

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

MOULAY EL MUSTAPHA / MEKKAOUI ALAOUI

CARACTÉRISATION GÉOCHIMIQUE,
PÉTROLOGIQUE ET MÉTALLOGÉNIQUE DU
GISEMENT DE SULFURES MASSIFS VOLCANOGÈNES
ANSIL.

JUIN 1996



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 gisement Ansil est situé dans le camp minier de Rouyn-Noranda à 11 km de la ville de Rouyn-Noranda. Le dépôt est constitué d'une seule lentille formée par deux renflements de sulfures qui occupent les deux extrémités est et ouest du gisement. Cette lentille est située en contact de la rhyolite Northwest et de l'andésite Rusty-Ridge. Ces deux unités font partie du Groupe de Blake River, qui se trouve dans la zone volcanique sud de l'Abitibi.

L'objectif principal de cette étude est de caractériser les séquences volcaniques encaissantes de ce gisement sur le plan des variations pétrographiques et géochimiques. Ces variations sont associées à la minéralisation par le biais des phénomènes d'altération typiques reliés aux fluides minéralisateurs. Ce travail se fera à partir d'un nombre restreint d'échantillons.

L'étude pétrographique de deux trous de forages provenant de la propriété d'Ansil nous a permis d'observer une zonation pétrographique au niveau de la rhyolite Northwest. Cette zonation est caractérisée par: 1) une zone distale avec l'assemblage séricite-chlorite, 2) une zone intermédiaire avec l'assemblage chlorite-carbonates et 3) une zone proximale avec l'assemblage chlorite. Le toit a également été affecté par l'altération en provoquant aussi des changements minéralogiques, mais un seul assemblage a été décelé, il s'agit de l'assemblage chlorite+séricite+quartz±carbonates.

Le traitement des données géochimiques, soit pour les échantillons les moins altérés de la littérature, soit pour les éléments traces ou les éléments de terres rares de la présente étude, a révélé une affinité tholéiitique à transitionnelle pour les roches encaissantes du gisement Ansil. Les transformations chimiques sont caractérisées par un enrichissement en $\text{FeO} \pm \text{MgO}$ et K_2O et un appauvrissement en Na_2O et CaO . Toutefois, l'altération affectant la rhyolite Northwest est un peu plus intense que celle affectant l'andésite Rusty-Ridge.

Les patrons d'altération du gisement Ansil sont identiques à ceux des gisements Cu-Zn volcanogènes, notamment ceux de la région de Matagami et Rouyn-Noranda, ce qui laisse suggérer que les processus hydrothermaux étaient semblables.

ABSTRACT

The Ansil deposit is located 11 km from the city of Rouyn-Noranda, in the Rouyn-Noranda mining camp. The deposit is a single lens of sulfides with two bulges located at the east and west ends of the deposit. This lens lies along the contact between the Northwest rhyolite and the Rusty-Ridge andesite. These two units are part of the Blake River Group, in the south Abitibi volcanic zone.

The main objective of this study is to characterize the petrographic and geochemical variations in the volcanic host-rock sequences of this deposit. These variations are related to the mineralization processes by means of typical alteration phenomena associated with mineralizing fluids. This has been done with a limited number of samples.

The petrographic study of two drilling holes from the Ansil property has allowed us to observe a petrographic zonation within the Northwest rhyolite. This zonation is characterized by: 1) a distal zone with a sericite-chlorite assemblage, 2) an intermediate zone with a chlorite-carbonate assemblage, and 3) a proximal zone with a chlorite assemblage. The hangingwall has been equally affected by the alteration processes producing mineralogical changes as well, though only one assemblage has been noticed: chlorite+sericite+quartz±carbonate.

Study of geochemical data, both from less-altered samples published in the literature and the trace elements used in the present study, has revealed a tholeiitic to transitional affinity for the rocks of the Ansil deposit. Chemical alteration are characterized by an enrichment in FeO±MgO and K₂O and a depletion in Na₂O and CaO. Nevertheless, the alteration in the Northwest rhyolite is slightly more intense than that of the Rusty-Ridge andesite.

Alteration trends of the Ansil deposit are identical to those of other Cu-Zn volcanogenic deposits, namely those of the Matagami and Rouyn-Noranda regions. This suggests that the hydrothermal processes were similar in all cases.

REMERCIEMENTS

J'aimerais exprimer toute ma reconnaissance aux professeurs qui ont formé mon comité de mémoire M. Jacques Carignan, M. Edward H. Chown et M. Pierre Cousineau pour leurs précieux conseils, leur disponibilité et leur lecture critique pour améliorer ce mémoire. Un gros merci également à la compagnie Minnova et plus particulièrement à M. Bernard Salmon qui nous a fourni les trous les trous de forages pour cette étude.

Je tiens à remercier le personnel du module de géologie particulièrement M. Denis Côté. Merci aussi aux techniciens: M. Y. Boudreault, M. R. Lechasseur, M. J. E. Villeneuve et M. C. Dallaire.

Je voudrais également remercier la Fondation de l'UQAC pour une bourse. Merci aussi au C.E.R.M pour son aide financière et merci aussi à l'association de deuxième et troisième cycle pour leur bourse.

Finalement, je voudrais rendre hommage à mes parents et à tout le reste de ma famille qui m'ont supporté financièrement car sans eux je ne serais jamais rendu où je suis présentement.

TABLES DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	i
ABSTRACT.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIÈRES	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES PLANCHES	xiii
CHAPITRE I.....	1
INTRODUCTION.....	1
I.1 Généralités.....	1
I.2 Localisation.....	4
I.3 Historique	4
I.4 Problématique.....	5
I.5 Objectifs	6
I.6 Méthodologie.....	7
CHAPITRE II.....	10
CADRE GÉOLOGIQUE	10
II.1 Géologie régionale.....	10

II.2 Géologie locale du gisement Ansil.....	15
CHAPITRE III.....	19
PÉTROGRAPHIE.....	19
III.1 Introduction	19
III.2 Caractéristiques générales des unités.....	20
III.2.1 Généralités	20
III.2.2 Les unités rhyolitiques et andésitiques.....	20
III.3 Description des unités.....	21
III.3.1 La rhyolite Northwest.....	21
La zone 1	
assemblage séricite-chlorite	21
La zone 2	
assemblage chlorite-carbonates.....	27
La zone 3	
assemblage chlorite	32
III.3.2 Analyse des chlorites de la rhyolite.....	32
III.3.3 L'andésite Rusty-Ridge.....	34
III.3.4 La minéralisation	43
III.4 Conclusions préliminaires de la pétrographie	50
CHAPITRE IV.....	52

GÉOCHIMIE	52
IV.1 Introduction	52
IV.2 Caractérisation des volcanites d'Ansil.....	53
IV.2.1 Les éléments majeurs	53
IV.2.2 Les éléments traces.....	58
IV.2.3 Les éléments de terres rares (ETR).....	59
IV.3 Effets de l'altération	67
IV.3.1 Généralités	67
IV.3.2 Éléments majeurs.....	67
IV.3.3 Éléments de terres rares (ETR)	76
IV.4 Étude de corrélation entre les éléments.....	79
IV.4.1 La rhyolite Northwest.....	81
IV.4.2 L'andésite Rusty-Ridge.....	86
IV.4.3 Changement de masse	86
IV.5 Géochimie de la minéralisation.....	94
Distribution et corrélation entre les éléments.....	99
IV.6 Conclusions préliminaires de la géochimie.....	102
CHAPITRE V	104
COMPARAISONS	104
V.1 Introduction	104

V.2 Pétrographie.....	105
V.3 Géochimie.....	107
CHAPITRE VI.....	112
DISCUSSION ET CONCLUSIONS.....	112
RÉFÉRENCES.....	120
Annexe 1: Journaux de sondages pour les trous de forages de la présente étude	132
Annexe 2: Tableaux des analyses chimiques des éléments majeurs et traces des échantillons frais de la rhyolite Northwest et de l'andésite de Rusty-Ridge du gisement Ansil (Cattalani <i>et al.</i> 1993a).....	136
Annexe 3: Tableaux des analyses chimiques des éléments majeurs et traces des échantillons altérés de la rhyolite Northwest et de l'andésite de Rusty-Ridge du gisement Ansil.	139
Annexe 4: Tableaux des analyses chimiques de la chlorite dans la rhyolite et l'andésite.....	142
Annexe 5: Tableaux des calculs de changement de masse pour la rhyolite et l'andésite.....	145
Annexe 6: Tableaux descriptifs de la pétrographie de la rhyolite Northwest et de l'andésite Rusty Ridge du gisement Ansil. Tableaux représentatifs des pourcentages des minéraux dans les échantillons de la rhyolite Northwest et de l'andésite Rusty-Ridge du gisement Ansil.....	148

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Résumé de la pétrographie des roches encaissantes du gisement Ansil de la présente étude	23
Tableau 2: Paragénèses minérales rencontrées dans les roches encaissantes du gisement Ansil	24
Tableau 3: Les valeurs du rapport Zr/Yb pour la rhyolite Northwest et l'andésite Rusty-Ridge du gisement Ansil de la présente étude	60
Tableau 4: Les valeurs du rapport La_N/Yb_N pour la rhyolite Northwest et l'andésite Rusty-Ridge du gisement Ansil de la présente étude	66
Tableau 5: Corrélation entre les éléments majeurs et certains éléments traces de la rhyolite.....	82
Tableau 6: Corrélation entre les éléments majeurs et certains éléments traces de l'andésite.....	87
Tableau 7: Tableaux des concentrations moyennes des analyses en éléments métalliques de la minéralisation	98
Tableau 8: Corrélation entre les éléments de la minéralisation du gisement Ansil.....	100
Tableau 9: Résumé de la comparaison entre le gisement Ansil et d'autres gisements de même type.....	106

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Coupe schématique stratigraphique à travers la caldeira de Noranda. Modifiée d'après Spence et de Rosen-Spence (1975).....	2
Figure 2: Diagramme idéalisé d'un gisement de sulfures massifs volcanogènes d'après Lydon (1984).....	3
Figure 3: Section géologique schématique du gisement Ansil (Section 46 570), montrant la localisation des deux trous de forages. Modifiée d'après Cattalani <i>et al.</i> (1993).....	8
Figure 4: Carte des ensembles de roches formant la ceinture de roches vertes d'Abitibi. Modifiée de Chown <i>et al.</i> (1992).....	12
Figure 5: Carte géologique du Groupe de Blake River. Modifiée de Hubert <i>et al.</i> (1984)	13
Figure 6: Section géologique schématique de la région d'Ansil Hill avec la localisation du gisement Ansil. Reproduit de Riverin <i>et al.</i> (1990). Coupe 46 590N- Vue vers le nord.	16
Figure 7: Schéma simplifié du gisement Ansil avec la représentation géographique théorique des trois zones d'altération dans la rhyolite.....	22
Figure 8: Diagramme de classification des chlorites de Hey (1954) pour les chlorites de la rhyolite Northwest.	35
Figure 9: Diagramme de classification des chlorites de Hey (1954) pour les chlorites de l'andésite Rusty-Ridge.	41
Figure 10: Diagramme montrant la relation binaire entre le rapport Fe/Mg de la roche totale et celui de la chlorite. Noter la relation positive qui existe entre ces rapports.....	42

Figure 11: Diagramme K ₂ O en fonction de SiO ₂ pour la classification détaillée des roches volcaniques (Peccerillo et Taylor 1976).....	55
Figure 12: Diagramme binaire TiO ₂ en fonction de Zr pour les échantillons altérés et moins altérés du gisement Ansil.	56
Figure 13: Diagramme AFM pour les roches les moins altérées et altérées de la rhyolite et de l'andésite.....	57
Figure 14: Histogramme de la répartition du rapport Zr/Yb de la rhyolite et de l'andésite d'Ansil de la présente étude.	61
Figure 15: Diagrammes Yb et La en fonction de Zr. Les distributions linéaires indiquent des degrés d'incompatibilités élevés pour ces éléments.	62
Figure 16: Profils des éléments des terres rares (ETR) de la rhyolite normalisés par rapport à la chondrite.....	64
Figure 17: Profils des éléments des terres rares (ETR) de l'andésite normalisés par rapport à la chondrite.....	65
Figure 18: Diagrammes binaires montrant la variation de CaO+Na ₂ O (%) vs. Fe ₂ O ₃ (%) dans: a) la rhyolite et b) l'andésite.....	69
Figure 19: Diagrammes binaires montrant la variation de CaO+Na ₂ O (%) vs. MgO (%) dans: a) la rhyolite et b) l'andésite.....	70
Figure 20: Diagrammes binaires montrant la variation de CaO+Na ₂ O (%) vs. Fe ₂ O ₃ +MgO (%) dans a) la rhyolite et b) l'andésite	71
Figure 21: Diagrammes binaires montrant la variation de SiO ₂ (%) vs. Fe ₂ O ₃ +MgO (%) dans a) la rhyolite et b) l'andésite.....	72
Figure 22: Diagrammes binaires montrant la variation de CaO+Na ₂ O (%) vs. K ₂ O (%) dans a) la rhyolite et b) l'andésite.....	73
Figure 23: Diagrammes ternaires des minéraux d'altération normatifs quartz-séricite-albite de: a) la rhyolite et b) l'andésite	75

- Figure 24: Diagrammes ternaires des minéraux d'altération normatifs albite-séricite-chlorite de: a) la rhyolite et b) l'andésite77
- Figure 25: Diagrammes ternaires des minéraux d'altération normatifs quartz-séricite-chlorite de: a) la rhyolite et b) l'andésite78
- Figure 26: Comparaison des profils des éléments des terres rares de la présente étude avec ceux de Cattalani *et al.* (1993a)80
- Figure 27: Diagrammes binaires montrant les relations qui existent entre: a) Fe₂O₃ vs. SiO₂, b) PAF vs. SiO₂, c) Na₂O vs. SiO₂ dans la rhyolite83
- Figure 28: Diagrammes binaires montrant les relations qui existent entre: a) PAF vs. Fe₂O₃, b) PAF vs. MnO, c) MgO vs. Fe₂O₃ dans la rhyolite.....84
- Figure 29: Diagrammes binaires montrant les relations qui existent entre: a) Rb vs. Ba, b) K₂O vs. Ba, c) K₂O vs. Rb dans la rhyolite85
- Figure 30: Diagramme binaire MgO vs. Fe₂O₃ dans l'andésite montrant la relation inversement proportionnelle entre ces deux éléments.88
- Figure 31: Diagramme schématique illustrant la méthode de calcul de changement de masse, avec des constituants mobiles et immobiles dans une roche non altérée et dans son équivalent altéré et la composition reconstituée (C.R). Modifié de MacLean (1990)91
- Figure 32: Diagramme de changement de masse schématique montrant les gains et les pertes de deux éléments A et B. L'intersection des lignes de zéro correspond à la composition de l'échantillon le moins altéré.....92
- Figure 33: Diagrammes de changements de masse pour: a) K₂O vs. Na₂O b) CaO vs. Na₂O de la rhyolite et de l'andésite. L'intersection des lignes de zéro correspond à la composition de l'échantillon le moins altéré93
- Figure 34: Diagrammes de changements de masse pour: a) CaO+Na₂O vs. Fe₂O₃+MgO et b) Na₂O vs. Fe₂O₃+MgO de la rhyolite et de l'andésite. L'intersection des lignes de zéro correspond à la composition de l'échantillon le

moins altéré.	95
Figure 35: Diagrammes de changements de masse pour: a) Fe_2O_3 vs. SiO_2 et b) MgO vs. SiO_2 de la rhyolite et de l'andésite. L'intersection des lignes de zéro correspond à la composition de l'échantillon le moins altéré.	96
Figure 36: Diagramme de changements de masse pour Rb vs. K_2O de la rhyolite et de l'andésite. L'intersection des lignes de zéro correspond à la composition de l'échantillon le moins altéré.....	97
Figure 37: Diagrammes binaires montrant la relation entre : a) Cu vs. Ag , b) Co vs. Cu	101
Figure 38: Colonne stratigraphique avec des profils de concentration du Cu et d' Ag en fonction de la profondeur au niveau de la minéralisation pour le trou A-20	103
Figure 39: Tétraèdre F-C-A-K de Riverin et Hodgson (1980) montrant les variations chimiques de l'altération dans les gisements d'Isle-Dieu (Tanguay 1990), Lac Mattagami (Roberts et Reardon 1978), région de Matagami, et les gisements Millenbach (Riverin et Hodgson 1980) et Ansil (la présente étude), région de Noranda.....	110

LISTE DES PLANCHES

Planche 1	26
A) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 1 montrant des phénocristaux de plagioclases idio- à hypidiomorphes dans une matrice à grains fins, formée de quartz, de chlorite et de séricite. Lumière polarisée.....	26
B) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 1 montrant de la séricite qui devient de plus en plus abondante dans la matrice. Lumière polarisée.....	26
Planche 2	28
A) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 1 montrant une texture perlitique. Lumière naturelle.....	28
B) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 2 montrant du verre rhyolitique et probablement des minéraux mafiques remplacés par de la chlorite de teinte verte. Lumière naturelle.....	28
Planche 3	30
A) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 2 montrant une texture poéciloblastique dans la chlorite. Remarquez aussi la coloration brunâtre des plagioclases. Lumière polarisée.....	30
B) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 2 montrant les carbonates occupant la matrice. Remarquez la couleur verte de la chlorite. Lumière polarisée.	30
Planche 4	31
A) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la deuxième zone montrant une	

veinule de stilpnomélane sous forme d'enchevêtrement de bâtonnets. Cette veinule recoupe une chlorite de teinte vert foncé. Lumière polarisée.	31
B) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la deuxième zone avec des minéraux opaques (en noir) associés au stilpnomélane (en brun). Lumière naturelle.	31
Planche 5	33
A) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 3 montre une chlorite de teinte brun violacé et du quartz. Lumière polarisée	33
B) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 3 montrant un grain d'apatite automorphe zoné et fracturé dans une matrice de chlorite (brun violacé) et du quartz. Lumière polarisée.	33
Planche 6	37
A) Photomicrographie de la zone à amphibolite avec des grains d'actinolite de grande taille. Lumière polarisée.....	37
B) Photomicrographie de l'andésite Rusty-Ridge montrant une chlorite fibro-radiée de teinte bleue sous forme amygdalaire. Lumière polarisée.	37
Planche 7	38
A) Photomicrographie de l'andésite Rusty-Ridge montrant une alternance de bandes de chlorite de teinte bleue et de quartz, indiquant une certaine zonalité. Lumière polarisée.	38
B) Photomicrographie de l'andésite Rusty-Ridge montrant une veine de quartz recoupée de petites veinules de carbonates. Lumière polarisée.....	38
Planche 8	40
Photomicrographie de l'andésite Rusty-Ridge montrant des amygdules remplies de quartz entouré d'une couronne de chlorite de teinte bleue dans une matrice composée généralement de chlorite et quartz. Lumière polarisée.....	40

Planche 9	45
A) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation massive de la chalcopyrite maclée.....	45
B) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation massive de la chalcopyrite (jaune) qui a tendance à remplacer la pyrrhotite (gris pâle).....	45
Planche 10.....	47
A) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation massive montrant des bandes discontinues et discrètes de pyrrhotite (gris pâle) qui alternent avec des bandes de chalcopyrite (jaune).....	47
B) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation en magnétite sous forme aciculaire (gris) dans de la gangue formée généralement d'amphiboles (noire).....	47
Planche 11.....	49
A) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation massive montrant un rubanement de magnétite (gris foncé), de chalcopyrite (jaune) et de pyrrhotite (gris pâle).....	49
B) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation avec des porphyroblastes idio- à hypidiomorphes de pyrite fracturée qui montre une sorte de bréchification. Les fractures sont occupées en général par la pyrrhotite. Il y a aussi présence de chalcopyrite (en jaune).....	49

CHAPITRE I

INTRODUCTION

I.1 Généralités

La sous-province de l'Abitibi comprend plusieurs districts miniers, telles les régions de Timmins, de Noranda, de Matagami et de Chibougamau, reconnus pour leurs gisements de sulfures massifs. Le district de Noranda est considéré le principal producteur de métaux de base. Depuis la mise en chantier de la mine Horne en 1923 à Noranda, plus de 20 gisements de sulfures massifs ont été exploités dans cette région, dont la plupart sont placés dans la partie supérieure du Groupe de Blake River, à l'exception des mines Ansil et Corbet (figure 1).

