thompson et Thompson 1996) et remplace avec la muscovite-séricite la majorité de la matrice cryptocristalline. Ces bancs de chlorite massive sont constitués de petits cristaux idiomorphes coalescents. La chlorite est aussi directement associée au mineraï de sulfures massifs. Dans ces cas, elle forme la majorité de la gangue, dispersée en grandes plages de cristaux idiomorphes ou en amas sphéroïques et le plus souvent associée au mineraï de zinc.

Un total de 31 analyses à la microsonde électronique a été effectué sur les chlorites provenant de l'encaissant et de la minéralisation. Le résumé des résultats est présenté au tableau 4.1 et les résultats complets sont disponibles à l'annexe 4. La majorité des chlorites (figure 4.1a) sont de l'espèce ripidolite et quelques-unes de l'espèce pycnochlorite (Hey 1954). Les ripidolites sont assez pauvres en magnésium. Leur rapport $Fe/(Fe+Mg)$ varient de 0,36 à 0,65. Les chlorites qui sont incluses dans les échantillons de sulfures massifs ont des ratios supérieurs à 0,5 et celles associées au sulfures disséminés sont sous ces valeurs. Les quelques représentants de pycnochlorite proviennent d'échantillons situés sous le gisement.



A. Microphotographie des coulées intermédiaires massives sous-jacentes au gisement. Deux générations de veinules de chlorite-épidote se recoupent. La deuxième génération n'a pas de bordure de chlorite foncée. Lumière naturelle. Lame 97-SL-1078-A.



B. Le même échantillon en lumière polarisée.

Planche 4.3 : Altération proximale des laves intermédiaires massives sous-jacentes à la minéralisation par l'assemblage quartz-épidote-chlorite en fines veinules.

Tableau 4.1 : Composition moyenne des chlorites selon les analyses à la microsonde.

Échantillon	Lame SL-E (n=2)	Lame SL-F (n=9)	Lame 1029-A (n=5)	Lame 1081-B1 (n=1)	Lame 1080-B (n=14)
Minéralisation	Sulfures semi-massifs	Sulfures massifs	Coulée felsique	Sulfures disséminés	Encaissant felsique
Analyse	Ripidolite	Ripidolite	Picnochlorite	Ripidolite	Ripidolite
% poids					
SiO ₂	25,848	24,201	26,974	26,363	25,681
Al ₂ O ₃	22,618	22,300	18,624	22,438	22,044
FeO	23,233	29,518	30,213	19,405	23,489
MgO	16,597	11,328	11,782	18,453	15,426
CaO	0,002	0,016	0,044	0,036	0,009
Na ₂ O	-	0,007	0,002	0,011	0,005
K ₂ O	0,021	0,010	0,069	0,021	0,023
TiO ₂	0,039	0,035	0,043	0,031	0,059
MnO	0,241	0,613	0,649	0,615	0,669
Cr ₂ O ₃	-	0,005	-	0,025	0,150
Total	88,598	88,033	88,400	87,398	87,555
Nombres d'ions recalculés sur une base de 28 Oxygènes					
Si	5,274	5,170	5,748	5,353	5,327
Al	5,510	5,687	4,738	5,439	5,458
Fe	4,017	5,343	5,453	3,338	4,127
Mg	5,112	3,653	3,791	5,658	4,831
Ca	0,000	0,004	0,010	0,008	0,002
Na	-	0,002	0,001	0,003	0,002
K	0,003	0,001	0,009	0,003	0,003
Ti	0,006	0,006	0,007	0,005	0,009
Mn	0,042	0,112	0,119	0,107	0,119
Cr	-	0,001	-	0,006	0,038
Total Cation	19,965	19,980	19,876	19,919	19,916
Fe/(Fe+Mg)	0,440	0,594	0,590	0,371	0,461

n , nombre d'analyses utilisées pour calculer la moyenne

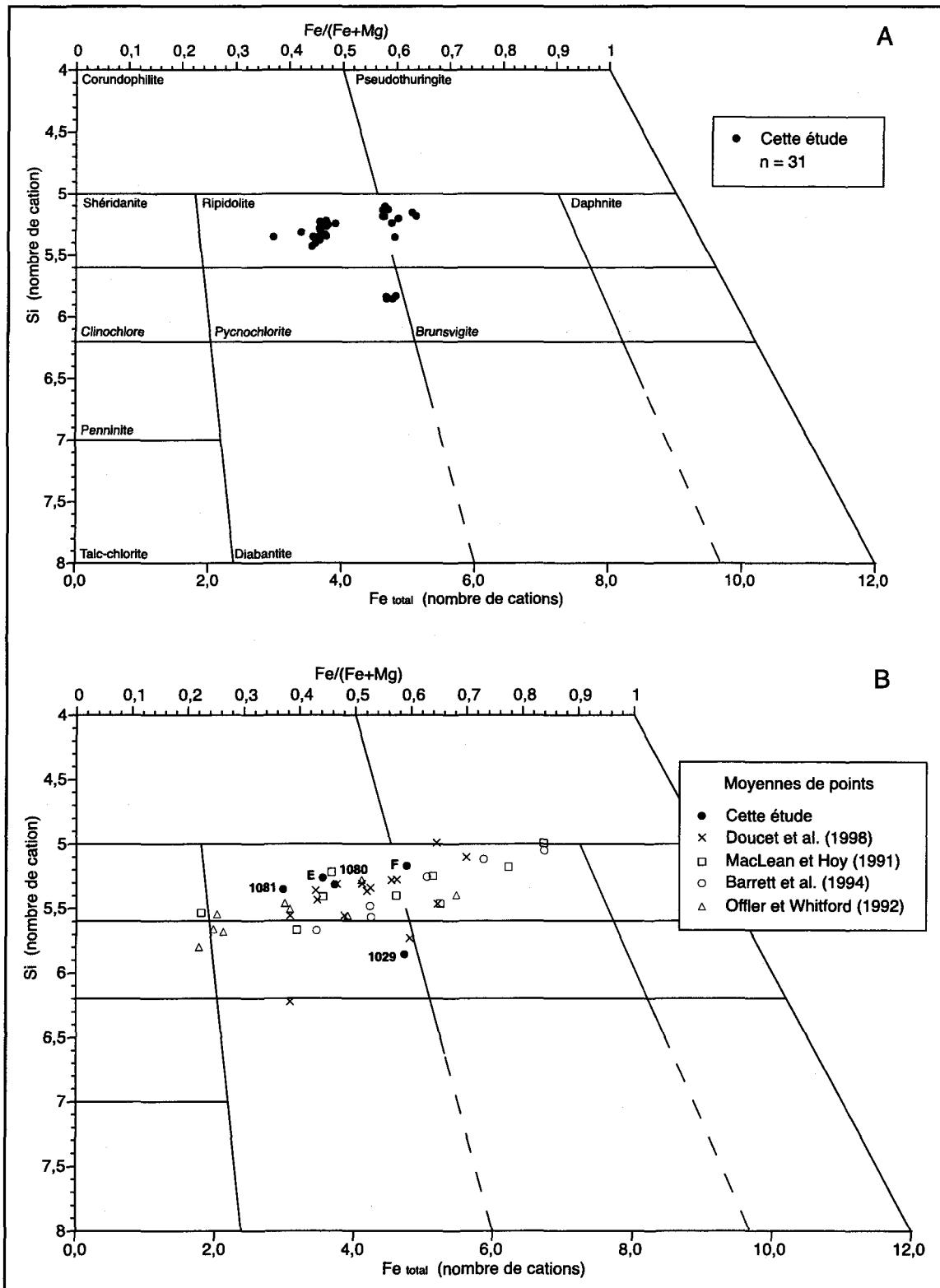


Figure 4.1 : Classification et comparaison des chlorites de East-Sullivan selon Hey (1954).

4.1.3 Silice

La silicification constitue l'altération cryptique de East-Sullivan. Si une telle silicification affecte les rhyolites de East-Sullivan, leur aspect massif et felsique en interdit l'appréciation aussi bien en affleurement (planche 2.4) qu'en lames minces (planche 2.5). De plus, les roches recouvrant immédiatement le gisement, soit les laves mafiques de la Formation de Héva, ne sont pas accessibles au niveau du gisement. Le modèle classique des gisements de sulfures massifs volcanogènes prédit la présence d'une silicification résultant des processus hydrothermaux intrinsèques, généralement présente sous la forme d'une zone d'altération semi-concordante latéralement au gisement et dans la roche sus-jacente (Galley 1993; Franklin 1996; Franklin et al. 1997).

Deux indices permettent cependant de soutenir la présence d'une silicification. Le premier est la présence d'amygdales de quartz sur de nombreux fragments vésiculaires dans les volcanoclastites de East-Sullivan (planche 2.13). Ce quartz secondaire a rempli les vésicules contenant du gaz à l'origine suite à la mise en place des unités volcanoclastiques.

L'autre indice est l'apparent gain de masse qui a affecté principalement les unités rhyolitiques. Par exemple, sur un diagramme de Al_2O_3 en fonction de Zr (figure 4.2a), les rhyolites montrent une déviation de la ligne de fractionnement linéaire (ligne pleine), indicateur d'un gain de masse (Barrett et al. 1993; Barrett et al. 1994). Trois lignes

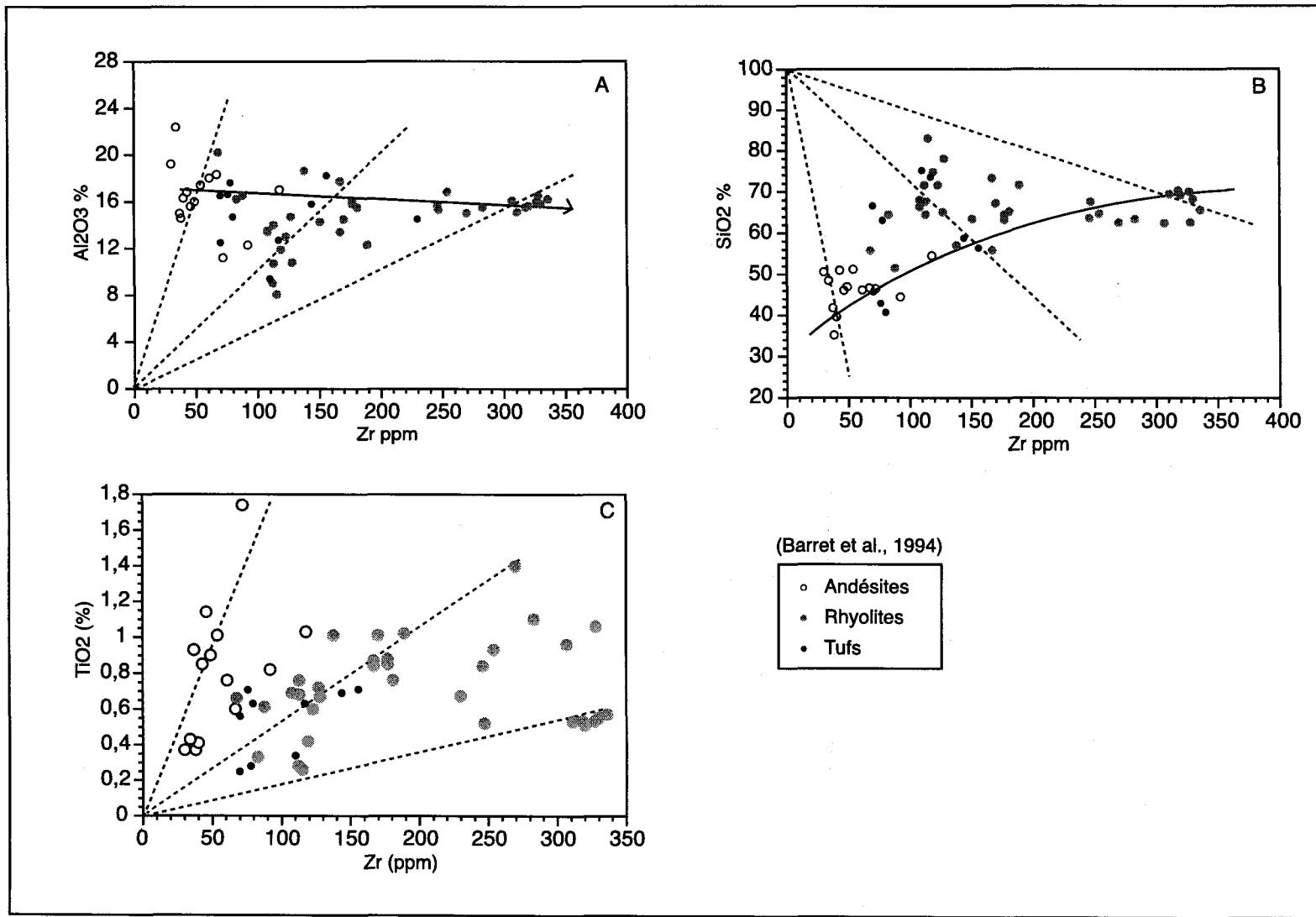


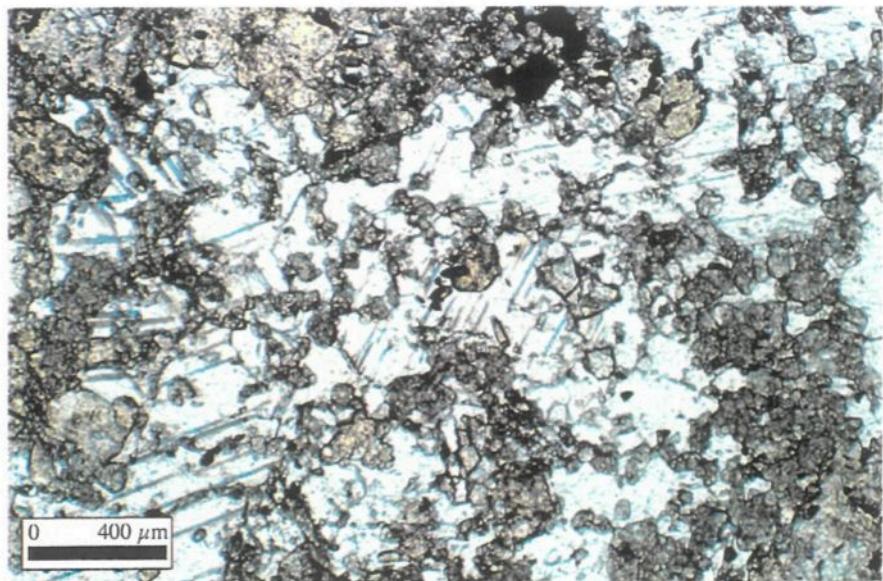
Figure 4.2 : Caractérisation du changement de masse associé à l'altération.

d'altération correspondant aux andésites et aux deux types de rhyolites sont également montrées à la figure 4.2a. Le gain de masse affecte particulièrement les rhyolites moins différenciées, alors que les autres montrent même une légère perte potentielle. Les rapports de SiO_2 sur Zr abondent dans le même sens (figure 4.2b) avec les mêmes variations de masse. Le gain important en silice pour les rhyolites peu différenciées et pour les andésites est responsable de la déviation de la ligne de fractionnement visible dans le rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Zr}$. L'alignement dans le diagramme La-Zr (figure 3.7b) indique aussi que les roches altérées n'ont pas subi de remobilisation importante des éléments du groupe des terres rares. L'existence de deux séries distinctes séparant les andésites et les rhyolites est visible sur le diagramme TiO_2 versus Zr (figure 4.2c). Les rhyolites ont un rapport Zr/TiO_2 d'environ 200 alors que les andésites ont un ratio de 50. Ces valeurs placent les andésites dans le champ des andésites basaltiques. Un rapport de 200 pour les rhyolites les place entre les champs des rhyolites B et des andésites. Ces rapports ne sont pas en contradiction avec les compositions qui s'étaient entre les dacites et les rhyolites pour les roches felsiques de East-Sullivan (figure 3.2a) (Winchester et Floyd 1977). Par contre, il se peut que ces deux séries de rhyolites n'en soient en fait qu'une seule mais sous l'influence de changements de masse différents.

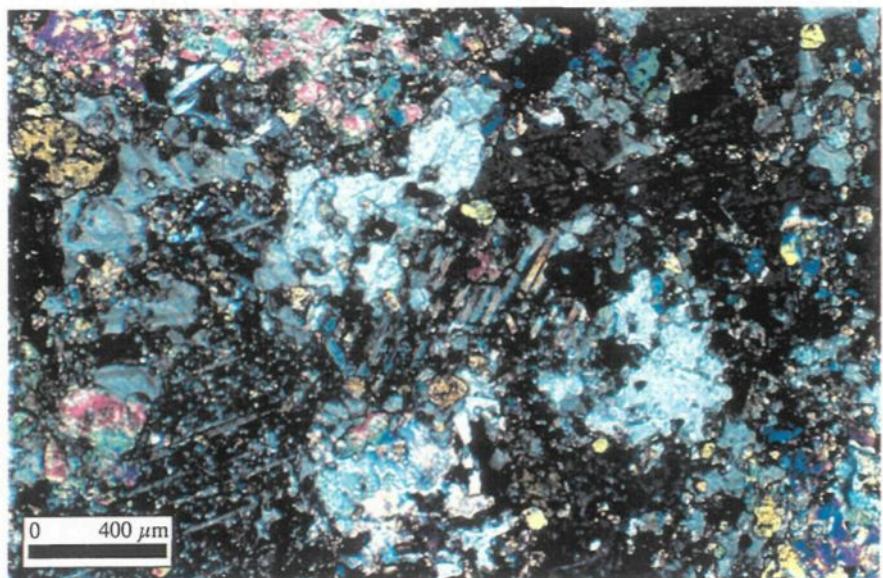
4.1.4 Carbonate

La carbonatation est l'altération qui est la plus apparente sur certains affleurements près du gisement (planche 2.8). Elle est cependant difficile à observer en lames minces et dans les analyses lithogéochimiques. Il semble que les affleurements ne font que montrer des vestiges d'altération en carbonate, la majorité des carbonates ayant disparu. Lorsque observés en lame mince, les carbonates sont toujours accompagnés d'épidote (planche 4.4) et sont tous plus ou moins recristallisés en grands cristaux clivés à forte réfringence. Le carbonate présent à East-Sullivan remplit surtout les cavités laissées libres par la silice et les autres minéraux d'altération.

Avec pour objectif de vérifier la composition des carbonates, 11 colorations ont été faites sur des échantillons macroscopiques qui semblaient en contenir. La méthode employée est une version modifiée de celle proposée par Dickson (1966). La solution est un mélange de 200 mg d'alizarin rouge et de 2 g de ferrocyanure de potassium dans 200 ml d'acide chlorhydrique à 1,5 %. Les résultats (annexe 11) peu probants de ces colorations ont partiellement montré que certaines amygdules et veinules contiennent des carbonates peu ferrifères. Les observations microscopiques éliminent d'emblée la sidérite ($FeCO_3$).



A. Microphotographie d'une coulée massive intermédiaire sous-jacente au gisement. Cet échantillon est l'un des rares présentant une altération par l'assemblage carbonate-épidote. Lumière naturelle. Lame 97-SL-1077-C.



B. Même échantillon mais en lumière polarisée montrant la partie des carbonates qui est partiellement remplacée par de l'épidote.

Planche 4.4 : Altération proximale des laves intermédiaires massives sous-jacentes à la minéralisation par l'assemblage carbonate-épidote.

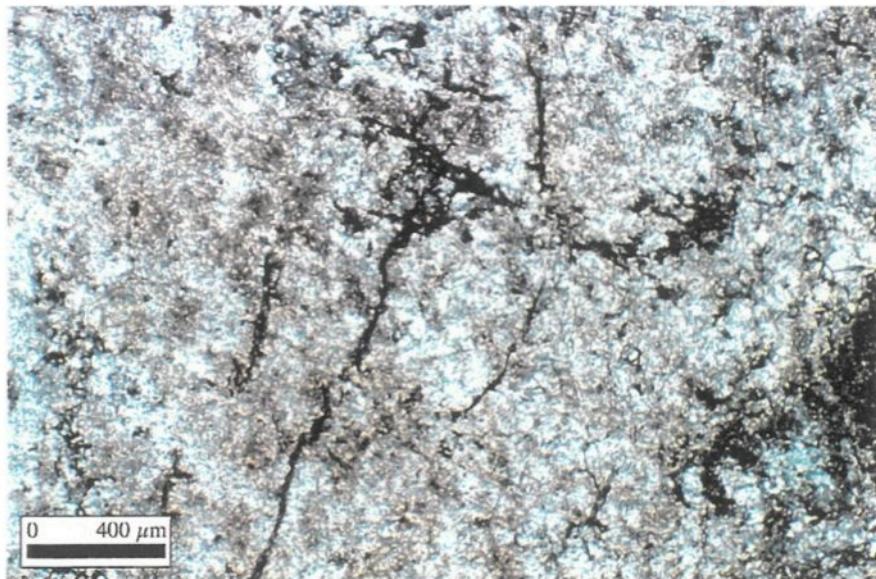
Les carbonates sont donc soit de l'ankérite ($MgCO_3$) ou un mélange d'ankérite et de calcite ($CaCO_3$).

4.1.5 Épidote

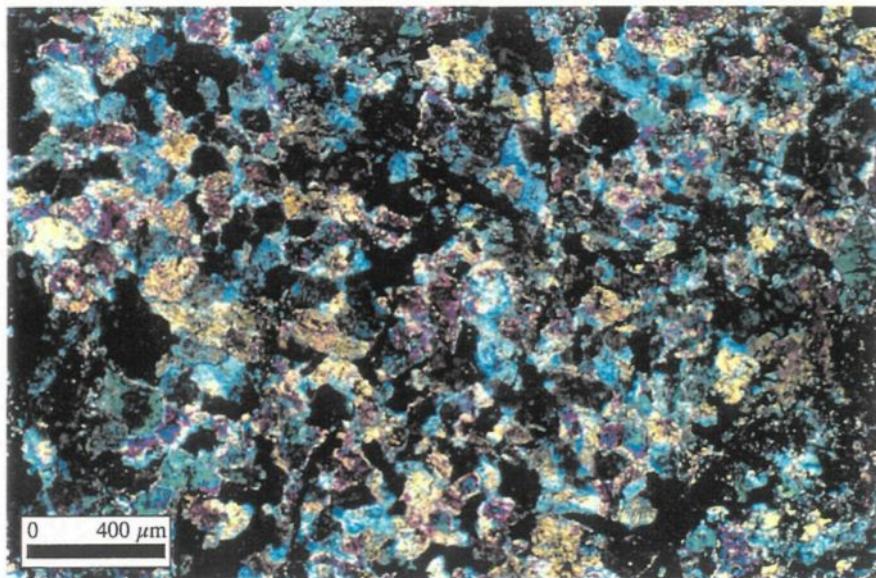
Peu visible en affleurements, l'épidote domine cependant en abondance relative. Certaines roches sont complètement transformées en epidote massive (planche 4.5), clinozoïsite et pistachite (MacKenzie et Guilford 1980).

Toutes les volcanoclastites de l'édifice felsique inférieur et celles des roches volcanoclastiques de la Formation de Val-d'Or sont recoupées par un assemblage de biotite métamorphique et d'épidote aligné avec la schistosité dans un arrangement diffus. Cette altération caractéristique est restreinte à un rayon de 500 m autour du stock de East-Sullivan.

Le résumé des résultats d'analyses à la microsonde électronique, faites sur 59 grains d'épidote, est présenté au tableau 4.2, alors que les résultats complets sont disponibles à l'annexe 5. La teneur de SiO_2 des epidotes analysées s'étale de 37,5 % à 41 % avec une



A. Microphotographie d'une coulée intermédiaire massive sous-jacente au gisement. Une intense altération d'épidote grossière remplace complètement la texture originale. Lumière naturelle. Lame 97-SL-1077-A.



B. Le même échantillon en lumière polarisée. Les grains d'épidote hypidiomorphe sont bien différenciables avec leur forte couleur d'interférence.

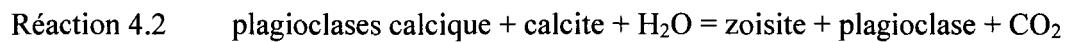
Planche 4.5 : Altération proximale des laves intermédiaires massives sous-jacentes à la minéralisation par de l'épidote massive.

Tableau 4.2 : Composition moyenne des épidotes selon les analyses à la microsonde.

Échantillon	Lame 1029-A (n=10)	Lame 1031-B (n=6)	Lame 1077-C (n=28)	Lame 1081-B1 (n=15)
Lithologie	Coulée felsique	Coulée felsique	Sulfures disséminés	Sulfures disséminés
% poids				
Anions sur une base de 12,5 Oxygènes				
SiO ₂	39,362	38,752	38,022	38,486
Al ₂ O ₃	28,018	27,062	22,982	25,299
FeO	5,776	7,650	11,523	9,156
MgO	0,044	0,108	0,086	0,013
CaO	23,373	23,530	23,416	23,270
Na ₂ O	0,234	0,046	0,002	0,016
K ₂ O	0,057	0,126	0,012	0,009
TiO ₂	0,052	0,064	0,129	0,017
MnO	0,115	0,175	0,254	0,269
Cr ₂ O ₃	0,002	0,002	0,023	0,025
Total	97,031	97,517	96,448	96,559
n , nombre d'analyses utilisées pour calculer la moyenne				

moyenne de 38,4 %. Les rapports Fe/(Fe+Al) montrent (figure 4.3a) des valeurs qui s'étaient en majorité de la pistachite parfaite à 0,324 vers la clinozoïsite (Deer et al. 1986). La pistachite $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ montre moins de 2% de substitution de Fe pour le Mg (figure 4.3b), ce qui correspond à une bonne cristallisation (Deer et al. 1992).

L'épidote est visible sous deux aspects qui se sont mis en place à des époques différentes, en veinules et massives. Les veinules montrent une phase précoce d'altération associée au début avec la chloritisation (planche 4.3) pour ensuite se poursuivre seule. Cette relation est soutenue par des petites veinules d'épidote qui recoupent les plus grosses composées de chlorite-épidote (planche 4.3). L'épidote massive représente principalement la transformation tardive associée au métamorphisme de contact de grade amphibolite. Tout comme celles de East-Sullivan (figure 4.3a), les épidotes qui se forment à haute température montrent des variations de teneur en Fe^{3+} continue sur tout leur champ de stabilité (Deer et al. 1992). L'étape de transformation métamorphique (réaction 4.2) explique aussi la disparition en grande partie de la calcite (CaCO_3) (Deer et al. 1986).



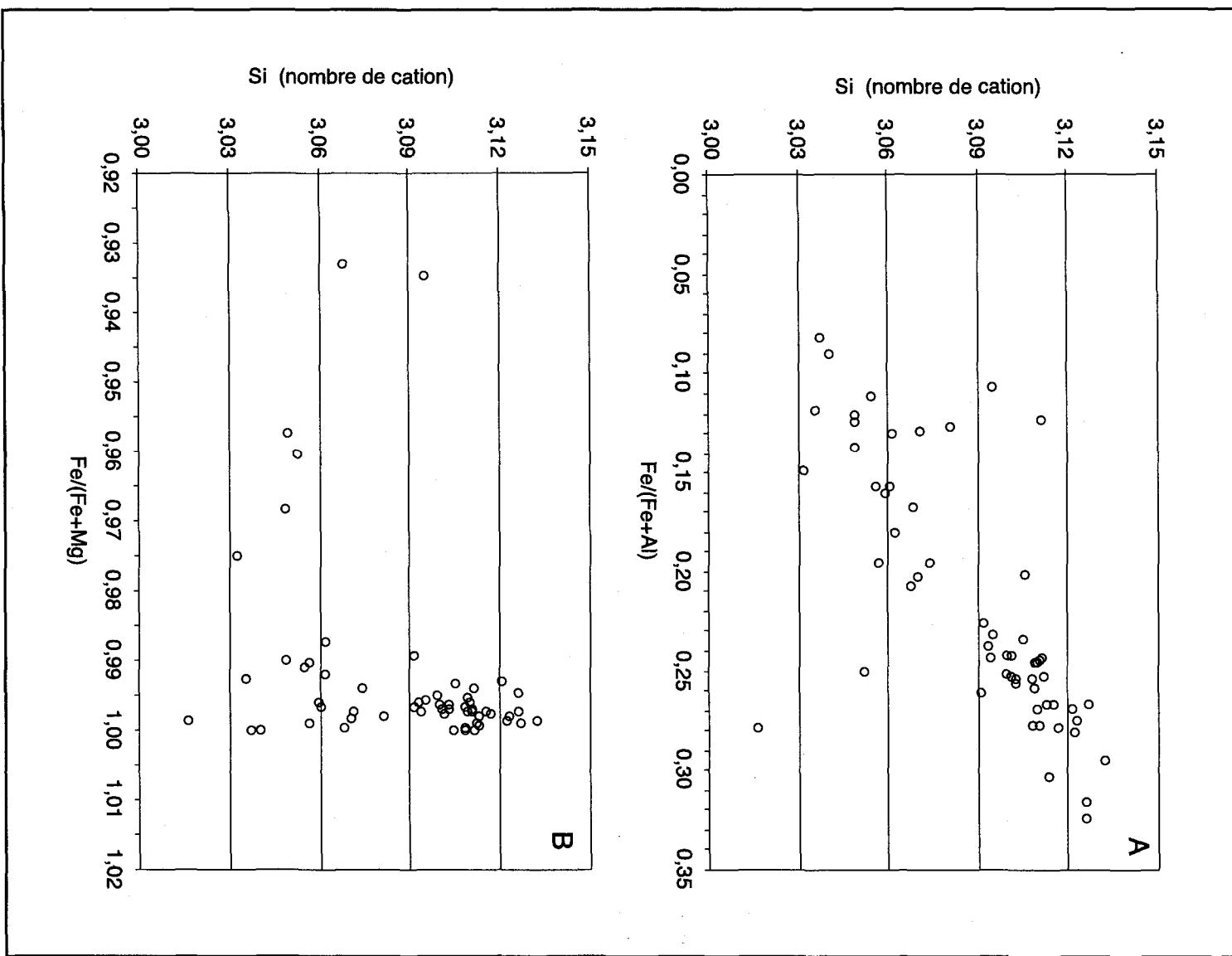
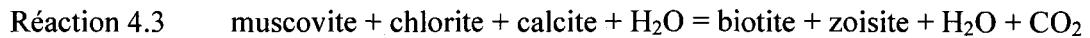


Figure 4.3 : Caractérisation chimique des épidotes de East-Sullivan.

Les mêmes phénomènes de transformation métamorphique au faciès amphibolite expliquent l'assemblage biotite-épidote (réaction 4.3). C'est cet assemblage qui forme l'altération « zébrée » visible dans les volcanoclastites intermédiaires de la Formation de Val-d'Or à la base de la stratigraphie de la mine East-Sullivan.



Les analyses géochimiques des éléments majeurs ont aussi révélé l'importance de la dévolatilisation qu'a subie l'encaissant de la mine East-Sullivan. Cette zone dévolatilisée par la mise en place du pluton correspond exactement à la zone d'épidotisation. Le calcium des carbonates présent initialement dans ces roches semble donc avoir été récupéré lors de la formation d'épidote. Cette épidote tardive ne serait donc pas reliée à la mise en place du gisement.

4.2 DISTRIBUTION SPATIALE DE LA MINÉRALISATION

La minéralisation de East-Sullivan consiste en seize lentilles de sulfures massifs à semi-massifs cuprifères et de huit lentilles ayant une plus forte concentration en zinc (tableau 4.3). Les lentilles présentes jusqu'à une profondeur de 750 m ont un axe long vertical et des épaisseurs maximum de 75 m. La majorité des lentilles cuprifères sont généralement sub-concordantes aux unités felsiques. Les lentilles les plus importantes, soit

les lentilles A, B et C (figure 4.4), sont complètement encaissées à l'intérieur d'une unité de tufs (figures 2.3 et 2.4) (Tremblay 1994). La lentille A plonge vers l'Ouest alors que les lentilles B et C plongent vers l'Est en profondeur. Les lentilles zincifères ont une distribution restreinte à la base stratigraphique du gisement et semblent recouper les unités felsiques et intermédiaires (figure 2.3). Des réseaux de veines (stockwerk) sont mentionnés (Assad 1958) mais sans description poussée. Ce dernier habitus de la minéralisation semble de moindre importance économique.

La minéralisation est recoupée à l'Est par le Stock de East-Sullivan, au Sud-Est par la diorite de Bourlamaque et au Sud-Ouest par le porphyre feldspathique de East-Sullivan. Des parties semi-digérées de sulfures massifs ont été retrouvées à l'intérieur du platon dans la partie adjacente au gisement (Assad 1958). Une zone de cisaillement orientée est-ouest est présente au niveau de l'éponte inférieure du gisement dans une unité lithologique décrite comme une coulée fragmentaire (Assad 1958; Tremblay 1994). Les unités lithologiques qui encaissent la minéralisation sont recoupées par plusieurs failles mineures mais l'intensité de la déformation demeure faible. De bonnes descriptions du mineraï ont été faites par Assad (1958) et sont corroborées par des observations sur les fragments de sulfures massifs récupérés dans le parc à résidus. La minéralisation se subdivise principalement en deux types d'assemblages de sulfures ; 1) sphalérite-pyrite et 2) chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite).

Tableau 4.3 : Composition moyenne des différentes lentilles de la mine East-Sullivan.

Lentille	Tonnes minées	Cu %	Zn %	Au once/t	Ag once/t	Minéralisation	Encaissant
A	3 192 023	1,300	1,394	0,017	0,323	Cpy-Po	Agglomérat
B	3 261 933	1,708	1,397	0,020	0,557	Cpy-Po-Sp-Py	Tuf
C	3 818 666	1,054	0,084	0,004	0,163	Cpy-Po	Tuf
D	167 736	1,560	2,640	0,024	0,840	Sp-Py	Agglomérat
E	26 654	0,390	4,140	0,021	0,590	Sp-Py	Tuf
F	10 332	0,450	6,070	0,023	1,000	Sp-Py	
G	130 690	0,455	3,980	0,022	1,457	Sp-Py	Agglomérat
H	165 553	0,554	4,844	0,024	1,086	Sp-Py	Agglomérat
J1	538 546	0,562	0,042	0,022	0,163	Cpy-Po	
J2	1 108 338	0,583	0,043	0,003	0,155	Cpy-Po	
J3	27 551	0,590	nd	0,011	0,159		
K	563 960	0,769	0,007	0,003	0,184	Cpy-Po	
L M	115 512	0,705	0,262	0,004	0,158	Cpy-Po	
N	123 644	0,770	0,020	0,004	0,200	Cpy-Po	
P	281 223	0,520	1,050	0,007	0,290	Cpy-Po	
Q	1 304 921	0,523	0,036	0,002	0,119	Cpy-Po	
R	719 442	0,730	0,064	0,022	0,190	Cpy-Po	
S	109 509	0,741	0,038	0,046	0,158	Cpy-Po	
T	52 596	0,810	0,020	0,004	0,180	Cpy-Po	
U	35 546	0,603	0,097	0,004	0,502		
V	39 325	0,841	nd	0,002	0,108		
X	61 913	0,658	0,018	0,000	0,098		
Y	36 440	0,738	0,089	0,003	0,328		
Total	15 892 053						

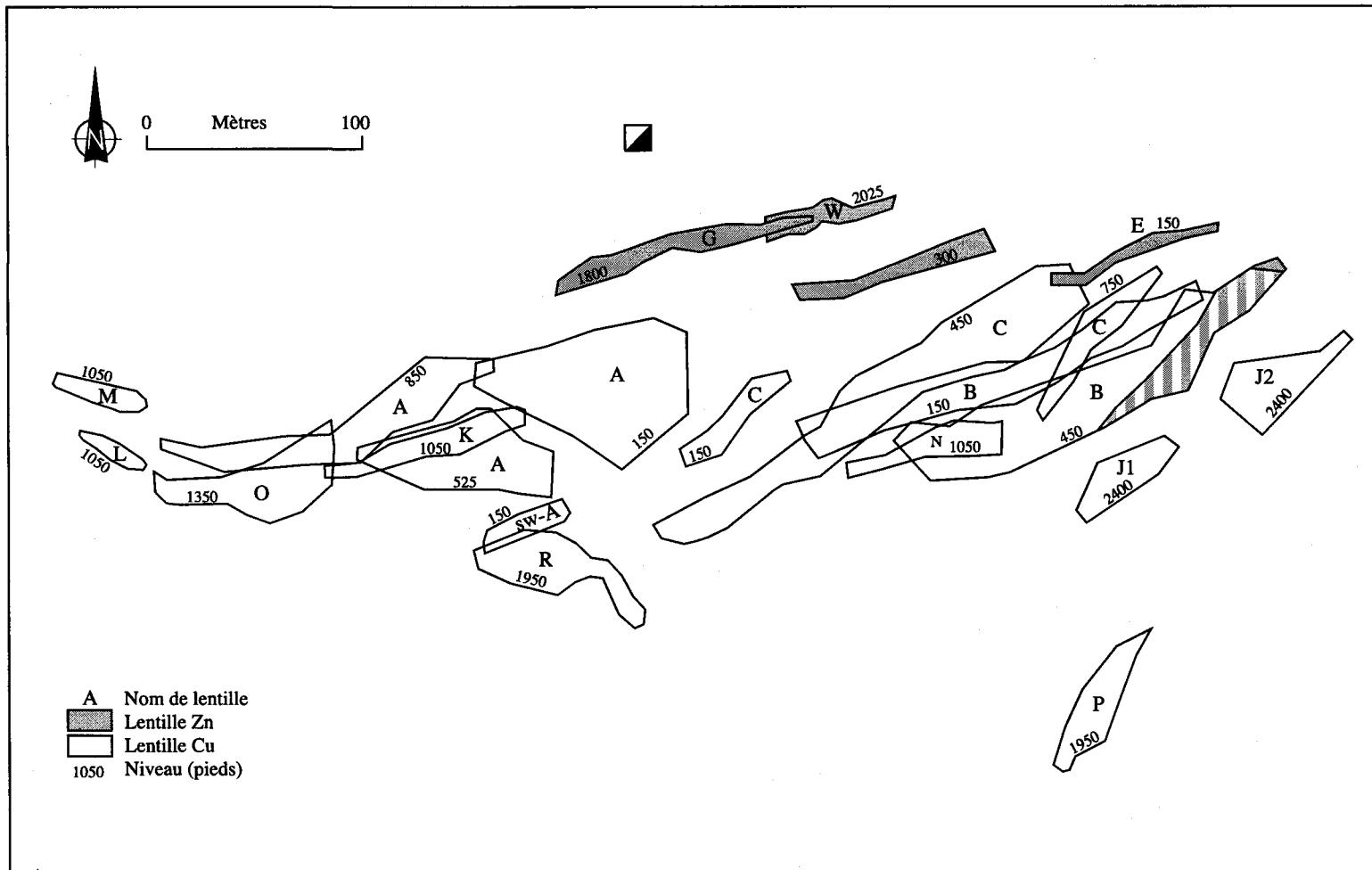


Figure 4.4 : Plan composite du niveau et de composition des lentilles minéralisées. Modifié de Tremblay (1994).

4.3 MINERALISATION DE SULFURES

4.3.1 Échantillonnage des sulfures

Le fait que la mine East-Sullivan soit fermée depuis 1966 est l'obstacle le plus important à l'étude de sa minéralisation. La seule occurrence « *in situ* » de la minéralisation est l'extension sommitale de la lentille E à l'est de la fosse à ciel ouvert. Elle est représentée par un petit chapeau de pyrite semi-massive fortement altérée qui affleure sur moins de 2 m carré.