Les gisements volcanogènes de sulfures massifs de type cuivre-zinc que l'on trouve dans la région de Rouyn-Noranda se présentent sous la configuration typique d'un gisement de sulfures volcanogènes avec une lentille de sulfures au-dessus d'une zone discordante de filonnets (*stockwork* ou *stringer zone*) sise à l'intérieur d'une cheminée d'altération avec une minéralisation bréchique ou en veinules (Lydon 1984) (figure 2).

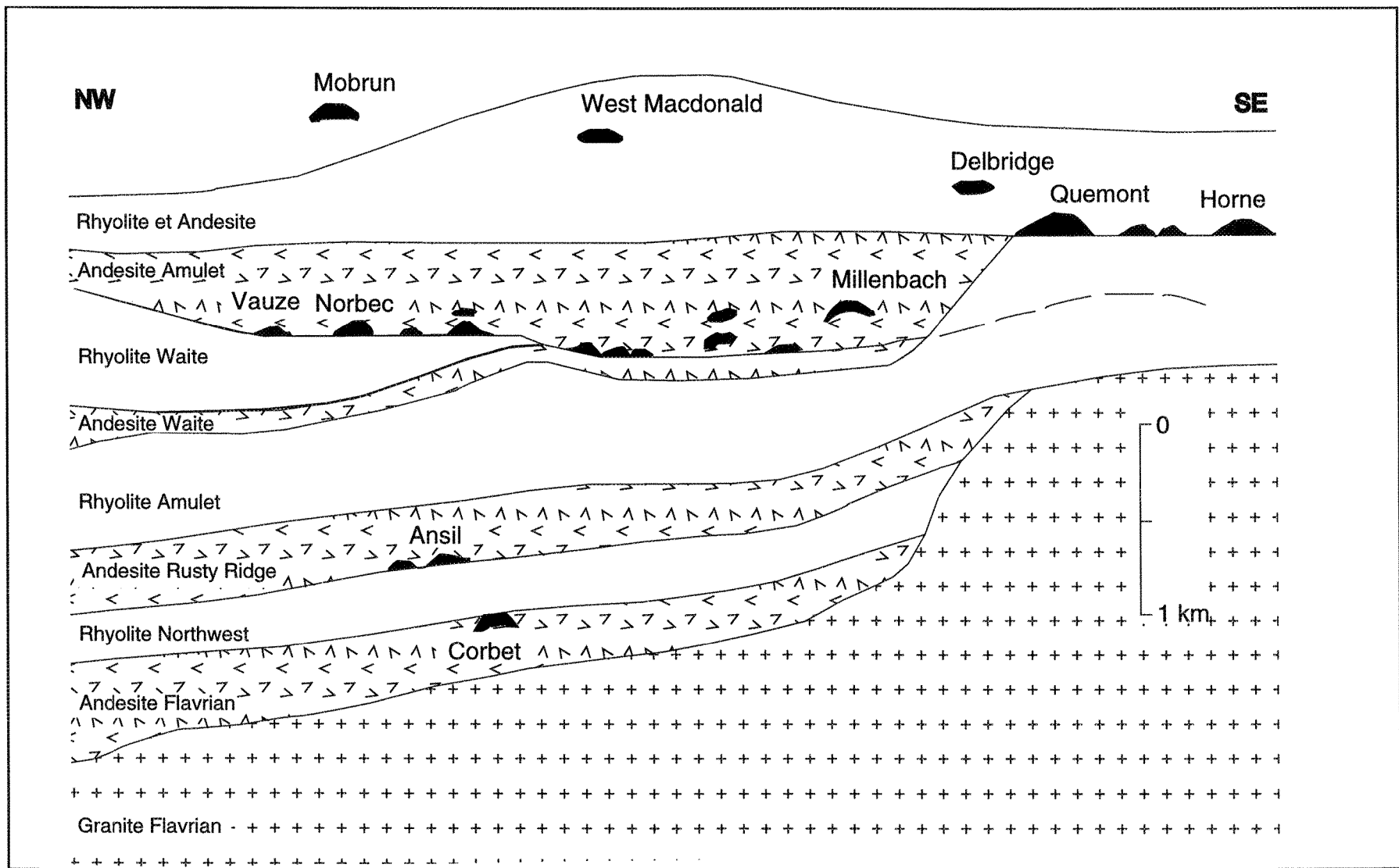


Figure 1: Coupe schématique stratigraphique à travers la caldeira de Noranda
Modifiée de Spence et de Rosen-Spence (1975).

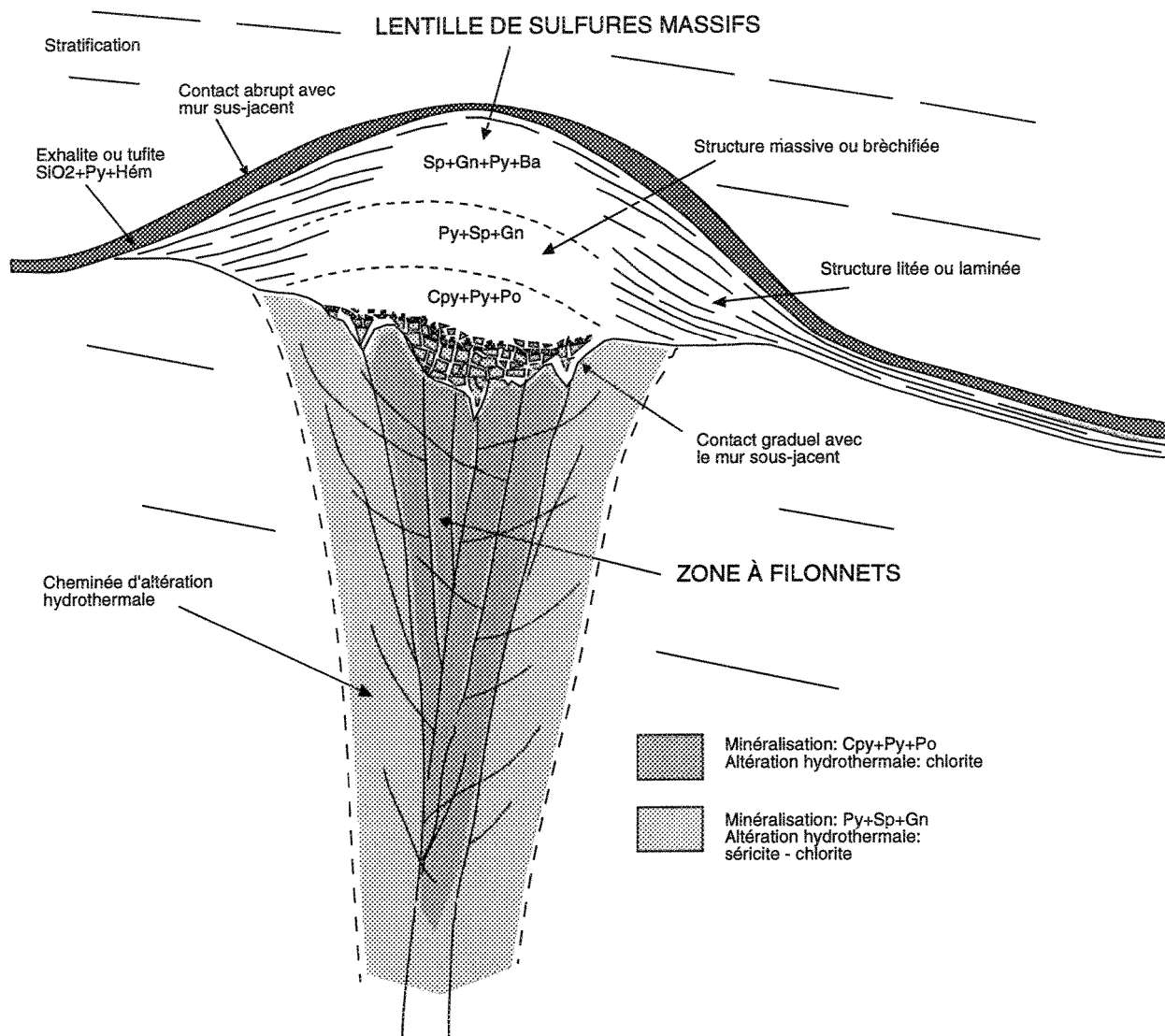


Figure 2: Diagramme idéalisé d'un gisement de sulfures massifs volcanogènes d'après Lydon (1984).

I.2 Localisation

Le gisement Ansil est localisé approximativement à 11 km au nord-ouest de la ville de Rouyn-Noranda dans le canton de Duprat. Il se situe dans le camp minier de Noranda, dans la zone volcanique sud des roches vertes de l'Abitibi, telle que définie par Chown *et al.* 1992.

I.3 Historique

La découverte du gisement Ansil a été le résultat d'observations géologiques déduites à partir des gisements de sulfures massifs voisins et à la suite d'une série de sondages d'exploration profonds basés sur l'interprétation géologique de données stratigraphiques, structurales et géochimiques (Gibson et Watkinson 1990). Les principaux éléments qui ont conduit à la découverte sont:

1) Même si la majorité des gisements de sulfures massifs volcanogènes dans la région du Lac Dufault sont associés à un horizon particulier, ce type de gisements n'est pas limité à ce seul horizon favorable mais peut aussi se trouver dans n'importe quel intervalle stratigraphique. Ceci est dû au fait que le contrôle structural est au moins aussi important que le contrôle stratigraphique. En fait, la probabilité de découvertes est probablement reliée à la conjonction des deux facteurs dans la localisation des gîtes. Ainsi le gisement Corbet, localisé à 7 km au sud du gisement Ansil, se trouve dans l'unité volcanique la plus profonde de la région, contrairement aux autres gisements qui ont été trouvés dans la partie supérieure de la stratigraphie (Knuckey et Watkins 1982; Spence et de Rosen Spence 1975).

2) La deuxième observation est dérivée de la nouvelle interprétation du prospect Decoeur-Garon (ou Ansil-Hill), situé à 1 km à l'ouest du gisement Ansil. Certains géologues avaient considéré cet indice minéralisé comme une zone de sulfures non importante dans des

roches mafiques non favorables. Les géologues de la compagnie Minnova (actuellement Corporation minière Inmet) l'ont interprété comme une zone d'altération et de filonnets (*stringers*) typique associée à une minéralisation de sulfures massifs volcanogènes et reflétant un système hydrothermal important. De plus, cet indice minéralisé est localisé le long d'un linéament NW comprenant le gisement d'Old-Waite, quelques indices minéralisés et des zones d'altération.

En se basant sur les observations ci-dessus, la propriété Ansil est acquise en 1974 et Minnova a commencé un programme de forages à long-terme. Les premiers résultats de ces forages ont montré le recoupement d'une zone riche en cuivre au sommet de la rhyolite, juste au-dessous de l'indice minéralisé Decoeur-Garon. Cette zone indiquait un potentiel de sulfures massifs. En 1981, le forage An 63 a donné une teneur de 4% de Cu sur une distance de 20 m à une profondeur de 1,3 km.

Le gisement a été mis en production en juillet 1989 avec des réserves prouvées de 1,58 millions de tonnes métriques titrant 7,2% de Cu, 0,8% de Zn, 1,7g/t d' Au et 26g/t d' Ag et a été fermé en avril 1993.

I.4 Problématique

Ce type de gisements a fait l'objet de plusieurs études dans le but de comprendre certaines problématiques de genèse de ce type de minéralisation. Parmi les problèmes posés, on peut citer leur mode de mise en place et l'altération des roches encaissantes qui se manifeste par des modifications minéralogiques, chimiques et isotopiques causées par la circulation des fluides hydrothermaux qui ont participé à la formation des dépôts.

Selon de nombreuses études, la cheminée d'altération hydrothermale typique (figure 2) comprend un noyau fortement chloritisé qui passe graduellement vers l'extérieur à une

zone séricitisée (Franklin *et al.* 1981; Lydon 1984 et 1988; Morton et Franklin 1987). Du point de vue chimique, le noyau chloritisé démontre un enrichissement en FeO, en MgO et un lessivage de CaO, Na₂O, K₂O et SiO₂, dû à la destruction des feldspaths primaires au cours du processus de chloritisation (Lydon 1984).

À Ansil, il y a un halo d'altération qui affecte les deux unités encaissantes du gisement Ansil. Cette altération se caractérise par des variations minéralogiques progressives et par des modifications en parallèle de la distribution des éléments chimiques majeurs et traces, en relation soit avec les phases minéralogiques de la roche encaissantes soit avec celles de la minéralisation.

I.5 Objectifs

L'objectif principal de cette étude se situe dans un contexte "exploracionniste". A partir d'échantillons tirés de deux trous de forages témoins, est-il possible 1) de reconnaître la nature et l'importance d'un halo d'altération hydrothermale typique des SMV, et 2) de caractériser les séquences volcaniques encaissantes de ce gisement sur le plan des variations pétrographiques et géochimiques associées à la minéralisation par le biais des phénomènes d'altération typiques reliés aux fluides minéralisateurs? Pour réaliser cet objectif principal, le projet comporte les sous-objectifs particuliers suivants:

1) Caractérisation pétrographique et géochimique des roches volcaniques du mur et du toit de la minéralisation et de la minéralisation.

2) Identification de l'altération hydrothermale qui a affecté ces roches et quantification de cette altération en utilisant le calcul des changements de masse.

3) Relation pétrographie-géochimie dans ces processus d'altération.

4) Comparaisons avec les séquences volcaniques environnantes porteuses de ce type de minéralisation, notamment les gisements de Cu-Zn de Millenbach et Corbet.

5) Comparaisons avec des gisements du même type dans d'autres contextes du Bouclier Canadien (Chibougamau, Matagami) ou ailleurs dans le monde, notamment dans des contextes récents.

6) Implications des phénomènes observés pour l'exploration de ce type de gisement.

I.6 Méthodologie

Durant la période estivale 1994, une description détaillée (Annexe 1) fut faite de deux trous de forages sur la propriété Ansil (figure 3) afin de déceler les variations mégascopiques des unités andésitique et rhyolitique au toit et au mur de la minéralisation. Ces deux trous de forages proviennent des galeries Gal. 8-01 et Gal. 9-01. Ces trous de forages nous ont été gracieusement fournis par la compagnie Minnova.

Par la suite, un échantillonnage dicté par les variations minéralogiques et géochimiques produites par les fluides hydrothermaux lors de la mise en place de la minéralisation fut réalisé. Environ 40 échantillons ont été utilisés pour fabriquer des lames minces et des lames polies, afin de faire une étude minéralogique et texturale. Enfin, une trentaine d'échantillons ont été analysés pour les éléments majeurs, les éléments traces et les éléments des terres rares. Les éléments majeurs et les éléments volatiles (CO_2 , S et H_2O) et quelques éléments traces (Cu, Zn, Pb, Co et Ni) ont été analysés au laboratoire de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) selon différentes méthodes. Le CO_2 et le S par volumétrie à l'aide d'une fournaise LECO, le Fe_2O_3 , le MgO, le CaO, le Na_2O , le K_2O et le MnO par absorption atomique; le Si_2O , le P_2O_5 , le TiO_2 , l' Al_2O_3 par fluorescence-X et le FeO par titrage à

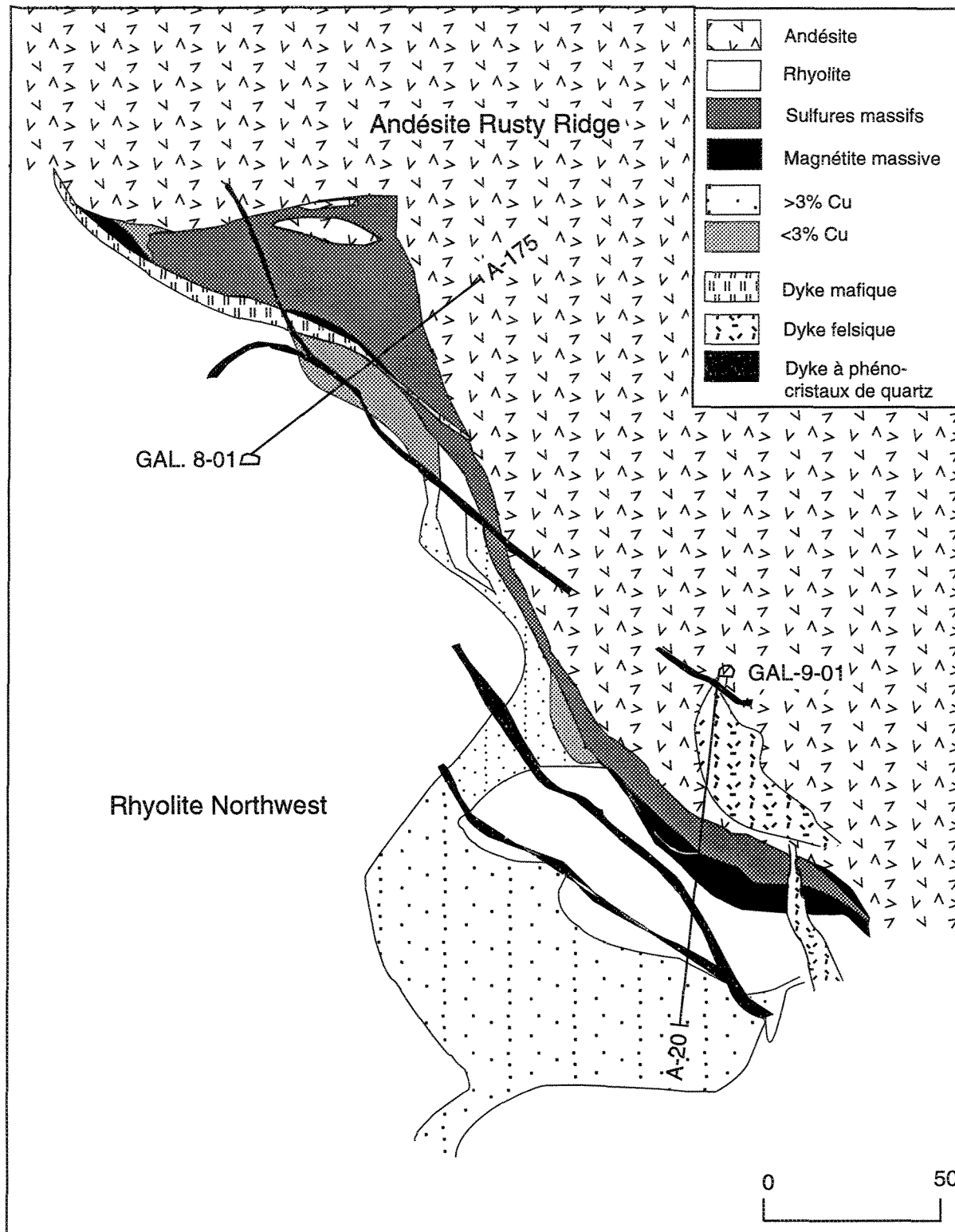


Figure 3: Section géologique schématique du gisement d'Ansil (section 46 570N)

Modifiée de Cattalani *et al.* (1993a).

GAL: galerie.

A-20 et A-175: Trous de forages étudiés (non à l'échelle).

Forage A-20 projeté dans le plan 46570N (direction 270°, plongée -84°)

Forage A-175 projeté dans le plan 46570N (direction 84°40', plongée 37°19')

l'aide d'une solution de bichromate de potassium. Les éléments des terres rares et les autres éléments traces ont été également analysés à l'UQAC par activation neutronique (INAA), selon la méthode de Bédard et Barnes (1990), après irradiation de la poudre à l'Ecole Polytechnique de Montréal. La composition chimique de la chlorite a été déterminée à l'aide de la microsonde électronique de modèle SEMQ-II du laboratoire de l'Université du Québec à Chicoutimi. La microsonde est équipée d'un détecteur à énergie dispersive de marque Tracor-Noran possédant une fenêtre au béryllium et une résolution de 143 eV. La microsonde est gérée par le système de microanalyse quantitative TN-5500: Série II, de Noran. Le voltage d'accélération est de 15 kV et un temps de comptage de 100 secondes. La coloration des carbonates fut aussi réalisée au laboratoire de l'UQAC selon la méthode d'Anderson (1963).

CHAPITRE II

CADRE GÉOLOGIQUE

II.1 Géologie régionale

Le Bouclier canadien forme la plus grande partie du territoire canadien. Il a été subdivisé en 7 provinces structurales et 34 sous-provinces (Stockwell et McGlynn 1970), dont certaines sont caractérisées par la prédominance de l'orogénèse kénoréenne. Les différences entre ces provinces comprennent des différences de lithologies, de style tectonique et d'intensité du métamorphisme. La province du Supérieur a été subdivisée en une douzaine de sous-provinces (Card 1990, Hocq 1994). Cette subdivision de la province du Supérieur a été faite selon les relations de terrain, plusieurs méthodes de datation, et les interprétations de données géophysiques, dont les cartes aéromagnétiques et les images satellites. La mine Ansil est ainsi située dans la province du Supérieur qui occupe le coeur du Bouclier canadien et dans la sous-province de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, qui est considérée à son tour la plus grande ceinture de roches vertes à l'intérieur de cette province. Cette ceinture est reconnue surtout pour ses gisements volcanogènes de cuivre, de zinc, d'argent et d'or. Elle est essentiellement composée de produits volcaniques ou sédimentaires

et par des granitoïdes (figure 4). Elle a été subdivisée selon Chown *et al.* (1992) en une zone volcanique nord et une zone volcanique sud. La zone volcanique nord occupe une grande partie de la sous-province de l'Abitibi. Cette subdivision a été basée sur les successions volcano-sédimentaires, sur les suites plutoniques et sur les âges U-Pb. La sous-province de l'Abitibi constitue aussi l'hôte de plusieurs dépôts de gisements de sulfures massifs volcanogènes (Sangster 1972 et Franklin *et al.* 1981), dont les principaux sont localisés sur la figure 4.

Le secteur d'étude fait partie du Groupe volcanique de Blake River (GBR) situé dans la partie sud-ouest de la ceinture de roches vertes au Québec (Goodwin et Ridler 1970). Ce dernier a été interprété comme une séquence autochtone dans un environnement de rift (Jackson *et al.* 1995). Le GBR a été étudié et exploré de façon intense dans le camp minier de Rouyn-Noranda à cause de son potentiel économique très important.

Le GBR, d'âge archéen (2703-2698 Ma; Mortensen 1993, déterminé par la méthode U-Pb sur des zircons), est considéré comme la séquence volcanique la plus jeune de la sous-province d'Abitibi (MERQ-OSG, 1984). Selon la carte lithostratigraphique de cette sous-province, il ferait partie du cycle volcanique III, au-dessus du Groupe de Kinojevis et en-dessous des sédiments du Groupe de Timiskaming.

Plusieurs études (Gélinas *et al.* 1977 et 1984; Ludden *et al.* 1982; Gélinas et Ludden 1984, Verpaelst 1985 et Péloquin *et al.* 1990) ont démontré que les roches volcaniques du GBR sont le résultat d'une activité volcanique bimodale cyclique (basaltes-andésites et rhyolites) et incluent des séries calco-alcalines, définies par leurs contenus en alcalis, en FeO et en MgO, plus abondantes que les séries tholéiitiques (Gélinas *et al.* 1977 et 1984) (figure 5) et comprenant de volumineux complexes rhyolitiques. Les roches plutoniques du GBR

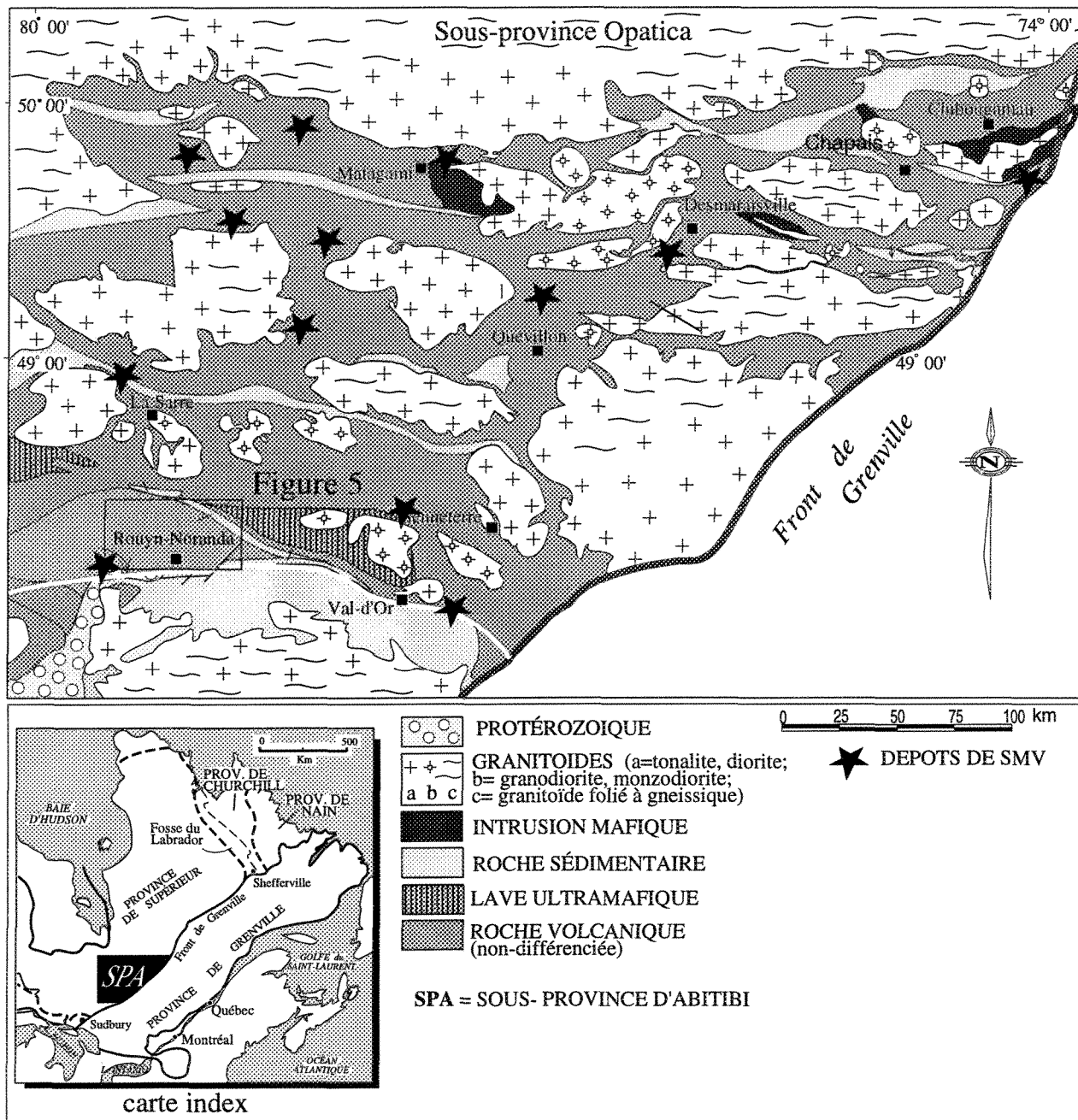


Figure 4: Carte des ensembles de roches formant la ceinture de roches vertes d'Abitibi, et montrant la figure 5 (modifiée de Chown *et al.* 1992).

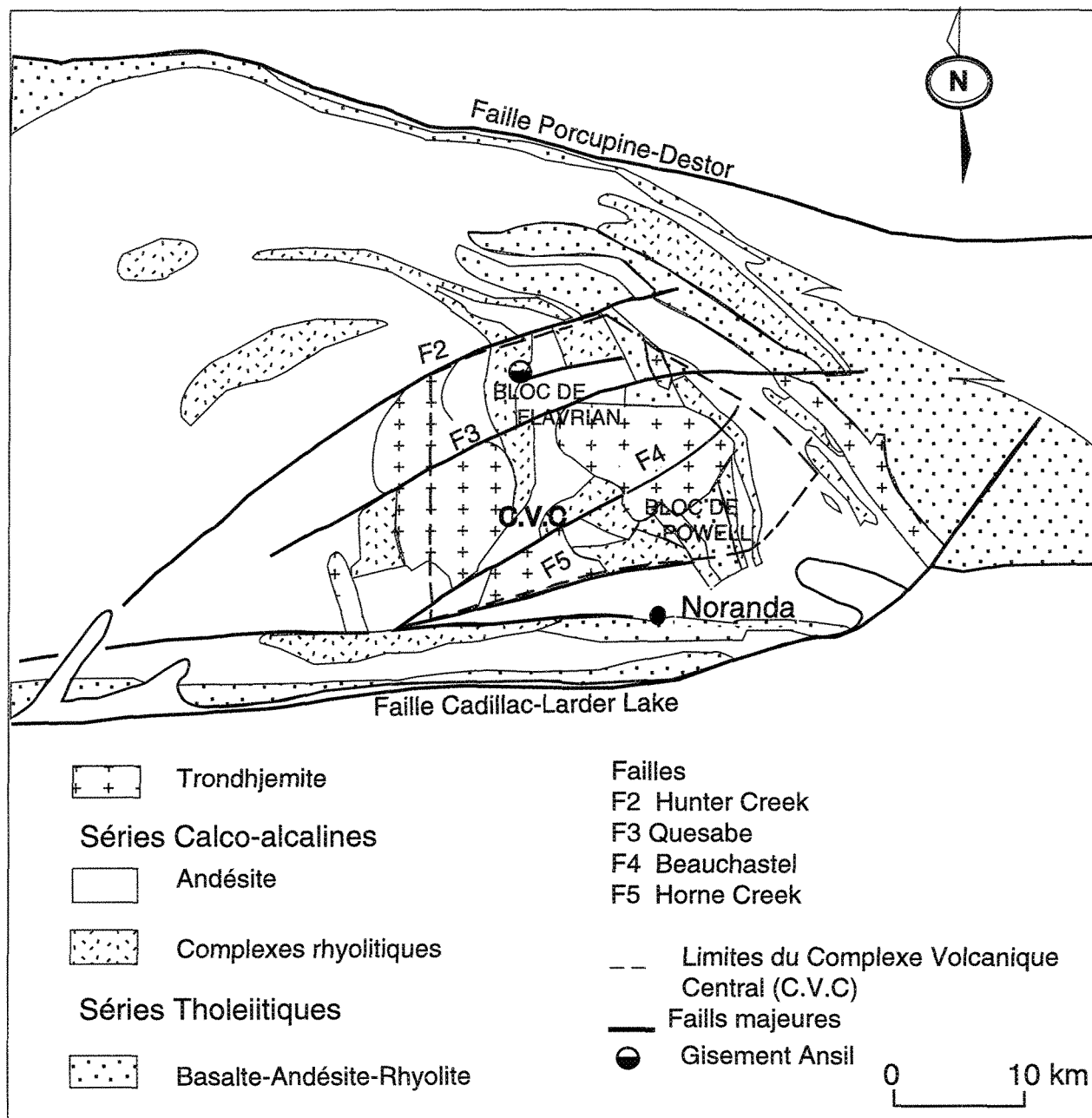


Figure 5: Carte géologique du Groupe de Blake River.

Modifiée de Hubert *et al.* (1984).

sont surtout des trondhjémites paracorcondantes dans l'empilement stratigraphique (Gélinas et Ludden 1984; Paradis *et al.* 1988), à l'exception du pluton de Lac Dufault qui est nettement discordant, ce qui fait en sorte qu'il n'est pas considéré comme faisant partie de l'ensemble évolutif du GBR (Gélinas et Ludden 1984).

De point de vue structural, le GBR a subi quatre phases de déformation (Dimroth *et al.* 1983; Hubert *et al.* 1984 et Péloquin 1990) et il est délimité au nord par le système de failles Porcupine-Destor et Lac Parfouru et au sud par le système de failles Cadillac-Larder Lake (figure 5). Ces systèmes de failles le limitent d'une façon approximative des autres groupes avoisinants, à savoir les groupes de Kinojevis et Kewagama au sud et le groupe de Timiskaming au nord. Le GRB est également traversé par plusieurs failles de décrochement généralement de direction ENE. Ces failles rendent difficile la corrélation stratigraphique à l'intérieur du GBR (Verpaelst *et al.* 1995).

La partie québécoise du GBR est caractérisée par la présence d'un complexe volcanique central (CVC) (figure 5) dans la région de Rouyn-Noranda. Ce complexe (CVC) a une superficie de 15 x 20 km et est composé des blocs structuraux de Flavrian et de Powell (figure 5). Le CVC constitue une subsidence synvolcanique correspondant à une dépression volcano-tectonique délimitée par la faille de Hunter Creek au nord et par la faille de Horne Creek au sud (de Rosen-Spence 1976). Cette dépression de 20 km de diamètre environ est interprétée comme un "chaudron". Ce terme de "chaudron" est préféré à celui de "caldeira" par Gibson et Watkinson (1990), car le terme "chaudron", contrairement à celui de "caldeira" (de forme circulaire), ne tient pas compte ni de la forme, ni de la taille, ni de la profondeur de la dépression volcano-tectonique. Les limites est et ouest du CVC sont respectivement la zone de cisaillement de D'Alembert et le pluton de Flavrian (Lichtblau et Dimroth 1980; Dimroth *et al.* 1982; Gibson et Watkinson 1990).

Le CVC a été subdivisé en cinq cycles volcaniques concordants, chacun étant composé d'une unité basale d'andésite basaltique et d'une unité sommitale bimodale, composée de basalte-andésite et de rhyolite (de Rosen Spence 1976; Gibson *et al.* 1983; Gibson et Watkinson 1990).

Le cycle 3 ou "la séquence des mines", dont la mise en place s'est effectuée durant la subsidence de la caldeira, constitue l'hôte de 17 gisements de sulfures massifs volcanogènes du camp minier de Rouyn-Noranda (Gibson et Watkinson 1990).

Le métamorphisme régional a atteint le faciès schistes verts inférieur dans le Groupe de Blake River, mais le faciès plus faible de prehnite-pumpellyite a été observé, par endroits au nord de la faille Hunter Creek (Powell *et al.* 1995). Le CVC est particulièrement caractérisé par un métamorphisme du faciès schistes verts inférieur. Des assemblages du faciès amphibolitique ont été également observés dans les auréoles de métamorphisme de contact autour des intrusions syntectoniques à tardi-tectoniques (Gélinas *et al.* 1984; Pearson 1986; Rive *et al.* 1990, et Powell *et al.* 1995).