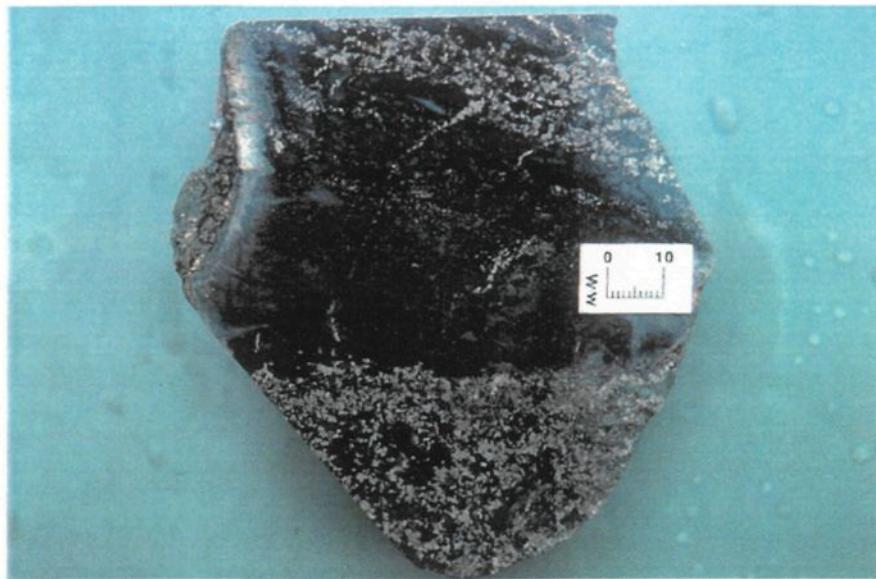
Sous ces contraintes, l'étude de la minéralisation de East-Sullivan s'est faite sur quelques morceaux de sulfures massifs récupérés dans le parc à résidus et dont l'origine exacte est indéterminable. Selon la documentation disponible au sujet de la minéralisation (Assad 1958; Bérubé 1974; Tremblay 1994), il apparaît que les trois principaux types de minéralisation économique ont cependant été récupérés lors de l'échantillonnage. Des exemples de la minéralisation de sphalérite-pyrite, de celle de chalcopyrite-pyrhotite (pyrite) ainsi que du mélange des deux types ont été étudiés. En plus des sulfures massifs, plusieurs échantillons de sulfures disséminés ont été récupérés en affleurement (97-SL-1080 et 97-SL-1081) et dans le parc à résidus. Cet ensemble d'échantillons semble donc être représentatif de la minéralisation présente à la mine East-Sullivan.

4.3.2 Sulfures disséminés

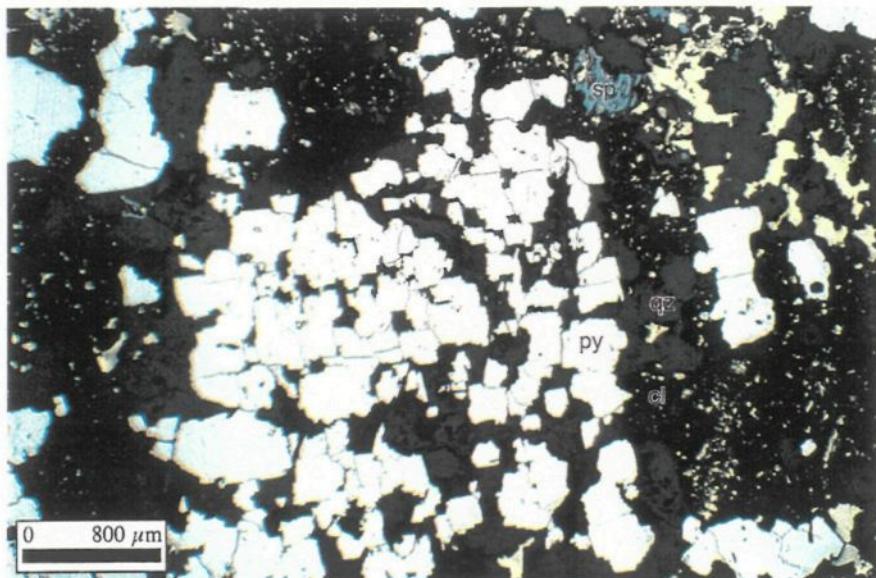
Une minéralisation en chalcopyrite (CuFeS_2) et pyrite (FeS_2) disséminées qui représente l'extension stérile de la minéralisation est accessible dans les rhyolites de l'éponte est du gisement (planche 4.6a). Les sulfures disséminés sont répartis de façon inégale dans une gangue de quartz-chlorite (planche 4.1). Les variétés présentes sont pyrite, chalcopyrite et sphalérite (ZnS) généralement en cristaux isolés avec peu de contact entre les différentes espèces (planche 4.6b). En lame mince, l'encaissant est altéré au point où son protolite serait impossible à identifier sans les affleurements. Les altérations dominantes sont la silicification et la chloritisation.

4.3.3 Assemblage pyrite-sphalérite

Restreint à la partie nord du gisement et généralement discordant par rapport aux unités volcaniques (figure 4.4), cet assemblage est dominant dans les lentilles E, G, W et une partie de la lentille B. Le minerai observé a généralement une texture massive et montre un rubanement de pyrite et de sphalérite en alternance (planche 4.7a). Les sulfures sont composés d'environ 50 % de sphalérite, 40 % de pyrite et des traces de chalcopyrite, pyrrhotite (FeS), magnétite ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$) et galène (PbS) (planche 4.7b). La sphalérite montre de nombreux chapelets d'exsolution de chalcopyrite suivant les plans cristallins (planche 4.8). La pyrite est, la plupart du temps, en cristaux idiomorphes isolés au milieu de

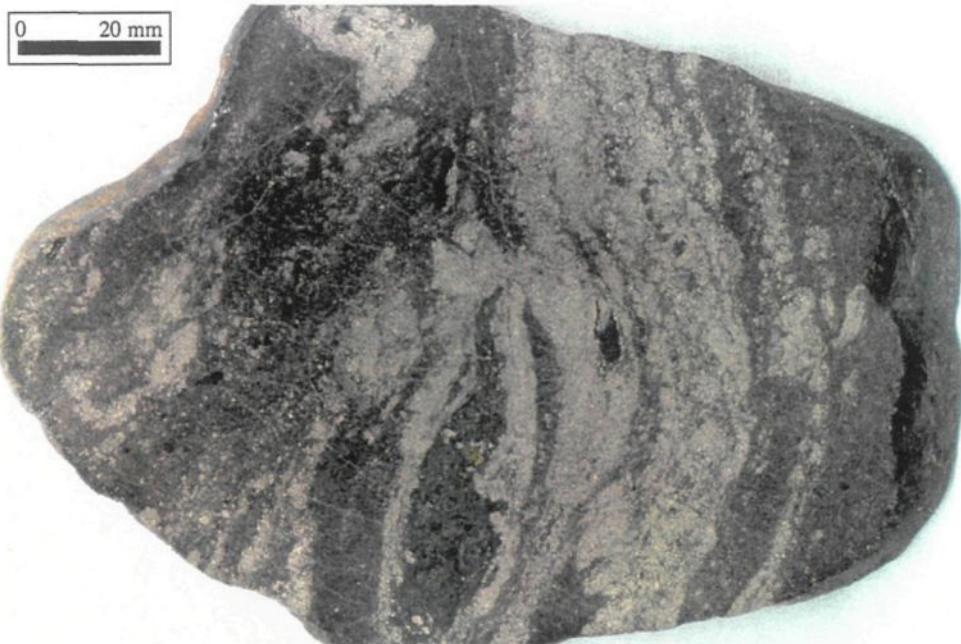


A. Encaissant felsique avec pyrite disséminée et en veinules. Échantillon provenant de l'extrémité latérale Est du gisement. Pour l'altération voir la planche 4.1. Échantillon 97-SL-1080-A. Échelle 10 mm.

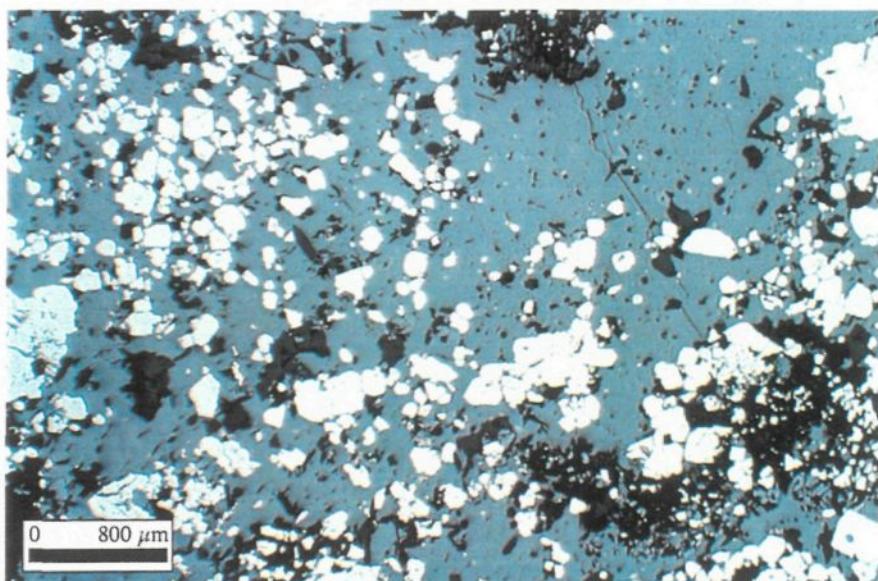


B. Microphotographie à partir du même échantillon avec pyrite disséminée et en veinules. La pyrite est complètement recristallisée et présente des angles à 90° en escalier dans la gangue de quartz-chlorite. Lumière réfléchie. Lame 97-SL-1080-A3

Planche 4.6 : Texture de la minéralisation de pyrite disséminée proximale au gisement.

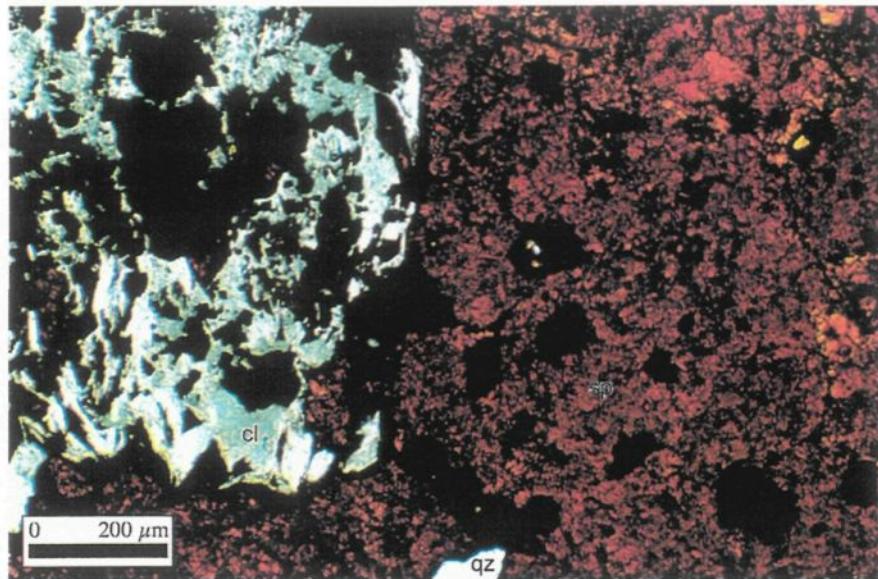


A. Assemblage de sphalérite-pyrite rubané. Partiellement recristallisés, les cristaux sont sub-idiomorphes. Granulométrie 0,5mm pour la pyrite et de 1 à 2 mm pour la sphalérite. Échantillon SL-F.

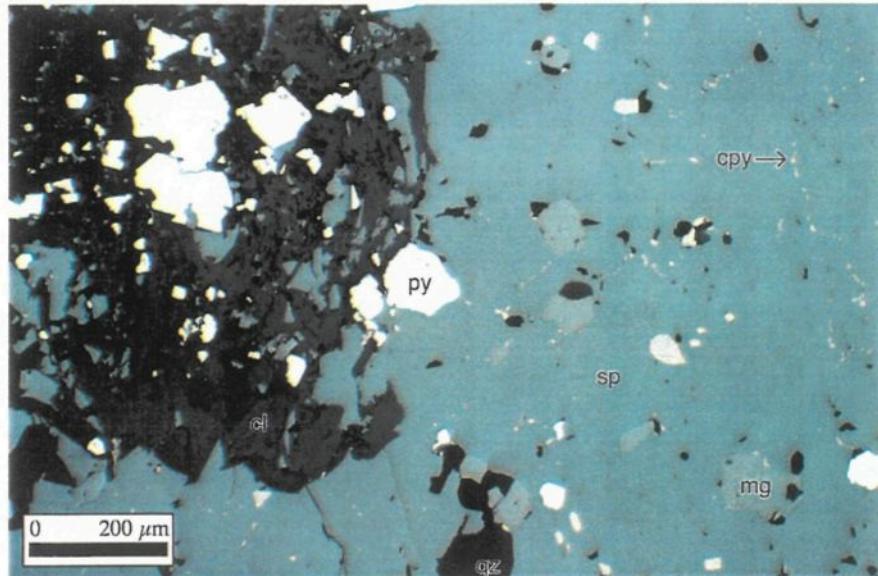


B. Microphotographie du même échantillon. La pyrite recristallisée idiomorphe se retrouve en flots isolés au sein de la sphalérite elle aussi recristallisée. Lumière réfléchie. Lame SL-F.

Planche 4.7 : Textures rubanées de recristallisation dans la minéralisation, assemblage sphalérite-pyrite.



A. Microphotographie de sulfures massifs de l'assemblage sphalérite-pyrite. Une partie de gangue principalement composée de chlorite verte est incluse dans la masse de sphalérite en rouge. Lumière naturelle. Lame SL-F.



B. Le même échantillon en lumière réfléchie. Les différents minéraux opaques sont de la pyrite, de la magnétite grise pâle et des exolutions linéaires de chalcopyrite «chalcopyrite disease».

Planche 4.8 : Minéraux associés accessoirement avec l'assemblage de sphalérite-pyrite.

la sphalérite avec des joints triples à 120°. La gangue est fortement chloritisée et elle est plus abondante que dans l'assemblage chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite) (planche 4.8).

Le résumé des résultats des analyses chimiques effectuées à la microsonde électronique sur les différents grains de sphalérite est présenté au tableau 4.4 et les résultats complets à l'annexe 6. Les compositions des sphalérites (figure 4.5) varient approximativement de 59 % à près de 68 % de zinc et de 1 % à 7 % de fer. Des concentrations traces de près de 1 ppm de cadmium sont présentes dans les échantillons de sulfures massifs alors que les échantillons provenant de l'encaissant en ont la moitié moins. Le contenu en fer des sphalérites qui coexistent avec de la pyrite et de la pyrrhotite est une information importante pour identifier la température de formation des sulfures (Scott et Barnes 1971; Scott 1983). À East-Sullivan, les sphalérites à faible concentration en fer sont associées aux faciès de pyrite disséminée et de chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite). Celles qui ont une haute teneur en fer proviennent des faciès à sphalérite-pyrite massives.

4.3.4 Assemblage chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite)

Historiquement cet assemblage de sulfures est le plus courant à la mine East-Sullivan et représente la minéralisation des lentilles principales A, C et une partie de B. Le mineraï se compose d'un assemblage de chalcopyrite et de pyrrhotite (FeS) avec des traces de pyrite, de sphalérite et de magnétite et des traces d'or. Dans la plupart des échantillons récupérés, la

Tableau 4.4 : Composition moyenne des sphalérites selon les analyses à la microsonde.

Échantillon	Lame SL-A (n=7)	Lame SL-C (n=52)	Lame SL-D (n=3)	Lame SL-E (n=6)	Lame SL-F (n=14)	Lame 1081-B1 (n=3)	Lame 1077-C (n=2)	Lame 1080-A3 (n=1)
Lithologie	Sulfures massifs	Sulfures massifs	Sulfures massifs	Sulfures massifs	Sulfures massifs	Sulfures disséminés	Encaissant felsique	Sulfures disséminés
% poids								
Zn	60,624	61,521	60,252	59,797	60,479	65,686	59,743	62,516
As	0,016	0,015	0,040	0,011	0,013	0,007	0,010	0,008
Ag	0,002	0,009	0,005	0,012	0,008	0,008	0,003	-
S	33,116	33,391	33,259	33,150	33,363	33,316	33,334	33,663
Mn	0,012	0,092	0,122	0,011	0,065	0,031	0,248	0,020
Fe	5,789	5,567	6,297	6,033	6,972	1,488	6,433	4,289
Sb	0,001	0,005	0,004	0,003	0,001	0,015	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	-	0,162	0,004
Cu	0,001	0,103	0,227	0,375	-	0,648	-	-
Cd	0,522	0,432	0,399	0,637	0,387	0,276	0,822	0,342
Ni	0,001	0,002	0,002	0,009	0,003	0,002	0,003	-
Au	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100,086	101,137	100,608	100,042	101,292	101,478	100,756	100,842
Valeurs recalculées sur un total de 100								
Zn	60,569	60,828	59,889	59,751	59,708	64,730	59,294	61,994
As	0,016	0,014	0,040	0,011	0,013	0,007	0,009	0,008
Ag	0,002	0,009	0,005	0,012	0,007	0,008	0,003	-
S	33,089	33,016	33,059	33,140	32,938	32,832	33,084	33,382
Mn	0,012	0,091	0,121	0,011	0,064	0,031	0,246	0,020
Fe	5,786	5,505	6,259	6,038	6,883	1,466	6,385	4,253
Sb	0,001	0,004	0,004	0,002	0,001	0,014	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	-	0,161	0,004
Cu	0,001	0,103	0,224	0,384	-	0,638	-	-
Cd	0,522	0,427	0,396	0,637	0,382	0,272	0,816	0,339
Ni	0,001	0,002	0,002	0,009	0,003	0,002	0,002	-
Au	-	-	-	-	-	-	-	-

n , nombre d'analyses utilisées pour calculer la moyenne

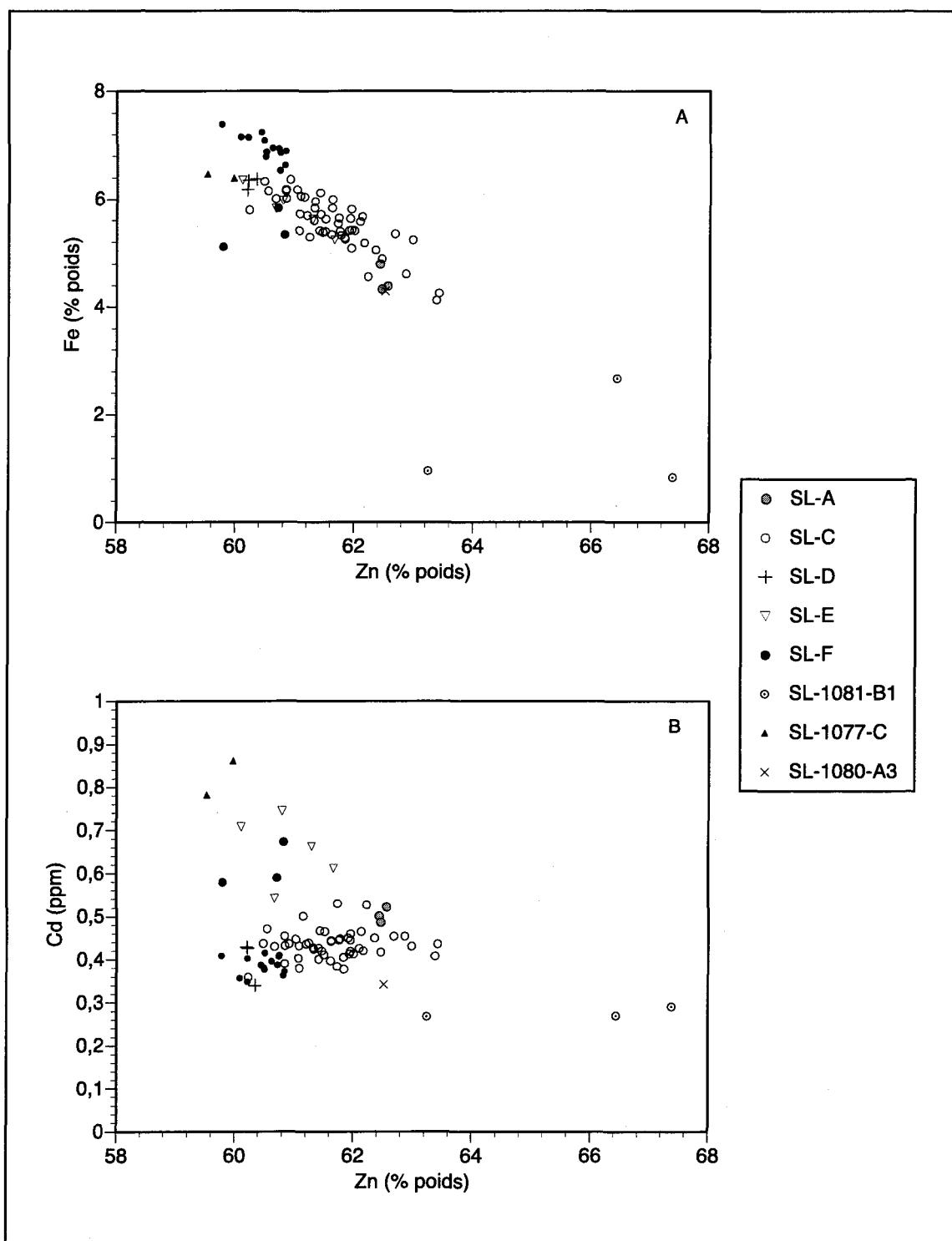
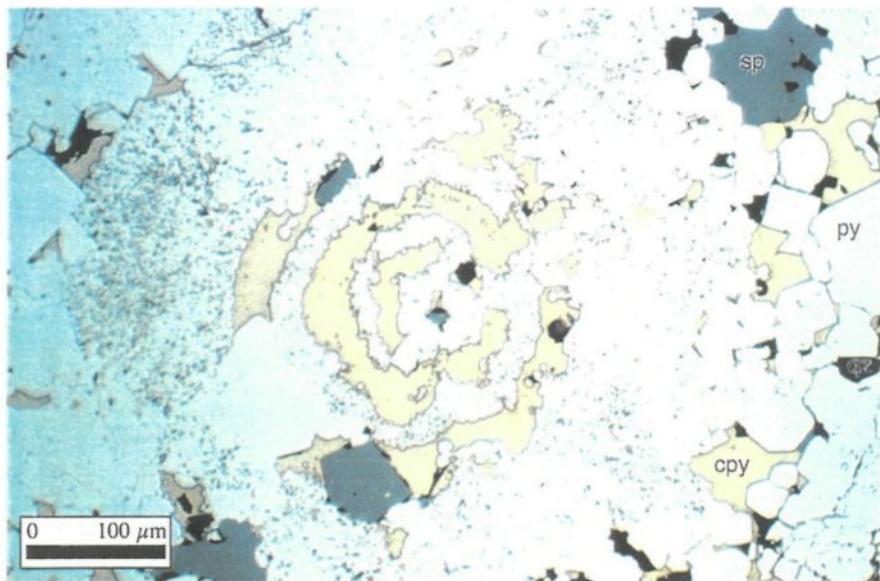


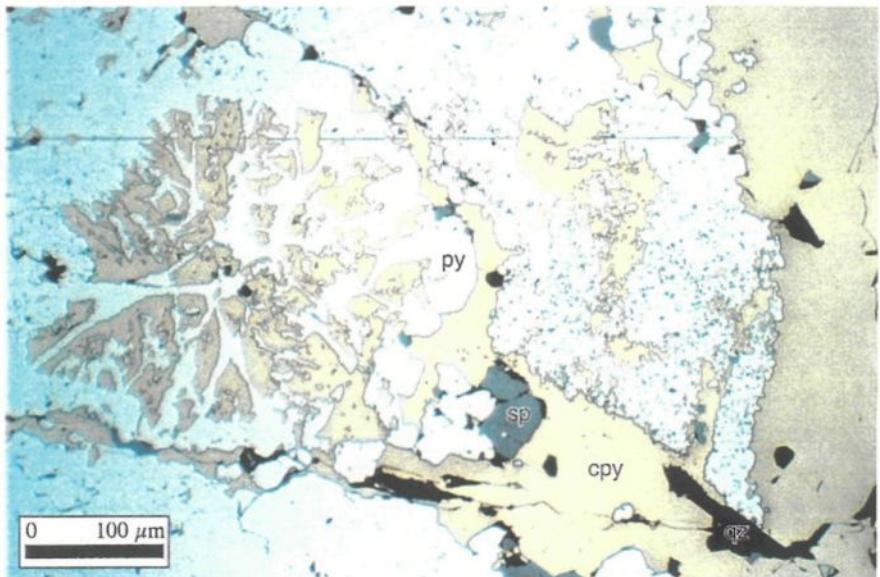
Figure 4.5 : Composition chimique des sphalérites de East-Sullivan.

pyrite domine en quantité la pyrrhotite. Les basses teneurs de cuivre indiquées par les rapports de la mine (tableau 1.2) laissent aussi supposer que la pyrite se devait d'être beaucoup plus abondante que ce que décrit Assad (1958). Les échantillons à chalcopyrite-pyrrhotite-pyrite qui ont été récupérés, montrent des valeurs de 50 à 70 % de pyrite, 7 à 25 % de chalcopyrite et toujours moins de 10 % de pyrrhotite. L'aspect le plus commun pour le minerai riche est un assemblage de pyrite idiomorphe dans une matrice de chalcopyrite (planche 4.9a demi droite). Cette recristallisation plus ou moins prononcée des sulfures, avec de la pyrite de forme cubique et hexagonale est caractéristique de tous les échantillons observés à la mine East-Sullivan. De nombreux grains de pyrite présentent des joints polygonaux avec des angles interfaciaux de 120°.

Quelques échantillons ont une meilleure préservation de leurs textures originelles précoces de nature colloïdale. Il est possible d'identifier des textures de pyrite sphéroïdales radiées (planche 4.9b) et des nodules de pyrite et de chalcopyrite colloformes concentriques (planche 4.9a et 4.10). Les textures concentriques montrent nettement une zonation texturale du centre vers l'extérieur. Des porphyroblastes de pyrite présentant une texture étoilée sont aussi présents. Les plus gros grains de pyrite sont généralement remplis de petites inclusions ou de défauts dans la cristallisation, qui sont soulignés par une variation de leur réflectance (planches 4.9 et 4.11). Ces grains plus gros qui ne sont pas encore recristallisés montrent dans leur frange des débuts de remplacement de l'extérieur vers l'intérieur le long des axes fibro-radiés (planche 4.11a).

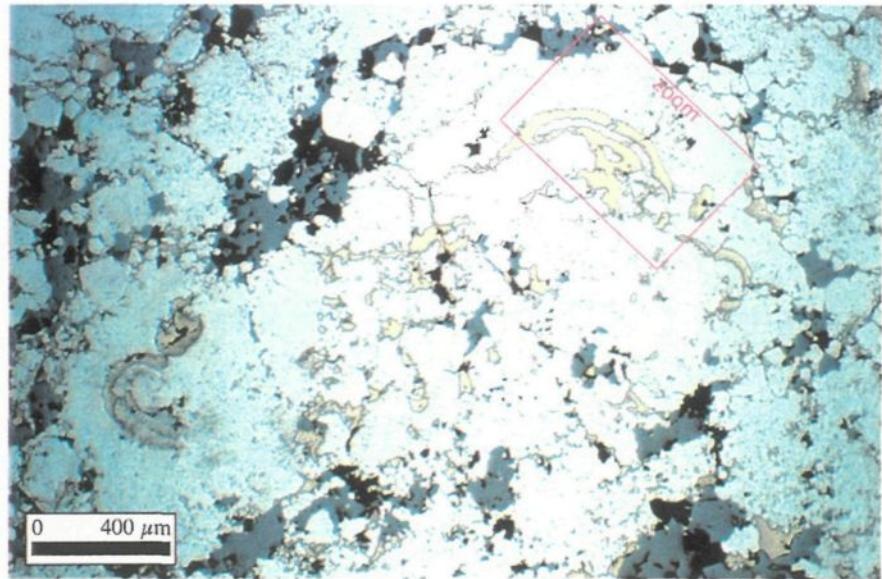


A. Microphotographie d'un nodule colloïde circulaire composé de bandes de chalcopyrite et de pyrite concentriques. La plus large bande de pyrite, à la gauche de la photo, présente une texture fibro-radiée qui a été préservée de la recristallisation. Lumière réfléchie. Lame SL-B.

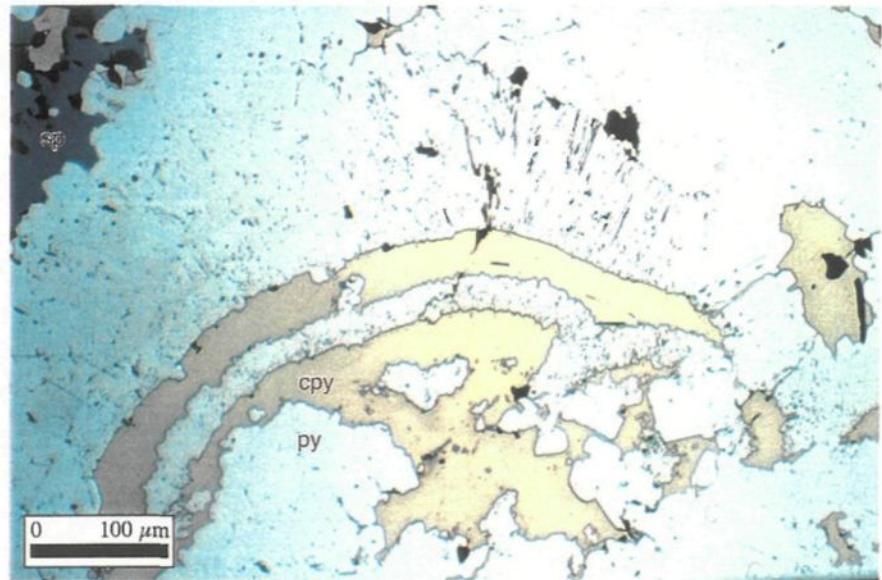


B. Microphotographie d'un sphéroïde radié de chalcopyrite et de pyrite partiellement recristallisé. Des grains de pyrite secondaire se sont ajoutés en périphérie du sphéroïde. Lumière réfléchie. Lame SL-B.

Planche 4.9 : Textures colloïdales primaires dans la pyrite et la chalcopyrite.

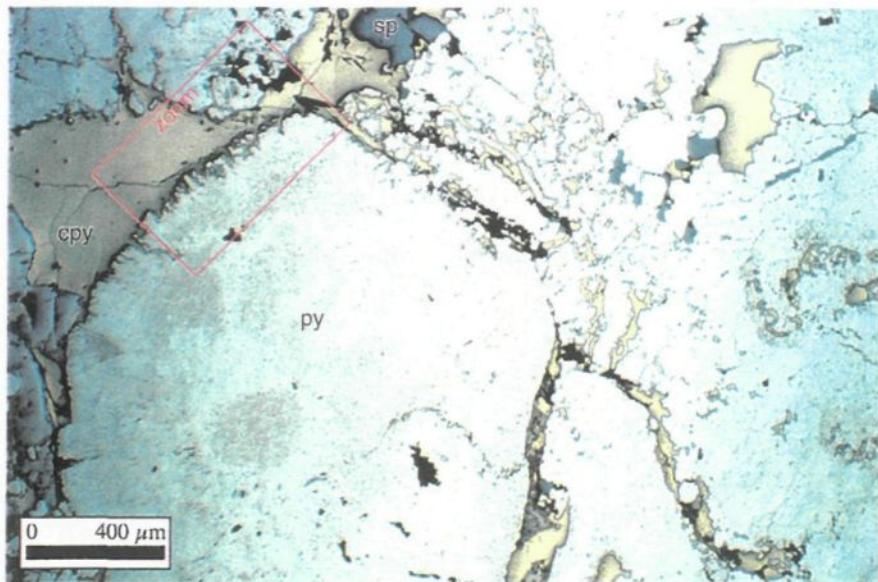


A. Microphotographie de plusieurs nodules colloformes de chalcopyrite et de pyrite concentrique. Ces textures sont toutes préservées au cœur de grandes plages de pyrite exemptes de sphalérite. Lumière réfléchie. Lame SL-B.

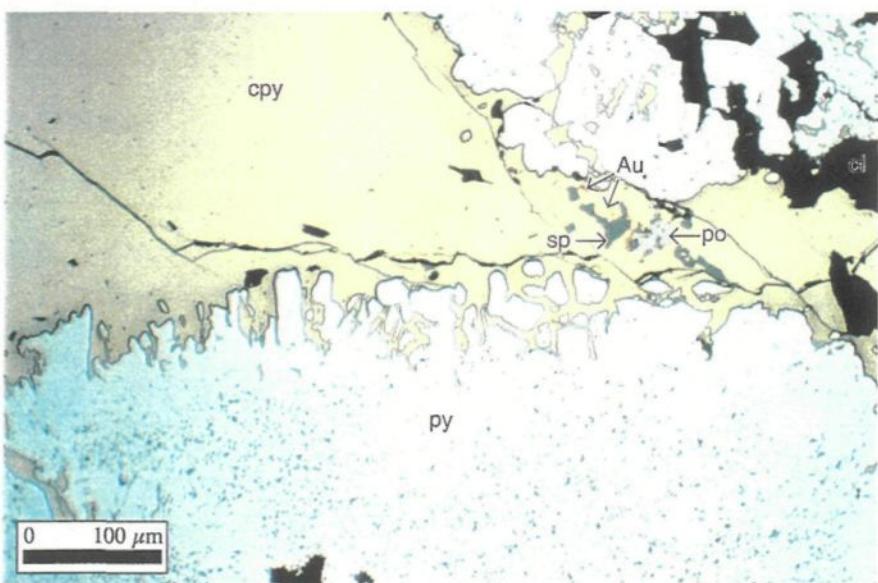


B. Agrandissement d'une partie de la microphotographie précédente. Les différentes bandes de pyrite présentent une texture fibro-radiée zonée, alors que la chalcopyrite n'a aucune texture visible. Lumière réfléchie. Lame SL-B.

Planche 4.10 : Nodules colloformes reliquaires de pyrite et de chalcopyrite.



A. Microphotographie de grains de pyrite à texture fibro-radiée diffuse qui commencent à être remplacés en périphérie par de la chalcopyrite. Noter à droite de la photo les petites textures colloformes soulignées par une réflectance différente. Lumière réfléchie. Lame SL-D.



B. Agrandissement du même échantillon. Des grains d'or de moins de 15 μm sont associés avec de la sphalérite. Noter le remplacement de chalcopyrite qui suit l'axe radiant sur la surface du grain de pyrite à texture mouchetée.

Planche 4.11 : Minéralisation en or associée avec des textures colloformes primaires dans les sulfures massifs de l'assemblage pyrite-chalcopyrite.

Le résumé des résultats des analyses chimiques effectuées à la microsonde électronique sur les différents grains de pyrite est présenté au tableau 4.5 et les résultats complets sont disponibles à l'annexes 7. Des traverses ont été faites sur les plus gros (300 à 2000 µm) grains à textures colloformes. Leur localisation et les résultats sont présentés aux figures 4.6 et 4.7. Les variations dans la structure interne et les faibles changements de couleur et de texture observés dans les pyrites colloformes ne semblent pas être liés à des variations chimiques. Des variations de composition importantes sont cependant visibles d'un échantillon à l'autre (figure 4.8). Les pyrites disséminées montrent une composition plus pure s'approchant de la formule idéale FeS_2 . Les pyrites qui sont dans les masses de sulfures massifs montrent de nombreuses impuretés dont près de 0,2 % d'arsenic (figure 4.8b). Les éléments traces les plus courants dans la pyrite sont le cuivre, le cobalt et l'or.

D'après les analyses de différents échantillons, la chalcopyrite a une composition relativement homogène. Des inclusions de sphalérite viennent tout au plus ajouter des anomalies en zinc, ce qui n'est pas une variation intrinsèque de composition de la chalcopyrite. Les résultats complets des analyses chimiques effectuées à la microsonde électronique sur les différents grains de chalcopyrite sont présentés à l'annexe 8.

Des grains d'or de moins de 15 microns sont aussi visibles de façon épisodique (planche 4.11b). Ces micro-pépites sont en contact avec des grains de sphalérite, de pyrrhotite et de la chalcopyrite.

Tableau 4.5 : Composition moyenne des pyrites selon les analyses à la microsonde.