II.2 Géologie locale du gisement Ansil

Le gisement Ansil est localisé dans le centre du camp minier de Noranda, dans la partie sud de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, à 11 km de la ville de Rouyn-Noranda. Le gisement est localisé à une profondeur de 1,3 km et représente une des découvertes les plus profondes jamais faites de la surface. La stratigraphie du gisement comprend la séquence dont les unités sont représentées sur la figure 6 et décrites brièvement ci-dessous:

* L'Andésite Flavrian est l'unité stratigraphiquement la plus basse, son épaisseur totale excède 350 m. Elle consiste en une série de coulées de laves massives, bréchiques ou coussinées de composition mafique à intermédiaire. Les laves sont aphyriques à faiblement

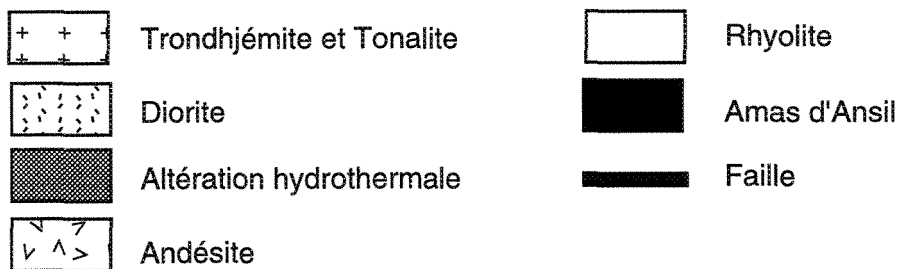
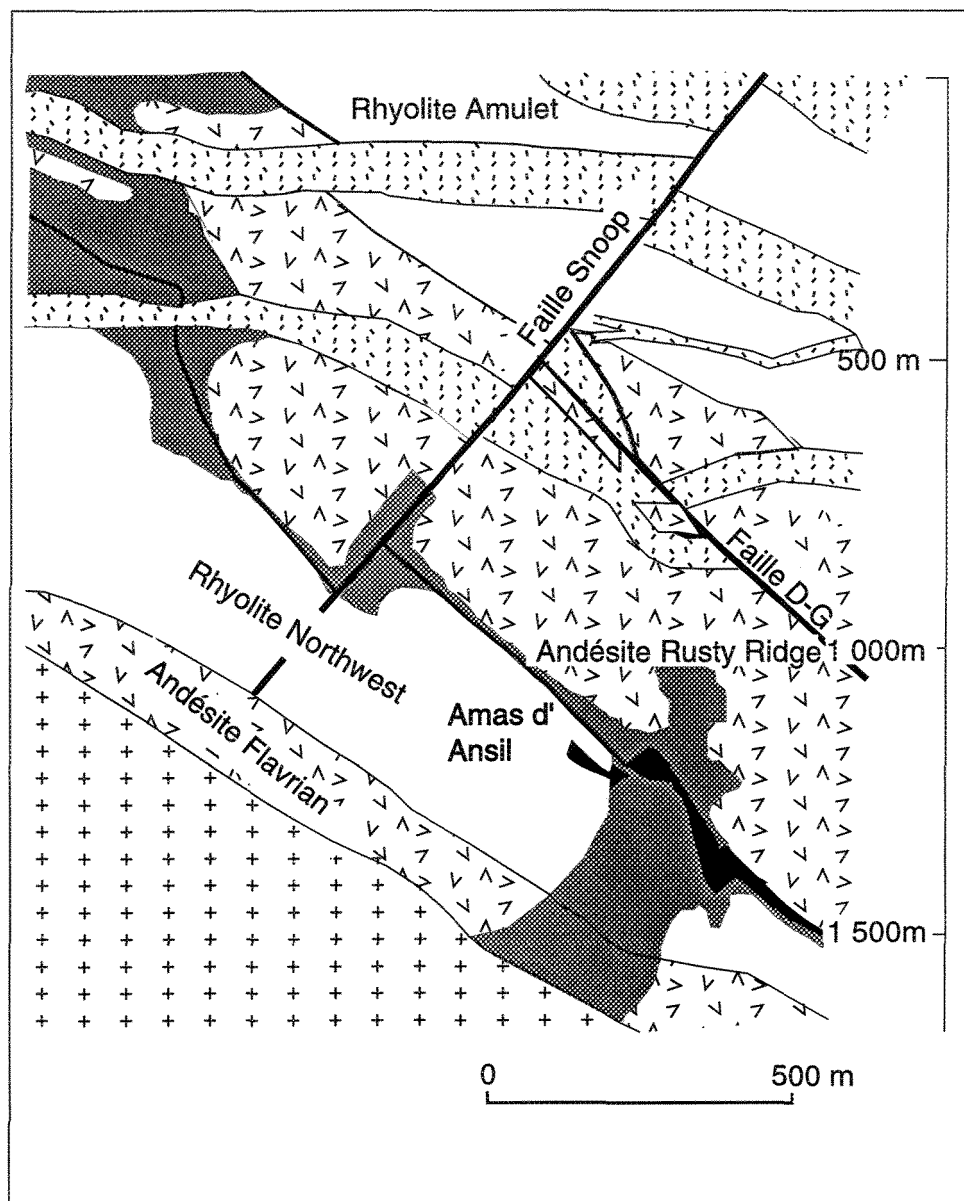


Figure 6: Section géologique schématique de la région d'Ansil Hill avec la localisation du gisement d'Ansil. Reproduit de Riverin *et al.* (1990). (Coupe 46 590N - Vue vers le nord)

porphyriques (phénocristaux de plagioclases). Cette unité forme l'hôte et le mur du gisement Corbet situé à 7 km au sud du gisement Ansil (Knuckey et Watkins 1982).

* La Rhyolite Northwest recouvre l'andésite Flavrian. C'est une unité felsique qui varie en épaisseur de 140 à 200 m au niveau du gisement et qui contient des horizons tantôt massifs, sphérolitiques, rubanés ou bréchiés. Les contacts entre les coulées sont nettement indiqués par la présence d'hyaloclastites. Gibson (1989) a montré que la rhyolite Northwest est mise en place à partir de 2 fissures principales localisées respectivement à 2 km au nord et à 5 km au sud du gisement Ansil. Cette unité est localement coiffée par le tuf Lewis, qui est un horizon de tuf cherteux discontinu et mince, similaire à ceux décrits par Comba (1975) dans la région de la mine Millenbach. Le tuf Lewis (non représenté sur la figure 6) est l'équivalent stratigraphique de l'horizon de minerai d'Ansil.

* Le QFP de Cranston (non représenté sur la figure 6) est un dôme de rhyolite porphyrique (phénocristaux de quartz et de plagioclase) mis en place à 2 km au nord du gisement Ansil. Le QFP de Cranston est constitué par un tuf à cristaux discontinu localisé dans une dépression paléotopographique et dont l'origine pourrait être d'une part des éruptions pyroclastiques bordières reliées au dôme de Cranston, ou d'autre part l'érosion affectant le dôme de QFP. Ce tuf s'interdigite localement avec les sulfures massifs du gisement Ansil, indiquant que le système hydrothermal de ce gisement et l'éruption du QFP de Cranston sont contemporains.

* L'Andésite Rusty-Ridge est composée d'une alternance de coulées basaltiques massives et bréchiées (un total de huit unités) qui ont fait éruption à partir d'une fissure centrée à 2 km au sud du gisement Ansil (Gibson 1989). Son épaisseur varie 460 à 520 m. Au niveau du gisement son épaisseur est de 240 m et contient de minces unités rhyolitiques (Cattalani *et al.* 1993a) Cette unité est l'hôte de l'indice Decoeur-Garon (Ansil Hill) localisé à

1 km à l'ouest du gisement Ansil.

* La Formation Amulet recouvre l'unité de l'andésite Rusty-Ridge. Elle consiste en un membre inférieur de coulées et de dômes de rhyolite et un membre supérieur interprété comme étant composé de coulées de basaltes silicifiés (Gibson *et al.* 1983).

Le pluton de Flavrian, daté de $2700,03 \pm 1,60$ Ma (Mortensen 1993), est une intrusion synvolcanique en forme de filon-couche située à la base des unités calco-alcalines du Groupe de Blake River. La géologie du pluton de Flavrian est dominée par des trondhjemitites et des tonalites (Paradis *et al.* 1988) avec à la périphérie des gabbros et des diorites quartziques en faible quantité. Le pluton de Flavrian est une intrusion contemporaine à la formation des gisements de sulfures massifs volcanogènes archéens de la région de Noranda (Goldie 1978 et Urabe *et al.* 1983).

Le métamorphisme est de faible intensité et a produit les minéraux communs suivants: le quartz, l'albite, l'épidote-zoisite, la chlorite, la séricite et le leucoxène, sauf près du granite de Flavrian où l'on trouve localement des cornéennes à amphiboles. Au niveau structural, l'amas d'Ansil est délimité par plusieurs failles, dont la faille Snoop qui s'incline à 70° vers le nord et les failles D-G et NW orientées nord-ouest et inclinées abruptement vers le nord-est (figure 6). Dans le secteur de la mine, la séquence volcanique forme une structure homoclinale inclinée légèrement (d'environ 45°) vers le nord-est. Aucune autre complexité structurale n'apparaît à cette échelle dans ce secteur, à part les plissements et les rejets mineurs observés au contact entre l'andésite et la rhyolite qui abritent le gisement Ansil. Trois générations de dykes ont été reconnues à Ansil (Riverin *et al.* 1990): des dykes mafiques à grains fins, des dykes intermédiaires porphyriques à phénocristaux de plagioclases et des dykes felsiques aphanitiques. Les deux premières sortes de dykes sont généralement minces, concordants et sont situés près de l'horizon d'Ansil.

CHAPITRE III

PÉTROGRAPHIE

III.1 Introduction

Ce chapitre a pour objet d'établir une description pétrographique des deux principaux types de lithologies, ainsi qu'une description minéralogique des sulfures massifs volcanogènes du gisement Ansil. Dans le premier cas, les descriptions seront principalement axées sur les variations minéralogiques en fonction de l'altération afin de mettre en évidence les changements qui ont été causés par la circulation des fluides hydrothermaux. La minéralogie de la roche encaissante et de la minéralisation a donc été déterminée par l'étude pétrographique d'une quarantaine de lames minces et lames minces polies. Une analyse à la microsonde des chlorites rencontrées a été effectuée. Le choix des échantillons fût réalisé, après une description détaillée des trous de forages, de façon à permettre la visualisation des changements et des transformations qui ont eu lieu lors de la mise en place de la minéralisation. Cette description va aussi nous permettre d'interpréter les profils géochimiques du chapitre suivant.

III.2 Caractéristiques générales des unités

III.2.1 Généralités

Avant d'aborder les descriptions pétrographiques en tant que telles, il serait intéressant de présenter un aperçu sommaire des unités andésitiques et rhyolitiques du Bloc de Flavrian en plus d'un bref survol des forages considérés dans cette étude. Les lithologies sont divisées en deux grandes unités: la rhyolite Northwest (le mur) et l'andésite Rusty-Ridge (le toit).

Les forages traversent la zone minéralisée (figure 3) sur des longueurs de 15,7 et 30,75 m, mais ils recourent également des dykes.

III.2.2 Les unités rhyolitiques et andésitiques

Les unités rhyolitiques sont plus abondantes dans le secteur du Bloc de Flavrian. Elles sont interstratifiées en concordance avec les unités andésitiques. Elles se présentent sous forme massive, en lobes et à structure bréchique (Furnes *et al.* 1980; et Verpaelst 1985). Les rubanements de coulées sont communs et le contenu en phénocristaux de quartz et de plagioclase est variable. La rhyolite Northwest est la plus ancienne unité rhyolitique dans le bloc de Flavrian (Péloquin *et al.* 1989). Elle est située stratigraphiquement entre l'andésite de Flavrian et l'andésite de Rusty-Ridge. Son épaisseur apparente est de l'ordre de 150-375m. Ces laves sont microporphyrifères en plagioclase et montrent le faciès lithologique de lobes et brèches.

Les unités andésitiques du Bloc Flavrian sont des coulées massives et des coulées à coussins et à megacoussins, auxquelles sont parfois associées des brèches de coulée et des hyaloclastites typiques de celles décrites par Dimroth *et al.* (1978) ou Hargreaves et Ayres

(1979). L'unité Rusty-Ridge a une épaisseur apparente variant entre 300 et 900m. Cependant, elle est recoupée par des dykes de diorite et par des failles inverses qui peuvent produire une répétition de cette unité d'andésite.

Ces laves sont aphanitiques à microporphyriques en plagioclases microlitiques, avec de rares phénocristaux de plagioclase atteignant jusqu'à 3mm de diamètre.

III.3 Description des unités

III.3.1 La rhyolite Northwest

La rhyolite Northwest de la présente étude a une structure généralement bréchique à pseudo-bréchique. La rhyolite bréchique montre des taches foncées ressemblant à des fragments mafiques (probablement des fragments chloritisés) de 0,1 à 1 cm de taille dans une matrice présentant des proportions variables de chlorite+silice+/-carbonates. La rhyolite pseudo-bréchique montre des taches siliceuses, de couleur bleu verdâtre et diffuses dans une matrice siliceuse ou chloriteuse. L'examen microscopique a permis de mettre en évidence trois zones (figure 7), caractérisées chacune par un assemblage minéralogique qui est fonction d'une intensification du processus d'altération associé à la circulation des fluides hydrothermaux, au fur et à mesure que l'on s'approche de la zone de minéralisation.

Les tableaux 1 et 2 récapitulent la pétrographie et les différentes caractéristiques des roches encaissantes.

La zone 1: assemblage séricite-chlorite

La zone 1 est composée de plagioclase présent sous forme de phénocristaux hypidiomorphes (10%) de taille de 0,1 à 0,5 mm (planche 1A) baignant dans une matrice de

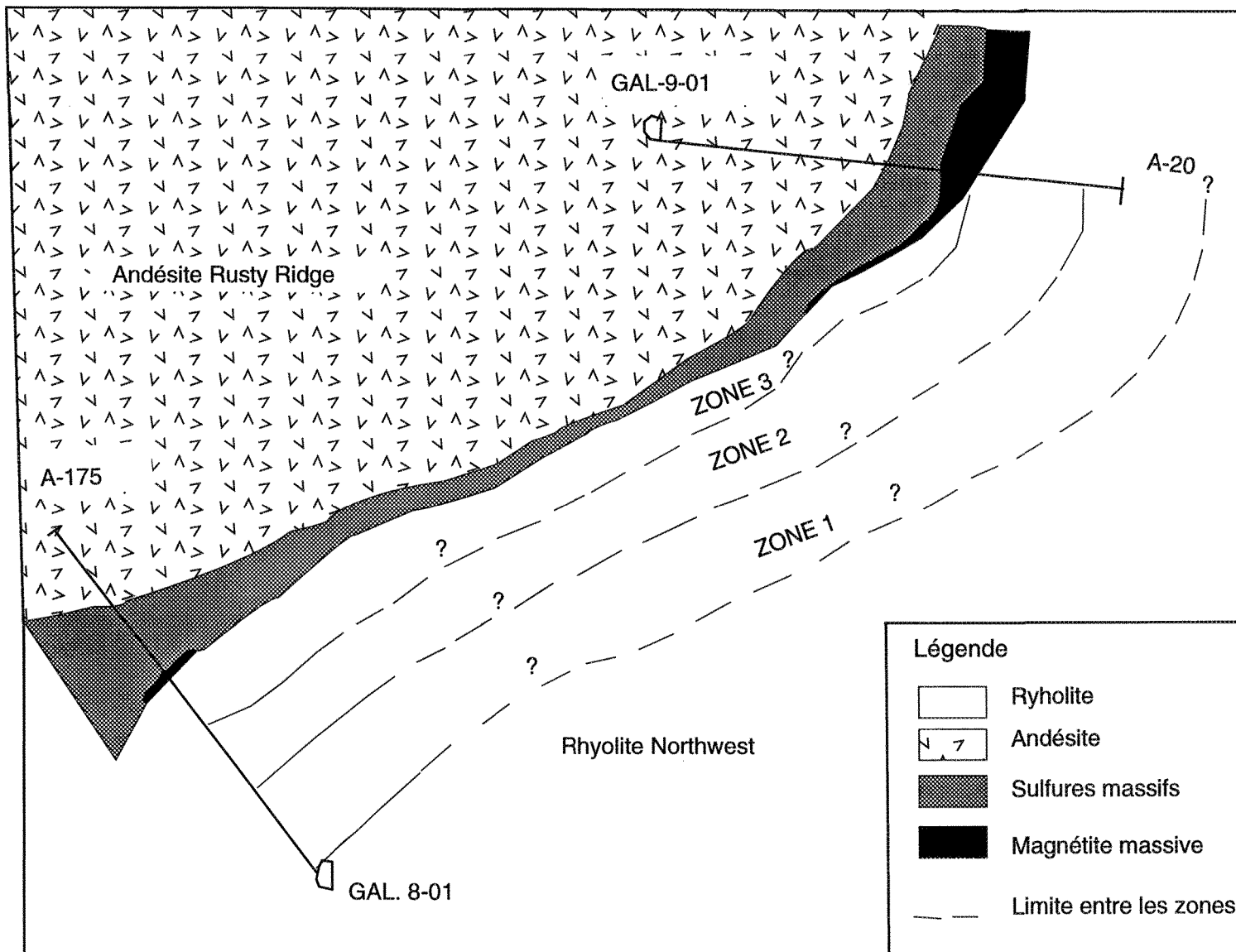


Figure 7: Schéma simplifié du gisement Ansil avec la représentation géographique théorique des trois zones d'altération dans la rhyolite.

Roches encaissantes	Description mégascopique	Assemblages d'altérations	Biréfrérence de la chlorite	Minéraux accessoires	Remarques
Rhyolite	Texture bréchique à pseudo-bréchique. Parfois minéralisée. Recoupée par des dykes porphyriques. Degré d'altération variable.	Séricite+chlorite± plagioclases±quartz, ±épidote, ±carbonates. Chlorite+carbonates± quartz, stilpnomélane, épidote Chlorite+carbonates± amphiboles, ±carbonates. ±épidote	bleue à gris-bleu. verdâtre à bleu-vert. brunâtre-violacée.	rutile, sphène. apatite.	amygdales de chlorite tapissées de quartz. minéraux opaques associés aux carbonates et stilpnomélane. -----
Andésite	Texture massive, parfois bréchique. Bordures de coussins évidentes marquées par des hyaloclastites chloriteuses et siliceuses. Dykes porphyriques recoupant l'andésite.	Chlorite+séricite+quartz±carbonates, ±épidote	bleue à bleu-gris.	rutile, zoisite, plagioclases.	amygdales de chlorite, quartz et plagioclases.

Tableau 1: Résumé de la pétrographie des roches encaissantes du gisement Ansil de la présente étude.

	Rhyolite			Andésite
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	
Quartz				
Plagioclase				
Chlorite				
Séricite				
Carbonates				
Épidote				
Stilpnomélane				

Tableau 2: Paragenèses minérales rencontrées dans les roches encaissantes du gisement Ansil.

cristaux de plagioclase de taille fine, de quartz en faible quantité et de chlorite (25 à 30%). La chlorite est de teinte bleue et parfois bleu gris en lumière polarisée. Quelques plagioclases sous forme fragmentaire incomplets sont aussi observés. La quantité de phénocristaux est à peu près de 15 % en moyenne. Toutefois la proportion des plagioclases dans la matrice est difficile à estimer à cause de la confusion avec les grains de quartz qui présentent la même dimension et la même forme. Parfois les cristaux de plagioclase sont altérés et présentent des surfaces nébuleuses, lesquelles résultent d'un début de séricitisation. La séricite est plus abondante dans la matrice, dont elle constitue de 5 à 10% (planche 1B), et se présente principalement en remplacement pseudomorphique de certains cristaux de plagioclase par déstabilisation de ces derniers lors de l'altération hydrothermale, ce qui permet de les discerner des cristaux de quartz qui sont inaltérables. La séricite est en très fines baguettes dont la taille est inférieure à 0,01mm. Cette séricite n'a pas d'orientation préférentielle. La chlorite et la séricite sont présentes dans la matrice. Elles se présentent en quantités variables, généralement de taille fine. L'épidote (en quantité faible <1%) constitue aussi un minéral d'altération observé au niveau de cette zone.

La texture porphyrique n'est pas toujours visible, mais il est possible d'observer les "fantômes" ou les "vestiges" des phénocristaux dans presque toutes les lames de cette zone. Ces fantômes se présentent comme des agrégats de plagioclases et/ou de quartz, dont le contour évoque des cristaux de plagioclase totalement remplacés. La texture passe alors de porphyrique à micro-grenue, avec une réduction de la taille des grains.