Échantillon	Lame SL-A (n=31)	Lame SL-B (n=15)	Lame SL-C (n=11)	Lame SL-D (n=10)	Lame SL-E (n=13)	Lame SL-F (n=5)	Lame 1081-B1 (n=15)	Lame 1080-B (n=1)	Lame 1080-A3 (n=8)
Lithologie	Sulfures massifs	Sulfures massifs	Sulfures disséminés	Encaissant felsique	Sulfures disséminés				
% poids									
Fe	46,793	46,316	46,505	46,802	47,177	46,843	47,354	47,488	47,405
As	0,030	0,185	0,157	0,129	0,047	0,112	0,035	0,122	0,025
Ag	0,004	0,005	0,005	0,006	0,001	0,008	0,007	0,038	0,008
S	53,154	52,451	53,161	53,028	53,713	52,888	54,080	54,300	54,107
Mn	0,002	0,055	0,005	0,017	0,003	0,011	0,002	-	0,006
Cu	0,091	0,026	0,032	0,017	0,049	0,005	0,052	0,009	0,030
Sb	0,003	0,004	0,004	0,006	0,004	0,003	0,001	-	0,001
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	0,040	0,166	0,230	0,100	0,081	0,169	0,040	-	0,008
Zn	0,015	0,022	0,275	0,040	0,005	0,128	0,027	0,037	0,013
Au	0,020	0,030	0,029	0,038	0,038	0,031	0,029	0,003	0,034
Ni	0,002	0,003	0,003	0,002	0,006	0,002	0,064	0,005	0,001
Cd	0,002	0,003	0,003	0,005	0,002	-	0,002	-	0,004
Total	100,156	99,265	100,409	100,189	101,127	100,199	101,695	102,002	101,641
Valeurs recalculées sur un total de 100									
Fe	46,719	46,658	46,317	46,714	46,653	46,757	46,565	46,556	46,639
As	0,030	0,186	0,156	0,129	0,046	0,111	0,035	0,120	0,025
Ag	0,004	0,005	0,005	0,006	0,001	0,008	0,007	0,037	0,008
S	53,071	52,838	52,943	52,927	53,115	52,775	53,179	53,234	53,234
Mn	0,002	0,056	0,005	0,017	0,003	0,011	0,002	-	0,006
Cu	0,092	0,027	0,032	0,017	0,048	0,005	0,051	0,009	0,029
Sb	0,003	0,004	0,004	0,005	0,004	0,003	0,001	-	0,001
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	0,040	0,167	0,228	0,100	0,080	0,168	0,040	-	0,008
Zn	0,015	0,022	0,274	0,040	0,005	0,130	0,026	0,036	0,013
Au	0,020	0,031	0,029	0,038	0,037	0,031	0,029	0,003	0,033
Ni	0,002	0,003	0,003	0,001	0,006	0,002	0,062	0,005	0,001
Cd	0,002	0,003	0,003	0,005	0,002	-	0,002	-	0,004

n , nombre d'analyses utilisées pour calculer la moyenne

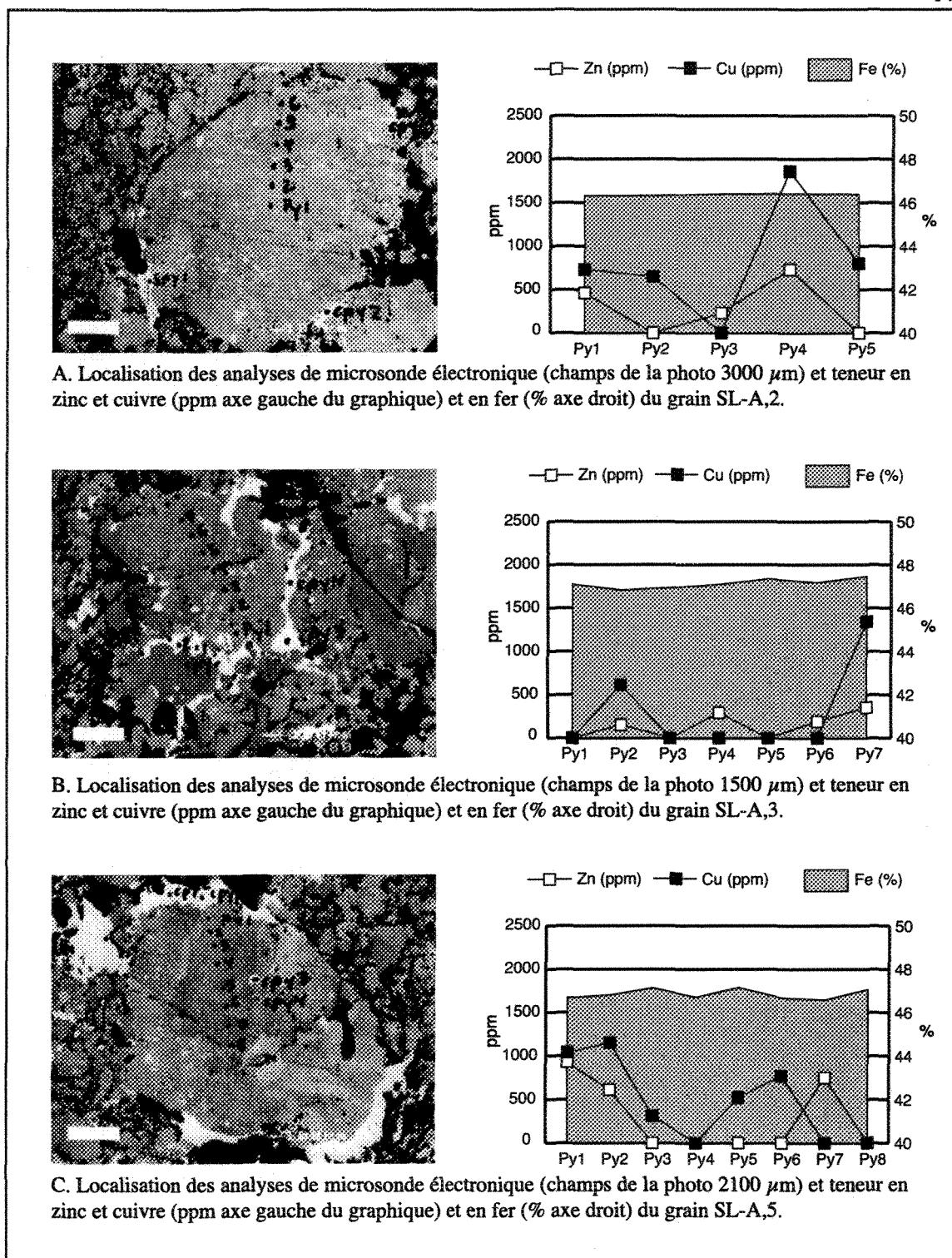


Figure 4.6 : Profils des métaux faits sur des grains de pyrites colloformes de l'échantillon de sulfures massifs SL-A.

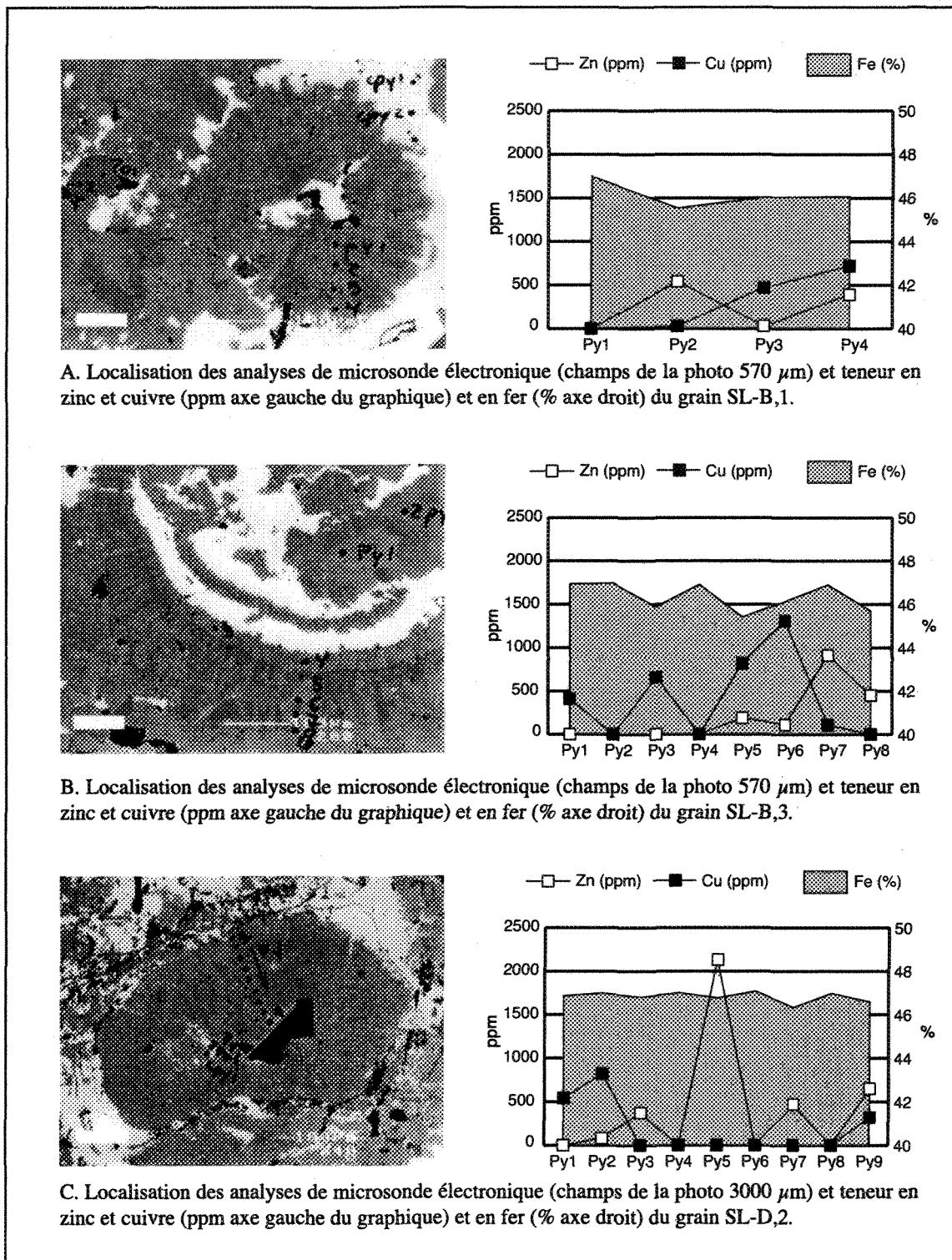


Figure 4.7 : Profils des métaux faits sur des grains de pyrites colloformes des échantillon de sulfures massifs SL-B et SL-D.

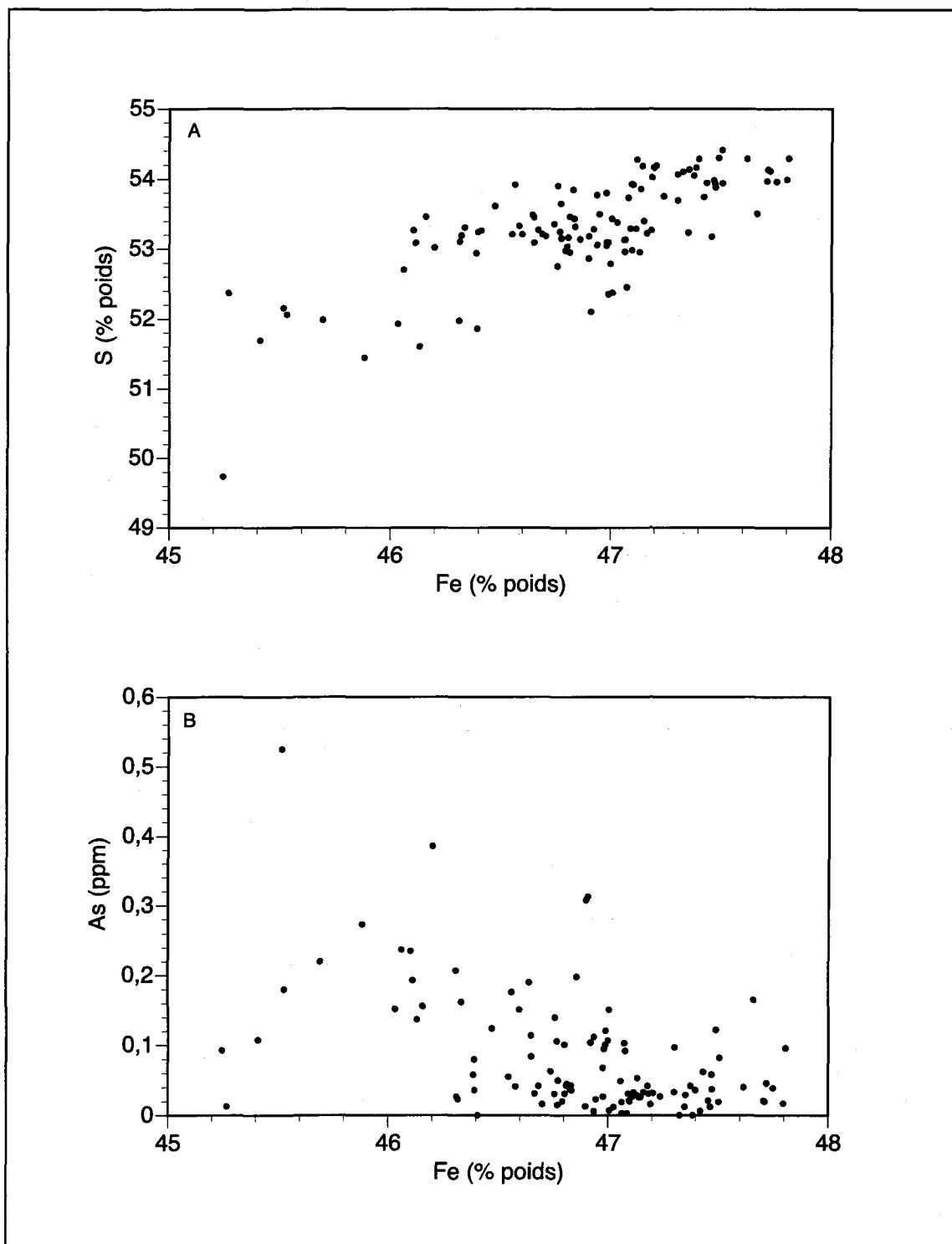


Figure 4.8 : Composition chimique des pyrites de East-Sullivan.

Quelques échantillons montrent la chalcopyrite et la pyrrhotite sous forme de veinules qui remplacent la pyrite maintenant en cristaux résiduels (planche 4.12). La pyrite résiduelle idiomorphe se retrouve en îlots isolés au sein de l'assemblage de chalcopyrite-pyrrhotite et n'est plus en contact avec la gangue quartzo-feldspathique.

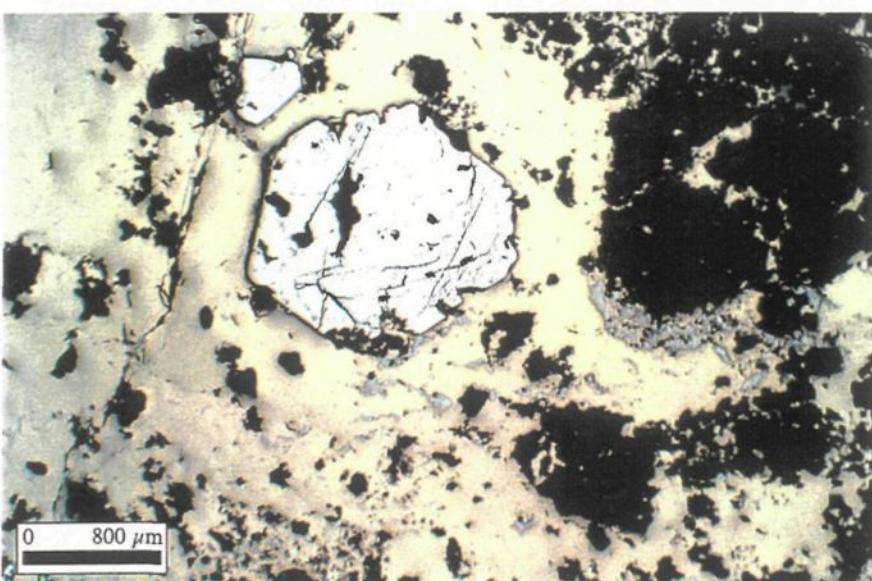
4.3.5 Assemblage mixte

L'assemblage mixte (sphalérite-pyrite-chalcopyrite-pyrrhotite) se présente sous une faible granulométrie soit 200 à 800 microns (planche 4.13). Tous les sulfures sont mélangés et en contact avec les autres avec des îlots de gangue chloriteuse. Il y a nettement deux générations de pyrite dans cet assemblage, une génération de cristaux idiomorphes sans inclusion et une génération de pyrite crustiforme avec de nombreuses inclusions de sphalérite et de chalcopyrite (planche 4.13b). La sphalérite a ici encore des inclusions de chalcopyrite. La chalcopyrite se présente surtout de façon interstitielle à la sphalérite même si elle n'est pas restreinte à ce seul contact. La pyrrhotite est le principal sulfure associé de près à la gangue. Elle est en contact avec les plages de gangue et elle en contient des inclusions.

0 20 mm

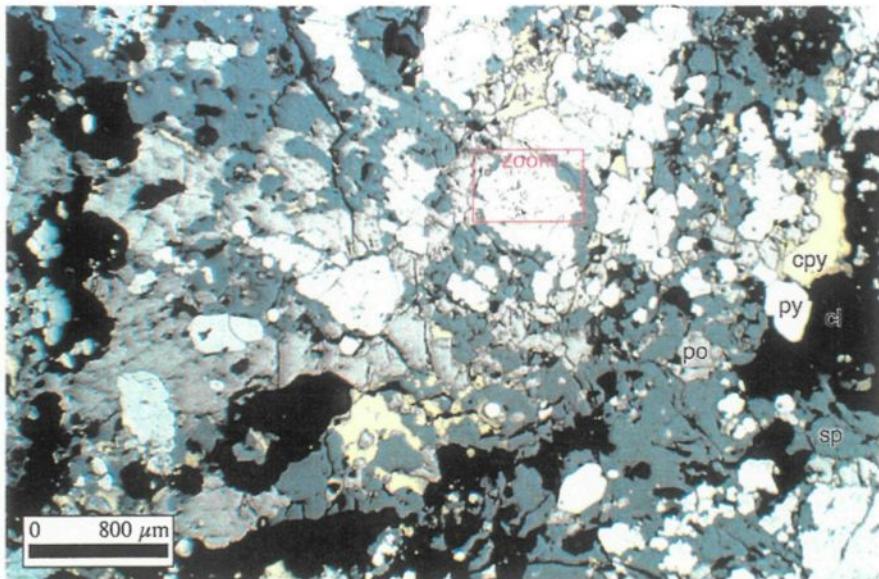


A. Assemblage chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite). La chalcopyrite et la pyrrhotite en veinules et dans les fractures remplacent la pyrite maintenant en cristaux résiduels. Échantillon SL-E.

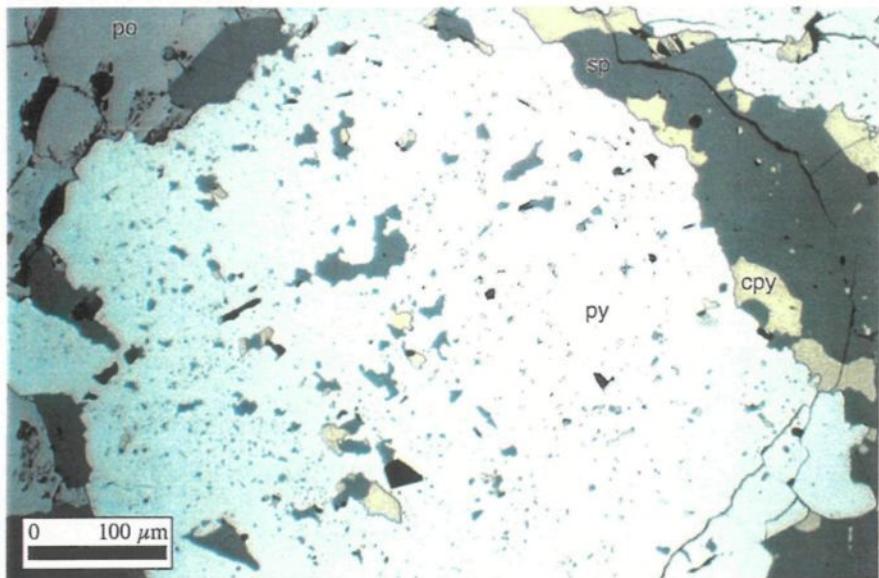


B. Microphotographie du même échantillon. La pyrite résiduelle idiomorphe se retrouve en îlots isolés au sein de l'assemblage de chalcopyrite-pyrrhotite et n'est plus en contact avec la gangue quartzofeldspathique. Lumière réfléchie. Lame SL-E.

Planche 4.12 : Textures de raffinage de zone de la minéralisation, assemblage chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite).



A. Microphotographie de l'assemblage pyrite-sphalérite-chalcopyrite-pyrrhotite. Partiellement recristallisé, cet assemblage est un membre intermédiaire entre l'assemblage pyrite-sphalérite et l'assemblage chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite). Lumière réfléchie. Lame SL-C.



B. Agrandissement d'une partie de la microphotographie précédente. Un grain de pyrite partiellement recristallisé contient des inclusions de sphalérite et de chalcopyrite. Lumière réfléchie. Lame SL-C.

Planche 4.13 : Assemblage de sulfures pyrite-sphalérite-chalcopyrite-pyrrhotite.

Cet assemblage mixte est le résultat de l'intersection des deux types de minéralisation. Les nombreuses inclusions dans les sulfures et les deux générations de pyrite indiquent un recouplement d'une lentille de l'assemblage chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite) et une autre plus tardive de l'assemblage pyrite-sphalerite.

CHAPITRE V

SYNTHÈSE ET DISCUSSION

5.1 SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS

Cette section se veut une révision des principales observations présentées dans les précédents chapitres afin de permettre une meilleure compréhension des événements qui pourraient être responsables de la formation des minéralisations cuprifères et zincifères à la mine East-Sullivan.

5.1.1 Contexte local

La mine East-Sullivan est située dans une séquence volcano-sédimentaire précambrienne (Formation de Val-d'Or) caractéristique d'un environnement d'îles en arc (Pilote et al. 1997b). La région est affectée par plusieurs séquences intrusives syn-volcaniques, par exemple les diorites, ainsi que par une intrusion tardi-tectonique majeure, soit le stock de East-Sullivan. Les roches volcaniques de la séquence stratigraphique de la mine East-Sullivan sont caractérisées par la présence de chlorite, d'actinolite et d'épidote,

ceci indiquant un métamorphisme qui va du faciès supérieur des schistes verts au faciès des amphibolites (Yardley et al. 1990).

5.1.2 Caractéristiques des roches

Quatre principales unités volcaniques sont spatialement associées à la minéralisation, 1) les volcanoclastites de la Formation de Val-d'Or, 2) les coulées felsiques rhyolitiques massives, 3) les coulées intermédiaires andésitiques et 4) les volcanoclastites felsiques. Les intrusions proches sont la diorite porphyrique de Bourlamaque, le stock de East-Sullivan et le porphyre de East-Sullivan.

Les volcanoclastites de la Formation de Val-d'Or sont de composition intermédiaire transitionnelle à calco-alcaline avec de rares lobes felsiques massifs associés avec des tufs felsiques. La présence des coulées coussinées implique un environnement sous-marin. La haute vésicularité des laves intermédiaires bréchiques peut suggérer des éruptions volcaniques contraintes sous la haute pression hydrostatique d'une colonne d'eau (Gill et al. 1990). Les niveaux volcanoclastiques de la Formation de Val-d'Or résultent probablement de processus pyroclastiques primaires et autoclastiques de remaniement (Scott et al. 1999). L'absence de matrice à certains endroits et la grande taille des fragments (planche 2.1b) laissent penser à une coulée de débris provenant d'une unité massive (McPhie et al. 1993). Les unités de tuf felsiques monomictes, à granoclassements inverses (planche 2.2b)

associés avec des dômes sous-marins de lave ou des coulées massives (planche 2.2a) peuvent représenter des unités hyaloclastiques remaniées suivant une dynamique de coulée granulaire (Lowe 1982). L'alternance d'unités massives à granoclassement normal à grains plus ou moins grossiers (K-I-J) avec de minces lits laminaires de faible granulométrie (J-H) suggère un remaniement turbiditique (McPhie et al. 1993). Les lits plus grossiers peuvent correspondre aux lits Ta de traction de la séquence de Bouma (1962), alors que les petits lits semblent indiquer un dépôt de suspension Td. L'ensemble de ces unités volcanoclastiques à cristaux de feldspath est peut-être représentatif des tufs à cristaux qui ont été observés en forage et décrits par Simard (1991).

Les coulées felsiques du secteur de la mine East-Sullivan sont principalement d'affinité calco-alcaline. Généralement massives et aphanitiques, elles présentent peu de structures volcaniques outre celles de rares écoulements laminaires. Les coulées rhyolitiques massives constituent la base de la construction felsique hôte du gisement. La déformation précoce des vésicules indique un léger dégazage des laves alors qu'elles étaient encore en mouvement (McPhie et al. 1993). Il a été proposé par Cas (1978) que même si les coulées felsiques subaériennes montrent un caractère très visqueux et peu mobile, celles qui se mettent en place dans un environnement sous-marin peuvent se comporter de façon fluide et mobile. L'absence de texture volcanique et de phénocristaux (planche 2.5) dans les grandes coulées felsiques soutient aussi une basse viscosité et/ou une haute température (Yamagishi et Dimroth 1985). L'occurrence de petits lobes-coussins felsiques aphanitiques

(planche 2.3a) indique aussi une grande fluidité de la lave lors de sa mise en place (McPhie et al. 1993). Le lobe endogène felsique (planche 2.3b) associé aux laves intermédiaires démontre la présence de deux sources pour le matériel volcanique présent à ce niveau.

Les coulées intermédiaires (planche 2.8) sous-jacentes au gisement « footwall » sont d'affinité tholéïitique. La minéralisation se présente parfois au contact entre les coulées intermédiaires et les unités volcanoclastiques felsiques. La séquence stratigraphique des andésites, reconstituée avec plusieurs affleurements, donne du nord au sud : les laves massives, la brèche à fragments vésiculaires, les petits coussins et finalement la brèche de coussins. Selon les faciès volcaniques distaux et proximaux (Dimroth et al. 1978), une polarité vers le sud et un écoulement vers l'ouest peuvent être déduits de façon empirique.

L'encaissant principal de la minéralisation est un ensemble de volcanoclastites felsiques et de lobes rhyolitiques massifs. De composition similaire aux coulées felsiques, quoique plus altérées, les volcanoclastites de East-Sullivan semblent constituer la carapace bréchique d'un centre effusif felsique. Certaines volcanoclastites montrent des évidences de remobilisation alors que d'autres ont des textures de bréchification autoclastique. La forme arrondie des gros lapilli et l'absence de tri à la base de la séquence (figure 2.6) laissent supposer un transport par processus pyroclastique primaire (McPhie et al. 1993). La présence de niveaux lités (Td), et de structures érosives internes (Ei) dans les tufs fins et grossiers lités, qui sont déposés en discordance sur la brèche à fragments jointifs, semble

correspondre à une unité S1, tel que décrite par Lowe (1982). L'alternance de lits turbiditiques grossiers massifs (Ta) et lits fins (Td) (planche 2.10 et figure 2.6) et les granoclassemens donnent une polarité vers le Sud. Les contacts érosifs et le très bon litage de ces unités volcaniques indiquent un remaniement sédimentaire des dépôts. Les gros blocs massifs qui se trouvent dans la séquence de tufs ne peuvent vraisemblablement pas avoir été transportés par le même processus qui a mis en place ces tufs lits. Ils sont peut-être le résultat d'effondrement d'un lobe rhyolitique situé à proximité. L'ensemble des volcanoclastites montre une composition similaire au lobe massif sous-jacent. Dans les séquences volcaniques anciennes, le critère le plus efficace pour établir un milieu de mise en place sous-marin pour des coulées felsiques est une proche association spatiale de coulées massives, de hyaloclastites in-situ et de hyaloclastites resédimentées (McPhie et al. 1993).

Les fragments anguleux associés aux lobes massifs montrent des variations d'orientation dans l'étirement de leurs vésicules, ce qui indique une déformation syn-volcanique par écoulement laminaire. La hyaloclastisation in-situ de lobe felsique massif produit une enveloppe de matériel contenant des fragments juvéniles anguleux et parfois vésiculaires disposés autour d'un cœur cristallin massif à traces d'écoulement laminaire (Pichler 1965; Yamagishi et Dimroth 1985). Lors de processus d'auto-bréchification, le cœur de laves cohérentes fracturées est entouré d'une brèche in-situ qui se transforme progressivement en matériel clastique peu ou non remanié (De Rosen-Spence et al. 1980).

Les clastes de l'enveloppe externe sont généralement monomictes, se supportent, ont peu de matrice et sont mal triés (Allen 1988).

La construction de ce petit édifice volcano-sédimentaire en cinq faciès semble s'être fait autour du lobe felsique massif et de son enveloppe de brèche autoclastique (Pichler 1965). Les contacts érosifs qui sont nombreux sur l'affleurement permettent de déduire la séquence de mise en place suivante : 1) les tufs à lapilli porphyriques à feldspath, 2) le lobe massif partiellement extrusif et son enveloppe bréchique, 3) les tufs à blocs vésiculaires mal lités et peu remaniés, et 4) érosion partielle de l'édifice et mise en place de la suite litée granoclassée de tufs fin et de tufs à lapilli.

Du côté des roches intrusives de East-Sullivan, la chronologie proposée est soutenue par l'altération et les datations. Une forte altération de chlorite et une composition proche de celles des coulées intermédiaires indiquent que la diorite de Bourlamaque est fort probablement syn-volcanique, mais post-minéralisation de par l'absence de traces de sulfures à l'intérieur. Le stock de East-Sullivan est quant à lui nettement post-tectonique, tout comme le porphyre de East-Sullivan, ce dernier ayant été daté très précisément par la méthode radiogénique U-Pb sur zircon à 2684 ± 1 Ma par Pilote et al. (1999a). Le pluton qui est discordant dans l'édifice de la Formation de Val-d'Or est en contact direct avec les coulées felsiques de East-Sullivan (affleurement 97-SL-1068) et recoupe le gisement sur toute sa partie est (figure 2.3 et 2.4). Une bonne partie du gisement semble avoir été

tronquée par la mise en place du pluton, mais l'importance de cette soustraction est impossible à évaluer. Des enclaves de sulfures massifs ont été identifiées à l'intérieur de celui-ci près de sa bordure (Assad 1958; Simard 1991). Ces zones de sulfures dans le pluton constituent fort probablement les restes non assimilés de lentilles appartenant à l'origine au gisement de East-Sullivan. L'association de toutes les intrusions avec le gisement est fortuite. La présence de ces unités intrusives est sans impact au point de vue de la mise en place de la minéralisation. Cependant, la transformation de l'assemblage métamorphique et la recristallisation complète des sulfures massifs est le produit de leur présence.

5.1.3 Lithogéochimie

Les signatures géochimiques des laves de East-Sullivan, qu'elles soient faites avec des éléments traces ou avec des ÉTR, correspondent particulièrement bien avec celles de la Formation de Val-d'Or et de Héva (Desrochers et al. 1996; Pilote et al. 1997b; Scott et al. 2002). Les unités volcanoclastiques ont généralement un champ de composition des éléments majeurs plus vaste que les unités massives. Par contre, au niveau des éléments traces, ces unités présentent des teneurs avec la même tendance. Cette similarité entre les tufs et les rhyolites confirme le lien génétique existant entre les deux lithologies observées en affleurement (figure 2.5). Le diagramme multi-éléments des laves calco-alcalines montre des anomalies négatives en Nb, Ta et Ti, indicatrices d'un environnement tectonique de

zone de subduction (Feng et Kerrich 1992). Les minéraux accessoires contenant le titane (rutile, sphène) sont réfractaires à la fusion partielle et retiennent ces éléments dans la source magmatique (Foley et Wheller 1990).

Lorsque comparées avec les laves intermédiaires de surface, les unités plus mafiques retrouvées en forage sous le gisement montraient une composition différente (figure 3.2b) dans le domaine des éléments traces. Par contre elles sont génétiquement non distinguables (figure 3.4a). Les unités mafiques dans les forages pourraient être des dykes nourriciers de la Formation de Héva. Les plus faibles teneurs des éléments du groupe des terres rares dans les roches intermédiaires (figure 3.5) suggèrent un fractionnement de la hornblende (Arth et Barker 1976). Cette composition s'apparente beaucoup plus aux valeurs généralement observées dans la Formation de Héva (Pilote et al. 1997b). Comme ces laves coussinées sont enclavées dans les rhyolites calco-alcalines de la Formation de Val-d'Or, elles sont donc la première occurrence stratigraphique de la Formation de Héva. La transition entre les formations de Val-d'Or et de Héva, qui se trouve au niveau de l'interface de la mine, est progressive avec des événements calco-alcalins et tholéitiques interlités. Le diagramme multi-éléments des laves intermédiaires présente un profil plat avec des teneurs d'ordre comparable pour tous les éléments. Ce spectre d'éléments incompatibles correspond à celui d'une source tholéitique (Wilson 1989).

5.1.4 Altération

Quatre principaux types d'altérations hydrothermales ont été reconnus pétrographiquement : la séricitisation, la chloritisation, la carbonatisation et la silicification. Deux assemblages minéralogiques métamorphiques sont surimposés à ceux d'origine hydrothermale, la biotitisation et l'épidotisation. Aucune zone importante d'altération ou de lesivage apparent, en forme de cheminée ou subconforme, n'a été observée autour du gisement.

La séricitisation est présente dans les roches felsiques sous la forme de petites paillettes dispersées dans la matrice quartzo-feldspathique. Elle est aussi présente en accumulations plus importantes autour des phénocristaux de feldspath qu'elle attaque préférentiellement. La séricitisation est l'étape initiale d'altération hydrothermale des laves felsiques.

La chlorite est présente sous deux formes, disséminée à massive dans la roche et en veinules. Dans ce dernier cas, elle est associée à l'épidote. La chlorite disséminée a une présence importante dans toutes les laves. Elle se présente sous forme d'ilôts gloméroporphyriques qui remplacent les minéraux ferromagnésiens. La chlorite massive est présente uniquement dans la gangue du minéral où associée au quartz et à la séricite cet assemblage remplace complètement la minéralogie initiale de la roche. Les veinules de chlorite-épidote montrent une zonation claire, avec la chlorite sur les parois et l'épidote au centre. Cette zonation démontre l'évolution graduelle des fluides ou la réactivation des

fractures par une autre génération de fluides. La figure 4.1b compare les résultats moyens des analyses avec d'autres études des chlorites de gisements de sulfures massifs volcanogènes de l'Abitibi. Les chlorites montrent une augmentation du rapport Fe/(Fe+Mg) lorsqu'elles sont associées successivement à de la minéralisation disséminée (1081-B1), semi-massive (SL-E) et massive (SL-F). Ces résultats de East-Sullivan sont similaires à ceux observés dans les gisements de Coniagas (Doucet et al. 1998) et de Horne (MacLean et Hoy 1991). Les analyses de pycnochlorite à haute teneur en silicium qui proviennent de l'échantillon 1029-A indiquent probablement une origine métamorphique. Cet affleurement est situé à plus de 40 m du gisement loin de toute trace de minéralisation.

La silicification est observée visuellement dans les vésicules des volcanoclastites et dans les coulées felsiques massives. L'étude au microscope montre aussi sa présence importante au niveau de la gangue associée directement à la minéralisation. Sa présence est aussi confirmée par des gains de silice importants au niveau de l'encaissant de la mine. Malheureusement sa présence dans le « cap-rock » de la mine ne peut pas être vérifiée par manque d'exposition.

La carbonatation affecte surtout les volcanoclastites et les coulées intermédiaires près du gisement. Le carbonate présent à East-Sullivan semble de toute évidence secondaire à la minéralisation, car il remplit surtout les cavités laissées libres par la silice et les autres minéraux d'altération. L'hypothèse la plus probable pour expliquer la disparition des

carbonates, pour ne laisser par endroits que des vésicules vides, est encore une fois imputable au pluton East-Sullivan et à son auréole de métamorphisme de contact. Le rayon d'influence du métamorphisme de contact de cette intrusion peut atteindre 500 m. À l'intérieur de cette zone, une partie importante des assemblages d'altération initiaux, soit la séricite, l'ankérite, la chlorite, les plagioclases et les amphiboles ont été transformés en tout ou en partie en biotite et en epidote sous un métamorphisme du grade des amphibolites. De plus, la majorité des échantillons analysés à l'intérieur de cette auréole montrent à l'analyse une perte au feu quasi nulle, cette dévolatilisation des roches entourant le pluton étant le résultant de cet événement métamorphique ponctuel.

5.1.5 Minéralisation

À East-Sullivan, la minéralisation était présente sous les formes disséminées, massives et en réseaux de fractures. Les deux principaux assemblages de mineraux sont 1) chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite) et 2) sphalérite-pyrite. Un mélange de ces deux assemblages existe pour donner celui de chalcopyrite-pyrrhotite-pyrite-sphalérite. Ces trois types de minéralisations représentent l'ensemble du mineraux qui fut exploité à la mine East-Sullivan.

La présence de deux lapilli de sulfures semi-massifs dans les volcanoclastites felsiques (planche 2.12b) suggère fortement que la mise en place des tufs grossiers et des tufs à

lapilli de cette zone est contemporaine à une phase de minéralisation. Par contre, l'absence d'autres minéralisations de sulfures massifs volcanogènes dans les environs immédiats permettent de croire à une provenance proximale.

L'assemblage de haute température soit chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite) domine en volume. Les lentilles sont généralement concordantes aux unités de tufs et de laves felsiques. Les textures colloformes primaires sont très mal conservées à l'intérieur de cette minéralisation. Cette minéralisation est généralement associée à une altération en silice-chlorite-séricite.

Dans la pyrite colloiforme, la présence de diverses couches à structures différentes, de faible variation de couleur ou du dépôt d'autres minéraux entre les couches traduisent les changements physico-chimiques du fluide minéralisateur ou des conditions de précipitation. Ces changements indiquent différentes périodes de minéralisation successives. Les porphyroblastes de pyrite étoilés indiquent une relation d'intercroissance entre la pyrite et la gangue (Ramdohr 1980; Craig et Vaughan 1981), ce qui représente probablement une cristallisation synchrone entre les deux. Il se peut que les inclusions et les vides dans les parties internes des grains de pyrite soient en fait le résultat de l'inversion de marcassite primaire en pyrite. L'inversion de marcassite en pyrite est caractérisée par une perte de volume qui est responsable de nombreux vides observés dans la pyrite finale (Murowchick 1992). L'autre possibilité est que les impuretés présentes sous forme

d'inclusions résultent de la précipitation conjointe et du remplacement subséquent des différentes phases de sulfures (Deer et al. 1992).

L'assemblage de basse température sphalérite-pyrite recoupe le premier assemblage et est discordant aux unités encaissantes. Aucune texture primaire n'a été observée dans cet assemblage. Le recouvrement des deux assemblages dans la lentille B donne l'assemblage à quatre sulfures. Les analyses à la micro-sonde du contenu en fer des sphalérites donnent des hautes températures de formation. Cette minéralisation est généralement associée à une altération de chlorite.

La texture à rubannement peut être d'origine syn-dépositionnelle ou tectonique. La forte recristallisation des sulfures en interdit la détermination. Les exsolutions de chalcopyrite dans la sphalérite sont associées au phénomène de la « chalcopyrite disease » (Barton et Bethke 1987). L'abondance de gangues résiduelles dans les sulfures massifs laisse entrevoir une précipitation de sulfures moins intense et un remplacement incomplet de la roche initiale. Les faciès à sphalérite (figure 1.7) sont d'ailleurs associés à la phase initiale de développement des systèmes de sulfures massifs volcanogènes (Lydon 1984b).

Les sphalérites avec un faible contenu en fer caractérisent habituellement les phases hydrothermales de basse température (Hannington et Scott 1988). Les teneurs en fer des sphalérites de East-Sullivan semblent à première vue en contradiction avec les résultats habituellement observés dans les gisements de zinc abitibiens (Doucet et al. 1998). Ces

gisements montrent généralement de faibles teneurs de fer dans les sphalérites associées à de la pyrite, alors que les sphalérites qui accompagnent la chalcopyrite incorporent plus de fer dans leur structure.

5.1.6 Paragénèse des sulfures

Les étapes successives de précipitation et de recristallisation des sulfures vont affecter leurs textures et leurs compositions en concentrant les métaux dans des minéraux distincts (Edwards 1954; Craig et Vaughan 1981). La séquence paragénétique et l'abondance relative des différents sulfures est présentée à la figure 5.1. Le développement de la minéralisation à la mine East-Sullivan semble s'être fait en deux étapes.

La première phase de minéralisation est concordante avec les unités felsiques encaissantes. Au début, les fluides moins chauds produisent de la sphalérite et de la marcassite colloformes. Plus tard au moment du métamorphisme, cette marcassite sera inversée en pyrite et la sphalérite recristallisée. Avec l'augmentation de la température du système, la période principale de la minéralisation en sulfures massifs volcanogènes s'établit avec la précipitation de la séquence minérale sphalérite, pyrite, chalcopyrite et pyrrhotite. Cette minéralisation initiale caractérise les grosses lentilles à dominance chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite).

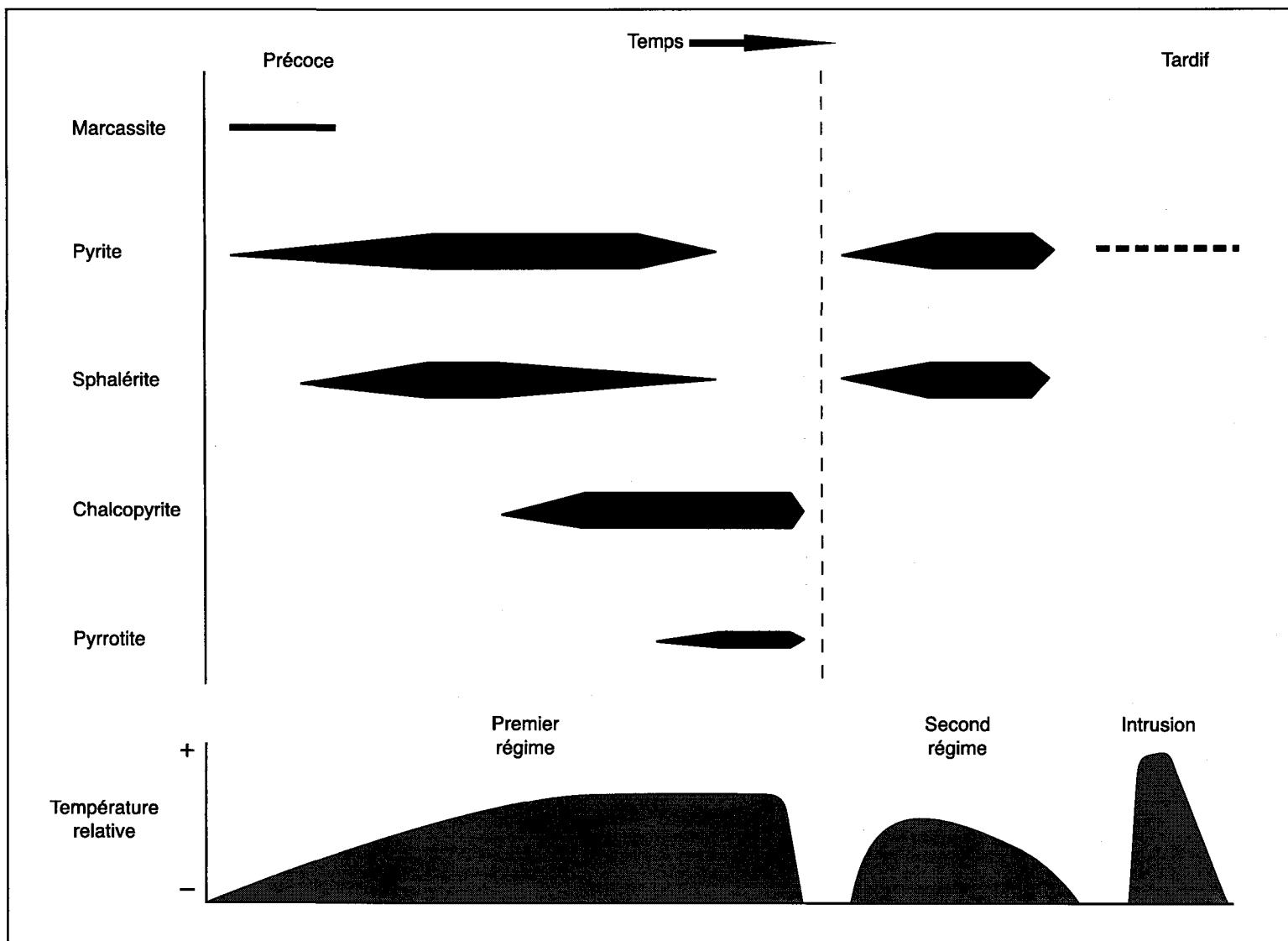


Figure 5.1 : Séquence paragénétique et abondance relative de la minéralisation.

La seconde phase de minéralisation suite à l'interruption du système met en place les lentilles à dominance sphalérite-pyrite. Le système hydrothermal associé à la deuxième phase de minéralisation n'a pas eu l'importance nécessaire à son évolution vers les phases minérales de température supérieure telles que la chalcopyrite et la pyrrhotite. Ces lentilles, discordantes (figure 2.3) avec les unités lithologiques volcaniques ainsi qu'aux lentilles de la première phase de minéralisation soutiennent un changement dans le régime minéralisateur et dans l'environnement du gisement. L'intersection des lentilles de la seconde phase avec celles de la première phase est probablement à l'origine de la minéralisation à assemblage mixte (planche 4.13).

Par la suite, un événement métamorphique local de niveau amphibolite supérieur, associé à la mise en place du stock de East-Sullivan, va recristalliser la majorité des sulfures. Une partie des sulfures était cependant déjà recristallisée avant l'avènement de cet événement métamorphique. Les grains de pyrite idiomorphe isolés dans des plages plus riches de chalcopyrite (planche 4.12) sont le produit textural de l'enrichissement minéralogique normal d'un système de sulfures cuprifères (Edwards 1954). Ce phénomène, nommé raffinage de zone, est produit par les phénomènes de recristallisation et d'enrichissements successifs lors du dépôt des différentes espèces de sulfures.

5.2 RELATION ENTRE LES ÉLÉMENTS OBSERVÉS

La totalité de la minéralisation est incluse dans un ensemble de roches volcaniques à textures variées mais à dominance bréchique. Cette nature hétérogène de la roche encaissante est idéale pour permettre l'instauration et la focalisation de l'écoulement des fluides au travers de toute la séquence (Paulick et McPhie 1999).

La présence de lapilli de sulfures disséminés dans l'empilement de volcanoclastites montre le caractère synvolcanique de la minéralisation. Il peut également y avoir eu dépôt des sulfures par remplacement directement sous le fond océanique.

Les altérations de séricite, chlorite, silice, carbonate et même l'épidote sont des composantes généralement associées avec la minéralisation de type sulfures massifs volcanogènes (Thompson et Thompson 1996). Les échantillons de gangue contenus à l'intérieur des sulfures massifs de East-Sullivan sont tous dominés par la chlorite. La chlorite est généralement associée aux cheminées d'altération ou de recharge. Elle forme généralement l'enveloppe proximale au gisement. Toutes les autres roches proximales au gisement sont dominées par une altération riche en epidote métamorphique. Les échantillons provenant de l'intérieur des lentilles de sulfures massifs en ont très peu. Probablement parce qu'il n'y avait que très peu de carbonates pour se transformer en epidote à l'intérieur même des sulfures massifs.

Les textures colloïdales caractérisent la période initiale de la minéralisation (Koski et al. 1984) et indiquent la mise en place en régime exhalatif à basses températures (Münch et al. 1999). La pyrite colloiforme est typiquement retrouvée dans des dépôts formés à plus basse température. Des températures de formation de 100°C ont été rapportées pour des griffons actifs récents qui précipitent de la marcassite colloiforme (Ames et al. 1993). Ces textures sont généralement considérées comme représentatives d'une précipitation précoce produite par le mélange des fluides hydrothermaux chauds avec l'eau de mer froide.

Les minéralisations riches en cuivre apparaissent à la dernière étape de chauffage du système (Franklin 1993). La présence de chalcopyrite indique un système hydrothermal mature et à haute température (Lydon 1984b). Le minerai riche de East-Sullivan est composé de chalcopyrite massive avec des grains de pyrite idiomorphe isolés. Cet assemblage est typique du minerai jaune du type Kuroko (Craig et Vaughan 1981). En général, la mise en place des minéralisations de type sulfures massifs volcanogènes est caractérisée par des gisements riches en zinc sous la barre des 300°C et riches en cuivre en haut de cette température (Hannington et Scott 1988). Par contre, ces minéralisations se surimposent l'une sur l'autre lors de l'évolution normale d'un gisement de sulfures massifs volcanogènes. Il y a remplacement, dissolution et recristallisation tout au long de l'enrichissement de la minéralisation de son cœur vers l'extérieur (Lydon 1984a).

La minéralogie initiale peut aussi être inversée, recristallisée ou altérée par les fluides tardifs ou par l'entrée d'eau de mer lors du déclin ou l'effondrement du système hydrothermal (Tivey et Delaney 1986). Cette hypothèse est écartée à la mine East-Sullivan par suite d'un recouvrement probablement rapide du système hydrothermal par les laves de la Formation de Héva. Les textures primaires ainsi que la composition peuvent finalement être radicalement transformés lors d'un métamorphisme ponctuel ou régional.

Les hautes températures de formation des sphalérites, indiquées par nos analyses, sont peut-être le résultat de leur réinitialisation par recristallisation lors d'un événement métamorphique important. Généralement, la sphalérite des dépôts de sulfures massifs volcanogènes cuprifères, montre des changements rétrogrades importants lorsque ces gisements sont métamorphisés (Scott 1983). De plus, la sphalérite en se recristallisant pour atteindre un état stable exsolve son fer excédentaire, ce qui a pour effet de changer sa composition chimique en formant des cristaux de pyrite idiomorphe isolés dans celle-ci (planche 4.7b). Ces phénomènes réactionnels sont plausibles dans le contexte où plusieurs phases de minéralisation et une forte recristallisation affectent la majorité des faciès minéralisés de East-Sullivan.

L'absence de cheminée d'altération à la surface correspond géométriquement avec la présence dans les niveaux inférieurs de minéralisation en filonnets. La zone de décharge des fluides minéralisateurs doit donc se trouver en profondeur sans exposition.

Les premières laves andésitiques tholéiitiques qui sont situées sous le gisement sont ensuite recouvertes par l'évolution continue de l'édifice felsique. La minéralisation va ensuite se mettre en place principalement dans les volcanoclastites felsiques. Cette interdigitation des coulées felsiques et intermédiaires montre que le gisement s'est mis en place au sommet de la Formation de Val-d'Or, avant son recouvrement par la Formation de Héva. Du point de vue paléogéographique, la région passe d'un régime où il y construction des édifices volcaniques de la Formation de Val-d'Or à un nouveau régime en extension caractérisé par la Formation de Héva (Pilote et al. 1999b; Scott et al. 2002).

La minéralisation de East-Sullivan s'est mise en place par l'action de deux systèmes distincts. Le premier a un cycle de vie complet, il se développe en passant de basses à de hautes températures. Ce premier système est caractérisé principalement par son assemblage minéralogique final de hautes températures de chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite) dans les lentilles concordantes. Un second système, moins efficace, uniquement de basse température remplace ensuite le premier. Il est identifiable par sa minéralisation discordante en sphalérite-pyrite. Un arrêt et une reprise de l'alimentation en chaleur mais surtout de l'alimentation en fluide est nécessaire pour expliquer ce changement. La mise en place d'une nouvelle couche de lave étanche, qui bloque dans un premier temps l'apport en fluide, peut constituer un frein efficace à la minéralisation.

Un milieu volcanique actif en extension comme celui de la Formation de Héva produit et réactive de nombreuses failles syn-volcaniques (Morton et al. 1991). Les couches mafiques de la Formation de Héva, initialement étanches à l'infiltration de l'eau, deviennent probablement sujettes à la fracturation par ces mêmes failles. Un système hydrothermal peut alors se reconstruire avec ses points de focalisation empruntant ces conduits préférentiels, soit les vieilles failles d'alimentation du premier système hydrothermal.

Deux éléments peuvent expliquer la perte de puissance et la faible température du nouveau système hydrothermal, qui ne réussit qu'à précipiter de la sphalérite et de la pyrite. Le premier est que le système de canalisation des fluides devient moins efficace et s'enfonce plus profondément sous la croûte océanique, ceci en raison de l'ajout de nouvelles couches de laves. Ce système amène moins de fluides et ne réussit pas à maintenir la température. Le second est la diminution partielle de l'intensité de la source de chaleur suite à des changements tectoniques ou en raison de son extinction progressive naturelle. Selon l'âge des différentes formations (Pilote et al. 1999b), le temps entre la mise en place des deux systèmes doit nécessairement être de moins d'un million d'années. Ce faible délai n'est pas suffisant pour le refroidissement d'une intrusion sub-volcanique (Gibson et al. 1997), donc l'hypothèse de la disparition de la source de chaleur est à écarter.

5.3 MODÉLISATION

5.3.1 Sulfures massifs volcanogènes

Outre une source de métaux, les gisements de type sulfures massifs volcanogènes nécessitent une source de chaleur comme moteur, une alimentation continue en fluides et des structures ou failles qui permettent de focaliser la sortie de ces fluides. Leur mise en place est caractérisée par une cheminée discordante de sulfures massifs en filonnets et des lentilles massives, lités ou non, plus ou moins concordante à la stratification. Ces sulfures massifs sont la plupart du temps zonés, selon la température de mise en place. Les altérations autour des gisements de type Noranda sont en ordre d'éloignement du cœur du système vers l'encaissant : chlorite-ferrifère et magnésienne, séricite et quartz.

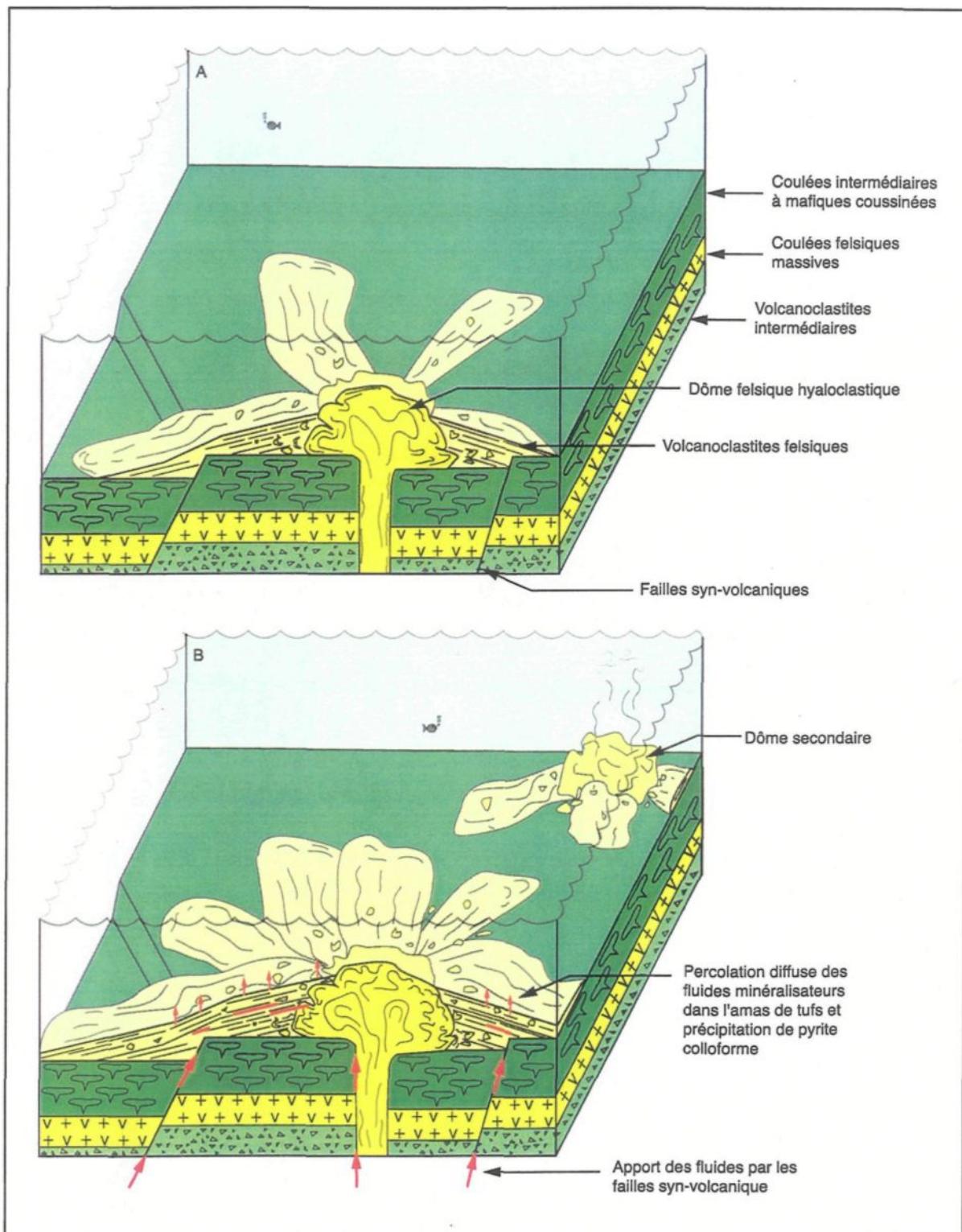
Le contexte tectono-stratigraphique occupé par ces minéralisations peut être varié, mais les gisements archéens sont restreints à deux types seulement : bimodal-mafique dominant et bimodal-felsique dominant. La séquence stratigraphique dominée par les unités mafiques intermédiaires tholéïtiques et l'encaissant felsique calco-alcalin caractérise le type bimodal-mafique, lequel représente bien le gisement de East-Sullivan. Des gisements caractéristiques de cette classe sont ceux du camp minier de Noranda.

5.3.2 Intégration et interprétation des données

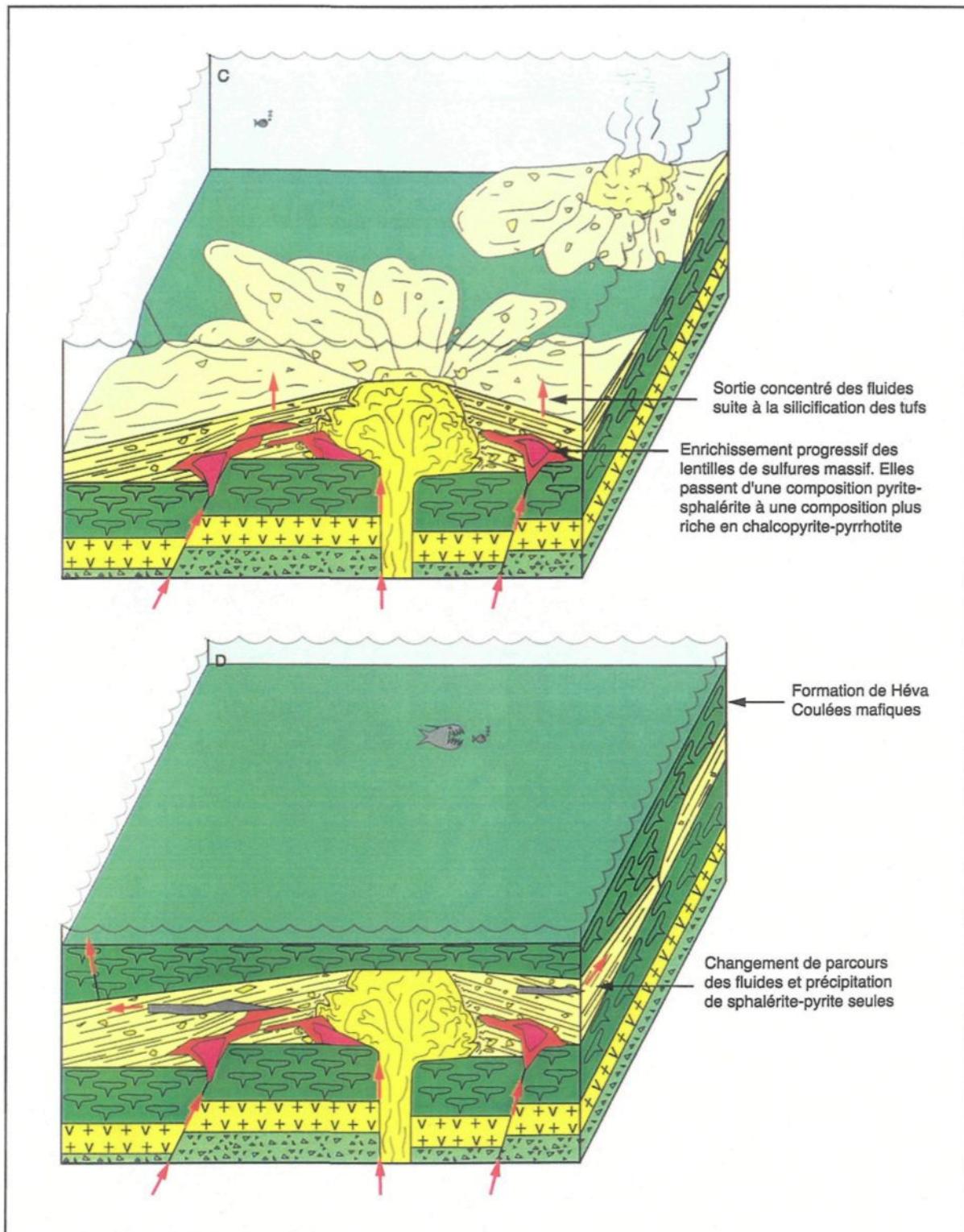
À partir des observations et constatations précédentes, il est possible de proposer un modèle de mise en place pour le gisement de East-Sullivan.

La Formation de Val-d'Or représente un ensemble de constructions volcaniques constituées de plusieurs centres effusifs ayant pu atteindre près de 4 km d'épaisseur aux environ de 2703 Ma. C'est à ce moment que la première étape de mise en place du gisement de East-Sullivan se déroule, soit le début de l'édification d'un édifice felsique (figure 5.2a) avec des soubresauts mafiques. La source inconnue des coulées felsiques de East-Sullivan est probablement aussi située à l'emplacement du stock de East-Sullivan. Les lobes felsiques initiaux produisent une épaisse séquence de volcanoclastites dans le secteur de East-Sullivan. Ce n'est cependant pas avant l'atteinte d'une taille décamétrique que le dôme felsique peut produire et accumuler une quantité suffisante de matériel volcanoclastique pour permettre l'isolation du futur système hydrothermal.

Les processus autoclastiques notés à petite échelle (figure 2.5) sont également visibles à grande échelle (figure 2.3). Les unités felsiques, considérées à l'échelle de la mine, montrent un cœur massif entouré de brèches autoclastiques et de sédiments remaniés à la périphérie. Le mélange hétérogène, au niveau des brèches autoclastiques, facilite la mise en



Figures 5.2 A et B : Modèle de mise en place du gisement de East-Sullivan.



Figures 5.2 C et D : Modèle de mise en place du gisement de East-Sullivan.

place de conduits hydrothermaux et l'augmentation en température de l'amoncellement de dépôts de volcanoclastiques.

Lorsqu'une température suffisante est atteinte, les premières minéralisations de pyrite colloforme de basses températures commencent à se déposer à l'intérieur des unités volcaniques autoclastiques (figure 5.2b). Avec le temps, des phases minéralisées de pyrite et de sphalérite sont graduellement déposées puis enrichies et remplacées par les assemblages de hautes températures à chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite) (figure 5.2c). À cette étape, les lentilles suivent la paléopente de la construction volcanique car le front de précipitation garde toujours la même distance avec l'eau froide de l'océan. L'importante alimentation en eau de recharge permet de créer un système hydrothermal efficace qui a tôt fait de se canaliser le long de failles syn-volcanique perpendiculaires à la stratigraphie (planche 4.2). La zone discordante d'altération en silice colmate la majorité de l'édifice felsique sous-jacent et réduit la porosité sous le système hydrothermal, ce qui augmente l'efficacité des conduits hydrothermaux déjà en place.

Moins de 1 Ma après le début du système le démembrément de l'arc volcanique de la Formation de Val-d'or se produit (Scott et al. 2002). Le régime volcanique de la région est alors remplacé par un régime d'extension et plusieurs dizaines de mètres de coulées basaltiques de la Formation de Héva engloutissent le site du gisement de East-Sullivan (figure 5.2d). Initialement la couverture partielle du gisement par les laves de la Formation

de Héva a probablement été bénéfique. En effet, l'ajout d'un couvercle au système favorise la rétention de la chaleur et le raffinage des sulfures par remplacement. La teneur en cuivre augmente et la grosseur des lentilles aussi. Cependant, l'ajout d'une trop grande quantité de laves au-dessus a probablement étouffé le système en fermant les points de recharge en eau de mer.

Ce n'est que plus tard que le second système à sphalérite-pyrite, de plus faible température et de moindre efficacité, a du se mettre en place. La réactivation de failles syn-volcaniques a permis le retour de l'alimentation en fluides. La minéralisation de ce système indépendant du premier recoupe par endroits les lentilles de chalcopyrite-pyrrhotite (pyrite) de première génération. Les lentilles sont aussi discordantes par rapport à la majorité des unités volcaniques de la mine, qui ne représentent plus l'interface avec l'eau. Ce deuxième système n'est pas aussi performant que son prédecesseur et ne développe qu'une minéralisation de faible volume (tableau 4.3).

Plus tard, autour de 2684 Ma, le stock de East-Sullivan se met en place en éliminant et digérant la partie Est du gisement. La présence de cette intrusion tardive a aussi pour effet de recristalliser la majorité de la minéralisation et de métamorphiser les divers assemblages d'altération. Sa forte susceptibilité magnétique masque aussi à l'échelle régionale la présence du gisement de East-Sullivan. Suite au basculement qui affecte cette région, le

gisement est verticalisé et une autre partie de la minéralisation est enlevée par l'érosion pour ne laisser que 16 Mt de minerai sur un total initial inconnu.

5.3.3 Implications pour l'exploration

Des trois points de base de l'exploration des sulfures massifs volcanogènes, soit la présence d'eau de mer, une structure tectonique focalisante et une source de chaleur, seul le premier a des évidences encore visibles sur le site de la mine East-Sullivan. L'exploration pour les sulfures massifs volcanogènes dans une région comme Val-d'Or ne doit donc pas se restreindre aux endroits qui présentent ces trois caractéristiques.

L'événement de minéralisation qui a mis en place la mine East-Sullivan se situe à un endroit et une époque particulière tous deux reliés. Le lieu est l'édifice volcanique felsique calco-alcalin qui surmonte une série d'unités volcanoclastiques litées de composition intermédiaire. Cet édifice felsique est ensuite submergé par une série de coulées mafiques coussinées tholéïtiques. C'est à ce point que l'« endroit » se confond avec le « moment ».

La transition entre la Formation de Val-d'Or et la Formation de Héva marque l'emplacement de la mine East-Sullivan. Il semble qu'il y ait eu un hiatus dans l'activité volcanique permettant le développement du système hydrothermal de la mine East-

Sullivan. Le développement des unités de la Formation de Héva réactive énergiquement un volcanisme rendu en phase terminale.

Au point de vue de l'exploration à l'échelle régionale, la reconnaissance des édifices felsiques, situés près ou sur l'interface des Formations de Val-d'Or et de Héva s'avère d'un grand intérêt. Il est possible qu'un ou plusieurs épisodes de circulation de fluides minéralisateurs ou de remobilisation des minéralisations pré-existantes aient suivi les structures associées à la mise en place de ces édifices felsiques.

CHAPITRE VI

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le contexte géologique de la mine East-Sullivan est représentatif d'un gisement de sulfures massifs volcanogènes. Le gisement peut se définir comme un de type Noranda discordant (Morton et Franklin, 1987) ou bien comme un de type « bimodal-mafique » dominant (Franklin et al. 1997).

Les textures colloïdales caractérisent la période initiale d'une mise en place en régime exhalatif à basse température. Il n'y a pas d'indication de remplacement hydrothermal tardif ou de tout autre type de gîte magmatique. La minéralisation est comprise dans un horizon perméable de différentes variétés de tufs, et contenue entre deux unités massives felsique et intermédiaire. La phase initiale de minéralisation est représentée par l'assemblage chalcopyrite-pyrrhotite. La seconde phase de minéralisation est représentée par l'assemblage sphalérite-pyrite, lequel recoupe les lentilles de chalcopyrite-pyrrhotite et les unités felsiques. Le modèle classique de minéralisation en sulfures massifs volcanogènes (Lydon 1984b, 1984a) propose que la minéralisation riche en cuivre apparaisse à la dernière étape d'édification du monticule, la présence de chalcopyrite indiquant un système hydrothermal mature et à haute température. Cependant, dans le cas du gîte de East-Sullivan, il semble y avoir deux époques de minéralisation. Tel que démontré par la

disparité et les recoulements entre les lentilles de sulfures massifs, un deuxième système de moindre température à lentilles de zinc a été actif à la suite de l'arrêt du système mature initial.

La première phase de minéralisation a pris place dans un environnement dominé par la construction du centre volcanique felsique, lequel était constitué de lobes felsiques massifs et de matériel volcanoclastique. La grande étanchéité des laves felsiques massives a permis que les sites de décharge de fluides hydrothermaux soient concentrés en quelques points. La porosité des tufs a facilité un mélange efficace entre l'eau de mer et ces fluides hydrothermaux. Cette première phase est représentée par la pyrite colloiforme qui se dépose à faible température dans les cavités disponibles. Par la suite, la maturation thermique du système amène le dépôt de grandes quantités de sulfures cuprifères. À l'apogée du système hydrothermal, le volcanisme calco-alcalin felsique fait place à un volcanisme tholéïtique mafique. Les laves mafiques de la Formation de Héva viennent recouvrir le gisement et colmatent alors le système. Un second système minéralisateur plus froid et moins actif se met en place et dépose uniquement l'assemblage pyrite-sphalérite dans de petites lentilles discordantes.

Suite à la verticalisation de la stratigraphie, la partie la plus riche du gisement est exposée et partiellement érodée. Une partie du gisement est aussi recoupée par le Pluton de East-Sullivan et ses dykes associés.

Recommandations

Selon les informations disponibles, il n'est pas clair si une partie du gisement est toujours enfouie en profondeur. L'horizon porteur de la minéralisation serait la cible logique pour l'exploration. Par contre, il n'a pas beaucoup de chance d'être présent à l'Ouest car ce niveau stratigraphique est recoupé à moins d'un kilomètre par la zone tectonique de Cadillac. Ce niveau est aussi évidemment tronqué à l'Est par le Pluton de East-Sullivan. Tel que mentionné au chapitre 5.3.3, un concept plus régional qui serait prometteur à investiguer serait l'environnement immédiat du contact entre les Formations de Val-d'Or et de Héva, dans le but d'y retrouver d'autres centres felsiques ponctuels.

RÉFÉRENCES

- Allen, R.L. 1988. False pyroclastic textures in altered silicic lavas, with implications for volcanic-associated mineralization. *Economic geology*, 83: 1424-1446.
- Ames, D.E., Franklin, J.M. et Hannington, M.D. 1993. Mineralogy and geochemistry of active and inactive chimney and massive sulfide, Middle Valley, northern Juan de Fuca Ridge: an evolving hydrothermal system. *Canadian Mineralogist*, 31: 997-1024.
- Arth, J.G. et Barker, F. 1976. Rare-earth partitioning between hornblende and dacitic liquid and implications for the genesis of trondhjemite-tonalitic magmas. *Geology*, 4: 534-536.
- Assad, J.R. 1958. The geology of the East-Sullivan deposit, Val-d'Or, Québec. Thèse de Doctorat. McGill University, Montréal, 207 pp.
- Barrett, T.J. et MacLean, W.H. 1994. Gisements de sulfures massifs de la région de Rouyn-Noranda. Ministère des Ressources naturelles du Québec, ET 93-01, 115 pp.
- Barrett, T.J. et MacLean, W.H. 1997. Volcanic sequences, lithogeochemistry and hydrothermal alteration in some bimodal VMS systems. *Dans: Barrie, C.T. et Hannington, M.D. (éditeur). Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings. GAC-MDD-SEG, Short Course Notes.* pp. 105-133.
- Barrett, T.J., MacLean, W.H., Cattalani, S. et Hoy, L.D. 1994. Géologie et géochimie du gisement de Corbet, région de Rouyn-Noranda, Québec. Ministère des Ressources naturelles du Québec, ET 92-07, 64 pp.
- Barrett, T.J., Cattalani, S. et MacLean, W.H. 1993. Volcanic lithogeochemistry and alteration at the Delbridge massive sulfide deposit, Noranda, Quebec. *Journal of Geochemical Exploration*, 48: 135-173.

- Barrie, T. et Hannington, M. 1997. Classification of VMS deposits based on host rock compositions. *Dans: Barrie, T. et Hannington, M. (éditeur)*. Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings. GAC-MDD-SEG, Short Course Notes. pp. 1-12.
- Barton, P.B. et Bethke, P.M. 1987. Chalcopyrite disease in sphalerite: Pathology and epidemiology. *American Mineralogist*, 72: 451-467.
- Bédard, L.P. et Barnes, S.-J. 1990. Instrumental neutron activation analysis by collecting only one spectrum: results for international geochemical references samples. *Geostandards newsletter*, 14: 479-484.
- Bérubé, M. 1974. Rapport géologique sommaire du Pluton Central et des roches encaissantes, Canton de Bourlamaque, Abitibi, Québec. 66 pp.
- Bouma, A.H. 1962. *Sedimentology of some flysh deposits*. Amsterdam: Elsevier.
- Boynton, W.V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. *Dans: Henderson, P. (éditeur)*. *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 63-114.
- Card, K.D. et Ciesielski, A. 1986. Subdivisions of the Superior Province of the Canadian shield. *Geosciences Canada*, 13: 5-13.
- Cas, R.A.F. 1978. Silicic lavas in Paleozoic flysch-like deposits in New South Wales, Australia: behaviour of deep subsqueous silicic flows. *Geological Society of America Bulletin*, 89: 1708-1714.
- Cas, R.A.F. et Wright, J.V. 1987. *Volcanic successions, modern and ancient : a geological approach to processes, products, and successions*. Allen & Unwin, London ; Boston, 528 pp.
- Chartrand, F. 1991. Geological setting of volcanogenic massive sulphide deposits in the Central Pyroclastic Belt, Val d'Or. *Dans: Chartrand, F. (éditeur)*. *Geology and gold*,

- rare element, and base metal mineralization of the Val d'Or area, Quebec. Society of Economic Geologist, Guidebook series. vol. 9, pp. 75-89.
- Chown, E.H., Daigneault, R., Mueller, W. et Mortensen, J.K. 1992. Tectonic evolution of the Northern Volcanic Zone, Abitibi belt, Quebec. *Revue Canadienne des Sciences de la Terre*, 29: 2211-2225.
- Commission Géologique du Canada 1981. Carte expérimentale en couleur, haute sensibilité aéromagnétique, gradient vertical, feuillet 32C/04, Val d'Or, Québec. Carte C40 074G, échelle 1:50 000.
- Couture, J.-F., 1991. Carte géologique des gîtes métallifères des districts de Rouyn-Noranda et de Val-d'Or, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, DV 90-11.
- Craig, J.R. et Vaughan, D.J. 1981. *Ore microscopy and ore petrography*. John Wiley & Sons, New York, 406 pp.
- De Rosen-Spence, A.F., Provost, G., Dimroth, E., Gochnauer, K. et Owen, V. 1980. Archean subaqueous felsic flows, Rouyn-Noranda, Quebec, Canada and their Quaternary equivalents. *Precambrian Research*, 12: 43-77.
- Deer, W.A., Howie, R.A. et Zussman, J. 1986. *Disilicates and ring silicates*, volume 1B, 2nd edition. Longman scientific and technical, Essex, Angleterre, 457 pp.
- Deer, W.A., Howie, R.A. et Zussman, J. 1992. *An introduction to the rock-forming minerals*. Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, England, xv, 696 pp.
- Desrochers, J.-P. et Hubert, C. 1996. Structural evolution and early accretion of the Archean Malartic Composite Block, southern Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Revue Canadienne des Sciences de la Terre*, 33: 1556-1569.
- Desrochers, J.-P., Hubbert, C., Ludden, N.J. et Pilote, P. 1993. Accretion of Archean oceanic plateau fragments in the Abitibi greenstone belt, Canada. *Geology*, 21: 451-454.

- Desrochers, J.-P., Hubert, C. et Pilote, P. 1996. Géologie de la région de Val-d'Or-Malartic (Abitibi-Est). Ministère des Ressources naturelles du Québec, ET 96-01, Québec, 123 pp.
- Dickson, J.A.D. 1966. Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Journal of sedimentary petrology*, 36: 491-505.
- Dimroth, E., Cousineau, P., Leduc, M. et Sanschagrin, Y. 1978. Structure and organisation of Archean subaqueous basalt flows, Rouyn-Noranda area, Quebec, Canada. *Revue Canadienne des Sciences de la Terre*, 15: 902-918.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, M. et Rocheleau, M. 1983. Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Québec. Part II : tectonic evolution and geomechanical model. *Revue Canadienne des Sciences de la Terre*, 20: 1355-1373.
- Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M. et Goulet, N. 1982. Evolution of the south-central part of the archean Abitibi Belt, Quebec, Part I. Stratigraphic and paleogeographic model. *Revue Canadienne des Sciences de la Terre*, 19: 1729-1758.
- Dion, D.-J. 1997. Levés magnétique et spectrométrique effectués dans la région de Val-d'Or. (Placer Dome Ltée). Ministère des Ressources naturelles du Québec; DP 96-16X.
- Divi, S.R., Thorpe, R.I. et Franklin, J.M. 1979. Application of discriminant analysis to evaluate compositional controls of stratiform massive sulfide deposits in Canada. *Mathematical geology*, 11: 391-406.
- Dostal, J. et Mueller, W.U. 1997. Komatiite flooding of a rifted Archean rhyolitic arc complex: geochemical signature and tectonic significance of the Stoughton-Roquemaure Group, Abitibi greenstone belt, Canada. *The Journal of Geology*, 105: 545-563.
- Doucet, P., Mueller, W. et Chartrand, F. 1998. Alteration and ore mineral characteristics of the Archean Coniagas massive sulfide deposit, Abitibi belt, Quebec. *Revue Canadienne des Sciences de la Terre*, 35: 620-636.

- Edwards, A.B. 1954. Textures of the ore minerals, 2nd edition. The Australasian institute of mining and metallurgy, Melbourne, 242 pp.
- Feng, R. et Kerrich, R. 1992. Geochemical evolution of granitoids from the Superior Province Southern Volcanic Zone and the Pontiac Subprovince. Superior Province Canada : Implication for tectonic history and source regions. *Chemical geology*, 98: 23-70.
- Fisher, R.V. 1984. Submarine volcaniclastic rocks. *Dans: Kokelaar, B.P. et Howells, M.F. (éditeur)*. Marginal Basin Geology. Blackwell Scientific Publication, London, Geological Society Special Publication. vol. 16, pp. 5-27.
- Fisher, R.V. et Schmincke, H.-U. 1984. Pyroclastic rocks. Springer-Verlag, Berlin ; New York, 472 pp.
- Foley, S.F. et Wheller, G.E. 1990. Parallels in the origin of the geochemical signature of island arc volcanics and continental potassic igneous rocks : the role of residual titanates. *Chemical geology*, 85: 1-18.
- Franklin, J.M. 1990. Volcanic-associated massive sulphide deposits. *Dans: Ho, S.E., Robert, F. et Groves, D.I. (éditeur)*. Gold and Base Metal Mineralization in the Abitibi Subprovince, Canada, with Special Emphasis on the Quebec Segment. Geology Department (Key Centre) & University Extension, University of Western Australia, Publication 24, pp. 211-241.
- Franklin, J.M. 1993. Volcanic-associated massive sulphide deposits. *Dans: Kirkanm, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. et Duke, J.M. (éditeur)*. Mineral Deposit Modeling. GAC, Special Paper. vol. 40, pp. 315-334.
- Franklin, J.M. 1996. Gîtes de sulfures massifs à métaux communs associés à des roches volcaniques. *Dans: Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D. et Thorpe, R.I. (éditeur)*. Géologie des types de gîtes minéraux du Canada. Commission Géologique du Canada, Ottawa, Géologie du Canada. vol. 8, pp. 174-202.