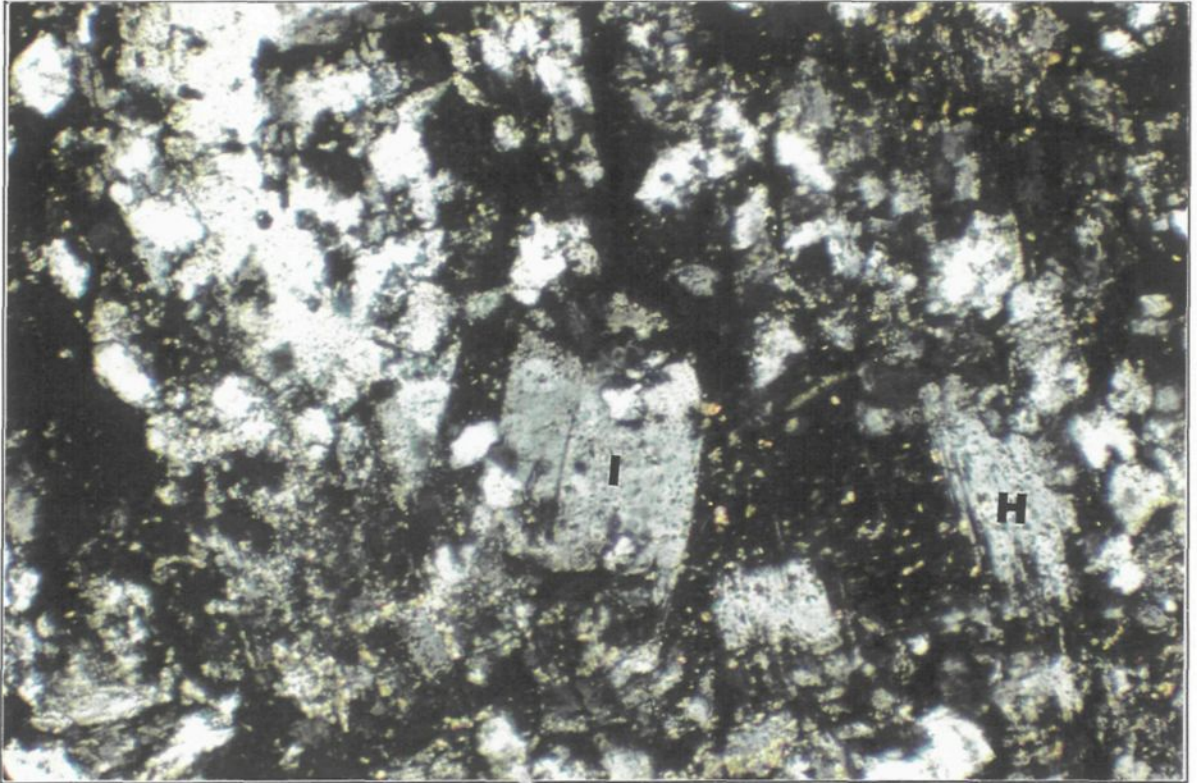
Le sphène est parmi les minéraux accessoires rencontrés au niveau de cette zone.

Planche 1

A) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 1 montrant des phénocristaux de plagioclases idio (I)- à hypidiomorphes (H) dans une matrice à grains fins, formée de quartz, de chlorite et de séricite. Lumière polarisée.

B) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 1 montrant de la séricite (jaune) qui devient de plus en plus abondante dans la matrice. Lumière polarisée.

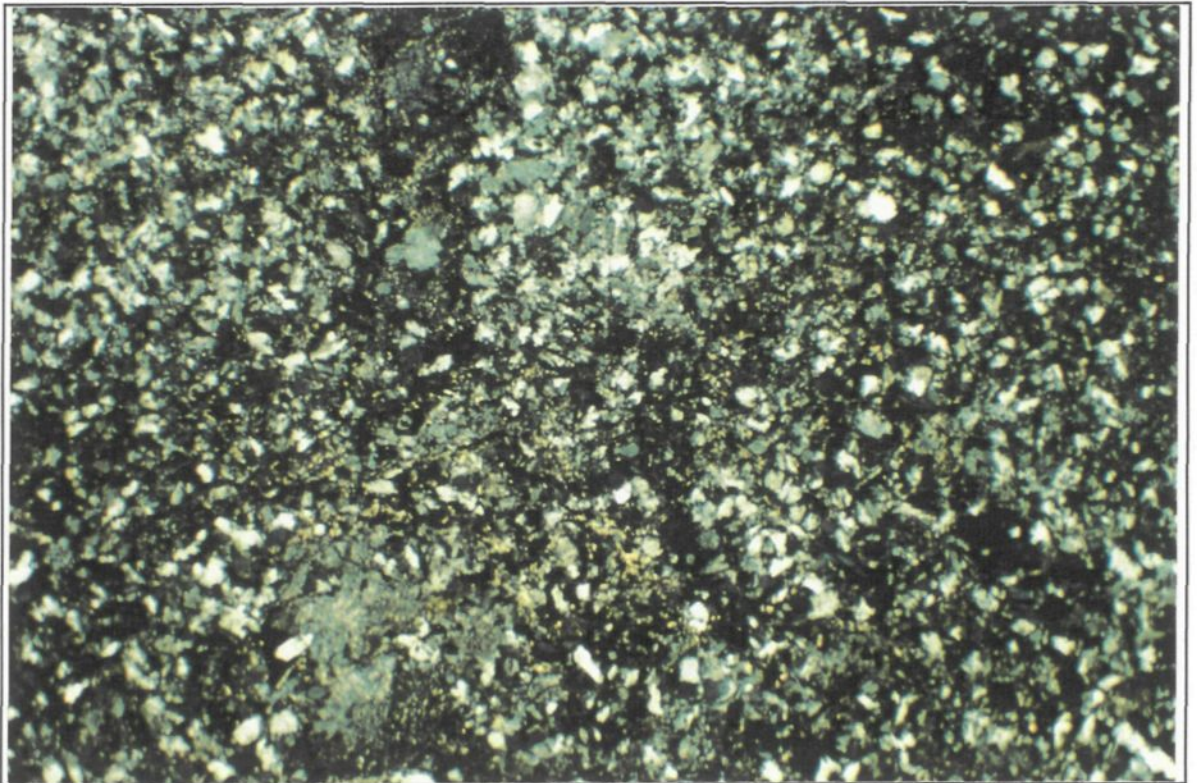
A)



0.1mm



B)



0.5mm



La texture perlitique est rencontrée dans presque tous les échantillons de cette zone (planche 2A). La chlorite et souvent les plagioclases (albite) cristallisent le long des fractures perlitiques. La texture amygdalaire est aussi parfois observée, les amygdales étant remplies de quartz, de plagioclase ou de chlorite. Les échantillons de cette zone sont considérés les moins altérés du fait qu'ils présentent des cristaux de plagioclase plus ou moins séricitisés.

La zone 2: assemblage chlorite-carbonates

La zone 2 est considérée comme une zone intermédiaire, elle est constituée d'un assemblage de chlorite-carbonate±quartz. Des tests de coloration des carbonates (Anderson 1963) effectués sur les échantillons démontrent que le carbonate principal est la dolomite ferrifère qui donne une coloration bleu pâle à bleu foncé. Ceci est appuyé également par la faible réaction de ces carbonates à l'acide chlorhydrique. Les carbonates occupent en général la mésostase et remplacent probablement la séricite de la zone 1. La chlorite est de teinte verte et parfois bleu-vert à la lumière polarisée. Même à l'échelle d'une même lame mince, on peut observer un changement dans la teinte de la chlorite qui peut varier du vert clair au vert foncé, laissant supposer la présence de deux générations de chlorite avec des rapports Fe/Mg différents, mais l'analyse à la microsonde de la chlorite ne nous a pas permis de mettre en évidence cette conclusion (voir analyse de la chlorite). Elle se présente sous forme de petites baguettes ou sous forme massive. La chlorite semble remplacer le verre rhyolitique et des minéraux mafiques (planche 2B). Le remplacement préserve parfois des textures primaires en arrière plan. La chlorite dans certains endroits montrent une texture poeciloblastique renfermant des plagioclases qui ont une coloration brunâtre en lumière naturelle (planche 3A). Cette teinte pourrait être causée par une faible hématisation diffuse, comme elle pourrait

Planche 2

A) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 1 montrant une texture perlitique (flèches). Lumière naturelle.

B) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 2 montrant du verre rhyolitique et probablement des minéraux mafiques remplacés par de la chlorite de teinte verte. Lumière naturelle.

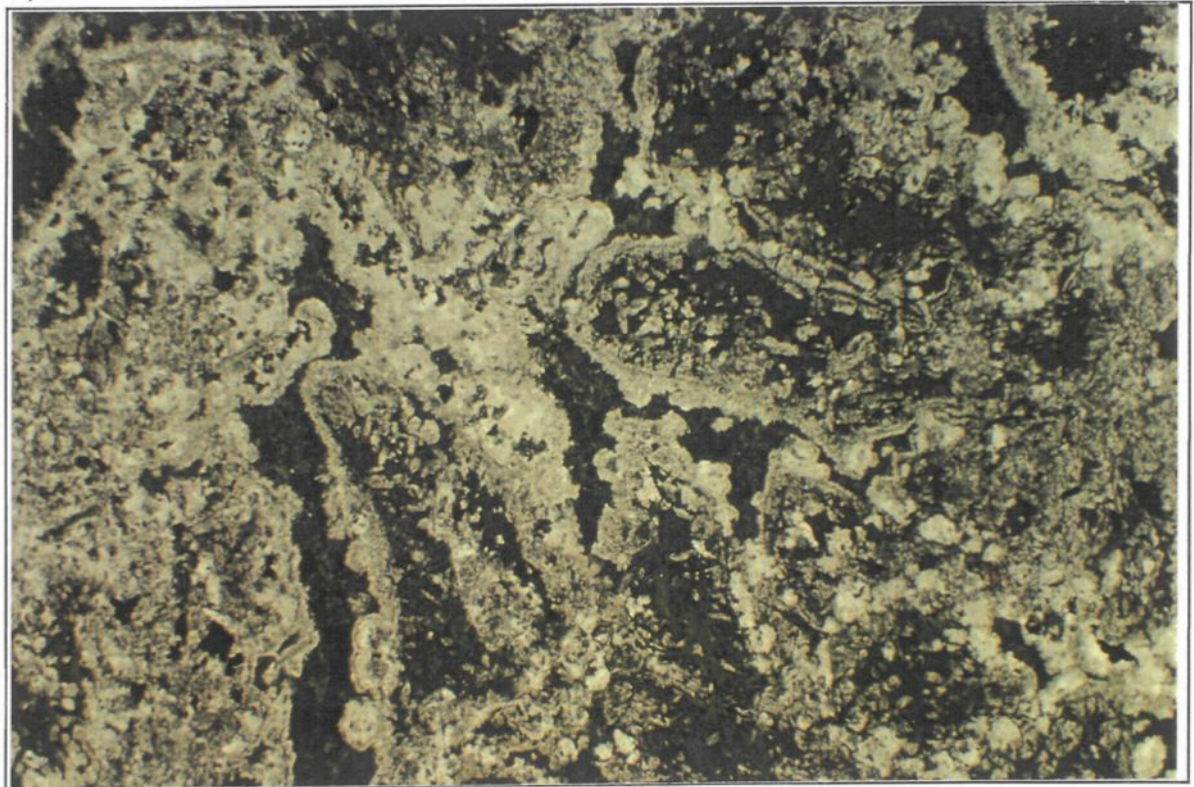
A)



0.1mm



B)



0.5mm



probablement être due à une certaine quantité de fer échappée de la chlorite qui les entoure et qui semble remplacer les bordures des grains de plagioclase (planche 3A). Il ne reste plus alors que les coeurs des cristaux de plagioclase, ce qui donne l'aspect poeciloblastique observé. Le quartz se présente sous deux types. Le premier est en forme d'yeux de quartz, généralement de petite taille ($<0,01\text{mm}$), et le deuxième type est de grande taille (10%) remplissant parfois des veines. La mésostase de la lave est composée de quartz, de plagioclases légèrement séricitisés en faible quantité ($<2\%$) et de petite taille ($<0,1\text{mm}$), de chlorite (15% à 35%) et de carbonates à 10% (planche 3B). On rencontre aussi au niveau de cette deuxième zone de l'épidote ($<1\%$) et du stilpnomélane (4 à 12%). Ce dernier, de forme automorphe, se présente généralement sous forme de bâtonnets ou d'enchevêtrement de bâtonnets de dimension inférieure à 0,1mm (planche 4A). Les bâtonnets de stilpnomélane possèdent une orientation aléatoire, mais sont parfois orientés perpendiculairement aux épontes. Le stilpnomélane a tendance à remplir les fractures tardives, associé aux carbonates, et se présente donc sous forme de veines et de veinules. Ces veinules recoupent l'ensemble des autres minéraux et paraît être l'une des dernières phases à cristalliser. Dans certains endroits de cette deuxième zone, on rencontre parfois le stilpnomélane associé à la chlorite et aux minéraux opaques. Quelquefois il est présent à l'intérieur des minéraux opaques. Toutefois, les bâtonnets recoupent certains minéraux, entre autres les minéraux opaques, observation également remarquée par Roberts (1966).

Des veinules irrégulières de carbonates et stilpnomélane, seules ou en essaims, recoupent parfois des grains, généralement ceux du quartz. Toutefois la chlorite et l'épidote se présentent aussi en veines ou en veinules. Une association intime entre les minéraux opaques et les carbonates ou le stilpnomélane (planche 4B) ou les deux est également notée.

Planche 3

A) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 2 montrant une chlorite à texture poeciloblastique (située à droite de la photographie). Remarquez aussi la coloration brunâtre des plagioclases. Lumière polarisée.

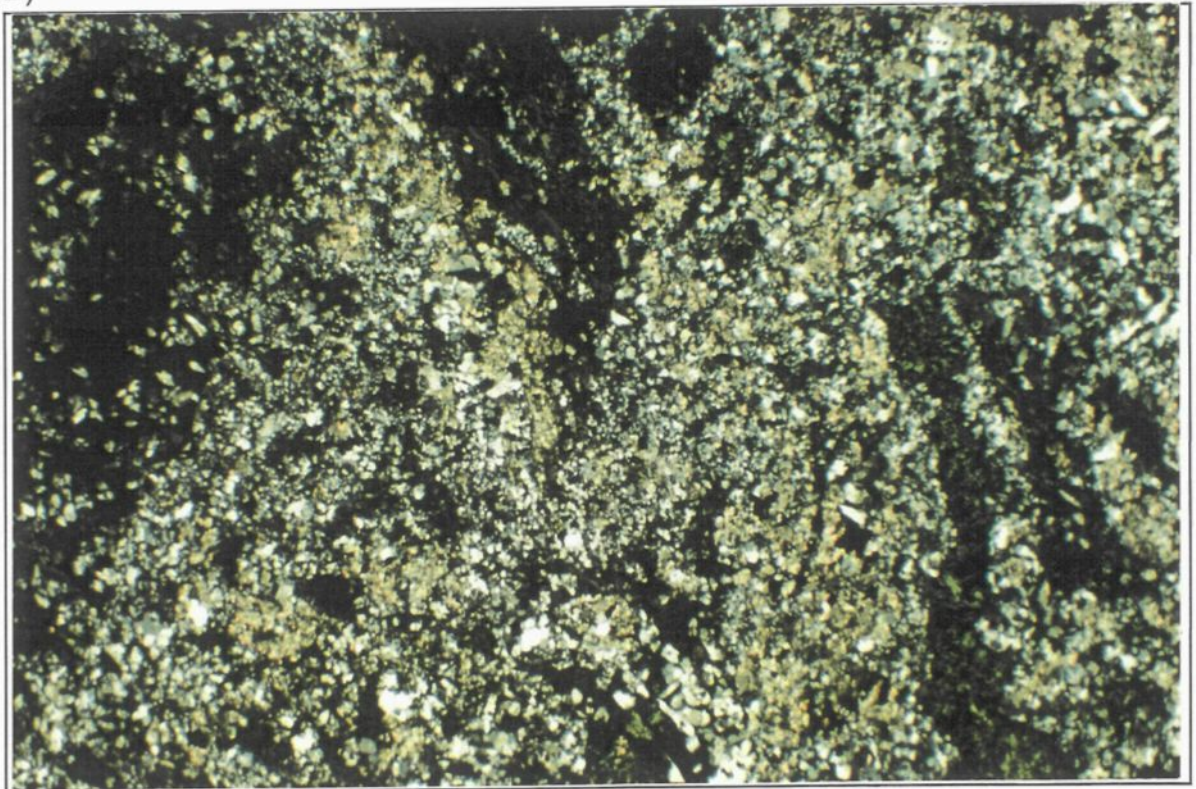
B) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 2 montrant les carbonates (grains jaunes) qui occupent la matrice. Remarquez la couleur verte de la chlorite. Lumière polarisée.

A)



0.5mm

B)



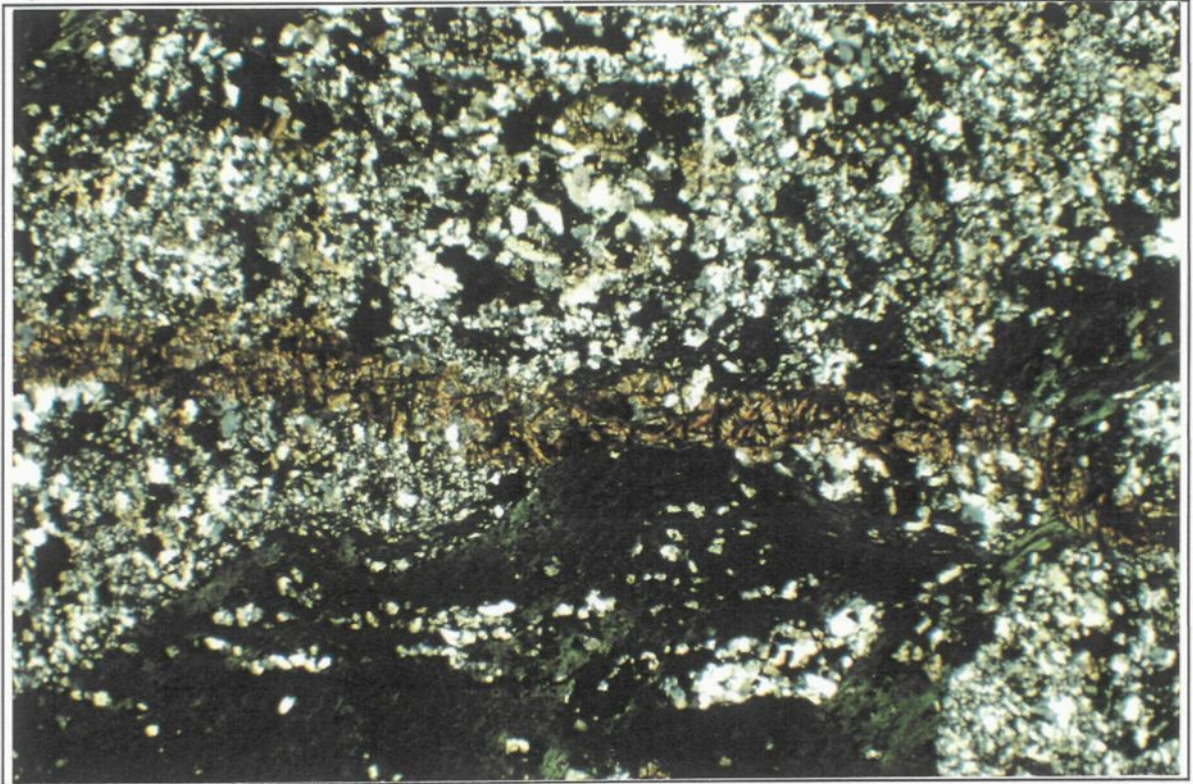
0.5mm

Planche 4

A) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la deuxième zone montrant une veinule de stilpnomélane (en brun) sous forme d'enchevêtrement de bâtonnets. Cette veinule recoupe une chlorite de teinte vert foncé. Lumière polarisée.

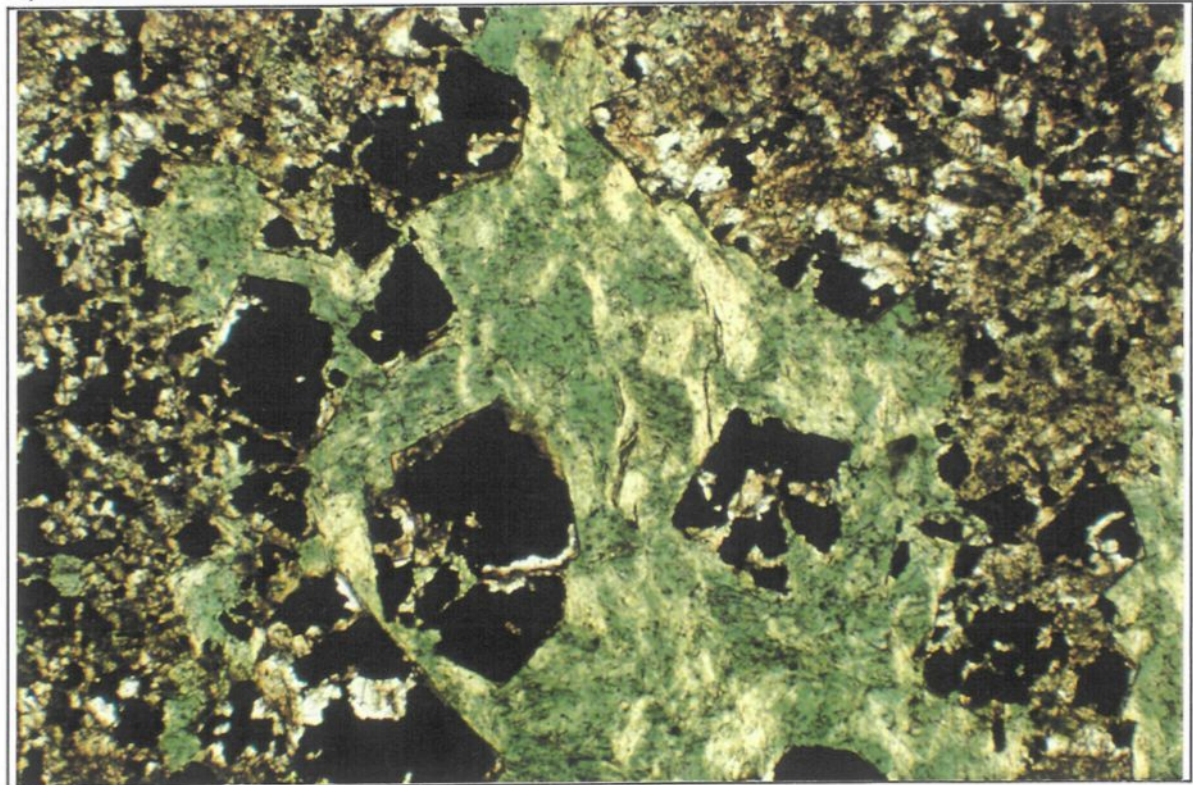
B) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la deuxième zone avec des minéraux opaques (en noir) associés au stilpnomélane (en brun) et la chlorite ferrifère (en vert). Lumière naturelle.

A)



0.5mm

B)



0.1mm

La zone 3: assemblage chlorite

La zone 3 est considérée comme la zone la plus altérée de la rhyolite Northwest, du fait de sa position contiguë à la zone minéralisée. Elle se caractérise par de la chlorite (60%) et une quantité variable de quartz (10 à 25%), qui constituent les deux principales phases. La chlorite montre une biréfringence brun-violacé (planche 5A). Elle se présente généralement sous forme fibreuse constituant un amas pouvant atteindre parfois jusqu'à 95% de la totalité de la roche. Le quartz est aussi abondant à quelques endroits allant jusqu'à 25%. Il se présente sous forme de grains en amas et montre une extinction roulante et des bordures plus ou moins suturées. L'épidote (<1%) est également présent, résultant du remplacement des cristaux de plagioclase avec pseudomorphose sous l'effet de l'altération hydrothermale ou d'autres événements postérieurs (comme le métamorphisme), car sa forme reflète en quelque sorte celle des plagioclases.

L'apatite (<2 %) constitue le principal minéral accessoire rencontré dans cette zone et se présente souvent en cristaux idiomorphes à hypidiomorphes en quantité variable. L'apatite est parfois zonée et fracturée (planche 5B) et ces fractures sont souvent remplies par le quartz. On note l'absence complète des plagioclases au niveau de cette zone. Entre la minéralisation et cette troisième zone se présente une zone composée de porphyroblastes d'actinolite (planche 6A).

III.3.2 Analyse des chlorites de la rhyolite

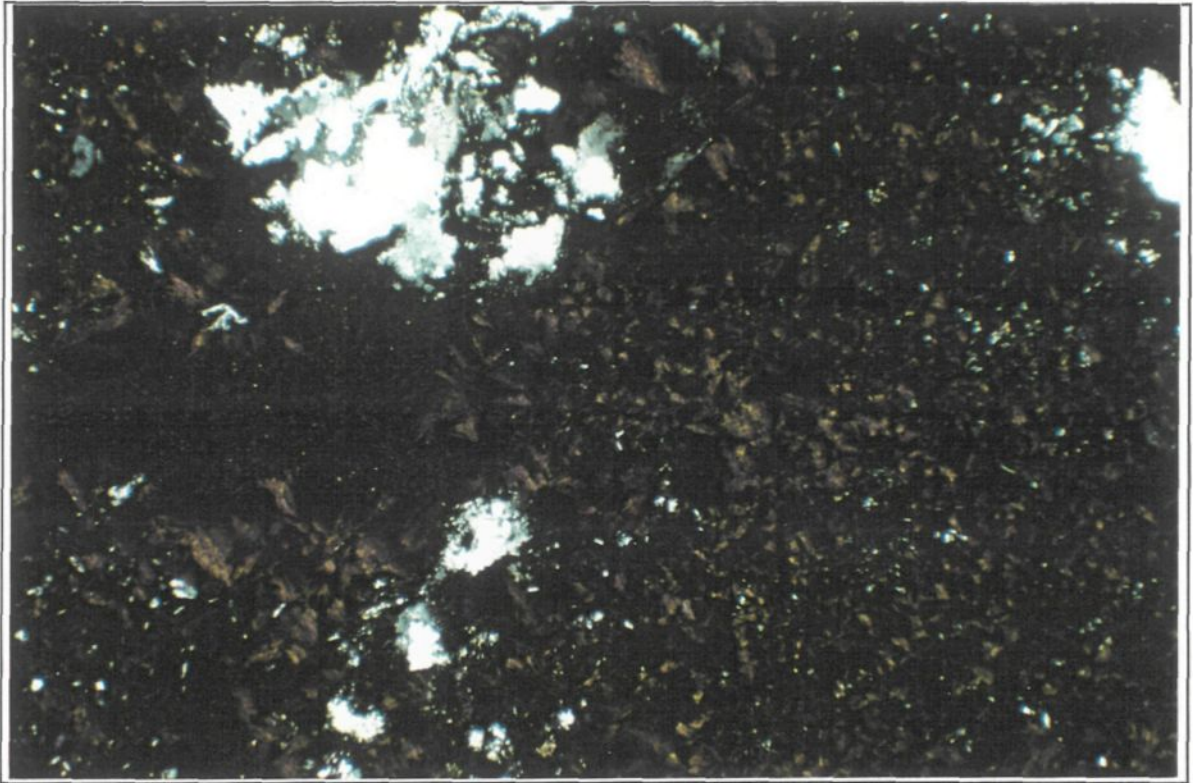
La chlorite a été analysée chimiquement à l'aide de la microsonde. Cette analyse a été

Planche 5

A) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 3 montre une chlorite (magnésienne) de teinte brun violacé et du quartz. Lumière polarisée.

B) Photomicrographie de la rhyolite Northwest de la zone 3 montrant avec un grain d'apatite automorphe zoné et fracturé (au centre de la photographie) dans une matrice de chlorite (brun violacé) et du quartz. Lumière polarisée.

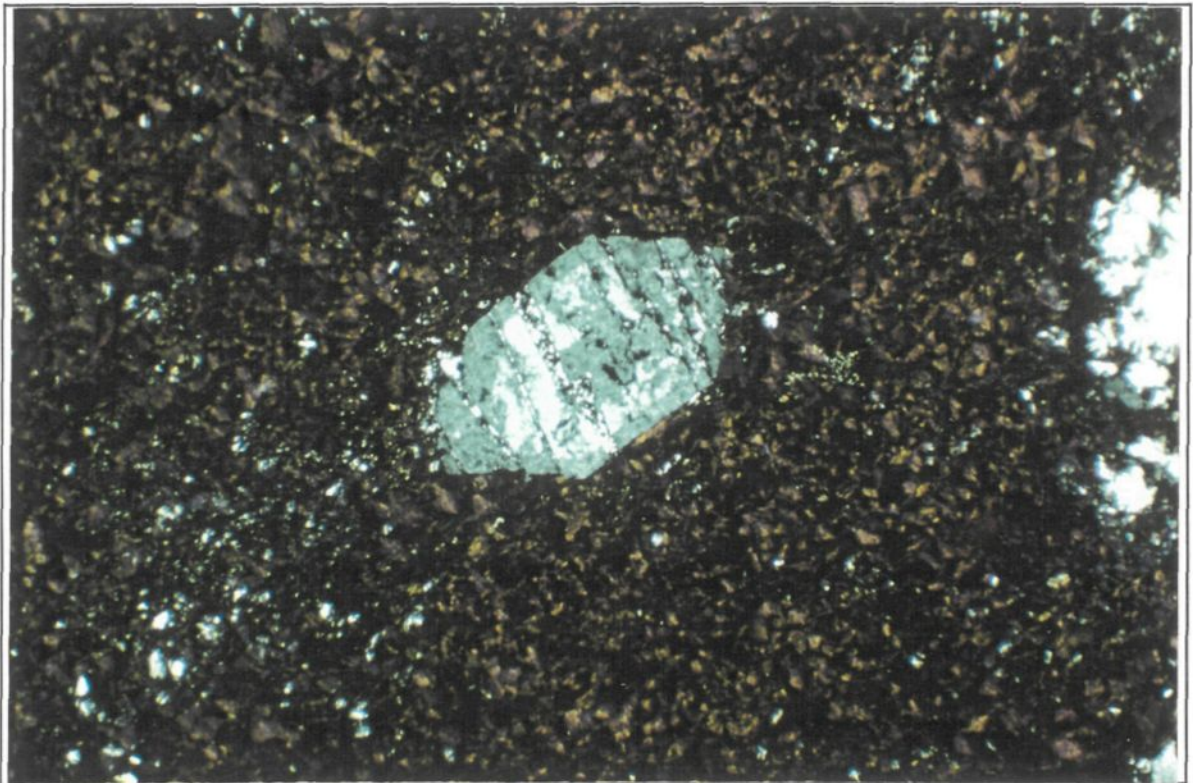
A)



0.5mm



B)



0.5mm



effectuée en raison du changement de la teinte de la chlorite déterminée pétrographiquement dans la rhyolite, ce qui laisse présumer une solution solide en Fe-Mg et en Al-Si. Les chlorites analysées proviennent pour la plupart d'échantillons altérés des trois zones de la rhyolite. Sur la figure 8, la majorité des chlorites se situent dans le champ de la ripidolite. Ces chlorites montrent deux regroupements, un premier se trouve à la limite des champs de la pychnochlorite, la brunsvigite et de la ripidolite. Le rapport $Fe/Fe+Mg$ de ce regroupement est d'environ 0,5. Pétrographiquement, ce groupe montre une biréfringence brun-violacée, contient plus de Mg que le deuxième groupe qui exhibe un rapport $Fe/Fe+Mg$ qui varie de 0,69 à 0,8, donc une chlorite plus ferrifère. Cette chlorite se situe dans le champ de la ripidolite. La teinte de la chlorite de ce deuxième groupe varie de bleu à vert avec également des teintes intermédiaires. La chlorite ferrifère est présente dans la majorité des échantillons altérés de la rhyolite (surtout les zones 1 et 2), alors que la chlorite magnésienne est présente dans les échantillons de la zone 3 (la zone à chlorite).

III.3.3 L'andésite Rusty-Ridge

L'andésite Rusty-Ridge dans les trous de forage étudiés présente une structure parfois massive, parfois coussinée avec des bordures de coussins évidentes marquées par des brèches hyaloclastiques chloriteuses et siliceuses, parfois franchement bréchiques. Les hyaloclastites ont une épaisseur qui peut atteindre 2 cm.

L'andésite Rusty-Ridge massive montre parfois une texture microdioritique d'une couleur gris-pâle. L'andésite renferme également des amygdales dont la quantité est variable. À la bordure des coussins, les amygdales sont remplies de quartz et se présentent en quantité allant jusqu'à 20 à 25%.

Des dykes porphyriques avec des phénocristaux de plagioclase recourent cette unité.

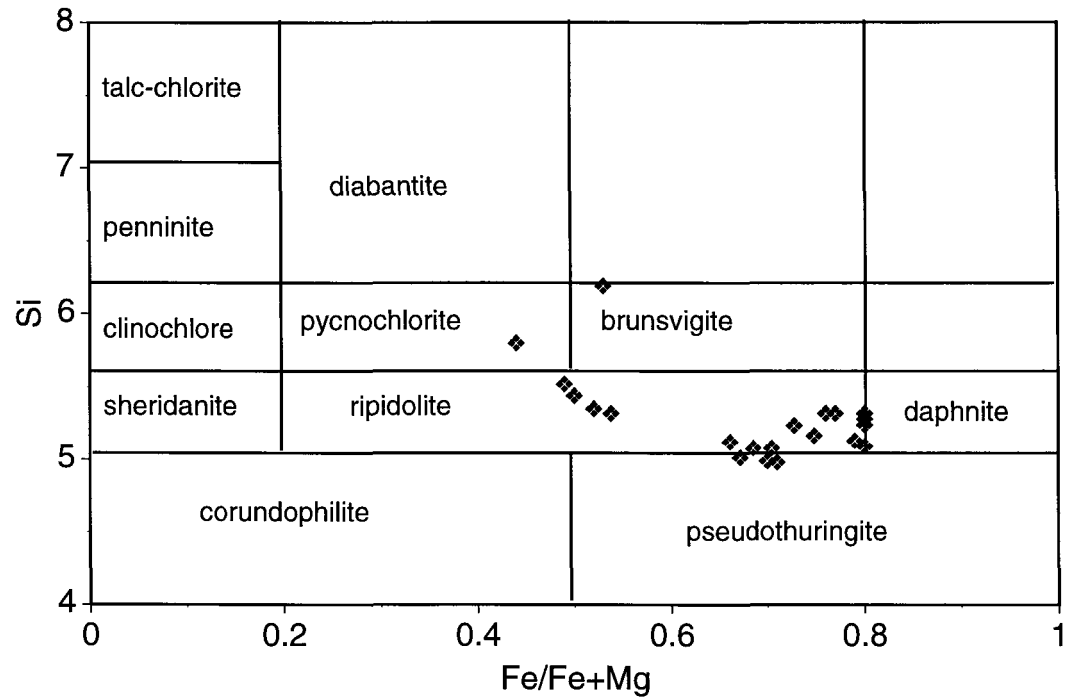


Figure 8: Diagramme de classification des chlorites de Hey (1954) pour les chlorites la rhyolite Northwest. Notez la présence de deux regroupements: un premier plus magnésien avec un rapport Fe/Mg d'environ 0,5 et un deuxième plus ferrifère avec un rapport Fe/Mg de 0,69 à 0,8.

Contrairement à la majorité des gisements de sulfures massifs volcanogènes qui montrent une altération hydrothermale qu'au niveau du mur, dans le cas du gisement Ansil, l'altération a non seulement affecté le mur (la rhyolite Northwest) mais elle a aussi provoqué de grandes variations minéralogiques et géochimiques dans le toit (l'andésite Rusty-Ridge), allant jusqu'à 300 m au-dessus de l'amas minéralisé (Cattalani *et al.* 1993a).

En lames minces, l'andésite Rusty-Ridge de la présente étude ne montre qu'un seul assemblage minéralogique (chlorite+séricite+quartz±carbonate (généralement de la dolomie)). La dolomie a été déterminée par des tests de coloration selon la méthode d'Anderson (1963). Cet assemblage unique s'étendant sur une seule zone caractérise une seule distribution spatiale d'altération. L'andésite se présente parfois comme une brèche de coulée (hyaloclastite) dont les fragments sont très altérés en une chlorite à biréfringence variant du bleu à bleu-violacé. La chlorite peut se présenter également sous forme amygdalaire avec une texture fibro-radiée (planche 6B). Le quartz se retrouve en phénocristaux recristallisés, parfois fracturés et avec une extinction ondulante. Au niveau de certains fragments, on remarque la présence d'un type de zonalité se caractérisant par une alternance de bandes de chlorite et de quartz (planche 7A). Cette zonalité peut indiquer plusieurs épisodes de cristallisations sous forme de pulsations périodiques entre chlorite et quartz. Le quartz est aussi trouvé sous forme d'amygdales. Au niveau de cette partie zonée, une faible déformation est remarquée.

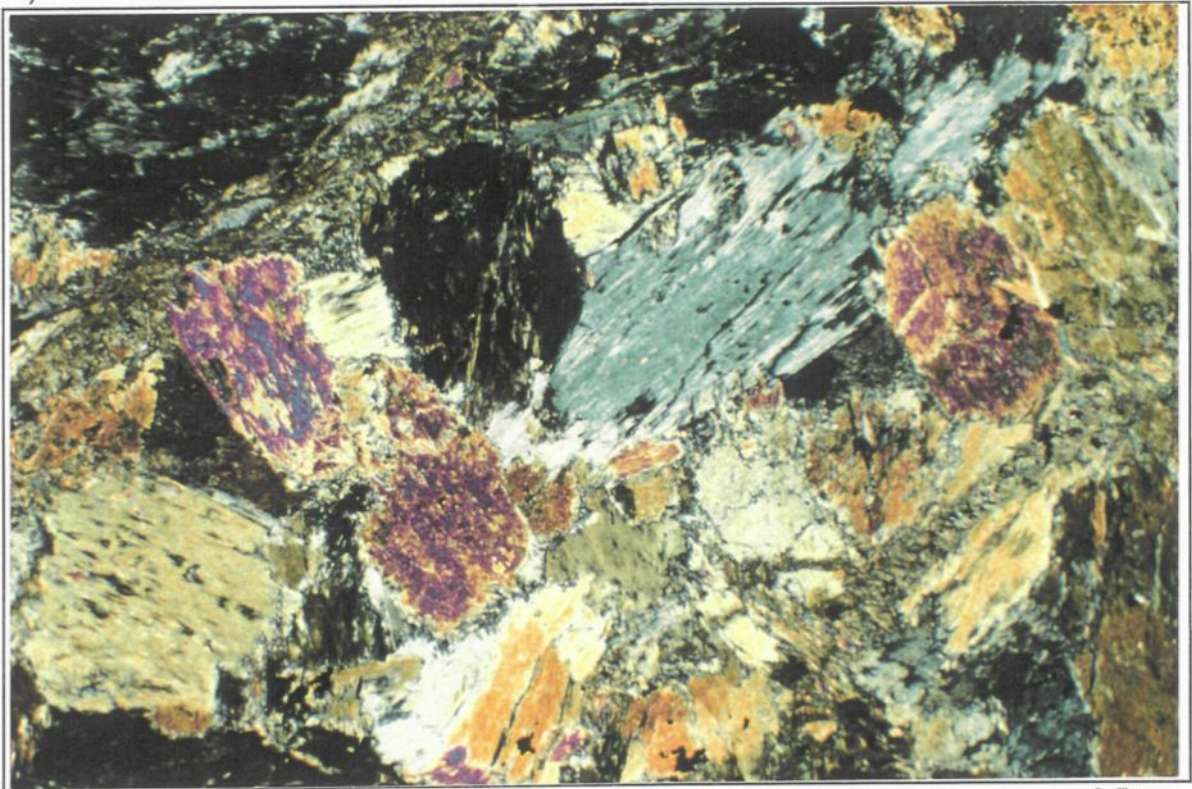
Les carbonates et l'épidote constituent des minéraux d'altération observés dans cette zone de brèche andésitique. Les carbonates se trouvent soit sous forme de veinules remplissant les fractures entre les grains de quartz (planche 7B), soit sous forme de grains isolés dans la matrice. Des minéraux opaques sont rencontrés parfois en veines. L'ensemble

Planche 6

A) Photomicrographie de la zone à amphibolite avec des grains d'actinolite de grande taille. Lumière polarisée.