- Franklin, J.M., Kasarda, J. et Poulsen, K.H. 1975. Petrology and Chemistry of the Alteration Zone of the Mattabi Massive Sulphide Deposit. *Economic geology*, 70: 63-79.
- Franklin, J.M., Lydon, J.W. et Sangster, D.F. 1981. Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits. *Dans: Skinner, B.J. (éditeur)*. *Economic Geology, Senventhy-Fifth Anniversary Volume*. pp. 585-627.
- Franklin, J.M., Hannington, M.D., Jonasson, I.R. et Barrie, C.T. 1997. Volcanogenic massive sulfide deposits. GAC-SEG short course,
- Galley, A.G. 1993. Characteristics of semi-conformable alteration zones associated with volcanogenic massive sulphide districts. *Journal of Geochemical Exploration*, 48: 175-200.
- Galley, A.G. 1995. Target vectoring using lithogeochemistry: application to the exploration for volcanic-hosted massive sulphide deposits. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin*, 88: 15-27.
- Gibson, H.L., Morton, R.L. et Hudak, G.J. 1997. Submarine volcanic processes, deposits and environnements favourable for the location of volcanic-associated massive sulphide deposits. *Dans: Barrie, T. et Hannington, M. (éditeur)*. *Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings*. GAC-MDD-SEG, Short Course Notes. pp. 13-50.
- Gill, J., Torssander, P., Lapierre, H., Taylor, R., Kaiho, R., Koyama, K., Kusakabe, M., Aitchison, J., Cisowski, S., Dadley, K., Fujiora, K., Klaus, A., Lovell, M., Marsaglia, K., Pezard, P., Taylor, B. et Tazaki, K. 1990. Explosive deep water basalt in the Sumisu backarc rift. *Science*, 248: 1214-1217.
- Goodwin, A.M. et Riddler, R.H. 1970. The Abitibi orogenic belt. *Dans: Baer, A.J. (éditeur)*. *Precambrian bassins and geosynclines of the Canadian Shield*. Geological Survey of Canada, Study 70-40, pp. 1-30.

- Gorton, M.P. et Schandl, E.S. 2000. From continent to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks. *The Canadian Mineralogist*, 38: 1065-1073.
- Green, T.H. et Pearson, N.J. 1985. Experimental determination of REE partition coefficients between amphibole and basaltic liquids at high pressure. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49: 1465-1468.
- Groves, D.I. et Barley, M.E. 1994. Archean mineralization. *Dans: Condie, K.C. (éditeur). Archean crustal evolution*. Elsevier, Amsterdam, Developments in Precambrian Geology. vol. 11, pp. 461-503.
- Groves, D.A., Morton, R.L. et Franklin, J.M. 1988. Physical volcanology of the footwall rocks near the Mattabi massive sulphide deposit, Sturgeon Lake, Ontario. *Revue Canadienne des Sciences de la Terre*, 25: 280-291.
- Hajash, A. et Chandler, G.W. 1981. An experimental investigation of high-temperature interaction between seawater and rhyolite, andesite, basalt et peridotite. contribution to mineralogy and petrology, 78: 240-254.
- Hannington, M.D. et Scott, S.D. 1988. Mineralogy and geochemistry of hydrothermal silica-sulfide-sulfate spire in the caldera of Axial Seamount, Juan de Fuca Ridge. *The Canadian Mineralogist*, 26: 603-625.
- Hey, M.H. 1954. A new review of the chlorites. *The mineralogical magazine*, 30: 277-292.
- Imreh, L. 1984. Sillon de La Motte-Vassan et son avant-pays méridional: Synthèse volcanologique, lithostratigraphique et gitologique. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. MM 82-04, 72 pp.
- Innes, M.J.S. 1949. An investigation of the applicability of gravimetric and magnetometric methods of geophysical prospecting. *Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*, 448: 378-384.

- Jensen, L.S. 1976. A new cation plot for classifying subalkaline volcanic rocks. Ontario Division of Mines. Miscellaneous paper 66,
- Jensen, L.S. et Pyke, D.R. 1982. Komatiites in the Ontario portion of the Abitibi belt. *Dans: Arndt, N.T. et Nisbet, E.G. (éditeur). Komatiites. George Allen and Unwin, London, pp. 147-157.*
- Koski, R.A., Clague, D.A. et Oudin, E. 1984. Mineralogy and chemistry of massive sulfide deposits from Juan de Fuca Ridge. *Geological Society of America Bulletin, 95: 930-945.*
- Lafrance, B., Mueller, W.U., Daigneault, R. et Dupras, N. 2000. Evolution of a submerged composite arc volcano: volcanology and geochemistry of the Normétal volcanic complex, Abitibi greenstone belt, Québec, Canada. *Precambrian Research, 101: 277-311.*
- Larocque, A.C.L. et Hodgson, J.C. 1993. Carbonate-rich Footwall Alteration at the Mobrun Mine, a Possible Mattabi-type VMS Deposit in the Noranda Camp. *Exploration and Mining Geology, 2: 165-169.*
- Latulippe, M. 1966. The relationship of mineralization to precambrian stratigraphy in certain mining area of Ontario and Québec. *Dans: Geological Association of Canada, Special Paper. vol. 3, pp. 21-41.*
- Lavoie, S., Pilote, P. et Mueller, W.U. 1998. Un gisement de sulfures massifs volcanogènes associé à un complexe rhyolitique à la mine East-Sullivan, Formation Val-d'Or, Québec. *Dans: Séminaire d'Information sur la Recherche Géologique, Programme et résumés. Ministère des Ressources naturelles du Québec, DV 98-05, pp. 48.*
- Lavoie, S., Mueller, W.U. et Pilote, P. 1999a. Un gisement de sulfures massifs volcanogènes associé à un complexe rhyolitique : la mine East-Sullivan, formation de Val-d'Or, Québec. *Dans: Actes du congrès. APGGQ, Rouyn-Noranda, pp. 347-348.*
- Lavoie, S., Pilote, P. et Mueller, W.U. 1999b. Géologie de la mine East-Sullivan, Formation de Val-d'Or, sous-province de l'Abitibi, Québec: mise en place de la minéralisation de type sulfures massifs volcanogènes. *Dans: Séminaire d'Information*

- sur la Recherche Géologique, Programme et résumés. Ministère des Ressources naturelles du Québec, DV 99-03, pp. 54.
- Lavoie, S., Pilote, P. et Mueller, W.U. 2001. Contexte géologique de la mine East-Sullivan, région de Val-d'Or, Sous-province de l'Abitibi. Ministère des Ressources naturelles du Québec, MB 2001-01, 45 pp.
- Le Maitre, R.W. 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Recommendation of the international union of geological sciences. Subcommission on the systematic of igneous rocks. Blackwell scientific publication, 193 pp.
- Les Relevés Géophysiques Inc. 1985. Carte aéromagnétique à l'échelle 1:20 000, région de l'Abitibi. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. DP 85-16 (feuillet 32C/04-200-102).
- Lowe, D.R. 1982. Sediment gravity flow II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of sedimentary petrology*, 52: 279-297.
- Lydon, J.W. 1984a. Volcanogenic massive sulphide deposits. Part 1: A descriptive model. *Dans: Ore Deposit Model, Geological Association of Canada, Geosciences Canada Reprint Serie volume 3*, pp. 145-153.
- Lydon, J.W. 1984b. Volcanogenic massive sulphide deposits. Part 2: Genetic model. *Dans: Ore Deposit Model, Geological Association of Canada, Geosciences Canada Reprint Serie volume 3*, pp. 155-181.
- MacKenzie, W.S. et Guilford, C. 1980. *Atlas of rock-forming minerals in thin section*. Longman scientific and technical, Essex, 98 pp.
- MacLean, W.H. et Hoy, L.D. 1991. Geochemistry of hydrothermally altered rocks at the Horne mine, Noranda, Quebec. *Economic geology*, 86: 506-528.

McDonough, W.F., Sun, S., Ringwood, A.E., Jagoutz, E. et Hofmann, A.W. 1991. K, Rb and Cs in the earth and moon and the evolution of the earth's mantle. *Geochimica Cosmochimica Acta*, Ross Taylor Symposium volume,

McPhie, J., Doyle, M. et Allen, R. 1993. *Volcanic textures : a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies University of Tasmania, Hobart, Tas., 198 pp.

Meschede, M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with Nb-Zr-Y diagram. *Chemical geology*, 56: 207-218.

Mir Télédétection 1999. *Images numériques satellitaires région de Val-d'Or, carte 32C/04-200-102*. Document interne Ministère des Ressources naturelles du Québec.

Miyashiro, A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Sciences*, 274: 321-357.

Moorhead, J., Tremblay, A., Pelz, P. et Beaudoin, G. 2000. *Géologie de la mine Louvicourt*. Dans: Pilote, P. (éditeur). *Géologie de la région de Val d'Or, Sous-province de l'Abitibi - Volcanologie physique et évolution métallogénique*. Ministère des Ressources naturelles du Québec. MB 2000-09, Québec, pp. 47-64.

Mortensen, J.K. 1993. U-Pb geochronology of the eastern Abitibi Subprovince. Part 1: Chibougamau-Matagami-Joutel region. *Revue Canadienne des Sciences de la Terre*, 30: 11-28.

Morton, R.L. et Franklin, J.M. 1987. Two-fold classification of Archean volcanic-associated massive sulphide deposits. *Economic geology*, 82: 1057-1063.

Morton, R.L., Walker, J.S., Hudak, G.J. et Franklin, J.M. 1991. The Early Development of an Archean Submarine Caldera Complex with Emphasis on the Mattabi Ash-Flow Tuff and Its Relationship to the Mattabi Massive Sulphide Deposit. *Economic geology*, 86: 1002-1011.

- Mueller, W.U. et Donaldson, J.A. 1992. Development of sedimentary basins in the Archean Abitibi belt, Canada: an overview. *Revue Canadienne des Sciences de la Terre*, 29: 2249-2265.
- Münch, U., Blum, N. et Halbach, P. 1999. Mineralogical and geochemical features of sulphide chimneys from the MESO zone, Central Indian Ridge. *Chemical geology*, 155: 29-44.
- Murowchick, J.B. 1992. Marcasite inversion and the petrographic determination of pyrite ancestry. *Economic geology*, 87: 1141-1152.
- Nicholls, J. et Russel, J.K. 1990. Pearce element ratios - An overview, example and bibliography. *Dans: Russel, J.K. et Stanley, C.R. (éditeur)*. Theory and application of Pearce element ratios to geochemical data analysis. GAC-MAC, Vancouver, Short Course Notes. vol. 8, pp. 11-21.
- Norman, G.W.H. 1943. Bourlamaque. Comission géologique du Canada. Paper 43-2.
- Offler, R. et Whitford, D.J. 1992. Wall-rock alteration and metamorphism of a volcanic-hosted massive sulphide deposit at Que River, Tasmania: petrology and mineralogy. *Economic geology*, 87: 686-705.
- Paulick, H. et McPhie, J. 1999. Facies architecture of the felsic lava-dominated host sequence to the Thanlanga massive sulfide deposit, Lower Ordovician, northern Queensland. *Australian Journal of Earth Sciences*, 46: 391-405.
- Pearce, J.A. 1996. A user guide to basalt discrimination diagrams. *Dans: Wyman, D.A. (éditeur)*. Trace element geochemistry of volcanic rocks : Application for massive sulphide exploration. GAC-MAC, Winnipeg, Short Course Notes. vol. 12, pp. 79-113.
- Pearce, J.A. et Cann, J.R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rock determined using trace element analyses. *Earth and planetary sciences letters*, 19: 290-300.

- Pearce, J.A. et Norry, M.J. 1979. Petrogenetic implication of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. Contribution in Mineralogical Geology, 69: 33-47.
- Pearce, T.H. 1990. Getting the most from your data : applications of Pearce element ratio analysis. *Dans: Russel, J.K. et Stanley, C.R. (éditeur). Theory and application of Pearce element ratios to geochemical data analysis.* GAC-MAC, Vancouver, Short Course Notes. vol. 8, pp. 99-130.
- Pichler, H. 1965. Acid hyaloclastites. Bulletin volcanologique, 28: 293-310.
- Pilote, P., Mueller, W.U., Moorhead, J., Scott, C.R. et Lavoie, S. 1997a. Géologie, volcanologie et lithogéochimie des Formations Val-d'Or et Héva, district de Val-d'Or, Sous-province de l'Abitibi. *Dans: Séminaire d'information sur la recherche géologique, Programme et résumés.* Ministère des Ressources Naturelles du Québec, DV 97-03, pp. 36.
- Pilote, P., Mueller, W.U., Moorhead, J., Scott, C.R. et Lavoie, S. 1997b. Nouvelles connaissances touchant la géologie, la volcanologie et la lithogéochimie des formations de Val-d'Or et d'Héva, district de Val-d'Or, Sous-province de l'Abitibi. *Dans: Séminaire d'information sur la recherche géologique, Programme et résumés.* Ministère des Ressources Naturelles du Québec, DV 97-03, pp. 17.
- Pilote, P., Mueller, W.U., Parent, M., Machado, N., Moorhead, J., Scott, C.R. et Lavoie, S. 1998a. Géologie et volcanologie des Formations Val-d'Or et Héva, Groupe de Malartic, district de Val-d'Or, Sous-province de l'Abitibi, Québec: contraintes géochimiques et géochronologiques. *Dans: Programme et résumés réunion annuelle conjointe.* GAC-MAC, Québec,
- Pilote, P., Mueller, W.U., Scott, C.R., Champagne, C., Lavoie, S. et Moorhead, J. 1998b. Volcanologie de la Formation Val-d'Or et du groupe de Malartic, sous-Province d'l'Abitibi: contraintes géochimiques et géochronologiques. *Dans: "Vers de nouvelles découvertes: Le nord et ses Ressources" Séminaire d'information sur la recherche géologique, Programme et résumés.* Ministère des ressources naturelles du Québec, DV 98-05, pp. 48.
- Pilote, P., Mueller, W.U., Scott, C.R. et Lavoie, S. 1999a. Géologie des formations Val-d'Or, Héva et Jacola - Nouvelle interprétation du bloc de Malartic. *Dans: Séminaire*

- d'Information sur la Recherche Géologique, Programme et résumés. Ministère des Ressources naturelles du Québec, DV 99-03, pp. 19.
- Pilote, P., Scott, C.R., Mueller, W.U., Lavoie, S., Champagne, C. et Moorhead, J. 1999b. Géologie de la formation Val-d'Or et du Groupe de Malartic, sous-province de l'Abitibi: contraintes géochimiques et géochronologiques. *Dans:* Actes du congrès. APGGQ, Rouyn-Noranda, pp. 343-344.
- Poulsen, K.H. et Hannington, M.D. 1996. Volcanic-associated massive sulfide gold. *Dans:* Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D. et Thorpe, R.I. (éditeur). Geology of Canadian mineral deposit types. Geological Survey of Canada, Ottawa, Geology of Canada. vol. 8, pp. 183-196.
- Ramdohr, P. 1980. The ore mineral and their intergrowths. Pergamon Press, Willowdale, Ontario, 1205 pp.
- Rickwood, P.C. 1989. Boundary lines within petrologic diagram which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22: 247-263.
- Rollinson, H. 1993. Using geochemical data : evaluation, presentation, interpretation. Longman, Harlow, 352 pp.
- Sauvé, P. 1995. Les dacites sphérolitiques de Norman. Rapport interne du Ministère des Ressources naturelles du Québec, 24 pp.
- Scott, C.R., Mueller, W.U. et Pilote, P. 1999. Stratigraphie et paléogéographie de la partie sud du bloc de Malartic, région de Val d'Or, sous-province de l'Abitibi. Ministère des Ressources naturelles. *Dans:* Séminaire d'Information sur la Recherche Géologique, Programme et résumés. Ministère des Ressources naturelles du Québec, DV 99-03, pp. 18.
- Scott, C.R., Mueller, W.U. et Pilote, P. 2002. Physical volcanology, stratigraphy, and lithogeochemistry of an Archean volcanic arc: Evolution from plume-related volcanism to arc rifting of SE Abitibi Greenstone Belt, Val d'Or, Canada. *Precambrian Research*, 115: 223-260.

- Scott, S.D. 1983. Chemical behaviour of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments. *Mineralogical magazine*, 47: 427-435.
- Scott, S.D. et Barnes, H.L. 1971. Sphalerite geothermometry and geobarometry. *Economic geology*, 66: 653-669.
- Sharpe, J.I. 1968. Canton de Louvicourt Comté d'Abitibi-Est. Ministère des Richesses naturelles du Québec, RG-135, 59 pp.
- Simard, G. 1991. Rapport sur les travaux d'exploration effectués en 1990 sur la propriété Orcana, Canton Bourlamaque, Région de Val d'Or, N.T.S. 32C/4. Rapport interne d'Exploration Noranda Limitée, 20 pp.
- Taner, M.F. 1996. The East Sullivan stock and its gold-copper potential, Val d'Or, Quebec, Canada. *Exploration and Mining Geology*, 5: 45-60.
- Thompson, A.J.B. et Thompson, J.F.H. 1996. Atlas of alteration: A field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals. Geological Association of Canada, Minerals Deposits Division Serie, Ottawa, 119 pp.
- Tivey, N.K. et Delaney, J.R. 1986. Growth of large sulfide structures on the Endeavor Segment of the Juan de Fuca Ridge. *Earth and planetary sciences letters*, 77: 303-317.
- Tremblay, A. 1994. Compilation des travaux antérieurs et ré-interprétation géo-structurale. Rapport interne de Exploration Sulliden, Rouyn-Noranda, 63 pp.
- Whiteway, P. 1995. Louvicourt in production. Special commemorative supplement to the Canadian Mining Journal, April 1995. p. 45,
- Wilson, M. 1989. Igneous petrogenesis : A global tectonic approach. Chapman & Hall, London, 466 pp.
- Winchester, J.A. et Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical geology*, 20: 325-343.

Wong, L., Davis, D.W., Krogh, T.E. et Robert, F. 1991. U-Pb zircon and rutile chronology of Archean greenstone formation and gold mineralization in the Val d'Or region, Quebec. *Earth and Planetary Science Letters*, 104: 325-336.

Yamagishi, H. et Dimroth, E. 1985. A comparison of Miocene and Archean rhyolite hyaloclastites: evidence for a hot and fluid rhyolite lava. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 23: 337-355.

Yardley, B.W.D., MacKenzie, W.S. et Guilford, C. 1990. *Atlas of metamorphic rocks and their textures*. Longman scientific and technical, Essex, 120 pp.

ANNEXES

Annexe 1 - Résultats des analyses d'éléments majeurs des roches volcaniques

No Terrain	97SL-1020-A	97SL-1020-B	97SL-1023-A	97SL-1029-A	97SL-1030-A	97SL-1036-A	97SL-1054-A	97SL-1055-A1	97SL-1055-A2	97SL-1055-C1	97SL-1055-C2
MRNQ No	1997-14221	1997-14222	1997-14237	1997-14201	1997-14202	1997-14223	1997-14227	1997-14203	1997-14240	1997-14228	1997-14241
Lithologie	V1B MA	V1B	V2J	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V2J	V1B MA	V1B MA	V1B	V2J
UTM83 Nord	5328230	5328210	5328190	5327610	5327625	5327985	5328255	5327480	5327475	5327475	5327475
UTM83 Est	298375	298405	298265	297900	297905	298300	296775	297790	297790	297790	297790
SNRC	32C04	32C04	32C04	32C04							
%											
SiO ₂	63,40	62,50	56,10	69,40	65,60	63,30	54,50	68,20	71,60	62,40	46,20
TiO ₂	1,10	1,40	0,97	0,53	0,57	0,85	1,03	0,55	1,02	0,96	0,76
Al ₂ O ₃	15,50	15,10	16,80	15,10	16,20	15,80	17,00	15,80	12,30	16,10	18,00
FeO	4,59	4,23	5,94	1,98	2,58	3,53	6,28	1,83	2,65	3,69	5,92
Fe ₂ O ₃	1,44	1,94	1,49	1,43	1,61	1,79	1,78	0,69	0,72	1,59	2,24
MnO	0,11	0,09	0,15	0,07	0,08	0,09	0,16	0,04	0,05	0,06	0,19
MgO	2,15	2,24	3,88	0,59	1,21	1,50	5,12	1,18	1,19	2,08	4,25
CaO	4,02	6,31	5,93	4,18	4,97	5,85	7,61	5,91	2,40	4,37	10,60
Na ₂ O	3,18	2,14	6,52	2,64	1,09	2,76	2,47	1,91	5,03	4,52	4,24
K ₂ O	1,34	1,77	0,37	2,41	3,69	2,43	0,56	1,20	1,43	2,39	0,13
P ₂ O ₅	0,30	0,28	0,19	0,31	0,34	0,28	0,19	0,33	0,53	0,58	0,06
PAF	2,00	0,99	0,99	1,09	1,82	1,77	2,66	1,67	0,88	0,83	6,97
Total	99,13	98,99	99,33	99,73	99,76	99,95	99,36	99,31	99,80	99,57	99,56
S	0,04	0,03	0,07	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01
CO ₂	0,23	0,05	0,27	0,05	0,20	0,37	0,04	0,18	0,34	0,04	4,18
Fe ₂ O _{3t}	6,54	6,64	8,09	3,63	4,48	5,71	8,76	2,72	3,67	5,69	8,82
ppm											
Cr	20	20	98	20	20	20	93	20	20	45	121
Cu	88	100	67	2	3	58	33	3	324	34	16
Ga	20	18	18	14	18	17	21	16	10	17	18
Nb	8	7	5	9	9	4	4	10	6	10	3
Rb	38	57	9	69	82	80	12	44	48	89	4
Sr	329	495	164	46	71	242	268	116	140	174	176
Y	45	41	23	41	44	27	25	45	27	44	19
Zn	67	66	74	34	52	89	98	30	31	49	87
Zr	283	270	97	311	336	177	118	330	189	307	61
Zr/Y	6,3	6,6	4,2	7,6	7,6	6,6	4,7	7,3	7,0	7,0	3,2

Annexe 1 - Résultats des analyses d'éléments majeurs des roches volcaniques (suite)

No Terrain	97SL-1059-A	97SL-1060-A	97SL-1061-A1	97SL-1066-A	97SL-1067-A	97SL-1071-A	97SL-1073-A	97SL-1074-A	97SL-1075-A	97SL-1076-A	97SL-1077-A
MRNQ No	1997-14204	1997-14205	1997-14230	1997-14233	1997-14234	1997-14236	1997-14242	1997-14243	1997-14244	1997-14245	1997-14246
Lithologie	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V2J	V2J
UTM83 Nord	5327573	5327575	5327460	5327670	5327705	5327570	5327640	5327610	5327630	5327545	5327530
UTM83 Est	297970	297905	297915	298320	298315	298425	298290	298355	298300	298140	298115
SNRC	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04
%											
SiO ₂	69,20	70,00	64,50	71,60	67,60	67,30	73,30	78,00	65,10	50,60	39,60
TiO ₂	0,51	0,53	0,33	0,60	0,76	1,01	0,84	0,67	0,72	0,37	0,41
Al ₂ O ₃	15,60	16,00	16,20	13,00	14,00	14,50	13,40	10,80	14,70	19,20	16,30
FeO	1,92	1,14	1,98	3,22	5,42	3,47	2,14	2,46	4,80	3,21	5,41
Fe ₂ O ₃	0,37	0,89	1,41	1,22	0,70	1,81	0,89	0,33	1,02	2,11	6,79
MnO	0,04	0,03	0,05	0,10	0,08	0,14	0,06	0,05	0,11	0,28	1,27
MgO	0,45	0,40	3,05	1,17	1,93	1,40	0,73	0,61	3,04	4,96	4,19
CaO	1,80	2,34	4,88	4,08	2,92	5,51	3,21	2,87	4,39	13,50	21,90
Na ₂ O	4,49	4,14	5,07	0,69	2,90	0,74	2,19	1,88	1,31	3,43	0,12
K ₂ O	3,17	3,03	1,31	2,00	2,51	1,65	2,01	1,29	3,07	0,45	0,07
P ₂ O ₅	0,32	0,33	0,12	0,20	0,17	0,32	0,29	0,21	0,21	0,03	0,03
PAF	1,44	0,80	1,07	1,83	0,57	1,88	0,93	0,62	1,12	1,26	3,28
Total	99,31	99,63	99,97	99,71	99,56	99,73	99,99	99,79	99,59	99,40	99,37
S	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,20
CO ₂	0,59	0,08	0,07	0,11	0,06	0,21	0,17	0,17	0,17	0,06	2,45
Fe ₂ O ₃ t	2,50	2,16	3,61	4,80	6,72	5,67	3,27	3,01	6,35	5,79	12,80
ppm											
Cr	20	20	229	20	20	20	20	47	53	261	177
Cu	2	2	46	36	23	30	9	44	88	25	38
Ga	15	15	18	12	13	13	9	14	14	14	13
Nb	10	15	3	3	3	6	5	3	4	3	3
Rb	66	62	31	61	92	53	65	37	93	14	4
Sr	33	40	591	65	128	78	40	38	52	159	115
Y	44	46	7	25	24	32	33	23	23	10	11
Zn	49	25	119	54	83	83	72	85	133	127	144
Zr	320	327	83	123	113	170	167	128	127	30	40
Zr/Y	7,3	7,1	11,9	4,9	4,7	5,3	5,1	5,6	5,5	3,0	3,6

Annexe 1 - Résultats des analyses d'éléments majeurs des roches volcaniques (suite)

No Terrain	97SL-1077-C	97SL-1078-A	97SL-1079-A	97SL-1080-B	97SL-1081-B1	97SL-1081-B3	97SL-1085-A	97SL-AG-15	97SL-AG-17	97SL-AG-18	97SL-AG-20
MRNQ No	1997-14238	1997-14247	1997-14206	1997-14248	1997-14207	1997-14249	1997-14269	1997-14265	1997-14266	1997-14267	1997-14268
Lithologie	V2J	V2J	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1 TD	V1 TL	V1 TD	V1B MA
UTM83 Nord	5327530	5327540	5327525	5327505	5327490	5327490	5328040	5326855	5326870	5326885	5326890
UTM83 Est	298115	298220	298215	298220	298220	298215	298155	296590	296590	296590	296590
SNRC	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04

%											
SiO ₂	35,20	48,50	62,60	55,70	55,90	65,30	57,10	66,60	73,50	63,10	83,00
TiO ₂	0,37	0,43	1,06	0,66	0,87	0,76	1,01	0,25	0,63	0,28	0,26
Al ₂ O ₃	14,60	22,40	16,50	20,20	17,70	15,50	18,60	16,50	12,70	17,60	8,06
FeO	2,09	3,06	3,30	0,00	0,00	0,00	4,50	1,18	2,68	1,79	0,35
Fe ₂ O ₃	6,34	4,44	1,77	0,00	0,00	0,00	1,21	0,10	0,57	0,55	0,10
MnO	0,73	0,16	0,07	0,27	0,10	0,08	0,13	0,04	0,03	0,04	0,04
MgO	2,18	3,13	2,75	3,32	1,91	2,78	2,70	0,60	1,83	1,89	0,09
CaO	30,90	11,50	4,14	4,09	4,53	4,65	8,78	5,24	1,72	4,19	2,59
Na ₂ O	0,10	3,86	1,30	1,47	4,81	0,94	3,81	4,73	1,03	2,40	3,18
K ₂ O	0,01	0,30	3,17	2,16	0,52	1,47	0,75	1,27	2,04	2,93	0,61
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,55	0,09	0,17	0,24	0,19	0,04	0,11	0,07	0,05
PAF	7,31	1,99	2,34	3,62	4,59	3,08	1,04	3,49	2,79	4,97	1,97
Total	99,86	99,80	99,55	91,58	91,10	94,80	99,82	100,04	99,63	99,81	100,30
S	0,08	0,01	0,01	0,55	4,70	0,84	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
CO ₂	6,84	0,07	0,06	0,07	0,30	0,06	0,15	2,56	0,80	2,65	1,75
Fe ₂ O ₃ t	8,66	7,84	5,44	8,27	8,68	5,33	6,21	1,41	3,55	2,54	0,39

ppm											
Cr	117	271	20	278	55	53	92	20	84	20	20
Cu	51	25	43	57	973	253	5	11	12	21	4
Ga	14	16	18	19	21	16	19	17	18	21	7
Nb	3	3	11	3	4	6	5	3	3	3	3
Rb	3	11	87	111	28	62	28	34	57	76	14
Sr	104	131	196	163	255	159	187	323	144	221	71
Y	12	7	40	13	19	30	27	5	8	6	15
Zn	787	110	138	432	399	306	61	80	77	91	7
Zr	38	34	328	68	167	181	138	70	117	78	115
Zr/Y	3,2	4,9	8,2	5,2	8,8	6,0	5,1	14,0	14,6	13,0	7,7

Annexe 1 - Résultats des analyses d'éléments majeurs des roches volcaniques (suite)

No Terrain	97SL-AO-6	97SL-AO-8	97SL-AO-9	97SL-AR-16	97SL-AR-19	97SL-AR-21	97SL-AR-32	97SL-AR-34	97SL-AR-38	97SL-AR-40	97SL-AR-44
MRNQ No	1997-14258	1997-14260	1997-14261	1997-14209	1997-14210	1997-14211	1997-14212	1997-14213	1997-14214	1997-14215	1997-14216
Lithologie	V2J	V2J	V2J	V2J	V1B MA	V1B MA	V2J TL	V2J TL	V1D MA	V1D MA	V1
UTM83 Nord	5328575	5328660	5328720	5327500	5327530	5327560	5327600	5327640	5327670	5327685	5327690
UTM83 Est	298745	298750	298750	297150	297150	297155	297160	297165	297165	297170	297175
SNRC	32C04										

	%										
SiO ₂	46,10	51,20	47,00	46,70	70,30	67,60	40,70	42,90	64,70	64,50	63,50
TiO ₂	1,14	1,01	0,90	0,60	0,53	0,52	0,63	0,71	0,93	0,88	0,58
Al ₂ O ₃	15,60	17,40	16,00	18,30	15,50	15,30	14,70	16,60	16,80	16,00	14,30
FeO	9,76	6,71	0,00	0,00	2,48	2,92	8,67	6,40	3,87	2,80	0,00
Fe ₂ O ₃	4,05	2,02	0,00	0,00	0,74	1,26	0,76	0,10	0,33	0,46	0,00
MnO	0,30	0,17	0,17	0,22	0,04	0,07	0,22	0,16	0,05	0,04	0,06
MgO	5,03	4,78	7,50	1,43	0,69	0,99	4,63	4,53	1,72	1,49	1,26
CaO	13,80	10,70	8,53	13,80	2,43	2,76	14,10	13,30	3,64	3,82	5,58
Na ₂ O	1,08	3,37	1,24	2,81	2,58	3,17	1,61	2,35	2,64	3,08	2,12
K ₂ O	0,66	0,44	1,25	0,69	1,92	1,93	0,26	0,46	1,45	1,84	1,59
P ₂ O ₅	0,09	0,14	0,12	0,10	0,31	0,30	0,12	0,10	0,17	0,22	0,27
PAF	1,44	1,37	3,64	9,32	1,93	2,85	12,70	11,80	2,77	4,12	5,71
Total	99,05	99,31	86,35	93,97	99,45	99,67	99,10	99,41	99,07	99,25	94,97
S	0,01	0,01	0,24	0,53	0,01	0,01	0,01	0,01	0,12	0,01	0,38
CO ₂	0,48	0,43	0,62	8,21	0,48	1,53	10,00	9,11	1,30	2,38	4,17
Fe ₂ O ₃ t	14,90	9,48	13,70	5,53	3,50	4,51	10,40	7,16	4,63	3,57	4,55

	ppm										
Cr	263	159	153	245	20	20	105	213	70	132	23
Cu	15	14	121	60	5	14	73	55	74	87	40
Ga	20	19	19	15	15	16	15	17	19	17	16
Nb	3	3	3	3	8	8	3	3	6	4	7
Rb	16	15	42	19	58	54	9	17	56	72	46
Sr	185	264	205	244	97	85	110	160	185	187	115
Y	20	24	21	17	37	33	20	15	33	23	19
Zn	85	66	68	67	32	43	103	80	89	41	30
Zr	46	54	49	67	318	247	80	76	254	177	151
Zr/Y	2,3	2,3	2,3	3,9	8,6	7,5	4,0	5,1	7,7	7,7	7,9

Annexe 1 - Résultats des analyses d'éléments majeurs des roches volcaniques (suite)

No Terrain	97SL-AR-45	97SL-AR-48	97SL-BG-1	97SL-BG-15	97SL-BG-18	97SL-BG-3	97SL-BO-10	97SL-BO-4	97SL-BR-6	97SL-DO-6	97SL-1094-A
MRNQ No	1997-14217	1997-14219	1997-14262	1997-14264	1997-14252	1997-14263	1997-14257	1997-14255	1997-14253	1997-14254	1998-19323
Lithologie	V2J	V2J	V2J	V1 TD SA	V1B MA	V1B MA	V1 TM	V1 TU BO	V1D SP	V2J	V1B MA
UTM83 Nord	5327700	5327800	5326990	5327135	5327125	5326940	5328225	5328330	5326177	5328150	5327492
UTM83 Est	297175	297180	296590	296710	296710	296590	298395	298390	295625	297645	298220
SNRC	32C04										
%											
SiO ₂	41,80	44,50	46,50	75,10	74,70	71,60	56,40	45,70	62,40	51,00	64,50
TiO ₂	0,93	0,82	1,74	0,34	0,42	0,28	0,71	0,56	1,08	0,85	0,68
Al ₂ O ₃	15,00	12,30	11,20	9,41	11,90	9,04	18,20	12,50	10,70	16,80	10,70
FeO	11,50	9,21	0,00	0,00	1,19	0,00	4,90	8,21	7,03	7,74	
Fe ₂ O ₃	0,76	1,06	0,00	0,00	0,45	0,00	1,81	2,88	0,68	0,20	
MnO	0,14	0,16	0,19	0,07	0,05	0,13	0,13	0,37	0,17	0,19	0,13
MgO	5,11	6,90	4,79	0,32	0,43	1,06	3,23	7,32	1,44	3,13	2,72
CaO	10,40	10,60	10,90	5,17	2,61	5,72	5,98	17,70	6,62	7,38	0,02
Na ₂ O	0,60	0,93	1,06	0,27	4,04	0,28	5,02	0,18	1,01	4,28	0,10
K ₂ O	0,64	0,13	0,03	2,87	2,01	2,09	0,45	0,31	1,03	0,56	1,77
P ₂ O ₅	0,09	0,29	0,09	0,07	0,09	0,07	0,26	0,11	0,28	0,12	0,05
PAF	12,00	11,80	8,45	4,34	2,14	5,21	2,21	3,25	6,75	7,16	5,49
Total	98,97	98,70	84,95	97,96	100,03	95,48	99,30	99,09	99,19	99,41	86,16
S	0,01	0,01	0,48	0,49	0,15	0,30	0,06	0,01	0,07	0,01	4,70
CO ₂	8,18	8,14	6,34	4,04	1,73	4,14	0,15	2,04	5,20	5,04	0,14
Fe ₂ O _{3t}	13,50	11,30	14,90	2,03	1,77	4,18	7,26	12,00	8,49	8,80	13,20
ppm											
Cr	245	434	20	20	20	23	20	63	20	189	20
Cu	114	11	56	41	51	283	15	15	15	77	950
Ga	16	15	19	9	13	10	20	13	21	18	29
Nb	3	6	3	3	3	3	8	3	8	3	5
Rb	22	6	3	45	38	41	10	8	28	19	63
Sr	103	46	145	38	47	42	256	161	108	146	3
Y	16	18	25	18	16	18	19	20	103	18	11
Zn	110	154	91	17	16	76	57	148	86	99	450
Zr	37	92	72	110	119	112	156	70	266	43	113
Zr/Y	2,3	5,1	2,9	6,1	7,4	6,2	8,2	3,5	2,6	2,4	10,3

Annexe 1 - Résultats des analyses d'éléments majeurs des roches volcaniques (suite)

No Terrain	97SL-1097-A	97SL-1100-A	98SL-1102-A	98SL-1102-B	99SL-3201-A	99SL-3205-B	99SL-3217-A	99SL-3221-A	99SL-3223-A	99SL-3223-A	99SL-3232-A
MRNQ No	1998-19324	1998-19701	1998-19321	1998-19322	1999-27601	1999-27602	1999-27603	1999-27604	1999-27655	1999-27671	1999-27605
Lithologie	V1B MA	V1B MA	V1B BR	V1 TD	V2J TZ	V2J TL	V2J MA	V2J BR	V1D TL	V2J	V1D TZ
UTM83 Nord	5327443	5327497	5327442	5327443	5328100	5328070	5329800	5329610	5328795	5329340	5328810
UTM83 Est	298220	298220	297798	297800	296545	296505	296635	296510	294350	294900	295620
SNRC	32C04										
%											
SiO ₂	51,50	63,60	67,50	58,80	39,70	39,20	57,60	56,30	56,10	52,20	44,50
TiO ₂	0,61	0,84	0,67	0,69	0,84	0,85	0,59	0,60	0,75	0,97	0,89
Al ₂ O ₃	16,50	15,70	14,50	15,80	14,50	14,30	16,00	16,90	16,50	15,30	15,00
FeO		3,53	3,64	5,05							
Fe ₂ O ₃		2,30	1,14	1,81							
MnO	0,22	0,10	0,06	0,10	0,26	0,29	0,10	0,11	0,13	0,15	0,39
MgO	6,85	2,00	1,95	4,59	3,01	2,82	3,15	2,68	3,25	5,33	5,16
CaO	6,32	4,24	3,92	5,70	13,70	13,50	5,70	5,88	9,36	7,60	8,24
Na ₂ O	0,85	1,77	2,00	1,74	0,98	2,17	3,41	3,71	2,36	2,63	2,64
K ₂ O	0,78	2,68	2,60	2,33	0,52	0,90	0,27	0,57	0,35	0,16	0,21
P ₂ O ₅	0,12	0,25	0,20	0,15	0,16	0,15	0,12	0,13	0,12	0,21	0,11
PAF	4,29	1,86	1,02	1,94	6,60	11,10	6,77	7,30	3,56	6,14	10,00
Total	88,04	98,87	99,20	98,70	94,80	98,32	99,94	99,73	99,81	99,77	100,16
S	0,44	0,20	0,01	0,01					0,01		
CO ₂	0,04	0,20	0,10	0,12							
Fe ₂ O _{3t}	11,80	6,22	5,19	7,42	14,50	13,00	6,22	5,54	7,31	9,05	13,00
ppm											
Cr	300	20	20	270	190	210	58	64	79	160	98
Cu	210	130	20	1	130	110	28	1	41	64	38
Ga	19	20	19	19	17	15	17	16	16	15	14
Nb	2	8	6	4	5	5	5	6	5	6	4
Rb	28	84	100	97	16	29	6	13	11	7	8
Sr	215	155	141	243	237	112	168	176	252	238	69
Y	21	45	39	25	19	19	17	21	21	25	22
Zn	330	140	64	64	130	84	92	29	48	73	83
Zr	88	246	230	144	67	59	101	116	98	123	65
Zr/Y	4,2	5,5	5,9	5,8	3,5	3,1	5,9	5,5	4,7	4,9	3,0

Annexe 1 - Résultats des analyses d'éléments majeurs des roches volcaniques (suite)

No Terrain	99SL-3247-A	99SL-3256-A	99SL-3286-A	99SL-3410-A	99SL-3418-A	99SL-3436-A
MRNQ No	1999-27606	1999-27607	1999-27608	1999-27609	1999-27656	1999-27657
Lithologie	V2J MA	V2J MA	V2J MA	V2J TM	V1D TZ	V1D TZ
UTM83 Nord	5329875	5329855	5328870	5328615	5328535	5329785
UTM83 Est	297040	297760	295900	297870	293280	293245
SNRC	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04