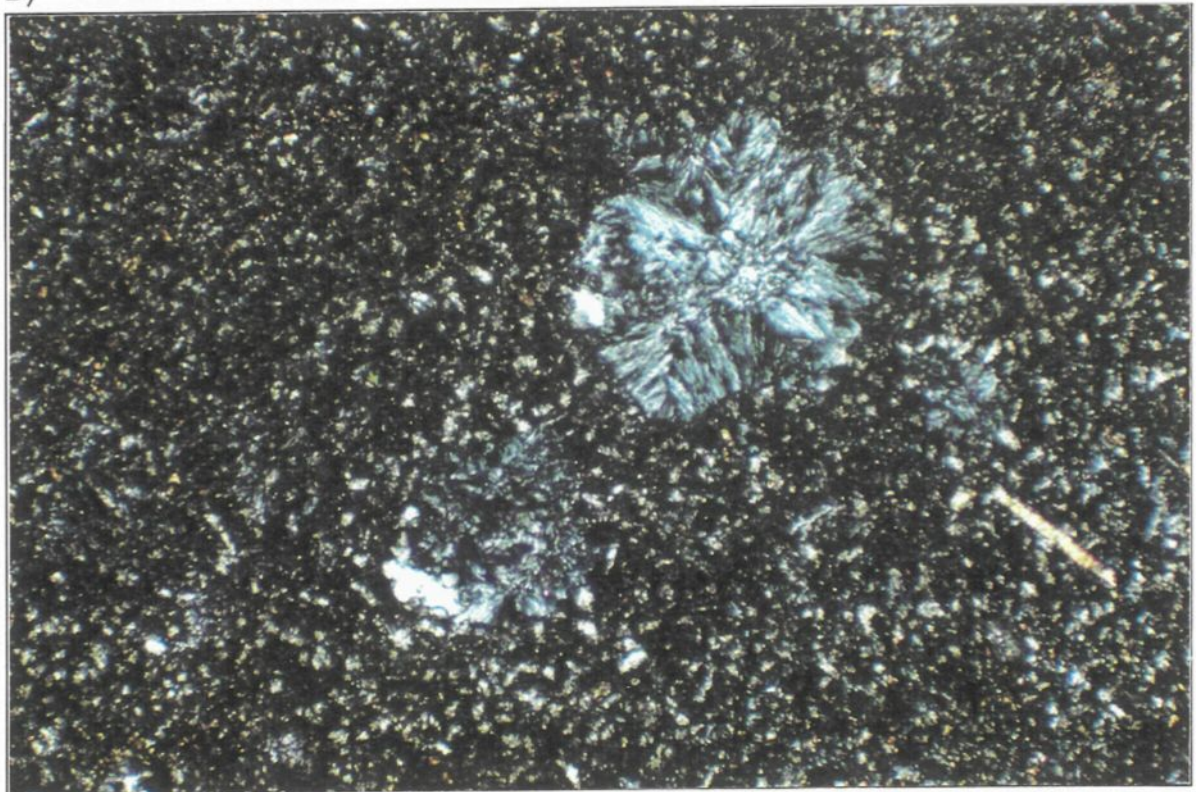
B) Photomicrographie de l'andésite Rusty-Ridge montrant une chlorite fibro-radiée de teinte bleue (pâle) sous forme amygdalaire. Lumière polarisée.

A)



0.5mm

B)



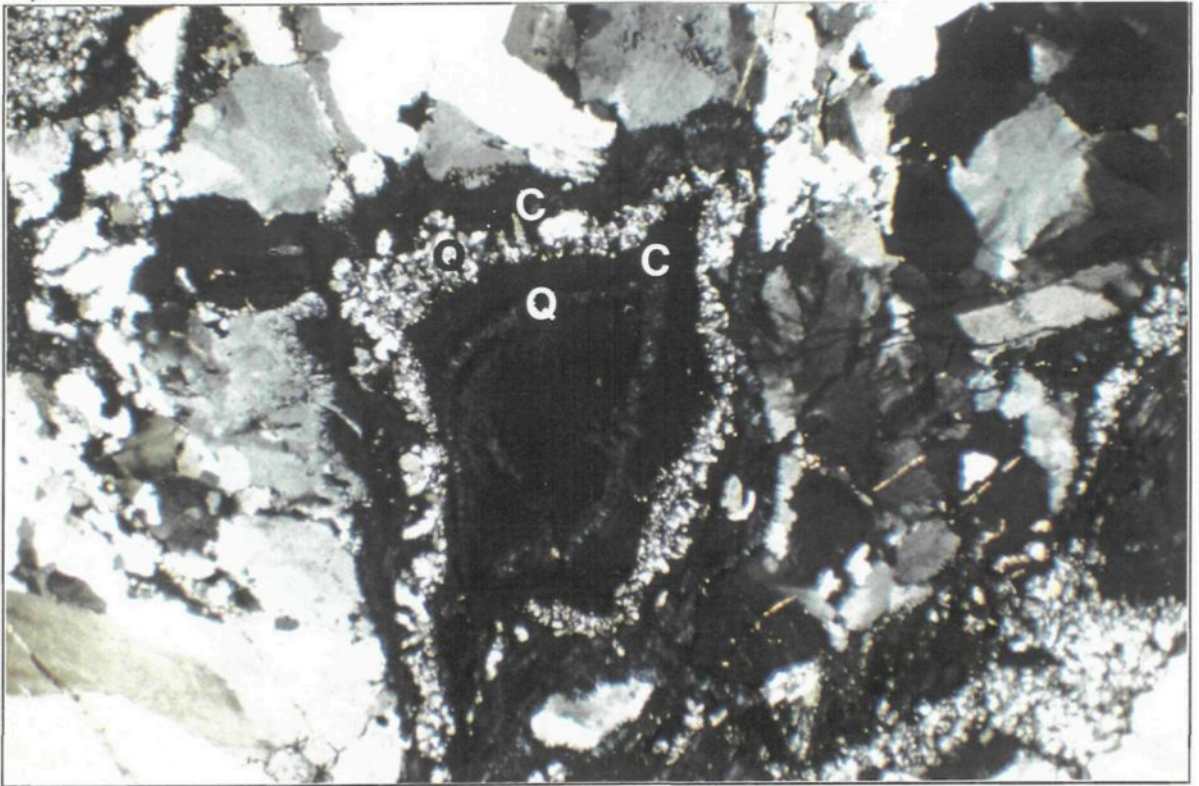
0.5mm

Planche 7

A) Photomicrographie de l'andésite Rusty-Ridge montrant une alternance de bandes de chlorite de teinte bleue (C) et de quartz (Q), indiquant une certaine zonalité. Lumière polarisée.

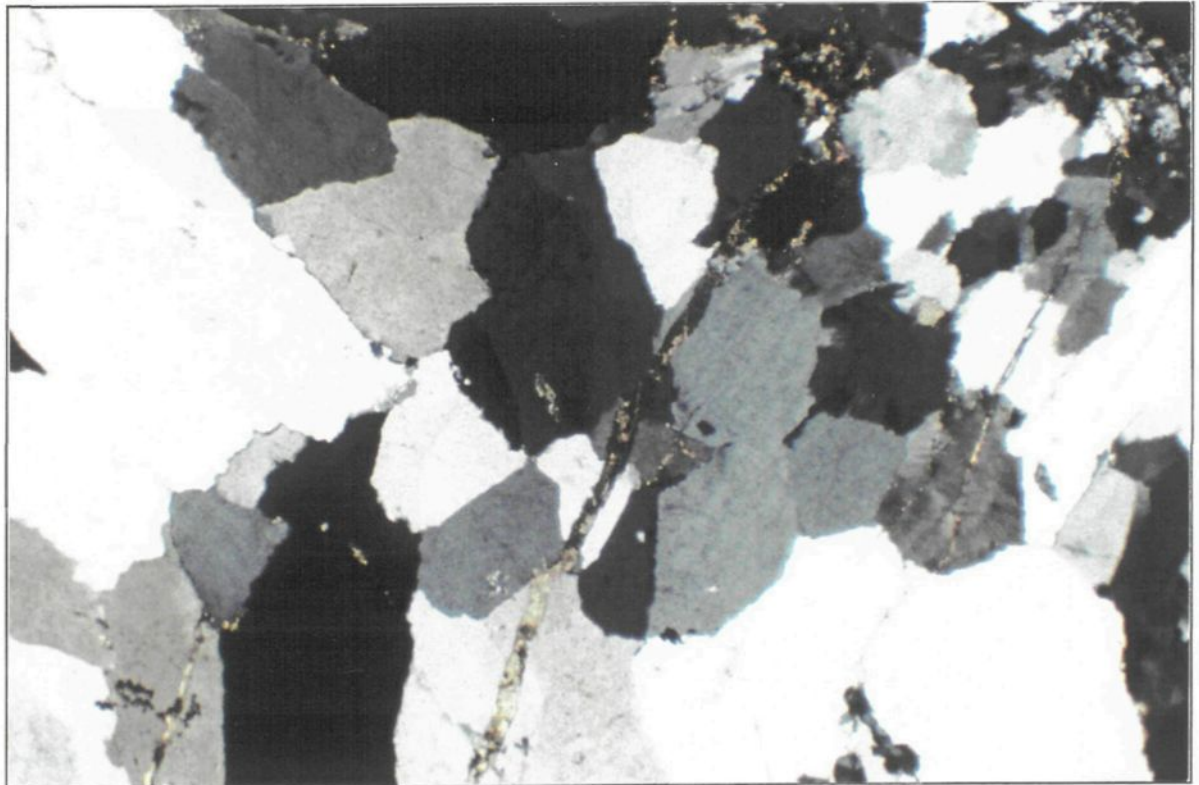
B) Photomicrographie d'une veine de quartz recoupée de minces veinules de carbonates (en brun pâle) dans l'andésite Rusty-Ridge. Lumière polarisée.

A)



0.5mm

B)



0.5mm

des fragments chloritisés et des minéraux accessoires baignent dans une matrice généralement siliceuse dont les grains de quartz et probablement ceux d'albite montrent une taille très petite.

Sur d'autres échantillons, l'andésite montre un aspect massif, altérée en chlorite et en séricite. La chlorite constitue parfois jusqu'à 90% de la roche avec une teinte variant de bleu, bleu-gris à bleu-vert.

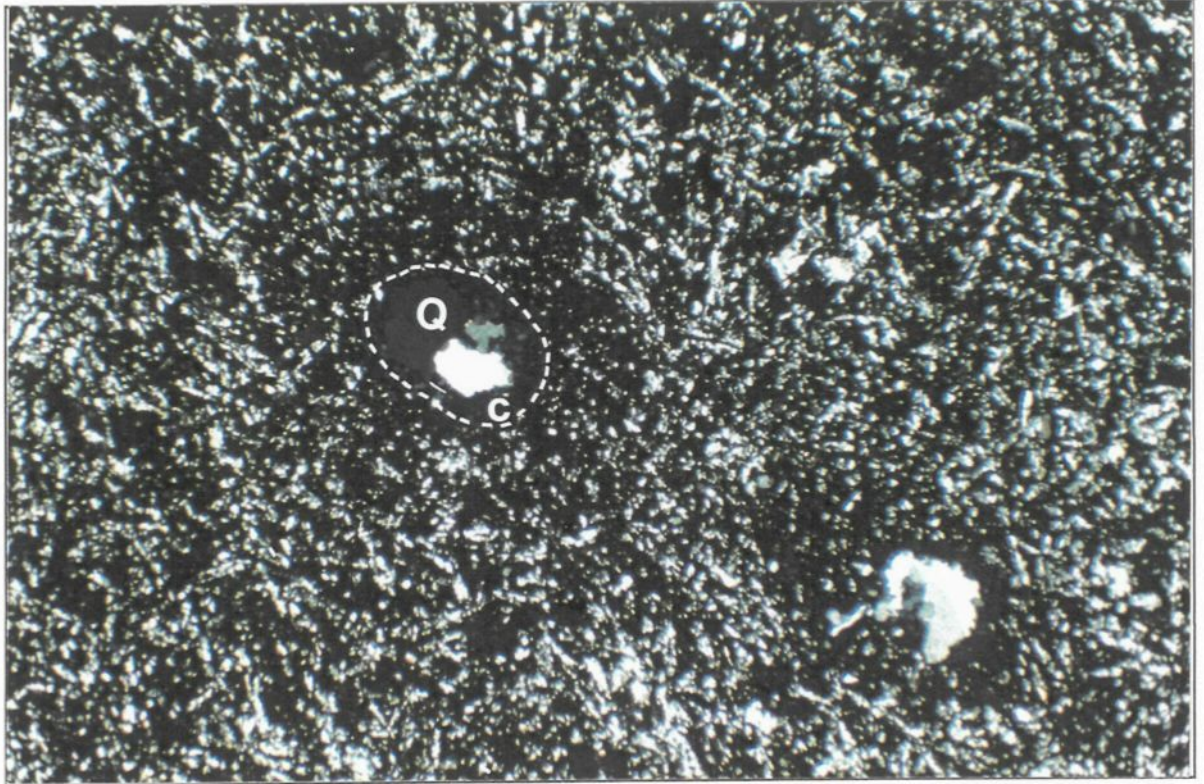
La damouritisation qui constitue la principale altération des plagioclases se développe principalement dans certains échantillons le long des macles et clivages pour ne laisser que l'empreinte relique des phénocristaux de plagioclase. La séricite, qui caractérise généralement ce type d'altération, est présente en grandes tailles et le terme de séricite est employé pour désigner les différentes espèces d'hydromuscovites.

La texture amygdalaire montre des amygdales remplies de chlorite et de quartz entouré de chlorite (planche 8). Les minéraux accessoires sont la zoisite et le rutile en traces. Le tout baigne généralement dans une matrice de chlorite, de séricite et d'un peu de quartz.

L'analyse à la microsonde des chlorites de l'andésite (figure 9) donne une chlorite riche en fer, qui montre un rapport $Fe/Fe+Mg$ élevé, variant de 0,55 à 0,77 et dont la biréfringence est bleue. Sur la figure 10, on voit que le rapport géochimique de $Fe/Fe+Mg$ (%poids) de la chlorite est directement proportionnel à celui de la roche totale pour les deux unités. La chlorite étant la principale phase silicatée qui contient le fer et le magnésium, son rapport fer/magnésium peut donc être estimé à partir de celui de la roche. À l'inverse, ces chlorites peuvent refléter le rapport $Fe/Fe+Mg$ original de la roche, puisque la teneur en Fe et en Mg dans les roches altérées de la présente étude est principalement contrôlée par la composition des chlorites.

Planche 8

Photomicrographie de l'andésite Rusty-Ridge montrant des amygdales (limitées par une ligne tiretée) remplies de quartz (Q) entouré d'une couronne de chlorite (c) de teinte bleue dans une matrice composée généralement de chlorite et du quartz. Lumière polarisée.



0.5mm



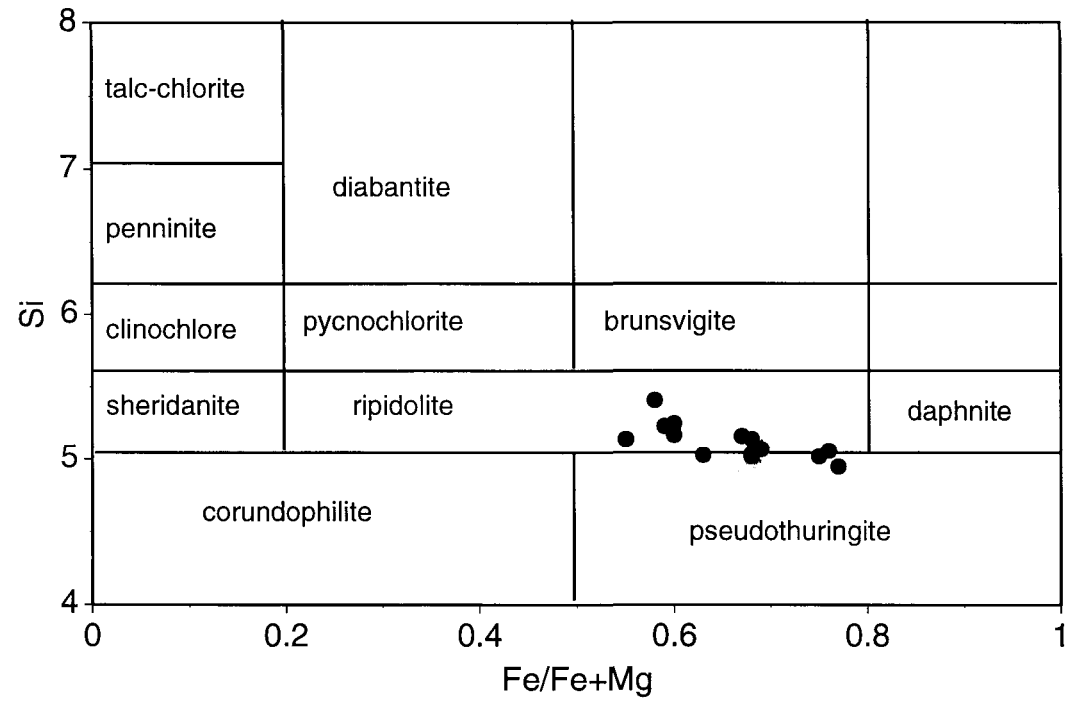


Figure 9: Diagramme de classification des chlorites de l'andésite Rusty-Ridge.
La nomenclature provient de Hey (1954).