	%					
SiO ₂	70,50	60,60	47,20	57,20	51,90	60,90
TiO ₂	0,51	0,46	1,10	0,84	0,47	0,52
Al ₂ O ₃	13,80	15,40	14,70	16,50	17,20	15,80
FeO						
Fe ₂ O ₃						
MnO	0,42	0,37	0,20	0,10	0,17	0,11
MgO	2,11	3,20	2,63	2,64	7,17	3,59
CaO	0,04	0,95	12,00	7,63	8,16	5,53
Na ₂ O	0,29	0,26	1,28	3,25	2,64	5,23
K ₂ O	0,59	2,22	0,86	1,36	0,19	0,24
P ₂ O ₅	0,10	0,11	0,15	0,11	0,07	0,09
PAF	2,48	4,72	12,00	6,15	4,06	1,62
Total	98,84	99,80	100,11	100,23	99,88	99,51
S					0,01	0,03
CO ₂						
Fe ₂ O ₃ t	7,89	11,50	7,96	4,43	7,82	5,86

	ppm					
Cr	810	35	150	120	210	86
Cu	25	270	50	79	62	75
Ga	15	17	18	16	14	15
Nb	4	5	4	4	3	4
Rb	12	43	28	35	7	7
Sr	10	31	98	146	243	194
Y	10	11	23	18	12	15
Zn	490	440	220	47	62	49
Zr	92	100	83	84	55	94
Zr/Y	9,2	9,1	3,6	4,7	4,6	6,3

Annexe 2 - Résultats des analyses des ETR-UQAC des roches volcaniques

No Terrain	97SL-1029-A	97SL-1030-A	97SL-1055-A1	97SL-1055-A2	97SL-1055-C1	97SL-1055-C2	97SL-1059-A	97SL-1060-A	97SL-1067-A
MRNQ No	1997-14201	1997-14202	1997-14203	1997-14240	1997-14228	1997-14241	1997-14204	1997-14205	1997-14234
UQAC No	BN-1	BN-2	BN-3	BN-12	BN-8	BN-13	BN-4	BN-5	BN-9
Lithologie	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V2J CO	V1B MA	V1B MA	V1B MA
UTM83 Nord	5327610	5327625	5327480	5327480	5327475	5327475	5327573	5327575	5327705
UTM83 Est	297900	297905	297790	297790	297790	297790	297970	297905	298315
SNRC	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04

	ppm								
La	36	38	41	21	34	4	35	38	12
Ce	94	98	102	56	90	7	90	92	26
Nd	55	56	59	37	59	7	52	54	17
Sm	12	13	13	9	13	2	11	12	4
Eu	2	2	2	2	2	1	2	2	1
Tb	2	2	2	1	2	0	1	1	1
Ho	1	2	2	1	1	1	1	1	1
Yb	4	4	4	3	4	2	4	4	3
Lu	1	1	1	0	1	0	1	1	1

	ppm normalisé selon Boynton (1984)								
La	116	123	131	69	110	13	111	121	40
Ce	116	121	126	70	112	9	111	114	32
Nd	92	93	98	61	98	11	86	90	28
Sm	62	65	65	45	67	10	59	61	21
Eu	28	26	29	22	25	13	25	23	17
Tb	32	33	33	22	32	10	29	30	13
Ho	2	2	2	1	2	1	2	2	1
Yb	20	20	21	13	19	10	20	19	14
Lu	20	20	21	12	19	10	19	20	16

Annexe 2 - Résultats des analyses des ETR-UQAC des roches volcaniques (suite)

No Terrain	97SL-1075-A	97SL-1076-A	97SL-1077-A	97SL-1077-C	97SL-1078-A	97SL-1079-A	97SL-1081-B1	97SL-1085-A
MRNQ No	1997-14244	1997-14245	1997-14246	1997-14238	1997-14247	1997-14206	1997-14207	1997-14269
UQAC No	BN-14	BN-15	BN-16	BN-11	BN-17	BN-6	BN-7	BN-18
Lithologie	V1B MA	V2J MA	V2J MA	V2J MA	V2J MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA
UTM83 Nord	5327630	5327545	5327530	5327530	5327540	5327525	5327490	5328040
UTM83 Est	298300	298140	298115	298115	298220	298215	298220	298155
SNRC	32C04	32C04						

	ppm							
La	18	3	2	2	3	34	17	12
Ce	42	4	5	5	3	87	35	27
Nd	25	4	8	6	3	52	22	19
Sm	5	1	2	2	1	11	5	4
Eu	1	0	1	1	0	2	1	1
Tb	1	0	0	0	0	1	1	1
Ho	1	0	0	0	0	1	1	1
Yb	2	1	1	1	1	4	3	3
Lu	0	0	0	0	0	1	0	0

	ppm normalisé selon Boynton (1984)							
La	58	9	8	8	8	111	54	38
Ce	51	5	6	6	4	108	43	34
Nd	42	6	14	10	5	87	36	31
Sm	28	5	9	8	5	58	25	23
Eu	16	6	14	9	6	25	13	16
Tb	15	4	5	5	4	29	14	14
Ho	1	0	0	1	0	2	1	1
Yb	10	4	5	5	4	18	12	13
Lu	11	5	5	5	4	18	13	13

Annexe 3 - Résultats des analyses des ETR-CRM des roches volcaniques

No Terrain	97SL-1029-A	97SL-1030-A	97SL-1055-A1	97SL-1059-A	97SL-1060-A	97SL-1079-A	97SL-1081-B1	97SL-1094-A
MRNQ No	1997-14201	1997-14202	1997-14203	1997-14204	1997-14205	1997-14206	1997-14207	1998-19323
Lithologie	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA	V1B MA
UTM83 Nord	5327610	5327625	5327480	5327573	5327575	5327525	5327490	5327492
UTM83 Est	297900	297905	297790	297970	297905	298215	298220	298220
SNRC	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04	32C04
ppm								
La	35	39	41	36	39	37	19	7
Ce	84	91	93	84	86	86	35	15
Nd	51	57	57	54	58	57	21	13
Sm	12	13	14	12	13	13	5	3
Eu	2	2	2	2	2	2	1	0
Tb	1	1	1	1	1	1	1	0
Ho	4	2	3	1	4	1	2	1
Tm	0	1	1	1	1	1	1	0
Yb	3	4	4	4	4	3	2	1
Lu	1	1	1	1	1	1	0	0
ppm normalisé selon Boynton (1984)								
La	113	126	132	116	126	119	61	23
Ce	104	113	115	104	106	106	43	19
Nd	85	95	95	90	97	95	35	22
Sm	62	67	72	62	67	67	26	14
Eu	23	26	29	22	23	26	15	4
Tb	25	27	30	27	27	27	13	4
Ho	5	3	4	1	5	2	2	2
Tm	12	19	19	15	19	15	15	6
Yb	16	17	18	18	18	15	11	5
Lu	20	22	21	20	20	19	13	6

Annexe 3 - Résultats des analyses des ETR-CRM des roches volcaniques (suite)

No Terrain	97SL-1097-A	97SL-1100-A	98SL-1102-A	98SL-1102-B	99SL-3223-A	99SL-3418-A	99SL-3436-A
MRNQ No	1998-19324	1998-19701	1998-19321	1998-19322	1999-27655	1999-27656	1999-27657
Lithologie	V1B MA	V1B MA	V1B BR	V1 TD	V1D TL	V1D TM	V1D TM
UTM83 Nord	5327443	5327497	5327442	5327443	5328795	5328535	5329785
UTM83 Est	298220	298220	297798	297800	294350	293280	293245
SNRC	32C04						

	ppm						
La	13	26	21	15	7	5	8
Ce	25	59	51	32	17	12	17
Nd	18	44	35	22	13	7	7
Sm	4	10	9	6	3	2	3
Eu	1	2	2	1	1	1	1
Tb	0	1	1	0	1	0	0
Ho	1	2	2	1	1	1	1
Tm	0	0	0	0	1	1	0
Yb	3	5	5	3	2	2	2
Lu	0	1	1	0	0	0	0

	ppm normalisé selon Boynton (1984)						
La	42	84	68	48	22	16	25
Ce	31	73	63	40	21	15	21
Nd	30	73	58	37	22	12	12
Sm	21	49	44	28	17	11	13
Eu	14	24	26	14	16	10	11
Tb	6	15	15	8	11	4	6
Ho	1	3	3	2	1	1	1
Tm	6	6	6	6	15	15	6
Yb	12	24	22	15	11	7	8
Lu	9	22	22	12	13	9	9

Annexe 4 - Résultats des analyses des chlorites à la microsonde électronique

	E,8,ch1	E,8,ch2	F,1,ch1	F,1,ch2	F,2,ch1	F,2,ch2	F,6,ch1	F,6,ch2	F,6,ch3
% poids									
SiO ₂	25,40	26,30	24,32	24,44	23,78	23,94	24,91	24,09	24,28
Al ₂ O ₃	22,60	22,63	22,16	22,31	21,74	22,13	22,48	22,70	22,02
FeO	23,96	22,51	28,75	28,92	31,03	31,09	29,54	29,07	29,95
MgO	15,95	17,25	11,97	11,91	9,95	10,29	11,49	11,90	11,06
CaO	0,000	0,003	0,013	0,019	0,042	0,028	0,013	0,009	0,011
Na ₂ O	0,000	0,000	0,015	0,008	0,000	0,000	0,014	0,009	0,005
K ₂ O	0,027	0,015	0,000	0,016	0,004	0,010	0,004	0,011	0,009
TiO ₂	0,049	0,029	0,009	0,047	0,010	0,033	0,036	0,034	0,021
MnO	0,230	0,252	0,591	0,604	0,672	0,620	0,614	0,590	0,597
Cr ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,022	0,009
Total	88,21	88,99	87,83	88,29	87,23	88,14	89,10	88,43	87,96
Nombres d'ions recalculés sur une base de 28 Oxygènes									
Si	5,23	5,32	5,19	5,19	5,18	5,16	5,24	5,11	5,20
Al	5,56	5,46	5,64	5,65	5,66	5,69	5,65	5,75	5,63
Fe	4,18	3,85	5,19	5,20	5,73	5,67	5,26	5,22	5,44
Mg	4,96	5,26	3,85	3,82	3,28	3,35	3,65	3,81	3,58
Ca	0,000	0,001	0,003	0,004	0,010	0,007	0,003	0,002	0,003
Na	0,000	0,000	0,004	0,002	0,000	0,000	0,004	0,003	0,001
K	0,004	0,002	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
Ti	0,008	0,004	0,001	0,008	0,002	0,005	0,006	0,005	0,003
Mn	0,041	0,044	0,108	0,110	0,126	0,115	0,111	0,107	0,110
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,006	0,002
Total Cation	19,98	19,95	19,99	19,98	19,99	19,99	19,93	20,01	19,98
Fe/(Fe+Mg)	0,46	0,42	0,57	0,58	0,64	0,63	0,59	0,58	0,60

Annexe 4 - Résultats des analyses des chlorites à la microsonde électronique (suite)

	F,7,ch1	F,7,ch2	1029-A,1,ch1	1029-A,3,ch2	1029-A,3,ch3	1029-A,3,ch4	1029-A,3,ch7	1081-B1,4,ch1	1080-B,2,ch1
% poids									
SiO ₂	23,95	24,11	25,04	27,56	27,56	27,32	27,39	26,36	25,50
Al ₂ O ₃	22,60	22,56	21,47	18,00	17,80	17,99	17,87	22,44	22,63
FeO	28,21	29,11	29,33	30,25	30,87	30,76	29,87	19,41	23,77
MgO	11,74	11,64	11,09	12,26	11,92	11,58	12,07	18,45	15,08
CaO	0,000	0,006	0,061	0,045	0,021	0,037	0,058	0,036	0,023
Na ₂ O	0,000	0,013	0,000	0,005	0,000	0,005	0,000	0,011	0,012
K ₂ O	0,012	0,022	0,058	0,055	0,043	0,152	0,035	0,021	0,015
TiO ₂	0,073	0,054	0,038	0,036	0,036	0,072	0,032	0,031	0,060
MnO	0,584	0,641	0,717	0,642	0,639	0,614	0,631	0,615	0,813
Cr ₂ O ₃	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,141
Total	87,17	88,17	87,80	88,85	88,88	88,52	87,96	87,40	88,04
Nombres d'ions recalculés sur une base de 28 Oxygènes									
Si	5,13	5,13	5,36	5,84	5,86	5,83	5,86	5,35	5,27
Al	5,78	5,73	5,48	4,55	4,51	4,58	4,56	5,44	5,58
Fe	5,12	5,25	5,31	5,43	5,56	5,56	5,41	3,34	4,16
Mg	3,80	3,74	3,58	3,92	3,82	3,73	3,90	5,66	4,70
Ca	0,000	0,001	0,014	0,010	0,005	0,009	0,013	0,008	0,005
Na	0,000	0,004	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	0,003
K	0,002	0,003	0,008	0,008	0,006	0,021	0,005	0,003	0,002
Ti	0,012	0,009	0,006	0,006	0,006	0,012	0,005	0,005	0,009
Mn	0,107	0,117	0,132	0,117	0,116	0,112	0,116	0,107	0,144
Cr	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,035
Total Cation	19,96	19,99	19,90	19,88	19,88	19,86	19,86	19,92	19,91
Fe/(Fe+Mg)	0,57	0,58	0,60	0,58	0,59	0,60	0,58	0,37	0,47

Annexe 4 - Résultats des analyses des chlorites à la microsonde électronique (suite)

	1080-B,2,ch2	1080-B,2,ch3	1080-B,2,ch4	1080-B,2,ch5	1080-B,2,ch6	1080-B,3,ch1	1080-B,3,ch2	1080-B,3,ch3	1080-B,3,ch4
% poids									
SiO ₂	25,99	25,10	25,59	26,01	25,40	26,02	25,76	25,07	25,65
Al ₂ O ₃	21,86	22,79	22,07	21,67	22,60	21,54	21,71	22,60	22,44
FeO	23,07	23,99	23,54	23,73	23,95	23,37	23,20	23,70	23,43
MgO	16,10	14,21	15,06	15,75	15,02	15,91	15,63	15,05	15,64
CaO	0,030	0,013	0,009	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,001
Na ₂ O	0,015	0,022	0,000	0,003	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000
K ₂ O	0,007	0,013	0,064	0,012	0,014	0,026	0,017	0,009	0,040
TiO ₂	0,043	0,041	0,028	0,043	0,156	0,055	0,059	0,035	0,053
MnO	0,762	0,924	0,774	0,576	0,621	0,571	0,666	0,540	0,541
Cr ₂ O ₃	0,090	0,121	0,095	0,044	0,175	0,144	0,174	0,242	0,191
Total	87,96	87,22	87,22	87,83	87,93	87,65	87,21	87,25	87,98
Nombres d'ions recalculés sur une base de 28 Oxygènes									
Si	5,35	5,25	5,34	5,38	5,26	5,38	5,36	5,22	5,29
Al	5,38	5,69	5,49	5,35	5,58	5,32	5,39	5,62	5,52
Fe	4,03	4,25	4,16	4,16	4,20	4,10	4,09	4,18	4,09
Mg	5,01	4,49	4,74	4,92	4,69	4,97	4,91	4,74	4,87
Ca	0,007	0,003	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Na	0,004	0,006	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
K	0,001	0,002	0,009	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001	0,005
Ti	0,007	0,007	0,004	0,007	0,025	0,009	0,009	0,006	0,008
Mn	0,135	0,166	0,138	0,102	0,110	0,101	0,119	0,097	0,096
Cr	0,023	0,031	0,024	0,011	0,044	0,036	0,044	0,061	0,048
Total Cation	19,94	19,89	19,90	19,93	19,91	19,93	19,92	19,93	19,92
Fe/(Fe+Mg)	0,45	0,49	0,47	0,46	0,47	0,45	0,45	0,47	0,46

Annexe 4 - Résultats des analyses des chlorites à la microsonde électronique (suite)

1080-B,3,ch5 1080-B,3,ch6 1080-B,3,ch7 1080-B,3,ch8

% poids

SiO ₂	26,03	25,53	26,27	25,62
Al ₂ O ₃	21,24	22,01	21,22	22,26
FeO	23,28	23,37	23,02	23,44
MgO	15,95	14,77	16,20	15,58
CaO	0,010	0,003	0,017	0,018
Na ₂ O	0,000	0,005	0,002	0,011
K ₂ O	0,018	0,045	0,017	0,023
TiO ₂	0,098	0,055	0,049	0,053
MnO	0,611	0,691	0,653	0,621
Cr ₂ O ₃	0,149	0,203	0,143	0,185
Total	87,38	86,68	87,60	87,82

Nombres d'ions recalculés sur une base de 28 Oxygènes

Si	5,41	5,35	5,43	5,29
Al	5,26	5,50	5,24	5,49
Fe	4,09	4,15	4,03	4,10
Mg	5,00	4,67	5,06	4,86
Ca	0,002	0,001	0,004	0,004
Na	0,000	0,001	0,001	0,003
K	0,002	0,006	0,002	0,003
Ti	0,016	0,009	0,008	0,008
Mn	0,109	0,124	0,116	0,110
Cr	0,038	0,052	0,036	0,047
Total Cation	19,93	19,87	19,92	19,93
Fe/(Fe+Mg)	0,45	0,47	0,44	0,46

Annexe 5 - Résultats des analyses des épidotes à la microsonde électronique

	1029-A,1,ep1	1029-A,1,ep2	1029-A,2,ep1	1029-A,2,ep2	1029-A,2,ep3	1029-A,2,ep4	1029-A,2,ep5	1029-A,3,ep1	1029-A,3,ep2
% poids									
SiO ₂	38,74	40,16	39,19	38,93	38,69	38,79	39,59	38,73	39,34
Al ₂ O ₃	28,54	28,90	28,88	27,97	27,04	28,31	28,26	27,95	28,08
FeO	5,41	4,87	5,06	5,88	7,12	5,47	5,75	6,25	5,88
MgO	0,022	0,191	0,026	0,027	0,013	0,1	0,006	0,036	0,009
CaO	24,06	22,55	23,41	23,68	23,90	23,71	23,70	23,77	23,82
Na ₂ O	0,008	0,657	0,226	0,069	0,018	0,006	0,01	0	0,125
K ₂ O	0,017	0,261	0,021	0,034	0,028	0,012	0,135	0,01	0,023
TiO ₂	0,048	0,022	0,041	0,026	0,075	0,092	0,044	0,019	0,03
MnO	0,15	0,154	0,165	0,125	0,081	0,092	0,092	0,102	0,101
Cr ₂ O ₃	0	0	0,011	0	0	0	0	0,004	0,007
Total	97,00	97,76	97,03	96,74	96,97	96,59	97,59	96,87	97,41
Anions sur une base de 12,5 Oxygènes									
Si	3,04	3,09	3,05	3,06	3,06	3,05	3,08	3,05	3,07
Al	2,67	2,66	2,69	2,63	2,55	2,66	2,62	2,63	2,62
Fe	0,36	0,32	0,33	0,39	0,48	0,36	0,38	0,42	0,39
Mg	0,003	0,022	0,003	0,003	0,002	0,012	0,001	0,004	0,001
Ca	2,05	1,89	1,98	2,02	2,05	2,02	2,00	2,03	2,02
Na	0,001	0,070	0,024	0,008	0,002	0,001	0,001	0,000	0,013
K	0,001	0,013	0,001	0,002	0,001	0,001	0,007	0,001	0,001
Ti	0,003	0,001	0,002	0,002	0,005	0,006	0,003	0,001	0,002
Mn	0,010	0,010	0,011	0,008	0,005	0,006	0,006	0,007	0,007
Cr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Total Cation	8,13	8,07	8,10	8,12	8,16	8,12	8,10	8,14	8,12
Fe/(Fe+Al)	0,12	0,11	0,11	0,13	0,16	0,12	0,13	0,14	0,13
Fe/(Fe+Mg)	0,99	0,93	0,99	0,99	1,00	0,97	1,00	0,99	1,00

Annexe 5 - Résultats des analyses des épidotes à la microsonde électronique (suite)

	1029-A,3,ep3	1031-B,1,ep1	1031-B,3,ep1	1031-B,3,ep2	1031-B,3,ep3	1031-B,5,ep1	1031-B,5,ep3	1077-C,1,ep1	1077-C,1,ep2
% poids									
SiO ₂	41,47	38,72	38,85	38,83	38,69	38,19	39,23	38,35	37,67
Al ₂ O ₃	26,24	25,73	26,77	28,30	27,09	25,80	28,69	24,00	21,38
FeO	6,06	9,48	7,59	6,98	7,30	8,81	5,74	10,82	13,94
MgO	0,007	0,382	0,002	0,1	0,016	0,005	0,144	0,031	0,02
CaO	21,12	23,04	23,82	23,33	23,62	23,82	23,56	23,52	22,98
Na ₂ O	1,222	0	0,093	0,159	0,023	0	0,001	0	0,008
K ₂ O	0,024	0,478	0,017	0,01	0,035	0,013	0,205	0,021	0,005
TiO ₂	0,122	0,162	0,065	0,022	0,014	0,071	0,049	0,037	0,051
MnO	0,087	0,142	0,142	0,122	0,307	0,185	0,154	0,141	0,155
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0,002	0,006	0	0,004	0,045	0,006
Total	96,36	98,13	97,34	97,85	97,11	96,90	97,78	96,96	96,22
Anions sur une base de 12,5 Oxygènes									
Si	3,24	3,07	3,07	3,03	3,06	3,06	3,05	3,10	3,13
Al	2,45	2,43	2,52	2,64	2,56	2,47	2,66	2,32	2,12
Fe	0,40	0,64	0,51	0,46	0,49	0,60	0,38	0,74	0,98
Mg	0,001	0,046	0,000	0,012	0,002	0,001	0,017	0,004	0,003
Ca	1,79	1,98	2,04	1,98	2,03	2,07	1,99	2,06	2,07
Na	0,132	0,000	0,010	0,017	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001
K	0,001	0,024	0,001	0,001	0,002	0,001	0,010	0,001	0,000
Ti	0,007	0,010	0,004	0,001	0,001	0,004	0,003	0,002	0,003
Mn	0,006	0,010	0,010	0,008	0,021	0,013	0,010	0,010	0,011
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,004	0,001
Total Cation	8,03	8,21	8,17	8,15	8,16	8,21	8,12	8,24	8,31
Fe/(Fe+Al)	0,14	0,21	0,17	0,15	0,16	0,20	0,12	0,24	0,32
Fe/(Fe+Mg)	1,00	0,93	1,00	0,98	1,00	1,00	0,96	0,99	1,00

Annexe 5 - Résultats des analyses des épidotes à la microsonde électronique (suite)

1077-C,1,ep3 1077-C,1,ep4 1077-C,2,ep1 1077-C,2,ep2 1077-C,2,ep3 1077-C,2,ep4 1077-C,2,ep5 1077-C,3,ep1 1077-C,3,ep2

	% poids								
SiO ₂	38,47	38,31	37,96	39,73	38,15	38,57	38,15	38,43	38,21
Al ₂ O ₃	25,46	26,16	22,53	19,97	22,62	23,14	22,46	24,42	23,72
FeO	8,70	8,10	12,20	11,91	12,12	11,90	12,40	10,06	11,21
MgO	0,03	0,059	0,022	1,551	0,013	0,007	0,01	0,061	0,023
CaO	23,68	23,35	23,04	22,44	22,64	23,15	23,49	23,70	23,41
Na ₂ O	0,006	0,004	0,008	0,013	0	0,017	0,006	0	0
K ₂ O	0,009	0,008	0,012	0,021	0,013	0,012	0,011	0,02	0,013
TiO ₂	0,356	0,09	0,333	0,108	0,133	0,031	0,044	0,229	0,034
MnO	0,255	0,593	0,497	0,548	0,741	0,381	0,111	0,097	0,197
Cr ₂ O ₃	0,015	0	0,044	0,055	0,113	0,009	0,025	0,016	0,008
Total	96,97	96,66	96,64	96,34	96,54	97,21	96,71	97,03	96,83
Anions sur une base de 12,5 Oxygènes									
Si	3,07	3,06	3,11	3,25	3,12	3,13	3,12	3,09	3,10
Al	2,43	2,50	2,20	1,95	2,21	2,24	2,19	2,34	2,30
Fe	0,59	0,55	0,85	0,83	0,84	0,82	0,86	0,69	0,77
Mg	0,004	0,007	0,003	0,192	0,002	0,001	0,001	0,007	0,003
Ca	2,05	2,03	2,05	1,99	2,01	2,04	2,09	2,07	2,06
Na	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ti	0,022	0,005	0,021	0,007	0,008	0,002	0,003	0,014	0,002
Mn	0,017	0,041	0,035	0,038	0,052	0,026	0,008	0,007	0,014
Cr	0,001	0,000	0,004	0,005	0,011	0,001	0,002	0,002	0,001
Total Cation	8,19	8,18	8,27	8,26	8,26	8,25	8,28	8,22	8,25
Fe/(Fe+Al)	0,20	0,18	0,28	0,30	0,28	0,27	0,28	0,23	0,25
Fe/(Fe+Mg)	0,99	0,99	1,00	0,81	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00

Annexe 5 - Résultats des analyses des épidotes à la microsonde électronique (suite)

1077-C,3,ep4 1077-C,3,ep5 1077-C,3,ep6 1077-C,3,ep7 1077-C,4,ep2 1077-C,4,ep3 1077-C,4,ep4 1077-C,4,ep5 1077-C,5,ep1

	% poids								
SiO ₂	37,71	37,76	38,23	38,46	38,28	38,17	37,66	38,46	38,16
Al ₂ O ₃	21,81	23,29	22,99	23,54	23,12	22,64	20,95	23,59	24,19
FeO	13,38	11,57	11,93	10,82	11,83	12,30	14,21	11,25	10,63
MgO	0,014	0,021	0,026	0,029	0,018	0,015	0,043	0,007	0,024
CaO	23,32	23,45	23,20	23,75	23,15	23,54	23,02	23,53	23,27
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0,002	0	0
K ₂ O	0,002	0,018	0,024	0,007	0,008	0,023	0,016	0,008	0,015
TiO ₂	0,074	0,057	0,251	0,303	0,13	0,055	0,252	0,019	0,049
MnO	0,127	0,099	0,38	0,071	0,284	0,111	0,278	0,208	0,226
Cr ₂ O ₃	0,032	0,011	0,009	0,029	0,019	0,009	0,022	0,013	0
Total	96,46	96,27	97,03	97,01	96,83	96,86	96,45	97,09	96,57

Anions sur une base de 12,5 Oxygènes

Si	3,11	3,09	3,11	3,11	3,12	3,12	3,13	3,11	3,09
Al	2,15	2,28	2,23	2,27	2,25	2,21	2,08	2,28	2,34
Fe	0,94	0,80	0,82	0,74	0,82	0,85	1,00	0,77	0,73
Mg	0,002	0,003	0,003	0,004	0,002	0,002	0,005	0,001	0,003
Ca	2,09	2,08	2,05	2,08	2,04	2,09	2,07	2,07	2,05
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Ti	0,005	0,004	0,016	0,019	0,008	0,003	0,016	0,001	0,003
Mn	0,009	0,007	0,027	0,005	0,020	0,008	0,020	0,014	0,016
Cr	0,003	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,000
Total Cation	8,31	8,27	8,26	8,24	8,25	8,28	8,32	8,25	8,23
Fe/(Fe+Al)	0,30	0,26	0,27	0,25	0,27	0,28	0,32	0,25	0,24
Fe/(Fe+Mg)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00

Annexe 5 - Résultats des analyses des épidotes à la microsonde électronique (suite)

	1077-C,5,ep2	1077-C,5,ep3	1077-C,5,ep4	1077-C,6,ep1	1077-C,6,ep2	1077-C,6,ep3	1077-C,6,ep4	1077-C,6,ep5	1081-B1,1,ep4
% poids									
SiO ₂									
Al ₂ O ₃									
FeO									
MgO									
CaO									
Na ₂ O									
K ₂ O									
TiO ₂									
MnO									
Cr ₂ O ₃									
Total									
Si	37,96	38,04	37,98	38,24	36,29	38,32	34,76	38,16	39,24
Al	23,45	23,91	23,20	23,21	22,29	22,96	20,59	21,90	29,71
Fe	11,28	10,86	11,30	11,41	10,51	11,94	11,21	12,88	4,12
Mg	0,02	0,016	0,024	0,002	0,243	0,048	0,008	0,009	0
Ca	23,20	23,27	23,54	23,47	24,51	23,20	25,56	23,28	23,89
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02
K	0,004	0,017	0,009	0,008	0,007	0,008	0,013	0,014	0,003
Ti	0,041	0,058	0,185	0,222	0,079	0,056	0,069	0,259	0
Mn	0,254	0,245	0,094	0,209	0,137	0,258	0,226	0,202	0,253
Cr	0,003	0,018	0	0,045	0,011	0,026	0,049	0,006	0
Total	96,20	96,44	96,33	96,81	94,09	96,82	92,49	96,71	97,24
Anions sur une base de 12,5 Oxygènes									
Si	3,10	3,09	3,10	3,11	3,05	3,12	3,02	3,13	3,04
Al	2,29	2,32	2,26	2,25	2,24	2,23	2,13	2,15	2,75
Fe	0,78	0,75	0,78	0,79	0,75	0,82	0,82	0,90	0,27
Mg	0,002	0,002	0,003	0,000	0,031	0,006	0,001	0,001	0,000
Ca	2,06	2,05	2,09	2,07	2,24	2,05	2,41	2,07	2,01
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
K	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Ti	0,003	0,004	0,012	0,014	0,005	0,003	0,005	0,016	0,000
Mn	0,018	0,017	0,007	0,015	0,010	0,018	0,017	0,014	0,017
Cr	0,000	0,002	0,000	0,004	0,001	0,003	0,005	0,001	0,000
Total Cation	8,25	8,24	8,25	8,25	8,32	8,26	8,41	8,28	8,09
Fe/(Fe+Al)	0,25	0,24	0,26	0,26	0,25	0,27	0,28	0,29	0,09
Fe/(Fe+Mg)	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00

Annexe 5 - Résultats des analyses des epidotes à la microsonde électronique (suite)

1081-B1,3,ep1 1081-B1,3,ep3 1081-B1,4,ep1 1081-B1,4,ep3 1081-B1,5,ep1 1081-B1,5,ep2 1081-B1,5,ep3 1081-B1,5,ep4 1081-B1,6,ep1									
% poids									
SiO ₂	38,17	38,13	38,22	37,95	38,29	38,13	38,41	38,23	38,30
Al ₂ O ₃	23,74	23,19	24,09	23,55	23,81	25,66	24,52	23,52	23,83
FeO	10,84	11,93	10,85	11,24	10,97	9,16	10,43	11,26	10,84
MgO	0,016	0,004	0,018	0,015	0,017	0,009	0,025	0	0
CaO	22,96	23,00	23,00	22,97	23,16	22,90	23,40	23,48	23,16
Na ₂ O	0,01	0,001	0	0,005	0	0	0,002	0	0
K ₂ O	0,008	0,005	0,009	0	0,007	0,013	0,009	0,005	0,006
TiO ₂	0,021	0	0,031	0,056	0,015	0,018	0,011	0,04	0
MnO	0,359	0,287	0,312	0,39	0,275	0,452	0,106	0,107	0,344
Cr ₂ O ₃	0,036	0,017	0,002	0,009	0,01	0	0,015	0	0,008
Total	96,16	96,56	96,53	96,19	96,55	96,34	96,92	96,63	96,49
Anions sur une base de 12,5 Oxygènes									
Si	3,11	3,11	3,10	3,10	3,11	3,07	3,09	3,11	3,11
Al	2,31	2,26	2,33	2,30	2,31	2,47	2,36	2,28	2,31
Fe	0,75	0,82	0,75	0,78	0,75	0,62	0,71	0,78	0,75
Mg	0,002	0,000	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,000	0,000
Ca	2,03	2,04	2,02	2,04	2,04	2,00	2,05	2,07	2,04
Na	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Ti	0,001	0,000	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000
Mn	0,025	0,020	0,022	0,027	0,019	0,031	0,007	0,007	0,024
Cr	0,004	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
Total Cation	8,23	8,26	8,23	8,25	8,24	8,20	8,22	8,25	8,23
Fe/(Fe+Al)	0,24	0,27	0,24	0,25	0,25	0,20	0,23	0,25	0,24
Fe/(Fe+Mg)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Annexe 5 - Résultats des analyses des épidotes à la microsonde électronique (suite)

1081-B1,6,ep2 1081-B1,6,ep3 1081-B1,6,ep4 1081-B1,6,ep5 1081-B1,6,ep6

	% poids				
SiO ₂	38,58	39,43	38,38	39,10	38,73
Al ₂ O ₃	27,18	30,08	24,15	27,11	25,35
FeO	7,15	3,80	10,38	5,38	8,98
MgO	0,039	0	0	0,018	0,034
CaO	23,37	24,11	23,57	23,07	23,01
Na ₂ O	0	0,014	0	0,181	0,011
K ₂ O	0,013	0,012	0,012	0,011	0,016
TiO ₂	0,017	0	0,025	0,005	0,018
MnO	0,284	0,164	0,106	0,245	0,351
Cr ₂ O ₃	0,115	0,003	0	0,134	0,032
Total	96,75	97,61	96,63	95,26	96,53

Anions sur une base de 12,5 Oxygènes

Si	3,06	3,04	3,10	3,11	3,11
Al	2,57	2,77	2,33	2,58	2,43
Fe	0,48	0,25	0,71	0,36	0,61
Mg	0,005	0,000	0,000	0,002	0,004
Ca	2,01	2,02	2,07	1,99	2,00
Na	0,000	0,001	0,000	0,020	0,001
K	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ti	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001
Mn	0,019	0,011	0,007	0,017	0,024
Cr	0,011	0,000	0,000	0,013	0,003
Total Cation	8,15	8,08	8,23	8,09	8,18
Fe/(Fe+Al)	0,16	0,08	0,23	0,12	0,20
Fe/(Fe+Mg)	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99

Annexe 6 - Résultats des analyses des sphalérites à la microsonde électronique

	SL-A,4,sp1	SL-A,7,sp1	SL-A,7,sp2	SL-A,8,sp1	SL-A,9,sp1	SL-A,9,sp2	SL-A,9,sp3	SL-C,1,sp1	SL-C,1,sp2
% poids									
Zn	59,795	60,715	60,824	55,584	62,431	62,558	62,459	61,465	61,083
As	0,011	0,028	0,000	0,030	0,022	0,000	0,024	0,031	0,000
Ag	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,004	0,012	0,012
S	32,916	33,254	32,887	33,411	33,072	33,121	33,152	33,260	33,145
Mn	0,015	0,000	0,021	0,011	0,021	0,015	0,002	0,085	0,108
Fe	5,113	5,828	5,333	10,759	4,790	4,381	4,322	5,380	6,055
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,001
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014
Cu	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,579	0,590	0,673	0,304	0,501	0,522	0,486	0,420	0,380
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,009
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	98,441	100,419	99,738	100,099	100,837	100,615	100,453	100,653	100,807
Valeurs recalculées sur un total de 100									
Zn	60,742	60,462	60,984	55,529	61,913	62,176	62,177	61,066	60,594
As	0,011	0,028	0,000	0,030	0,022	0,000	0,024	0,031	0,000
Ag	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,004	0,012	0,012
S	33,437	33,115	32,973	33,378	32,797	32,919	33,002	33,044	32,880
Mn	0,015	0,000	0,021	0,011	0,021	0,015	0,002	0,084	0,107
Fe	5,194	5,804	5,347	10,748	4,750	4,354	4,303	5,345	6,007
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,001
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014
Cu	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,588	0,588	0,675	0,304	0,497	0,519	0,484	0,417	0,377
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,009
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 6 - Résultats des analyses des sphalérites à la microsonde électronique (suite)

	SL-C,1,sp3	SL-C,1,sp4	SL-C,2,sp1	SL-C,2,sp2	SL-C,2,sp3	SL-C,2,sp4	SL-C,2,sp5	SL-C,3,sp1	SL-C,3,sp2
% poids									
Zn	61,318	61,244	61,411	60,540	60,838	61,078	61,905	62,979	61,769
As	0,000	0,021	0,035	0,000	0,000	0,001	0,025	0,000	0,000
Ag	0,000	0,056	0,000	0,000	0,000	0,026	0,004	0,017	0,010
S	33,006	33,141	33,422	33,600	33,214	33,539	33,460	33,361	33,357
Mn	0,083	0,078	0,090	0,072	0,109	0,113	0,090	0,079	0,073
Fe	5,598	5,292	5,410	5,594	6,178	5,718	5,410	5,236	5,324
Sb	0,000	0,018	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,003	0,006	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	1,170	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,428	0,439	0,427	0,351	0,390	0,432	0,450	0,431	0,448
Ni	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	100,433	100,307	100,803	101,327	100,729	100,910	101,346	102,103	100,981
Valeurs recalculées sur un total de 100									
Zn	61,054	61,057	60,922	59,747	60,398	60,527	61,083	61,682	61,169
As	0,000	0,021	0,035	0,000	0,000	0,001	0,025	0,000	0,000
Ag	0,000	0,056	0,000	0,000	0,000	0,026	0,004	0,017	0,010
S	32,864	33,040	33,156	33,160	32,974	33,237	33,016	32,674	33,033
Mn	0,083	0,078	0,089	0,071	0,108	0,112	0,089	0,077	0,072
Fe	5,574	5,276	5,367	5,521	6,133	5,666	5,338	5,128	5,272
Sb	0,000	0,018	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,003	0,006	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	1,155	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,426	0,438	0,424	0,346	0,387	0,428	0,444	0,422	0,444
Ni	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 6 - Résultats des analyses des sphalérites à la microsonde électronique (suite)

	SL-C,3,sp3	SL-C,4,sp1	SL-C,4,sp2	SL-C,4,sp3	SL-C,5,sp1	SL-C,5,sp2	SL-C,5,sp3	SL-C,5,sp4	SL-C,5,sp5
% poids									
Zn	61,752	62,458	60,231	62,160	61,504	62,864	61,623	61,327	61,829
As	0,000	0,033	0,000	0,021	0,030	0,000	0,022	0,012	0,007
Ag	0,017	0,028	0,000	0,020	0,000	0,032	0,000	0,000	0,013
S	33,389	33,606	33,443	33,397	33,313	33,616	33,452	33,403	33,469
Mn	0,087	0,078	0,071	0,103	0,082	0,090	0,095	0,100	0,097
Fe	5,396	4,887	5,795	5,180	5,397	4,606	5,830	5,832	5,277
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,016	0,000	0,017
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,001	0,017	0,000	0,004	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,480	0,000	0,452	0,000	0,000	0,000	0,329
Cd	0,445	0,417	0,359	0,420	0,411	0,454	0,444	0,426	0,405
Ni	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	101,088	101,525	100,379	101,305	101,189	101,671	101,482	101,100	101,444
Valeurs recalculées sur un total de 100									
Zn	61,087	61,520	60,004	61,359	60,781	61,831	60,723	60,660	60,949
As	0,000	0,033	0,000	0,021	0,030	0,000	0,022	0,012	0,007
Ag	0,017	0,028	0,000	0,020	0,000	0,031	0,000	0,000	0,013
S	33,030	33,101	33,317	32,967	32,922	33,064	32,963	33,040	32,993
Mn	0,086	0,077	0,071	0,102	0,081	0,089	0,094	0,099	0,096
Fe	5,338	4,814	5,773	5,113	5,334	4,530	5,745	5,769	5,202
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,016	0,000	0,017
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,001	0,017	0,000	0,004	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,478	0,000	0,447	0,000	0,000	0,000	0,324
Cd	0,440	0,411	0,358	0,415	0,406	0,447	0,438	0,421	0,399
Ni	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 6 - Résultats des analyses des sphalérites à la microsonde électronique (suite)

	SL-C,5,sp6	SL-C,6,sp1	SL-C,6,sp2	SL-C,6,sp3	SL-C,6,sp4	SL-C,6,sp5	SL-C,6,sp6	SL-C,7,sp1	SL-C,7,sp2
% poids									
Zn	61,926	61,415	61,944	61,330	62,091	61,621	60,911	61,148	61,434
As	0,003	0,040	0,025	0,036	0,006	0,000	0,000	0,000	0,037
Ag	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,024	0,010	0,000	0,000
S	33,288	33,670	33,440	33,563	33,502	33,168	33,236	33,545	33,429
Mn	0,091	0,100	0,103	0,110	0,112	0,095	0,101	0,111	0,104
Fe	5,635	6,119	5,808	5,956	5,579	5,993	6,362	6,039	5,713
Sb	0,000	0,014	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,413	0,401	0,445	0,424	0,426	0,442	0,436	0,501	0,467
Ni	0,007	0,000	0,000	0,005	0,000	0,003	0,000	0,005	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	101,363	101,765	101,765	101,436	101,716	101,346	101,056	101,352	101,184
Valeurs recalculées sur un total de 100									
Zn	61,093	60,350	60,870	60,462	61,043	60,803	60,275	60,332	60,715
As	0,003	0,039	0,025	0,035	0,006	0,000	0,000	0,000	0,037
Ag	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,024	0,010	0,000	0,000
S	32,840	33,086	32,860	33,088	32,937	32,727	32,889	33,098	33,038
Mn	0,090	0,098	0,101	0,108	0,110	0,094	0,100	0,110	0,103
Fe	5,559	6,013	5,707	5,872	5,485	5,913	6,296	5,958	5,646
Sb	0,000	0,014	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,407	0,394	0,437	0,418	0,419	0,436	0,431	0,494	0,462
Ni	0,007	0,000	0,000	0,005	0,000	0,003	0,000	0,005	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 6 - Résultats des analyses des sphalérites à la microsonde électronique (suite)

	SL-C,7,sp3	SL-C,7,sp4	SL-C,7,sp5	SL-C,7,sp6	SL-C,7,sp7	SL-C,8,sp1	SL-C,8,sp2	SL-C,8,sp3	SL-C,8,sp4
% poids									
Zn	61,947	60,668	61,025	60,836	60,843	61,514	61,836	62,680	61,610
As	0,018	0,057	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,040
Ag	0,028	0,000	0,015	0,021	0,027	0,040	0,010	0,008	0,000
S	33,522	33,376	33,330	33,569	33,357	33,357	33,114	33,449	33,398
Mn	0,084	0,088	0,087	0,092	0,085	0,100	0,096	0,099	0,097
Fe	5,422	6,007	6,170	6,157	6,010	5,626	5,252	5,349	5,337
Sb	0,001	0,022	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,010	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,005	0,000	0,000	0,001	0,000	0,007	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,460	0,430	0,447	0,454	0,432	0,465	0,378	0,454	0,397
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,002	0,000	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	101,482	100,653	101,077	101,129	100,765	101,133	100,695	102,059	100,879
Valeurs recalculées sur un total de 100									
Zn	61,042	60,274	60,375	60,157	60,381	60,825	61,409	61,415	61,073
As	0,018	0,057	0,003	0,000	0,000	0,000	0,010	0,040	
Ag	0,028	0,000	0,015	0,021	0,027	0,040	0,010	0,008	0,000
S	33,032	33,159	32,975	33,194	33,104	32,983	32,885	32,774	33,107
Mn	0,083	0,087	0,086	0,091	0,084	0,099	0,095	0,097	0,096
Fe	5,343	5,968	6,104	6,088	5,964	5,563	5,216	5,241	5,290
Sb	0,001	0,022	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,010	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,005	0,000	0,000	0,001	0,000	0,007	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,453	0,427	0,442	0,449	0,429	0,460	0,375	0,445	0,394
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,002	0,000	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 6 - Résultats des analyses des sphalérites à la microsonde électronique (suite)

	SL-C,8,sp5	SL-C,8,sp6	SL-C,8,sp7	SL-C,8,sp8	SL-C,8,sp9	SL-C,9,sp1	SL-C,9,sp2	SL-C,9,sp3	SL-C,9,sp4
% poids									
Zn	60,477	61,945	61,201	62,126	61,733	63,414	62,353	61,995	61,069
As	0,013	0,019	0,039	0,030	0,013	0,039	0,002	0,000	0,036
Ag	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
S	33,420	33,553	33,437	33,003	33,402	33,223	33,275	33,162	33,369
Mn	0,102	0,093	0,085	0,089	0,085	0,074	0,089	0,080	0,091
Fe	6,330	5,083	5,691	5,671	5,645	4,249	5,050	5,408	5,407
Sb	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,003	0,000	0,027	0,017
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,037	0,000	0,000	0,214
Cd	0,437	0,419	0,436	0,465	0,530	0,436	0,450	0,413	0,403
Ni	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,010
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	100,784	101,114	100,889	101,389	101,413	101,477	101,220	101,086	100,616
Valeurs recalculées sur un total de 100									
Zn	60,007	61,263	60,662	61,275	60,873	62,491	61,601	61,329	60,695
As	0,013	0,019	0,039	0,030	0,013	0,038	0,002	0,000	0,036
Ag	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
S	33,160	33,183	33,142	32,551	32,937	32,739	32,874	32,806	33,165
Mn	0,101	0,092	0,084	0,088	0,084	0,073	0,088	0,079	0,090
Fe	6,281	5,027	5,641	5,593	5,566	4,187	4,989	5,350	5,374
Sb	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,003	0,000	0,027	0,017
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,000	0,000	0,213
Cd	0,434	0,414	0,432	0,459	0,523	0,430	0,445	0,409	0,401
Ni	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,010
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 6 - Résultats des analyses des sphalérites à la microsonde électronique (suite)

	SL-C,9,sp5	SL-C,9,sp6	SL-C,9,sp7	SL-C,9,sp8	SL-C,9,sp9	SL-D,3,sp1	SL-D,3,sp2	SL-D,3,sp3	SL-E,2,sp1
% poids									
Zn	62,224	61,720	60,542	63,370	56,779	60,346	60,214	60,197	60,789
As	0,013	0,000	0,033	0,005	0,000	0,058	0,025	0,037	0,000
Ag	0,002	0,002	0,000	0,004	0,006	0,000	0,014	0,000	0,000
S	33,526	33,622	33,308	33,697	33,408	33,307	33,305	33,166	32,587
Mn	0,098	0,088	0,108	0,068	0,095	0,119	0,114	0,132	0,000
Fe	4,555	5,542	6,152	4,119	6,658	6,373	6,341	6,177	5,973
Sb	0,000	0,000	0,000	0,039	0,000	0,000	0,004	0,009	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,002	0,000	0,005	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,029	2,668	0,000	0,680	0,000	0,000
Cd	0,527	0,384	0,471	0,408	0,414	0,340	0,427	0,429	0,745
Ni	0,005	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,002
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	100,950	101,361	100,615	101,746	100,028	100,549	101,129	100,147	100,096
Valeurs recalculées sur un total de 100									
Zn	61,638	60,891	60,172	62,283	56,763	60,017	59,542	60,109	60,731
As	0,013	0,000	0,033	0,005	0,000	0,058	0,025	0,037	0,000
Ag	0,002	0,002	0,000	0,004	0,006	0,000	0,014	0,000	0,000
S	33,211	33,171	33,104	33,119	33,399	33,125	32,933	33,117	32,556
Mn	0,097	0,087	0,107	0,067	0,095	0,118	0,113	0,132	0,000
Fe	4,512	5,468	6,114	4,048	6,656	6,338	6,270	6,168	5,967
Sb	0,000	0,000	0,000	0,038	0,000	0,000	0,004	0,009	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,002	0,000	0,005	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,029	2,667	0,000	0,672	0,000	0,000
Cd	0,522	0,379	0,468	0,401	0,414	0,338	0,422	0,428	0,744
Ni	0,005	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,002
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 6 - Résultats des analyses des sphalérites à la microsonde électronique (suite)

	SL-E,2,sp2	SL-E,4,sp1	SL-E,4,sp2	SL-E,7,sp1	SL-E,7,sp2	SL-F,1,sp1	SL-F,1,sp2	SL-F,1,sp3	SL-F,2,sp1
% poids									
Zn	60,107	54,255	61,663	60,675	61,294	60,090	60,214	60,837	59,770
As	0,000	0,049	0,000	0,000	0,017	0,024	0,007	0,022	0,000
Ag	0,020	0,009	0,000	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020
S	33,076	33,168	33,316	33,555	33,200	33,262	33,914	33,323	33,723
Mn	0,013	0,011	0,027	0,016	0,001	0,067	0,071	0,048	0,089
Fe	6,357	7,198	5,234	5,821	5,617	7,151	7,149	6,890	7,386
Sb	0,003	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,005	0,005	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
Cu	0,000	2,249	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,708	0,553	0,612	0,542	0,663	0,357	0,402	0,372	0,409
Ni	0,002	0,023	0,023	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	100,291	97,520	100,875	100,674	100,795	100,954	101,757	101,500	101,403
Valeurs recalculées sur un total de 100									
Zn	59,933	55,635	61,128	60,269	60,811	59,522	59,174	59,938	58,943
As	0,000	0,050	0,000	0,000	0,017	0,024	0,007	0,022	0,000
Ag	0,020	0,009	0,000	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020
S	32,980	34,011	33,027	33,330	32,938	32,948	33,328	32,831	33,256
Mn	0,013	0,011	0,027	0,016	0,001	0,066	0,070	0,047	0,088
Fe	6,339	7,381	5,189	5,782	5,573	7,083	7,026	6,788	7,284
Sb	0,003	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,005	0,005	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
Cu	0,000	2,306	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,706	0,567	0,607	0,538	0,658	0,354	0,395	0,367	0,403
Ni	0,002	0,024	0,023	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 6 - Résultats des analyses des sphalérites à la microsonde électronique (suite)

	SL-F,2,sp2	SL-F,5,sp1	SL-F,5,sp2	SL-F,5,sp3	SL-F,5,sp4	SL-F,6,sp1	SL-F,6,sp2	SL-F,6,sp3	SL-F,6,sp4
% poids									
Zn	60,509	60,717	60,437	60,220	60,747	60,823	60,741	60,617	60,485
As	0,000	0,033	0,035	0,001	0,047	0,000	0,000	0,016	0,000
Ag	0,036	0,037	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011
S	33,774	33,329	33,416	33,376	32,752	33,351	33,205	33,389	33,135
Mn	0,064	0,064	0,071	0,074	0,064	0,055	0,053	0,055	0,064
Fe	6,873	6,937	7,237	7,139	6,859	6,633	6,531	6,947	7,085
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,002	0,002	0,000	0,004	0,009	0,002	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,415	0,387	0,387	0,348	0,410	0,363	0,407	0,396	0,381
Ni	0,007	0,007	0,003	0,009	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	101,678	101,513	101,590	101,167	100,883	101,243	100,939	101,420	101,161
Valeurs recalculées sur un total de 100									
Zn	59,510	59,812	59,491	59,525	60,215	60,076	60,176	59,768	59,791
As	0,000	0,033	0,034	0,001	0,047	0,000	0,000	0,016	0,000
Ag	0,035	0,036	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011
S	33,217	32,832	32,893	32,991	32,465	32,942	32,896	32,922	32,755
Mn	0,063	0,063	0,070	0,073	0,063	0,054	0,053	0,054	0,063
Fe	6,760	6,834	7,124	7,057	6,799	6,552	6,470	6,850	7,004
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,002	0,002	0,000	0,004	0,009	0,002	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,408	0,381	0,381	0,344	0,406	0,359	0,403	0,390	0,377
Ni	0,007	0,007	0,003	0,009	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 6 - Résultats des analyses des sphalérites à la microsonde électronique (suite)

	SL-F,7,sp1	1081-B1,3,sp1	1081-B1,3,sp2	1081-B1,3,sp3	1077-C,2,sp1	1077-C,2,sp2	1080-A3,2,sp1
% poids							
Zn	60,501	67,382	63,240	66,437	59,521	59,964	62,516
As	0,000	0,021	0,000	0,000	0,003	0,016	0,008
Ag	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,006	0,000
S	33,139	33,348	33,334	33,267	33,255	33,412	33,663
Mn	0,065	0,027	0,037	0,030	0,256	0,239	0,020
Fe	6,788	0,836	2,673	0,954	6,470	6,396	4,289
Sb	0,000	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,154	0,170	0,004
Cu	0,000	0,000	1,943	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,377	0,291	0,270	0,268	0,782	0,862	0,342
Ni	0,008	0,000	0,006	0,000	0,000	0,005	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	100,878	101,949	101,528	100,956	100,441	101,070	100,842
Valeurs recalculées sur un total de 100							
Zn	59,974	66,094	62,288	65,808	59,260	59,329	61,994
As	0,000	0,021	0,000	0,000	0,003	0,016	0,008
Ag	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,006	0,000
S	32,851	32,710	32,832	32,952	33,109	33,058	33,382
Mn	0,064	0,026	0,036	0,030	0,255	0,236	0,020
Fe	6,729	0,820	2,633	0,945	6,442	6,328	4,253
Sb	0,000	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,153	0,168	0,004
Cu	0,000	0,000	1,914	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,374	0,285	0,266	0,265	0,779	0,853	0,339
Ni	0,008	0,000	0,006	0,000	0,000	0,005	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique

	SL-A,2,py1	SL-A,2,py2	SL-A,2,py3	SL-A,2,py4	SL-A,2,py5	SL-A,2,py6	SL-A,3,py1	SL-A,3,py2	SL-A,3,py3	SL-A,3,py4
% poids										
Fe	46,310	46,317	46,392	46,407	46,387	45,268	47,095	46,831	46,935	47,085
As	0,027	0,023	0,036	0,000	0,058	0,013	0,021	0,043	0,006	0,003
Ag	0,017	0,000	0,000	0,019	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,013
S	53,106	53,193	53,242	53,262	52,939	52,371	52,983	53,433	53,059	53,292
Mn	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000
Cu	0,073	0,065	0,000	0,186	0,080	1,364	0,000	0,061	0,000	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,012	0,000	0,035	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,023	0,004	0,001	0,016	0,040	0,025	0,030	0,000	0,024	0,002
Zn	0,046	0,000	0,023	0,073	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,029
Au	0,000	0,000	0,023	0,039	0,000	0,018	0,051	0,018	0,042	0,014
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	99,607	99,602	99,717	100,019	99,506	99,063	100,199	100,403	100,101	100,438
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	46,493	46,502	46,524	46,398	46,617	45,696	47,001	46,643	46,888	46,880
As	0,027	0,023	0,036	0,000	0,058	0,013	0,021	0,043	0,006	0,003
Ag	0,017	0,000	0,000	0,019	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,013
S	53,316	53,406	53,393	53,252	53,202	52,866	52,878	53,219	53,005	53,060
Mn	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000
Cu	0,073	0,065	0,000	0,186	0,080	1,377	0,000	0,061	0,000	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,012	0,000	0,035	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,023	0,004	0,001	0,016	0,040	0,025	0,030	0,000	0,024	0,002
Zn	0,046	0,000	0,023	0,073	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,029
Au	0,000	0,000	0,023	0,039	0,000	0,018	0,051	0,018	0,042	0,014
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique (suite).

	SL-A,3,py5	SL-A,3,py6	SL-A,3,py7	SL-A,4,py1	SL-A,4,py2	SL-A,4,py3	SL-A,5,py1	SL-A,5,py2	SL-A,5,py3	SL-A,5,py4
% poids										
Fe	47,349	47,180	47,455	46,772	47,062	46,547	46,684	46,803	47,130	46,701
As	0,012	0,042	0,021	0,050	0,019	0,055	0,042	0,031	0,029	0,016
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,024	0,000	0,000
S	53,233	53,268	53,175	53,151	53,134	53,208	53,211	53,165	52,955	53,183
Mn	0,001	0,000	0,013	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,008	0,000
Cu	0,000	0,000	0,134	0,218	0,005	0,004	0,104	0,115	0,031	0,000
Sb	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,010	0,011	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,015	0,000	0,025	0,028	0,349	0,096	0,037	0,028	0,013
Zn	0,000	0,019	0,035	0,000	0,000	0,001	0,093	0,061	0,000	0,000
Au	0,000	0,004	0,000	0,047	0,040	0,000	0,042	0,016	0,060	0,000
Ni	0,008	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000
Total	100,603	100,544	100,833	100,263	100,290	100,169	100,290	100,275	100,252	99,915
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	47,065	46,925	47,063	46,649	46,926	46,468	46,549	46,675	47,012	46,741
As	0,012	0,042	0,021	0,050	0,019	0,055	0,042	0,031	0,029	0,016
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,024	0,000	0,000
S	52,914	52,980	52,736	53,012	52,980	53,118	53,057	53,019	52,822	53,228
Mn	0,001	0,000	0,013	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,008	0,000
Cu	0,000	0,000	0,133	0,217	0,005	0,004	0,104	0,115	0,031	0,000
Sb	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,010	0,011	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,015	0,000	0,025	0,028	0,348	0,096	0,037	0,028	0,013
Zn	0,000	0,019	0,035	0,000	0,000	0,001	0,093	0,061	0,000	0,000
Au	0,000	0,004	0,000	0,047	0,040	0,000	0,042	0,016	0,060	0,000
Ni	0,008	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000

Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique (suite).

	SL-A,5,py5	SL-A,5,py6	SL-A,5,py7	SL-A,5,py8	SL-A,7,py1	SL-A,7,py2	SL-A,8,py1	SL-A,8,py2	SL-A,8,py3	SL-A,9,py1
% poids										
Fe	47,147	46,666	46,579	47,057	46,739	47,161	46,792	47,111	46,897	46,648
As	0,026	0,031	0,041	0,049	0,063	0,033	0,020	0,027	0,013	0,084
Ag	0,015	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
S	53,399	53,273	53,329	53,128	53,357	53,225	52,976	53,288	53,184	53,090
Mn	0,003	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000
Cu	0,052	0,077	0,000	0,000	0,070	0,063	0,043	0,000	0,018	0,034
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,035	0,017	0,015	0,041	0,143	0,022	0,003	0,022	0,056	0,129
Zn	0,000	0,000	0,075	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Au	0,066	0,007	0,056	0,000	0,000	0,021	0,007	0,003	0,000	0,061
Ni	0,000	0,008	0,000	0,011	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,003	0,000	0,010	0,000	0,000	0,003	0,004	0,015
Total	100,743	100,079	100,125	100,290	100,384	100,527	99,842	100,457	100,172	100,064
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	46,799	46,629	46,521	46,921	46,560	46,914	46,866	46,897	46,816	46,618
As	0,026	0,031	0,041	0,049	0,063	0,033	0,020	0,027	0,013	0,084
Ag	0,015	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
S	53,005	53,231	53,262	52,974	53,153	52,946	53,060	53,046	53,093	53,056
Mn	0,003	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000
Cu	0,052	0,077	0,000	0,000	0,070	0,063	0,043	0,000	0,018	0,034
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,035	0,017	0,015	0,041	0,142	0,022	0,003	0,022	0,056	0,129
Zn	0,000	0,000	0,075	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Au	0,066	0,007	0,056	0,000	0,000	0,021	0,007	0,003	0,000	0,061
Ni	0,000	0,008	0,000	0,011	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,003	0,000	0,010	0,000	0,000	0,003	0,004	0,015

Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique (suite).

	SL-A,9,py2	SL-B,1,py1	SL-B,1,py2	SL-B,1,py3	SL-B,1,py4	SL-B,3,py1	SL-B,3,py2	SL-B,3,py3	SL-B,3,py4	SL-B,3,py5
% poids										
Fe	47,062	46,985	45,529	46,030	46,058	46,944	46,977	45,880	46,906	45,410
As	0,003	0,101	0,180	0,152	0,237	0,023	0,027	0,273	0,313	0,108
Ag	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,025	0,000
S	52,960	52,351	52,064	51,928	52,702	53,497	53,094	51,444	52,102	51,695
Mn	0,000	0,004	0,229	0,170	0,009	0,000	0,005	0,176	0,012	0,179
Cu	0,034	0,000	0,003	0,047	0,072	0,041	0,000	0,066	0,000	0,082
Sb	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,014	0,016	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,037	0,277	0,168	0,066	0,023	0,046	0,227	0,052	0,109
Zn	0,000	0,000	0,054	0,003	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019
Au	0,000	0,049	0,025	0,049	0,000	0,000	0,046	0,028	0,081	0,046
Ni	0,013	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,007	0,013	0,000	0,007
Cd	0,000	0,009	0,000	0,000	0,006	0,000	0,003	0,010	0,000	0,000
Total	100,072	99,536	98,367	98,561	99,189	100,528	100,225	98,133	99,491	97,655
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	47,028	47,204	46,285	46,702	46,435	46,697	46,872	46,753	47,146	46,500
As	0,003	0,101	0,183	0,154	0,239	0,023	0,027	0,278	0,315	0,111
Ag	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,025	0,000
S	52,922	52,595	52,928	52,686	53,133	53,216	52,975	52,423	52,369	52,936
Mn	0,000	0,004	0,233	0,172	0,009	0,000	0,005	0,179	0,012	0,183
Cu	0,034	0,000	0,003	0,048	0,073	0,041	0,000	0,067	0,000	0,084
Sb	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,014	0,016	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,037	0,282	0,170	0,067	0,023	0,046	0,231	0,052	0,112
Zn	0,000	0,000	0,055	0,003	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019
Au	0,000	0,049	0,025	0,050	0,000	0,000	0,046	0,029	0,081	0,047
Ni	0,013	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,007	0,013	0,000	0,007
Cd	0,000	0,009	0,000	0,000	0,006	0,000	0,003	0,010	0,000	0,000

Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique (suite).

	SL-B,3,py7	SL-B,3,py8	SL-B,3,py9	SL-B,3,py10	SL-B,6,py1	SL-B,6,py2	SL-C,1,py1	SL-C,1,py2	SL-C,2,py1	SL-C,2,py2
% poids										
Fe	46,898	45,691	46,111	46,307	46,197	46,813	46,765	47,001	46,469	46,918
As	0,308	0,220	0,193	0,207	0,386	0,045	0,106	0,151	0,124	0,104
Ag	0,004	0,000	0,016	0,013	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000
S	52,866	51,985	53,086	51,974	53,019	52,953	53,246	53,431	53,613	53,281
Mn	0,006	0,029	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,006	0,003	0,000
Cu	0,011	0,000	0,003	0,072	0,000	0,000	0,030	0,070	0,000	0,033
Sb	0,000	0,009	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,018	0,165	0,528	0,170	0,564	0,043	0,322	0,200	0,114	0,165
Zn	0,091	0,045	0,000	0,081	0,000	0,000	0,001	0,000	0,959	0,048
Au	0,012	0,028	0,000	0,030	0,019	0,044	0,058	0,000	0,034	0,005
Ni	0,000	0,007	0,002	0,000	0,004	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Cd	0,000	0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009
Total	100,214	98,184	99,942	98,860	100,197	99,898	100,545	100,876	101,316	100,563
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	46,798	46,536	46,138	46,841	46,106	46,861	46,512	46,593	45,865	46,655
As	0,307	0,224	0,193	0,209	0,385	0,045	0,105	0,150	0,122	0,103
Ag	0,004	0,000	0,016	0,013	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000
S	52,753	52,947	53,117	52,573	52,915	53,007	52,957	52,967	52,917	52,983
Mn	0,006	0,030	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,006	0,003	0,000
Cu	0,011	0,000	0,003	0,073	0,000	0,000	0,030	0,069	0,000	0,033
Sb	0,000	0,009	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,018	0,168	0,528	0,172	0,563	0,043	0,320	0,198	0,113	0,164
Zn	0,091	0,046	0,000	0,082	0,000	0,000	0,001	0,000	0,947	0,048
Au	0,012	0,029	0,000	0,030	0,019	0,044	0,058	0,000	0,034	0,005
Ni	0,000	0,007	0,002	0,000	0,004	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Cd	0,000	0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009

Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique (suite).

	SL-C,2,py3	SL-C,2,py4	SL-C,4,py1	SL-C,4,py2	SL-C,4,py3	SL-C,6,py1	SL-C,6,py2	SL-D,2,py1	SL-D,2,py2	SL-D,2,py3
% poids										
Fe	46,389	46,100	46,834	46,640	46,770	46,156	45,514	46,857	46,986	46,800
As	0,080	0,235	0,036	0,190	0,015	0,156	0,525	0,198	0,121	0,101
Ag	0,000	0,009	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000
S	51,859	53,266	53,318	53,489	53,648	53,459	52,157	53,140	53,091	53,036
Mn	0,025	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,015	0,014	0,017	0,084
Cu	0,056	0,043	0,084	0,000	0,000	0,003	0,035	0,054	0,082	0,000
Sb	0,000	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,004	0,607	0,000	0,454	0,004	0,402	0,253	0,158	0,158	0,059
Zn	0,136	0,153	0,337	0,073	0,044	0,263	1,013	0,000	0,008	0,037
Au	0,000	0,028	0,067	0,021	0,086	0,025	0,000	0,002	0,000	0,076
Ni	0,000	0,006	0,006	0,012	0,006	0,000	0,003	0,001	0,002	0,000
Cd	0,000	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027
Total	98,549	100,475	100,709	100,882	100,603	100,464	99,515	100,424	100,495	100,220
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	47,072	45,882	46,504	46,232	46,490	45,943	45,736	46,659	46,755	46,697
As	0,081	0,234	0,036	0,188	0,015	0,155	0,528	0,197	0,120	0,101
Ag	0,000	0,009	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000
S	52,623	53,014	52,943	53,021	53,326	53,212	52,411	52,916	52,829	52,920
Mn	0,025	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,015	0,014	0,017	0,084
Cu	0,057	0,043	0,083	0,000	0,000	0,003	0,035	0,054	0,082	0,000
Sb	0,000	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,004	0,604	0,000	0,450	0,004	0,400	0,254	0,157	0,157	0,059
Zn	0,138	0,152	0,335	0,072	0,044	0,262	1,018	0,000	0,008	0,037
Au	0,000	0,028	0,067	0,021	0,085	0,025	0,000	0,002	0,000	0,076
Ni	0,000	0,006	0,006	0,012	0,006	0,000	0,003	0,001	0,002	0,000
Cd	0,000	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027

Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique (suite).

	SL-D,2,py4	SL-D,2,py5	SL-D,2,py6	SL-D,2,py7	SL-D,2,py8	SL-D,2,py9	SL-D,2,py10	SL-E,1,py1	SL-E,1,py2	SL-E,2,py1
% poids										
Fe	46,997	46,756	47,071	46,332	46,979	46,593	46,647	46,810	46,976	46,560
As	0,107	0,140	0,103	0,162	0,095	0,151	0,114	0,043	0,068	0,176
Ag	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000
S	52,789	52,753	52,451	53,307	53,048	53,208	53,453	53,463	53,800	53,917
Mn	0,013	0,009	0,005	0,000	0,007	0,015	0,005	0,000	0,004	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,032	0,000	0,136	0,021	0,138
Sb	0,000	0,014	0,007	0,015	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,020	0,054	0,016	0,214	0,123	0,126	0,076	0,001	0,000	0,702
Zn	0,000	0,213	0,000	0,047	0,000	0,065	0,034	0,000	0,000	0,011
Au	0,046	0,025	0,044	0,109	0,000	0,065	0,011	0,049	0,028	0,025
Ni	0,000	0,001	0,007	0,000	0,004	0,000	0,000	0,008	0,004	0,005
Cd	0,000	0,000	0,016	0,004	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000
Total	99,972	99,965	99,720	100,211	100,256	100,261	100,364	100,525	100,901	101,534
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	47,010	46,772	47,203	46,234	46,859	46,472	46,478	46,566	46,557	45,857
As	0,107	0,140	0,103	0,162	0,095	0,151	0,114	0,043	0,067	0,173
Ag	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000
S	52,804	52,771	52,598	53,195	52,913	53,069	53,259	53,184	53,320	53,102
Mn	0,013	0,009	0,005	0,000	0,007	0,015	0,005	0,000	0,004	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,032	0,000	0,135	0,021	0,136
Sb	0,000	0,014	0,007	0,015	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,020	0,054	0,016	0,214	0,123	0,126	0,076	0,001	0,000	0,691
Zn	0,000	0,213	0,000	0,047	0,000	0,065	0,034	0,000	0,000	0,011
Au	0,046	0,025	0,044	0,109	0,000	0,065	0,011	0,049	0,028	0,025
Ni	0,000	0,001	0,007	0,000	0,004	0,000	0,000	0,008	0,004	0,005
Cd	0,000	0,000	0,016	0,004	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000

Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique (suite).

	SL-E,2,py2	SL-E,3,py1	SL-E,3,py2	SL-E,4,py1	SL-E,5,py1	SL-E,5,py2	SL-E,6,py1	SL-E,6,py2	SL-E,7,py1	SL-E,8,py2
% poids										
Fe	47,098	47,420	47,473	47,353	47,375	47,237	47,504	47,471	47,025	47,005
As	0,020	0,006	0,037	0,029	0,042	0,027	0,082	0,058	0,012	0,007
Ag	0,000	0,006	0,009	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
S	53,918	53,744	53,878	54,134	54,049	53,753	53,937	53,926	53,380	52,375
Mn	0,000	0,000	0,000	0,009	0,007	0,006	0,000	0,001	0,000	0,007
Cu	0,000	0,000	0,000	0,118	0,045	0,098	0,044	0,016	0,018	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,020	0,000	0,026	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,173	0,000	0,124	0,000	0,000	0,000	0,051	0,000	0,000
Zn	0,000	0,028	0,000	0,000	0,011	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000
Au	0,051	0,042	0,039	0,078	0,037	0,041	0,011	0,009	0,051	0,030
Ni	0,000	0,000	0,013	0,010	0,000	0,006	0,006	0,003	0,016	0,006
Cd	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Total	101,099	101,419	101,449	101,855	101,576	101,207	101,587	101,561	100,502	99,430
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	46,586	46,757	46,795	46,491	46,640	46,674	46,762	46,741	46,790	47,274
As	0,020	0,006	0,036	0,028	0,041	0,027	0,081	0,057	0,012	0,007
Ag	0,000	0,006	0,009	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
S	53,332	52,992	53,108	53,148	53,210	53,112	53,094	53,097	53,113	52,675
Mn	0,000	0,000	0,000	0,009	0,007	0,006	0,000	0,001	0,000	0,007
Cu	0,000	0,000	0,000	0,116	0,044	0,097	0,043	0,016	0,018	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,020	0,000	0,026	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,171	0,000	0,122	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000
Zn	0,000	0,028	0,000	0,000	0,011	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000
Au	0,050	0,041	0,038	0,077	0,036	0,041	0,011	0,009	0,051	0,030
Ni	0,000	0,000	0,013	0,010	0,000	0,006	0,006	0,003	0,016	0,006
Cd	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000

Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique (suite).

	SL-F,1,py1	SL-F,1,py2	SL-F,2,py1	SL-F,5,py1	SL-F,6,py1	1081-B1,1,py1	1081-B1,2,py1	1081-B1,2,py2	1081-B1,2,py3	1081-B1,3,py1
% poids										
Fe	47,076	46,933	47,660	47,301	45,245	46,826	47,133	47,804	47,325	47,141
As	0,092	0,112	0,165	0,097	0,093	0,038	0,053	0,096	0,000	0,026
Ag	0,000	0,003	0,016	0,020	0,000	0,000	0,010	0,005	0,000	0,000
S	53,732	53,773	53,506	53,694	49,736	53,845	53,857	54,293	54,101	54,186
Mn	0,000	0,016	0,000	0,003	0,034	0,000	0,002	0,002	0,002	0,006
Cu	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,231	0,027	0,103	0,000	0,023
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,112	0,249	0,204	0,152	0,129	0,000	0,292	0,091	0,088	0,057
Zn	0,040	0,170	0,111	0,059	0,261	0,000	0,058	0,077	0,013	0,123
Au	0,071	0,028	0,000	0,030	0,025	0,026	0,046	0,088	0,000	0,010
Ni	0,006	0,001	0,000	0,000	0,003	0,012	0,014	0,010	0,025	0,164
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	101,129	101,285	101,662	101,379	95,539	100,991	101,492	102,569	101,554	101,736
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	46,550	46,338	46,881	46,658	47,358	46,367	46,440	46,607	46,601	46,337
As	0,091	0,111	0,162	0,096	0,097	0,038	0,052	0,094	0,000	0,026
Ag	0,000	0,003	0,016	0,020	0,000	0,000	0,010	0,005	0,000	0,000
S	53,132	53,091	52,631	52,964	52,058	53,317	53,065	52,933	53,273	53,261
Mn	0,000	0,016	0,000	0,003	0,036	0,000	0,002	0,002	0,002	0,006
Cu	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,229	0,027	0,100	0,000	0,023
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,111	0,246	0,201	0,150	0,135	0,000	0,288	0,089	0,087	0,056
Zn	0,040	0,168	0,109	0,058	0,273	0,000	0,057	0,075	0,013	0,121
Au	0,070	0,028	0,000	0,030	0,026	0,026	0,045	0,086	0,000	0,010
Ni	0,006	0,001	0,000	0,000	0,003	0,012	0,014	0,010	0,025	0,161
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique (suite).

	1081-B1,3,py2	1081-B1,3,py3	1081-B1,4,py1	1081-B1,4,py2	1081-B1,4,py3	1081-B1,5,py1	1081-B1,5,py2	1081-B1,5,py3	1081-B1,6,py1	1081-B1,6,py2
% poids										
Fe	47,301	47,116	47,091	47,184	47,749	47,711	47,204	47,796	47,503	47,433
As	0,033	0,033	0,031	0,031	0,039	0,020	0,032	0,017	0,019	0,062
Ag	0,022	0,025	0,029	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
S	54,063	54,275	53,928	54,021	53,960	54,133	54,192	53,989	54,410	53,943
Mn	0,009	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,167	0,035	0,085	0,058	0,052	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,011	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,016	0,000	0,047
Zn	0,000	0,007	0,036	0,000	0,000	0,011	0,029	0,000	0,000	0,050
Au	0,031	0,034	0,005	0,000	0,028	0,078	0,000	0,013	0,000	0,083
Ni	0,010	0,048	0,218	0,050	0,055	0,006	0,060	0,072	0,070	0,139
Cd	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,015
Total	101,469	101,549	101,346	101,299	102,006	102,003	101,606	101,961	102,054	101,783
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	46,616	46,397	46,466	46,579	46,810	46,774	46,458	46,877	46,547	46,602
As	0,033	0,032	0,031	0,031	0,038	0,020	0,031	0,017	0,019	0,061
Ag	0,022	0,025	0,029	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
S	53,280	53,447	53,212	53,328	52,899	53,070	53,335	52,951	53,315	52,998
Mn	0,009	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,164	0,034	0,084	0,057	0,051	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,011	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,016	0,000	0,046
Zn	0,000	0,007	0,036	0,000	0,000	0,011	0,029	0,000	0,000	0,049
Au	0,031	0,033	0,005	0,000	0,027	0,076	0,000	0,013	0,000	0,082
Ni	0,010	0,047	0,215	0,049	0,054	0,006	0,059	0,071	0,069	0,137
Cd	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,015

Annexe 7 : Résultats des analyses des pyrites à la microsonde électronique (suite).

1080-B,3,py1 1080-A3,1,py1 1080-A3,1,py2 1080-A3,1,py3 1080-A3,2,py1 1080-A3,2,py2 1080-A3,3,py1 1080-A3,3,py2 1080-A3,3,py3

	% poids									
Fe	47,488	47,615	47,398	47,706	46,756	47,720	47,465	47,385	47,193	
As	0,122	0,040	0,036	0,021	0,031	0,046	0,012	0,000	0,016	
Ag	0,038	0,014	0,000	0,000	0,024	0,000	0,002	0,000	0,026	
S	54,300	54,286	54,285	53,968	53,902	54,112	53,980	54,161	54,160	
Mn	0,000	0,001	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,019	0,016	
Cu	0,009	0,003	0,084	0,135	0,000	0,008	0,009	0,000	0,000	
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,003	0,000	
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Co	0,000	0,019	0,018	0,004	0,000	0,005	0,008	0,000	0,008	
Zn	0,037	0,000	0,000	0,000	0,038	0,000	0,000	0,064	0,003	
Au	0,003	0,070	0,008	0,000	0,036	0,000	0,070	0,000	0,086	
Ni	0,005	0,002	0,000	0,000	0,006	0,000	0,003	0,000	0,000	
Cd	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	
Total	102,002	102,071	101,829	101,843	100,793	101,895	101,549	101,640	101,508	

Valeurs recalculées sur un total de 100

Fe	46,556	46,649	46,547	46,843	46,388	46,833	46,741	46,620	46,492	
As	0,120	0,039	0,035	0,021	0,031	0,045	0,012	0,000	0,016	
Ag	0,037	0,014	0,000	0,000	0,024	0,000	0,002	0,000	0,026	
S	53,234	53,185	53,310	52,991	53,478	53,106	53,157	53,287	53,355	
Mn	0,000	0,001	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,019	0,016	
Cu	0,009	0,003	0,082	0,133	0,000	0,008	0,009	0,000	0,000	
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,003	0,000	
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Co	0,000	0,019	0,018	0,004	0,000	0,005	0,008	0,000	0,008	
Zn	0,036	0,000	0,000	0,000	0,038	0,000	0,000	0,063	0,003	
Au	0,003	0,069	0,008	0,000	0,036	0,000	0,069	0,000	0,085	
Ni	0,005	0,002	0,000	0,000	0,006	0,000	0,003	0,000	0,000	
Cd	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	

Annexe 8 : Résultats des analyses des chalcopyrites à la microsonde électronique

	SL-A,1,cpy1	SL-A,1,cpy2	SL-A,2,cpy1	SL-A,2,cpy2	SL-A,2,cpy3	SL-A,3,cpy1	SL-A,3,cpy2	SL-A,3,cpy3	SL-A,3,cpy4	SL-A,4,cpy1
% poids										
Fe	29,691	29,144	29,347	28,983	29,582	29,447	29,487	29,413	29,373	29,209
As	0,013	0,034	0,015	0,041	0,030	0,006	0,049	0,000	0,040	0,022
Ag	0,015	0,016	0,045	0,012	0,028	0,011	0,030	0,002	0,000	0,000
S	34,886	34,858	34,851	34,733	34,941	34,883	34,940	34,857	34,955	34,755
Mn	0,004	0,000	0,000	0,011	0,000	0,003	0,000	0,009	0,000	0,000
Cu	34,641	34,349	34,750	34,618	34,919	34,587	34,609	34,231	34,005	34,362
Sb	0,020	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,032	0,051	0,053	0,000	0,042	0,041	0,035
Au	0,000	0,039	0,000	0,053	0,024	0,026	0,038	0,000	0,010	0,000
Ni	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Cd	0,001	0,017	0,000	0,009	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000
Total	99,271	98,457	99,011	98,492	99,585	99,019	99,161	98,554	98,427	98,383
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493
As	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
Ag	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
S	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316
Mn	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Cu	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
Zn	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 8 : Résultats des analyses des chalcopyrites à la microsonde électronique (suite)

	SL-A,4,cpy2	SL-A,4,cpy3	SL-A,5,cpy1	SL-A,5,cpy2	SL-A,5,cpy3	SL-A,5,cpy4	SL-A,7,cpy1	SL-A,7,cpy2	SL-A,8,cpy1	SL-A,8,cpy2
% poids										
Fe	29,535	29,540	29,570	29,359	29,743	29,750	29,477	29,359	29,400	29,098
As	0,013	0,042	0,014	0,002	0,025	0,057	0,037	0,001	0,000	0,016
Ag	0,000	0,014	0,006	0,020	0,015	0,016	0,000	0,028	0,029	0,036
S	34,859	34,954	34,763	34,796	34,957	34,789	34,952	34,638	34,689	34,847
Mn	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,006	0,004	0,006	0,007	0,000
Cu	34,843	34,414	34,214	34,678	34,839	34,216	34,793	34,360	34,659	34,186
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029	0,013	0,000	0,044	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,006	0,008	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000
Ni	0,005	0,006	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	99,255	98,972	98,585	98,870	99,587	98,877	99,276	98,412	98,828	98,183
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493
As	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
Ag	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
S	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316
Mn	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Cu	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
Zn	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 8 : Résultats des analyses des chalcopyrites à la microsonde électronique (suite)

	SL-A,9,cpy1	SL-B,1,cpy1	SL-B,1,cpy2	SL-B,3,cpy1	SL-B,3,cpy2	SL-C,1,cpy1	SL-C,1,cpy2	SL-C,2,cpy1	SL-C,2,cpy2	SL-C,7,cpy1
% poids										
Fe	29,459	29,678	29,687	29,501	34,800	29,569	29,384	29,367	29,157	29,375
As	0,040	0,032	0,049	0,026	0,135	0,032	0,002	0,032	0,017	0,018
Ag	0,000	0,029	0,044	0,024	0,026	0,029	0,046	0,017	0,022	0,028
S	34,726	34,861	34,792	34,867	41,560	35,211	35,016	34,976	35,064	34,930
Mn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000	0,003	0,011
Cu	34,399	34,414	34,217	34,398	19,666	34,762	34,238	34,305	34,285	34,573
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,007	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,001	0,000	0,000	0,062	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,018	0,014	0,000	0,000	0,000	0,029	0,000	0,171	0,031
Au	0,091	0,000	0,040	0,006	0,019	0,000	0,040	0,000	0,000	0,030
Ni	0,003	0,002	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	98,719	99,035	98,843	98,825	96,271	99,612	98,769	98,698	98,726	98,996
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493
As	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
Ag	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
S	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316
Mn	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Cu	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
Zn	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 8 : Résultats des analyses des chalcopyrites à la microsonde électronique (suite)

	SL-C,7,cpy2	SL-C,7,cpy3	SL-C,9,cpy1	SL-C,9,cpy2	SL-C,9,cpy3	SL-D,2cpy1	SL-E,1,cpy1	SL-E,1,cpy2	SL-E,3,cpy1	SL-E,3,cpy2
% poids										
Fe	29,696	26,471	23,299	28,062	29,897	29,756	29,827	29,659	29,469	30,094
As	0,000	0,000	0,046	0,002	0,039	0,049	0,020	0,077	0,020	0,037
Ag	0,023	0,000	0,000	0,025	0,027	0,006	0,020	0,002	0,021	0,003
S	35,089	35,102	34,442	35,155	35,433	35,064	34,928	34,938	35,142	35,048
Mn	0,000	0,006	0,011	0,004	0,000	0,005	0,000	0,001	0,000	0,004
Cu	34,656	31,842	27,367	33,206	34,586	34,469	34,180	34,453	34,775	34,465
Sb	0,007	0,006	0,020	0,017	0,012	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	5,830	13,501	2,446	0,146	0,000	0,000	0,000	0,003	0,014
Au	0,020	0,000	0,000	0,000	0,075	0,000	0,000	0,066	0,038	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,006	0,006	0,085	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	99,497	99,263	98,781	98,930	100,215	99,360	98,975	99,196	99,468	99,665
Valeurs recalculées sur un total de 100										
Fe	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493
As	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
Ag	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
S	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316
Mn	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Cu	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
Zn	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

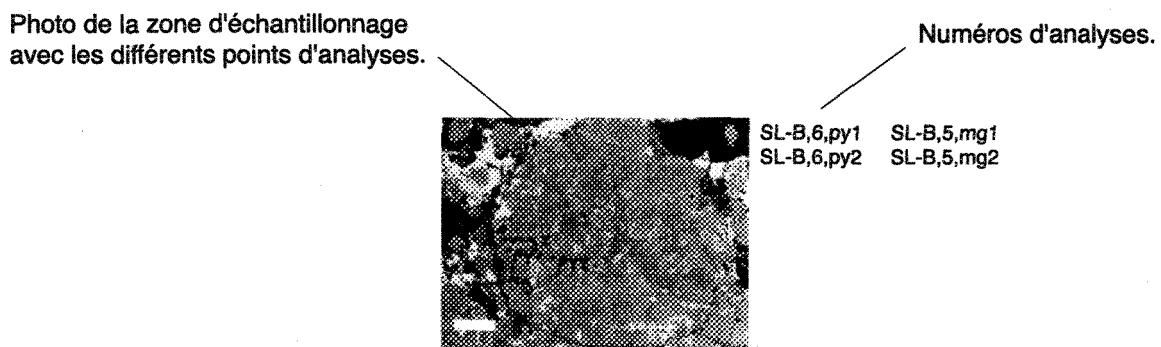
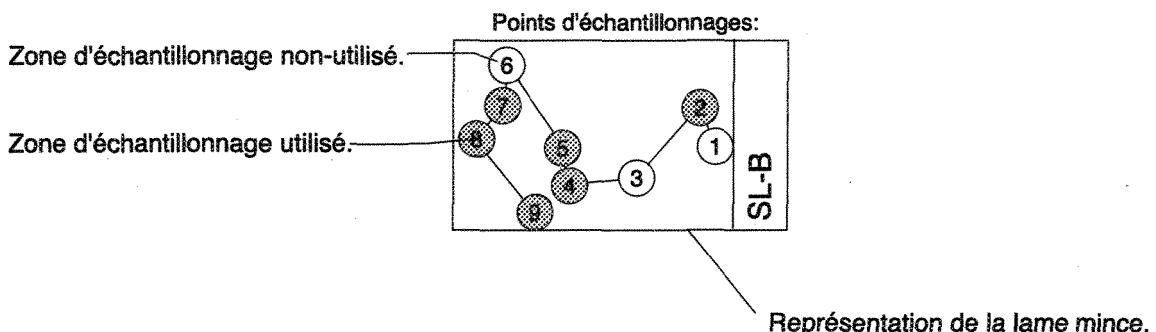
Annexe 8 : Résultats des analyses des chalcopyrites à la microsonde électronique (suite)

	SL-E,5,cpy1	SL-E,5,cpy2	SL-E,6,cpy1	1081-B1,2,cpy1	1081-B1,2,cpy2	1081-B1,6,cpy1	1081-B1,6,cpy2	1080-A3,1,cpy1	1080-A3,1,cpy2
% poids									
Fe	29,558	29,635	29,750	29,462	29,291	29,417	29,544	29,159	29,853
As	0,056	0,020	0,022	0,039	0,022	0,036	0,070	0,021	0,022
Ag	0,020	0,010	0,027	0,040	0,030	0,006	0,001	0,158	0,090
S	35,070	35,162	35,189	35,411	35,361	35,218	35,424	35,053	35,467
Mn	0,000	0,000	0,000	0,002	0,010	0,007	0,000	0,006	0,007
Cu	34,181	34,582	34,880	34,985	34,584	34,262	34,588	35,022	34,051
Sb	0,012	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,099	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000
Au	0,008	0,014	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,056	0,058
Ni	0,006	0,005	0,006	0,001	0,002	0,007	0,006	0,002	0,002
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,020	0,000	0,032
Total	98,911	99,527	99,874	99,961	99,308	98,953	99,653	99,482	99,590
Valeurs recalculées sur un total de 100									
Fe	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493	46,493
As	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
Ag	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
S	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316	53,316
Mn	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Cu	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
Zn	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 9 - Résultats des analyses d'éléments majeurs des roches platoniques

No Terrain	97SL-1007-A	97SL-1023-A	97SL-1039-A	97SL-1043-A	97SL-1056-A	97SL-1062-A	97SL-1065-A	97SL-1069-A	97SL-1082-A	97SL-AR-1	97SL-AR-46	97SL-BO-5
MRNQ No	1997-14220	1997-14237	1997-14224	1997-14226	1997-14229	1997-14231	1997-14232	1997-14235	1997-14239	1997-14208	1997-14218	1997-14256
Lithologie	I2J	I2J	I2J	I2J	I1	I2F	I2J	I2F	I2J	I1 FP	I1 FP	I3 FP
UTM83 Nord	5327060	5328190	5328030	5328235	5326995	5325810	5326350	5327670	5327450	5327300	5327770	5328110
UTM83 Est	297900	298265	298245	298445	296965	297925	297655	298425	298275	297150	297180	298405
SNRC	32C04	32C04	32C04	32C04								
%												
SiO ₂	48,30	56,10	64,40	63,00	48,20	45,80	51,10	57,10	52,80	60,40	56,60	52,40
TiO ₂	1,15	0,97	0,71	1,48	2,62	1,41	1,07	0,58	0,49	0,31	0,83	0,94
Al ₂ O ₃	14,60	16,80	18,00	14,20	13,80	16,10	14,70	20,20	20,50	16,60	17,90	19,00
Fe ₂ O _{3t}	10,90	8,09	3,50	7,82	14,30	11,20	9,47	4,90	7,59	3,15	7,14	8,31
MnO	0,22	0,15	0,05	0,10	0,22	0,30	0,22	0,08	0,10	0,05	0,07	0,16
MgO	6,26	3,88	1,44	3,26	1,80	6,21	7,00	1,55	6,25	2,70	3,29	3,60
CaO	15,00	5,93	4,20	3,61	9,10	14,60	12,00	4,37	4,25	4,92	5,54	9,00
Na ₂ O	2,30	6,52	4,19	3,02	3,95	1,66	2,84	5,39	4,49	4,22	4,50	1,35
K ₂ O	0,19	0,37	2,22	1,97	0,07	1,00	0,44	4,32	0,37	1,72	0,55	3,40
P ₂ O ₅	0,06	0,19	0,24	0,28	0,18	0,09	0,04	0,39	0,07	0,11	0,26	0,13
PAF	1,18	0,99	1,17	1,38	6,09	1,60	1,15	1,19	3,28	5,45	2,84	1,87
Total	100,16	99,99	100,12	100,12	100,33	99,97	100,03	100,07	100,19	99,63	99,52	100,16
ppm												
Rb	4	9	59	77	3	45	17	100	14	45	12	86
Ba	35	106	557	661	33	133	54	1100	168	650	454	522
Sr	114	164	229	377	107	192	121	1500	355	387	326	298
U	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,9	0,2	0,4	0,6	0,5
Nb	3	5	7	7	4	3	3	5	3	3	8	4
Zr	52	97	206	273	119	50	50	151	55	83	138	136
Y	22	23	31	43	32	19	21	20	13	6	17	29
V	338	224	74	232	361	394	326	52	146	41	107	180
Co	42	31	10	17	27	49	46	9	16	11	24	26
Cr	35	98	59	20	20	290	313	20	25	95	38	143
Ni	54	32	10	6	5	111	75	1	33	39	35	66

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (légende).



Exemple du code des analyses individuelles: SL-B,6,py1

SL-B = Lame SL-B

6 = zone d'échantillonage 6

py1 = premier point analyse de pyrite pour cette zone

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique.

Échantillon : **SL-A**

Lithologie : Sulfures massifs

Description :

83% Pyrite idiomorphe, petits cristaux bien développés associés avec la gangue, la chalcopyrite et la sphalérite.

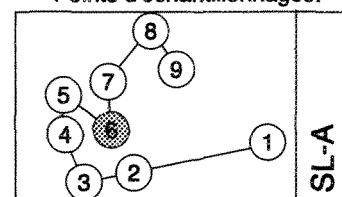
15% Chalcopyrite présente principalement en veinules dans la pyrite. Rarement associée avec la gangue. Par endroits remplacée par la sphalérite.

>1% Sphalérite avec inclusions résiduelles de chalcopyrite. Rare sphalérite avec la gangue, présente principalement dans les veinules à forte concentration de chalcopyrite.

>1% de gangue chloriteuse.

En général l'échantillon est moyennement recristallisé.

Points d'échantillonnages:



Analyses		Analyses	
SL-A,1,cpy1	SL-A,1,cpy2	SL-A,5,cpy1	SL-A,5,cpy1
SL-A,2,cpy1	SL-A,2,cpy1	SL-A,5,cpy2	SL-A,5,cpy2
SL-A,2,cpy2	SL-A,2,cpy2	SL-A,5,cpy3	SL-A,5,cpy3
SL-A,2,cpy3	SL-A,2,cpy3	SL-A,5,cpy4	SL-A,5,cpy4
SL-A,2,cpy4		SL-A,5,cpy5	
SL-A,2,cpy5		SL-A,5,cpy6	
SL-A,2,cpy6		SL-A,5,cpy7	
		SL-A,5,cpy8	
SL-A,3,cpy1	SL-A,3,cpy1	SL-A,7,cpy1	SL-A,7,cpy1
SL-A,3,cpy2	SL-A,3,cpy2	SL-A,7,cpy2	SL-A,7,cpy2
SL-A,3,cpy3	SL-A,3,cpy3	SL-A,7,sp1	
SL-A,3,cpy4	SL-A,3,cpy4	SL-A,7,sp2	
SL-A,3,cpy5			
SL-A,3,cpy6			
SL-A,3,cpy7			
SL-A,4,cpy1	SL-A,4,cpy1	SL-A,8,cpy1	SL-A,8,cpy1
SL-A,4,cpy2	SL-A,4,cpy2	SL-A,8,cpy2	SL-A,8,cpy2
SL-A,4,cpy3	SL-A,4,cpy3	SL-A,8,cpy3	
SL-A,4,sp1		SL-A,8,sp1	
		SL-A,9,cpy1	SL-A,9,cpy1
		SL-A,9,cpy2	
		SL-A,9,sp1	
		SL-A,9,sp2	
		SL-A,9,sp3	

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (suite).

Échantillon : **SL-B**

Lithologie : Sulfures massifs

Description :

75% Pyrite à texture fine, peu de gros cristaux idiomorphes. Textures primaires framboidale et radiée associées avec la chalcopyrite. Beaucoup d'inclusions de magnétite et de chalcopyrite. Certains cristaux ont des surcroissances.

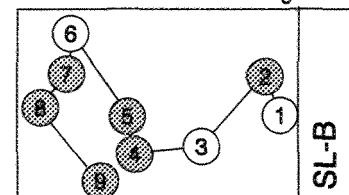
7% Chalcopyrite intersticielle à la pyrite et associée parfois avec la magnétite.

7% Magnétite principalement résiduelle dans la gangue.

>1% de gangue chloriteuse et siliceuse.

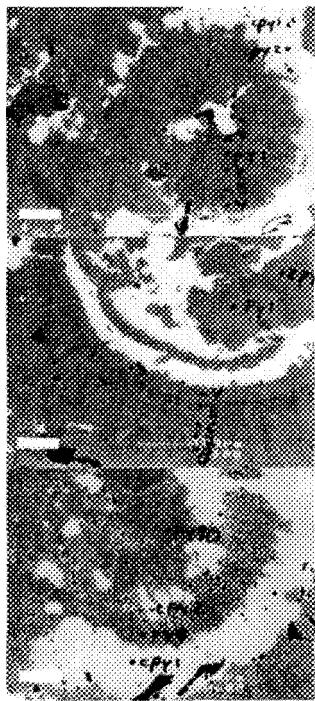
Peu recristallisé, quelques textures primaires colloformes encore visibles.

Points d'échantillonnages:



Analyses

SL-B,1,py1 SL-B,1,cpy1
 SL-B,1,py2 SL-B,1,cpy2
 SL-B,1,py3
 SL-B,1,py4



SL-B,3,py1
 SL-B,3,py2
 SL-B,3,py3
 SL-B,3,py4
 SL-B,3,py5
 SL-B,3,py6
 SL-B,3,py7
 SL-B,3,py8

SL-B,3,py9 SL-B,3,cpy1
 SL-B,3,py10 SL-B,3,cpy2

Analyses

SL-B,6,py1 SL-B,5,mg1
 SL-B,6,py2 SL-B,5,mg2



SL-B,8
 Texture colloforme mise en évidence par différentes compositions (cpy et py).

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (suite).

Échantillon : **SL-C**

Lithologie : Sulfures massifs

Description :

60% Pyrite idiomorphe, cristaux moyens. Inclusions de chalcopyrite, de sphalérite et de pyrrhotite.

15% Sphalérite abondante inclusions de chalcopyrite et pyrrhotite. Associée avec tous les autres sulfures dans les interstices de pyrite.

12% Chalcopyrite dans les interstices de pyrite et en exsolution dans la sphalérite.

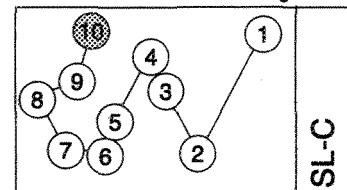
5% Pyrrhotite principalement associée avec la pyrite et sphalérite.

8% de gangue chloriteuse.

Recristallisation moyenne à forte avec des joints à 120°.

Beaucoup de gangue et quatre sulfures différents.

Points d'échantillonnages:



SL-C

Analyses

SL-C,5,sp1
SL-C,5,sp2
SL-C,5,sp3
SL-C,5,sp4
SL-C,5,sp5
SL-C,5,sp6



Analyses

SL-C,1,py1 SL-C,1,sp1
SL-C,1,py2 SL-C,1,sp2
SL-C,1,cpy1 SL-C,1,sp3
SL-C,1,cpy2 SL-C,1,sp4



SL-C,6,sp1 SL-C,6,py1
SL-C,6,sp2 SL-C,6,py2
SL-C,6,sp3 SL-C,6,po1
SL-C,6,sp4 SL-C,6,po2
SL-C,6,sp5 SL-C,6,sp6



SL-C,2,py1 SL-C,2,cpy1
SL-C,2,py2 SL-C,2,cpy2
SL-C,2,py3 SL-C,2,sp1
SL-C,2,py4 SL-C,2,sp2
SL-C,2,po1 SL-C,2,sp3
SL-C,2,po2 SL-C,2,sp4
SL-C,2,po2 SL-C,2,sp5



SL-C,7,sp1 SL-C,7,cpy1
SL-C,7,sp2 SL-C,7,cpy2
SL-C,7,sp3 SL-C,7,cpy3
SL-C,7,sp4 SL-C,7,sp5
SL-C,7,sp6 SL-C,7,sp7



SL-C,3,sp1
SL-C,3,sp2
SL-C,3,sp3



SL-C,8,sp1 SL-C,8,sp6
SL-C,8,sp2 SL-C,8,sp7
SL-C,8,sp3 SL-C,8,sp8
SL-C,8,sp4 SL-C,8,sp9
SL-C,8,sp5



SL-C,4,py1 SL-C,4,sp1
SL-C,4,py2 SL-C,4,sp2
SL-C,4,py3 SL-C,4,sp3



SL-C,9,sp1 SL-C,9,cpy1
SL-C,9,sp2 SL-C,9,cpy2
SL-C,9,sp3 SL-C,9,cpy3
SL-C,9,sp4 SL-C,9,sp5
SL-C,9,sp6 SL-C,9,sp7
SL-C,9,sp7 SL-C,9,sp8
SL-C,9,sp8 SL-C,9,sp9



Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (suite).

Échantillon : **SL-D**

Lithologie : Sulfures massifs

Description :

84% Pyrite cristaux idiomorphes associée avec la chalcopyrite, texture colloïforme circulaire avec fine bordure dentelée. Texture framboidale.

10% Chalcopyrite intersticielle à la pyrite.

5% Magnétite, principal sulfure associé avec la gangue.

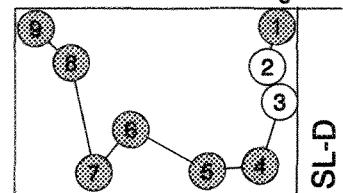
1% Pyrrhotite principalement dans les veinules de chalcopyrite.

Traces de sphalérite.

Traces d'or associé avec de la sphalérite grain de 10 μm .

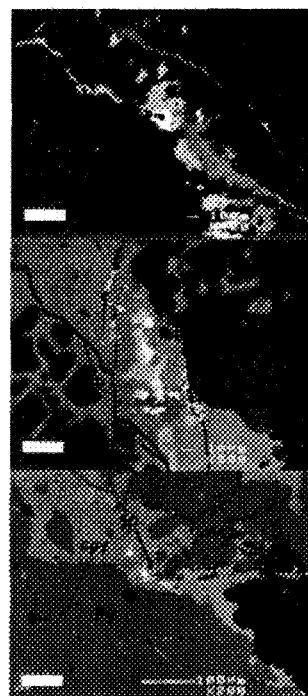
Peu recristallisé textures colloïformes conservées.

Points d'échantillonnages:



Métaux précieux

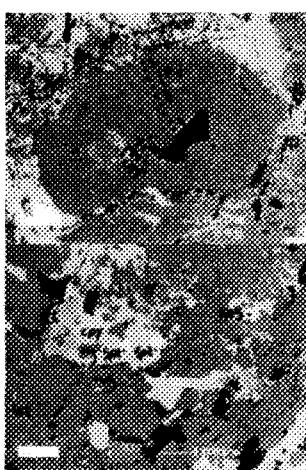
SL-D,2
Trace d'alliage Cu-Ag-As en blanc.



SL-D,2
Au natif en blanc accolé sur des sphalérites en gris plus pâle.

SL-D,5
Au natif en blanc accolé sur des sphalérites en gris plus pâle.

Analyses



SL-D,2,py1 SL-D,2,po1
SL-D,2,py2 SL-D,2,cpy1
SL-D,2,py3
SL-D,2,py4
SL-D,2,py5
SL-D,2,py6
SL-D,2,py7
SL-D,2,py8
SL-D,2,py9
SL-D,2,py10

SL-D,3,sp1
SL-D,3,sp2
SL-D,3,sp3

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (suite).

Échantillon : SL-E

Lithologie : Sulfures massifs

Description :

50% Gangue, principalement du quartz.

88% Gangue, phi.
27% Chalcopyrite

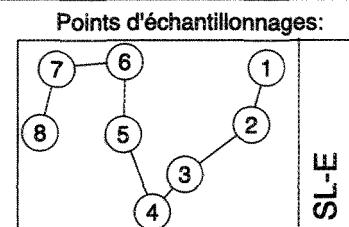
20% Pyrite en gros cristaux idiomorphes hexagonaux dans les piages de chalcopyrite.

3% Pyrrhotite xénomorphe seulement dans la chalcopyrite, absente de la gangue.

Traces de sphalérite.

Recristallisation moyenne à forte.

Beaucoup de gangue et quatres sulfures différents.



Analyses

SL-E,1,py1 SL-E,1,cpy1
SL-E,1,py2 SL-E,1,cpy2

SL-E,2,py1 SL-E,2,sp1
SL-E,2,py2 SL-E,2,sp2

SL-E,3,py1 SL-E,3,cpy1
SL-E,3,py2 SL-E,3,cpy2

SL-E.4,py1 SL-E.4,sp1
SL-E.4,qa1 SL-E.4,sp2

Analyses

SL-E,5,py1 SL-E,5,cpy1
SL-E,5,py2 SL-E,5,cpy2

SL-E,6.py1 SL-E,6,cpy1
SL-E,6.py2
SL-E,6.po1
SL-E,6.po2

SL-E,7,sp1 SL-E,7,py1
SL-E,7,sp2

SL-E,8,cl1 SL-E,8,py2
SL-E,8,cl2 SL-E,8,py1

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (suite).

Échantillon : SL-F

Lithologie : Sulfures massifs

Description :

40% Sphalérite

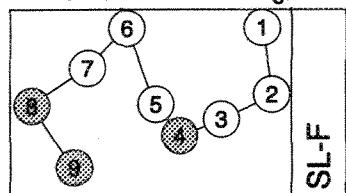
27% Pyrite idiomorphe.

<10% Chlorite.

<10% Matrice quartzo-feldspathique.

Traces de magnétite.

Points d'échantillonnages:



Analyses



SL-F,1,sp1 SL-F,1,mg1

SL-F,1,sp2 SL-F,1,py1

SL-F,1,sp3 SL-F,1,py2

SL-F,1,ch1

SL-F,1,ch2

SL-F,2,sp1 SL-F,2,mg1

SL-F,2,sp2 SL-F,2,mg2

SL-F,2,ch1 SL-F,2,py1

SL-F,2,ch2

SL-F,3,mg1
SL-F,3,sp1

Analyses



SL-F,5,sp1 SL-F,5,mg1

SL-F,5,sp2 SL-F,5,po1

SL-F,5,sp3 SL-F,5,py1

SL-F,5,sp4

SL-F,6,sp1 SL-F,6,py1

SL-F,6,sp2 SL-F,6,ch1

SL-F,6,sp3 SL-F,6,ch2

SL-F,6,sp4 SL-F,6,ch3

SL-F,7,sp1
SL-F,7,sp2

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (suite).

Échantillon : 97-SL-1029-A

Lithologie : Rhyolite

Description :

45% Quartz-feldspath recristallisés avec inclusions de séricite. Forme la majorité de la roche. Quelques veinules de quartz.

20% Épidote groupement en cristaux $<65\mu$ gloméroporphyrque de zoisite et dans les fractures secondaires. Cristaux plus petits avec fort relief associés avec les carbonates et la séricite. Noirâtre en lumière naturelle et bleu vif en lumière polarisée.

20% Chlorite présente surtout dans les veinules avec une forte bi-réfringence bleue (ferrifère).

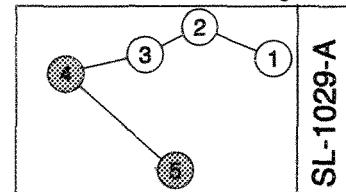
10% Séricite petit cristaux automorphes associés plus particulièrement avec l'épidote.

5% Leucoxène en amas dispersés.

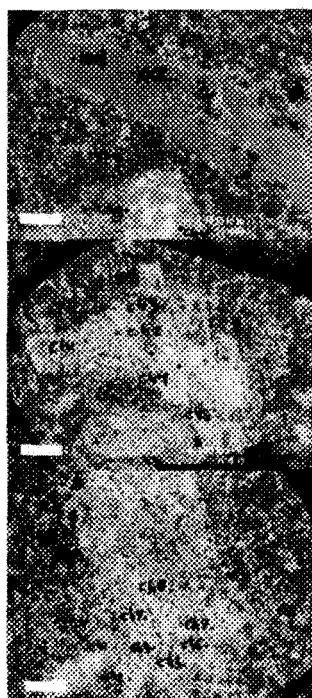
Traces de carbonate.

Très faible granulométrie, microcristallin difficile à cibler à la microsonde à l'exception de la chlorite dans les veinules.

Points d'échantillonnages:



Analyses



SL-1029-A,1,ch1
SL-1029-A,1,ep1
SL-1029-A,1,ep2

SL-1029-A,2,ep1
SL-1029-A,2,ep2
SL-1029-A,2,ep3
SL-1029-A,2,ep4
SL-1029-A,2,ep5

SL-1029-A,3,ep1
SL-1029-A,3,ep2
SL-1029-A,3,ep3
SL-1029-A,3,ch2
SL-1029-A,3,ch3
SL-1029-A,3,ch4
SL-1029-A,3,ch7

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (suite).

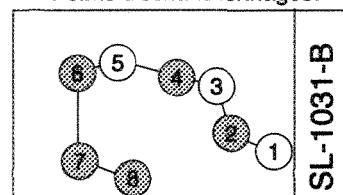
Échantillon : 97-SL-1031-B

Lithologie : Brèche hydrothermale

Description :

Brèche hydrothermale discordante sous le gisement. Fragment beige anguleux de 1 à 200 mm flottant dans une matrice verte.

Points d'échantillonnages:



Fragments:

75% Épidote, amas globuleux recouvrant toute la minéralogie. En sont exempt seulement quelques plages de quartz. Avec traces de leucoxène en surface des cristaux.

10% Actinolite en phénocristaux associés avec des carbonates. Surtout située au cœur des fragments beiges.

10% Carbonate.

3% Hornblende.

2% Quartz.

Traces de biotite.

L'épidotisation des fragments se surimpose sur une carbonatisation des fragments. La marge est épidotisée alors que le centre est carbonatisé. Vestiges de phénocristaux de hornblende encore visibles dans certains fragments.

Matrice:

55% Actinolite.

15% Épidote.

15% Quartz.

10% Carbonate.

5% Hornblende.

Traces de biotite.

Analyses

SL-1031-B,1,ep1

- SL-1031-B,3,ep1
- SL-1031-B,3,ep2
- SL-1031-B,3,ep3

- SL-1031-B,5,ep1
- SL-1031-B,5,ep3

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (suite).

Échantillon : 97-SL-1077-C

Lithologie : Andésite

Description :

75% Épidote en grande plage, remplace le carbonate et le quartz.

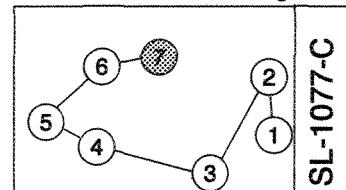
20% Carbonate à fort clivage.

5% Quartz.

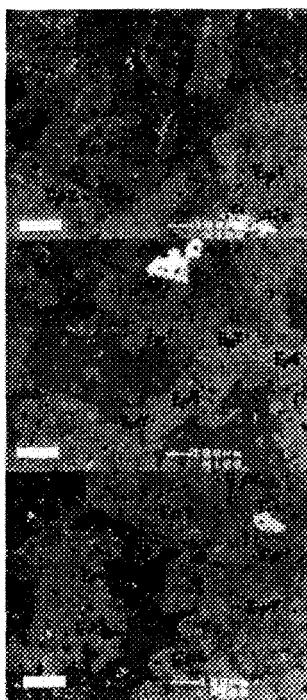
<1% Sphène en cristaux idiomorphes.

Traces de sphalérite.

Points d'échantillonnages:



Analyses

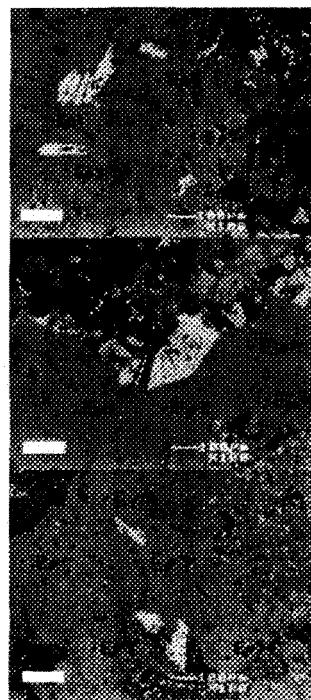


SL-1077-C,1,ep1
 SL-1077-C,1,ep2
 SL-1077-C,1,ep3
 SL-1077-C,1,ep4
 SL-1077-C,1,ti1
 SL-1077-C,1,ti2

SL-1077-C,2,ep1
 SL-1077-C,2,ep2
 SL-1077-C,2,ep3
 SL-1077-C,2,ep4
 SL-1077-C,2,ep5
 SL-1077-C,2,sp1
 SL-1077-C,2,sp2

SL-1077-C,3,ep1
 SL-1077-C,3,ep2
 SL-1077-C,3,ep3
 SL-1077-C,3,ep4
 SL-1077-C,3,ep5
 SL-1077-C,3,ep6
 SL-1077-C,3,ep7
 SL-1077-C,3,ti1

Analyses



SL-1077-C,4,ep2
 SL-1077-C,4,ep3
 SL-1077-C,4,ep4
 SL-1077-C,4,ep5

SL-1077-C,5,ep1
 SL-1077-C,5,ep2
 SL-1077-C,5,ep3
 SL-1077-C,5,ep4

SL-1077-C,6,ep1
 SL-1077-C,6,ep2
 SL-1077-C,6,ep3
 SL-1077-C,6,ep4
 SL-1077-C,6,ep5

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (suite).

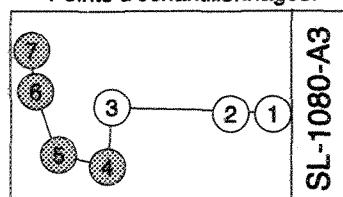
Échantillon : 97-SL-1080-A3

Lithologie : Rhyolite avec sulfures disséminés

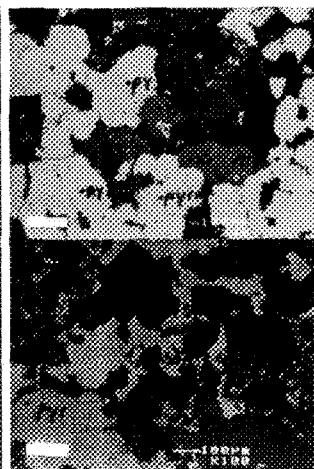
Description :

70% Gangue quartzo-feldspathique et séricite.
 20% Pyrite idiomorphe à texture cubique.
 9% Chalcopyrite.
 1% Sphalérite.

Points d'échantillonnages:



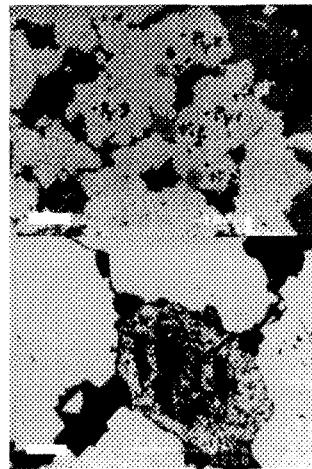
Analyses



SL-1080-A3,1,cpy1
 SL-1080-A3,1,cpy2
 SL-1080-A3,1,py1
 SL-1080-A3,1,py2
 SL-1080-A3,1,py3

SL-1080-A3,2,py1
 SL-1080-A3,2,py2
 SL-1080-A3,2,sp1

Analyses



SL-1080-A3,3,py1
 SL-1080-A3,3,py2
 SL-1080-A3,3,py3

Cristal d'oxyde de titane
 avec centre zoné.

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (suite).

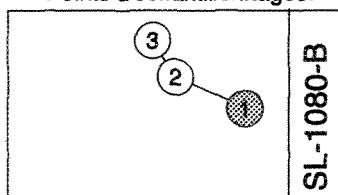
Échantillon : 97-SL-1080-B

Lithologie : Rhyolite

Description :

70% Séricite et quartz-feldspath, matrice fine jaune-vertâtre à incolore.
 10% Chlorite magnésienne brune en lumière polarisée.
 10% Quartz associé avec chlorite.
 10% Épidote en cristaux bien formés généralement isolés les uns des autres.

Points d'échantillonnages:



Roche altérée, matrice originale occultée par le mélange quartz-séricite.
 Quelques veinules de quartz parallèles à la schistosité.

Analyses



SL-1080-B,2,ch1
 SL-1080-B,2,ch2
 SL-1080-B,2,ch3
 SL-1080-B,2,ch4
 SL-1080-B,2,ch5
 SL-1080-B,2,ch6

SL-1080-B,3,ch1
 SL-1080-B,3,ch2
 SL-1080-B,3,ch3
 SL-1080-B,3,ch4
 SL-1080-B,3,ch5
 SL-1080-B,3,ch6
 SL-1080-B,3,ch8
 SL-1080-B,3,py1

Annexe 10 - Description des échantillons analysés à la microsonde électronique (suite).

Échantillon : 97-SL-1081-B1

Lithologie : Rhyolite avec sulfures disséminés

Description :

50% Matrice fine de quartz-feldspath.

25% Épidote en cristaux isolés toujours près des sulfures.

15% Chlorite verte en îlots.

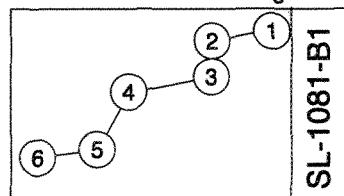
10% Pyrite

Traces de chalcopyrite.

Traces de sphalérite.

Traces de sphène ou de leucoxène.

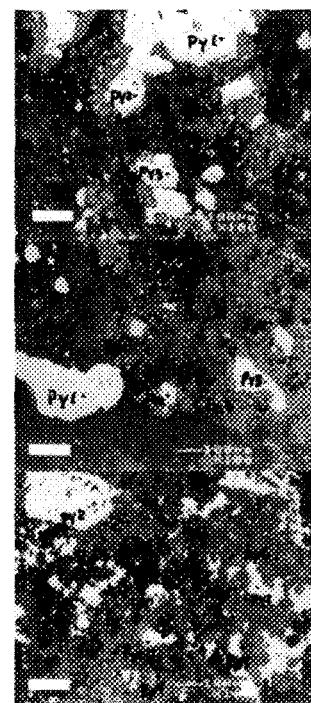
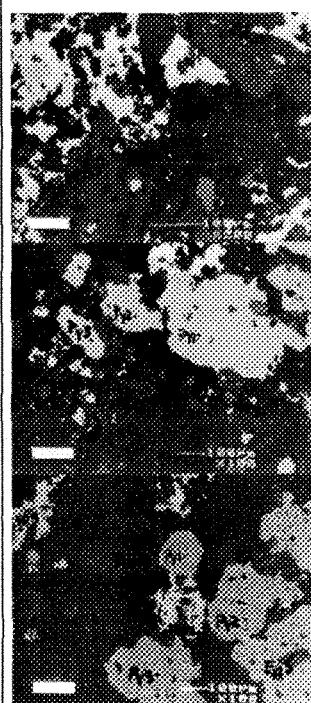
Points d'échantillonnages:



Analyses

SL-1081-B1,1,py1
SL-1081-B1,1,ep4SL-1081-B1,2,py1
SL-1081-B1,2,py2
SL-1081-B1,2,py3
SL-1081-B1,2,cpy1
SL-1081-B1,2,cpy2SL-1081-B1,3,py1
SL-1081-B1,3,py2
SL-1081-B1,3,py3
SL-1081-B1,3,sp1
SL-1081-B1,3,sp2
SL-1081-B1,3,sp3
SL-1081-B1,3,ep1
SL-1081-B1,3,ep3

Analyses

SL-1081-B1,4,py1
SL-1081-B1,4,py2
SL-1081-B1,4,py3
SL-1081-B1,4,ep1
SL-1081-B1,4,ep3
SL-1081-B1,4,ch1SL-1081-B1,5,py1
SL-1081-B1,5,py2
SL-1081-B1,5,py3
SL-1081-B1,5,ep1
SL-1081-B1,5,ep2
SL-1081-B1,5,ep3
SL-1081-B1,5,ep4SL-1081-B1,6,py1
SL-1081-B1,6,py2
SL-1081-B1,6,cpy1
SL-1081-B1,6,cpy2
SL-1081-B1,6,ep1
SL-1081-B1,6,ep2
SL-1081-B1,6,ep3
SL-1081-B1,6,ep4
SL-1081-B1,6,ep5
SL-1081-B1,6,ep6

Annexe 11 - Résultats de la coloration des échantillons altérés.

Échantillon	Description sommaire	Résultat de coloration
97-SL-1031-B	Tuf à bloc à fragments anguleux. Les fragments sont beiges et flottent dans une matrice verte.	Partie centrale des fragments picotée bleu foncé.
97-SL-1036-A	Lave felsique massive avec amygdales de quartz et une veine blanche.	Pas de coloration.
97-SL-1055-C1	Tuf à bloc de composition intermédiaire. Veine blanche.	Fractures légèrement colorées rouges.
97-SL-1055-C2	Tuf à bloc de composition intermédiaire. Altération en carbonate de couleur rose.	Réseau de veines violettes et grandes plages bleu foncé. Amygdales bleu foncé.
97-SL-1057-B2	Tuf à lapilli de composition intermédiaire.	Amygdales bleu foncé et petites taches partout dans la matrice.
97-SL-1081-B1	Lave felsique massive avec un peu de minéralisation de pyrite.	Petite fracture rouge et trace de scie bleue.
97-SL-1081-C3	Lave felsique massive.	Pas de coloration.
97-SL-1086-A	Lave felsique très altérée.	Pas de coloration.
97-SL-1086-A1	Lave felsique très altérée.	Croûte d'altération blanche tachée bleue pale.