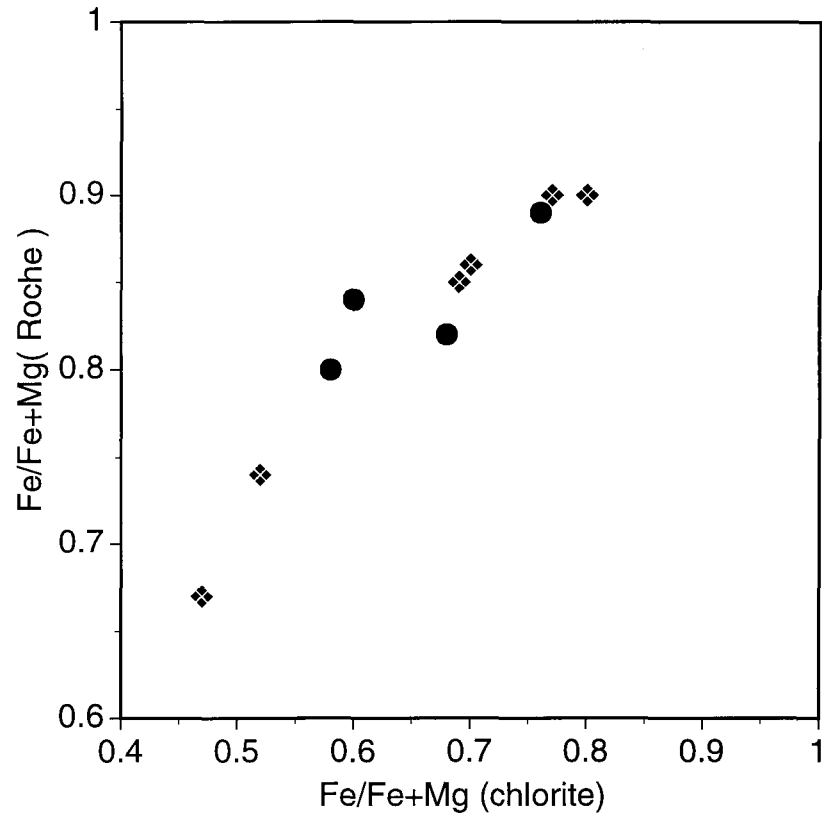


Figure 10: Diagramme montrant la relation entre le rapport Fe/Mg de la roche totale et celui de la chlorite. Notez bien la corrélation positive qui existe entre ces rapports.

III.3.4 La minéralisation

Le gisement d'Ansil est constitué d'une seule lentille de sulfures massifs, localisée au contact de la rhyolite Northwest et de l'andésite Rusty-Ridge. Cette lentille à une forme ellipsoïdale dont les axes est-ouest et nord-sud mesurent respectivement 275 et 160 m. Son épaisseur maximale est de 39,5 m. Elle est composée de deux renflements de sulfures qui constituent les limites est et ouest du gisement et qui sont reliés par une mince couche (figure 3). La partie ouest consiste approximativement en 35 m d'épaisseur de sulfures massifs homogènes à bien rubanés, alors que la partie-est est caractérisée par une accumulation basale épaisse de magnétite massive elle-même recouverte d'environ 10 m de sulfures massifs.

La pétrographie de la minéralisation a été entreprise pour déterminer les différentes phases métalliques constituant l'amas minéralisé d'Ansil et les textures qu'on y retrouve. Nos observations pourront être comparées avec les études précédentes effectuées sur la même propriété. Pour réaliser cette étude, 17 lames minces polies ont été étudiées et on a pu déterminer que, par ordre d'abondance décroissante, les minéraux sulfurés et les oxydes principaux sont la chalcopryrite, la pyrrhotite, la magnétite, la sphalérite et la pyrite. Toutefois les sulfures les plus souvent rencontrés sont la chalcopryrite et la pyrrhotite.

La chalcopryrite est généralement massive et se présente sous forme de plages irrégulières de gros cristaux avec des macles mécaniques locales (planche 9A) dues probablement à la déformation, représentant parfois jusqu'à 80 à 90% de la totalité de la minéralisation. Elle apparaît également en bandes millimétriques intercalées avec des bandes discontinues de pyrrhotite (environ 50% de chaque minéral), ce qui donne un aspect de rubanement dont le contact entre les bandes peut être franc et mutuel mais quelquefois moins net. Sur quelques lames, la chalcopryrite est trouvée en petits grains dispersés dans la

gangue. Elle peut aussi remplacer la pyrrhotite (planche 9B), ou peut contenir des plages isolées ou des grains d'autres sulfures (chalcopryrite, sphalérite, pyrite) et de la gangue (chlorite, quartz, carbonates) .

La pyrrhotite se présente surtout sous forme de bandes discontinues et discrètes (planche 10A) alternant avec des bandes de chalcopryrite (comme déjà mentionné ci-dessus). Ces deux sulfures sont souvent associés ensemble. La pyrrhotite se présente également en agrégats ou en plages, de forme irrégulière, parfois arrondie, légèrement fracturés et montrant des jonctions triples témoignant d'une recristallisation due peut-être au métamorphisme. On la trouve aussi sous forme de petits filonnets dans la chalcopryrite. Comme déjà mentionné, on note un remplacement de la pyrrhotite par la chalcopryrite. La pyrrhotite peut représenter jusqu'à 60 à 70% de l'ensemble de la minéralisation. Elle renferme quelques sulfures notamment de la pyrite et aussi des exsolutions de pentlandite. La chalcopryrite et la pyrrhotite présentent en général une texture, soit massive, soit rubannée. La pyrrhotite montre aussi une texture de recristallisation (point triple).

Les minéraux de la gangue qu'on trouve le plus souvent associés avec la chalcopryrite et la pyrrhotite sont surtout le quartz et la chlorite, qui se présentent en quantités variables. De la séricite, des carbonates et des plagioclases sont également observés mais en quantité faible. Parfois une texture de remplacement de la pyrrhotite par la chalcopryrite est aussi observée.

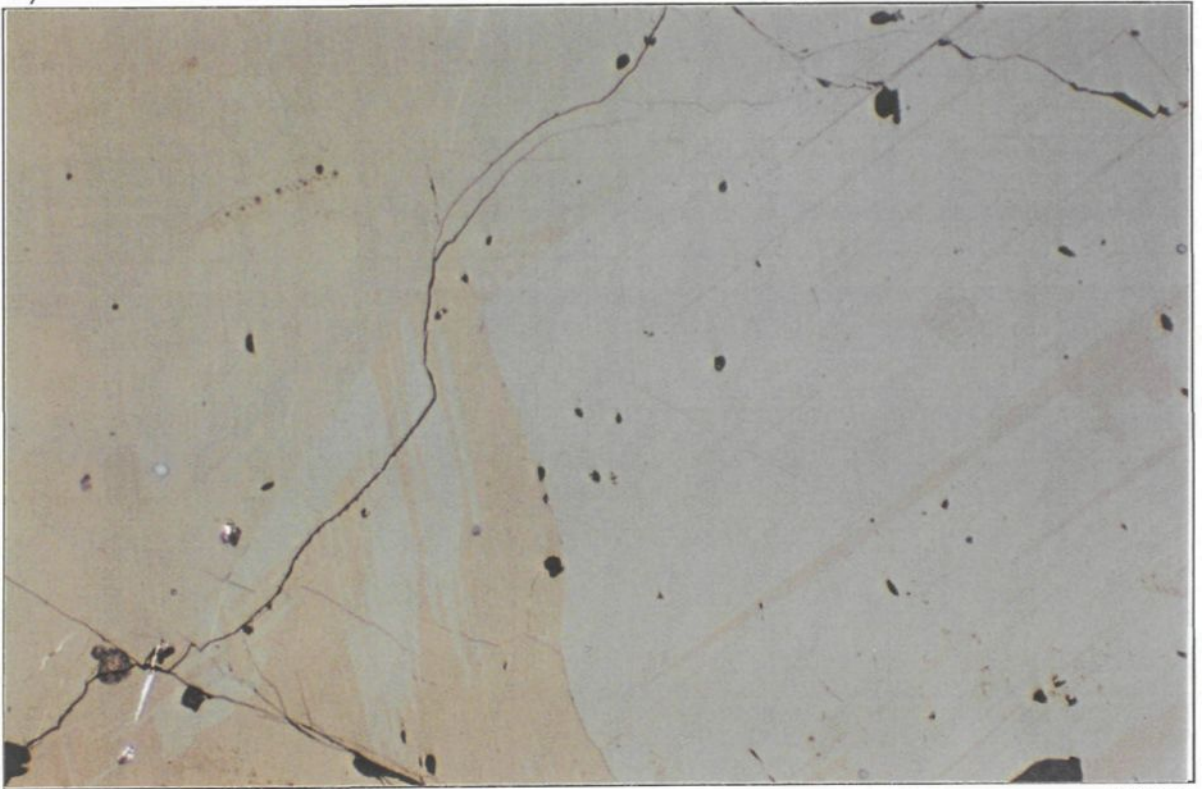
La magnétite, en général, se trouve comme constituant mineur dans presque tous les dépôts de sulfures massifs de la région de Noranda, à l'exception des gisements de Corbet et Ansil où la magnétite se localise de façon importante à la base des lentilles de sulfures. Macroscopiquement, à Ansil, la magnétite est anormalement abondante. Dans certains

Planche 9

A) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation massive de la chalcoppyrite maculé.

B) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation massive avec la chalcoppyrite (jaune) qui a tendance à remplacer la pyrrhotite (gris pâle).

A)



0.1mm

B)



0.1mm

endroits, la magnétite forme des accumulations pouvant aller jusqu'à 10 mètres d'épaisseur. À l'intérieur de l'amas minéralisé, elle est trouvée sous forme de lentilles ou de zones discrètes qui sont généralement en contact avec le renflement inférieur de l'amas (Cattalani *et al.* 1993a).

Localement, des blocs métriques de sulfures massifs se trouvent entièrement ou partiellement à l'intérieur de la magnétite massive. Cette observation suggère une formation de la magnétite par remplacement des autres sulfures (Barrett *et al.* 1991c). Au microscope, la magnétite de la présente étude se présente en cristaux sous forme de plages, dont la forme est angulaire. Ces cristaux sont légèrement fracturés et ces fractures sont remplies de différents sulfures et/ou de la gangue (chalcopyrite, pyrrhotite, amphibole, quartz, et chlorite). Il arrive aussi qu'elle développe des cristaux aciculaires (planche 10B). Elle se présente aussi sous forme microcristalline automorphe dans la sphalérite. La chalcopyrite montre parfois un aspect tardif par rapport à la magnétite. Il s'agit probablement d'une remobilisation de la chalcopyrite dans les fractures de la magnétite. La magnétite montre parfois un rubanement avec les autres sulfures, notamment la chalcopyrite et la pyrrhotite (planche 11A).

La magnétite (\pm la pyrrhotite) est parfois disséminée dans une gangue composée généralement de quartz, de stilpnomélane et de carbonates. La magnétite montrant une texture aciculaire idiomorphe est souvent associée aux amphiboles (actinolites).

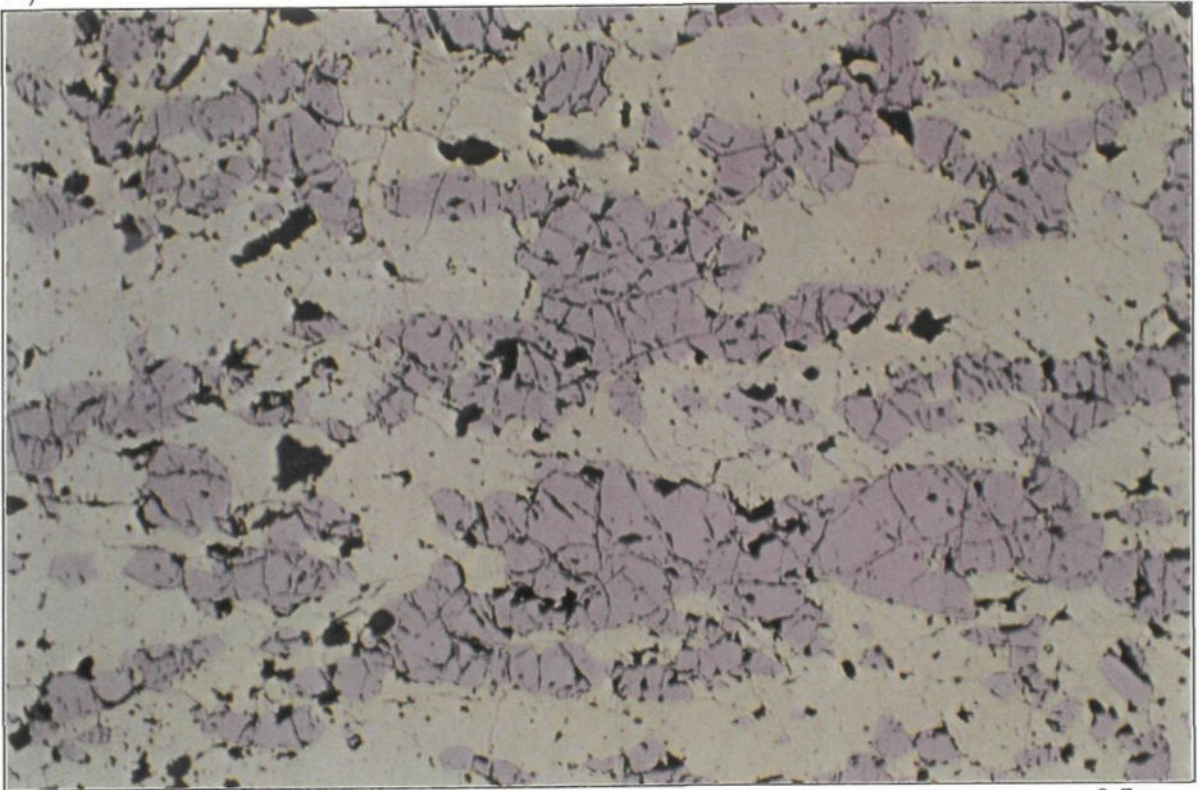
Généralement à Ansil, la sphalérite se présente en quantité importante dans les zones bréchiques de la rhyolite (Galley *et al.* 1991), dans la zone périphérique de l'amas minéralisé ainsi qu'en bordure de la cheminée de minéralisation (*stockwerk*) (Cattalani *et al.* 1993a). Au niveau des tufs cherteux ou à cristaux, elle forme des couches minces qui alternent avec

Planche 10

A) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation massive montrant des bandes discontinues et discrètes de pyrrhotite (gris pâle) qui alternent avec des bandes de chalcopyrite (jaune).

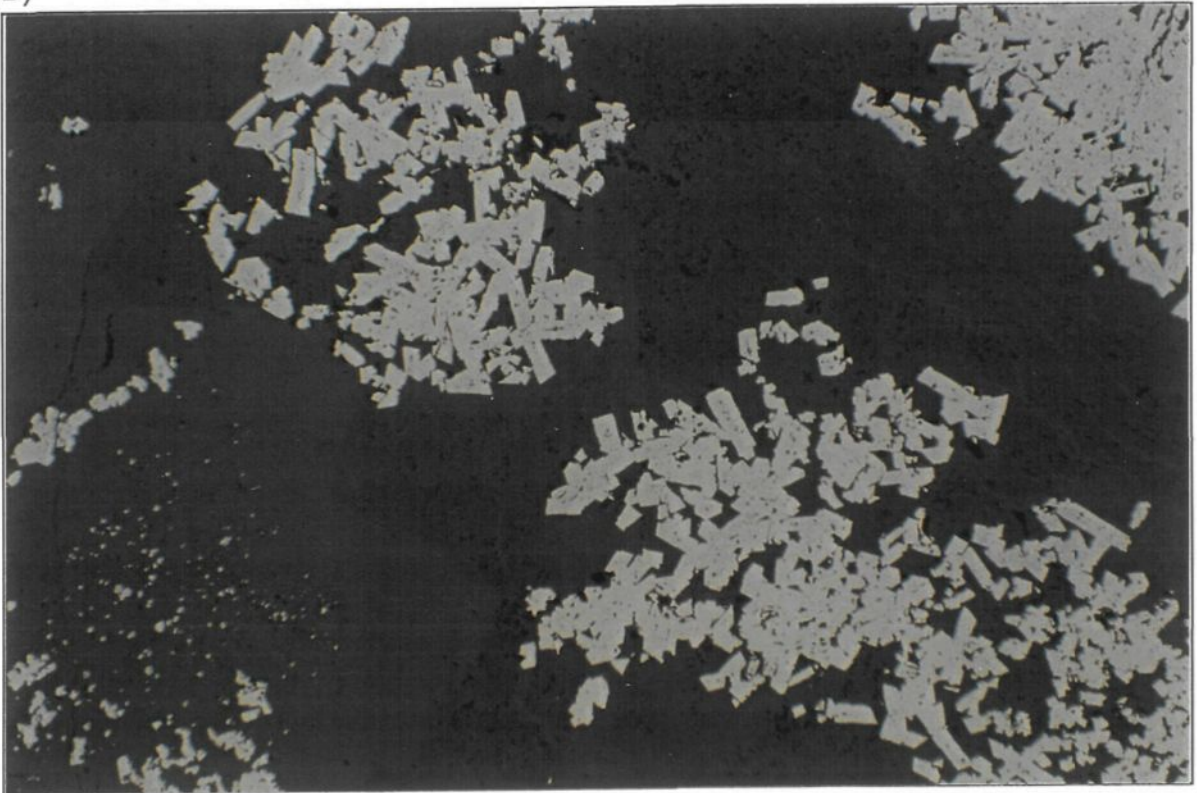
B) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation en magnétite sous forme aciculaire (gris) dans de la gangue formée généralement d'amphiboles (noire).

A)



0.5mm

B)



0.5mm

des lits parallèles de chalcopryrite, pyrite et de chert. Cette alternance semble former une zonation qui montre une texture probablement d'origine volcano-sédimentaire (Riverin *et al.* 1990). À l'échelle microscopique des lames minces polies étudiées, la sphalérite est en très faible quantité (<1%) et se présente généralement sous forme de grains isolés xénomorphes à l'intérieur de l'amas minéralisé, souvent associée aux minéraux de la gangue, à la chalcopryrite ou parfois entre les fractures de la pyrrhotite.

La pyrite constitue le minéral sulfuré le moins abondant du gisement. Généralement, elle se présente sous forme de petits cristaux hypidiomorphes dans la pyrrhotite ou associée à la chalcopryrite. On la trouve également sous forme de porphyroblastes idio- à hypidiomorphes fracturés montrant une sorte de bréchification (planche 11B). Les fractures sont occupées par la pyrrhotite, ce qui donne un certain ordre d'apparition des deux sulfures (pyrite suivie de la pyrrhotite). Parfois la chalcopryrite montre un signe de remplacement de la pyrite. Cette texture bréchique de la pyrite pourrait probablement être une texture de déformation cataclastique (déformation cassante) (Frater 1985).

D'autres minéraux métalliques en traces ont également été visualisés. Il y a un minéral fortement pléochroïque de couleur ressemblant à celle de la pyrrhotite, difficile à déterminer au microscope. Il s'agit probablement de la boulangérite ou de tellures. Ce minéral est distribué dans les fractures tardives, se présentant souvent sous forme de filonnets dans la chalcopryrite. Deux autres minéraux non identifiés sont souvent associés ensemble, le premier de couleur blanchâtre ressemblant à la pyrite (probablement de l'arsénopyrite) et le deuxième de couleur grise (galène?). Une quantité très faible d'ilménite est aussi observée.

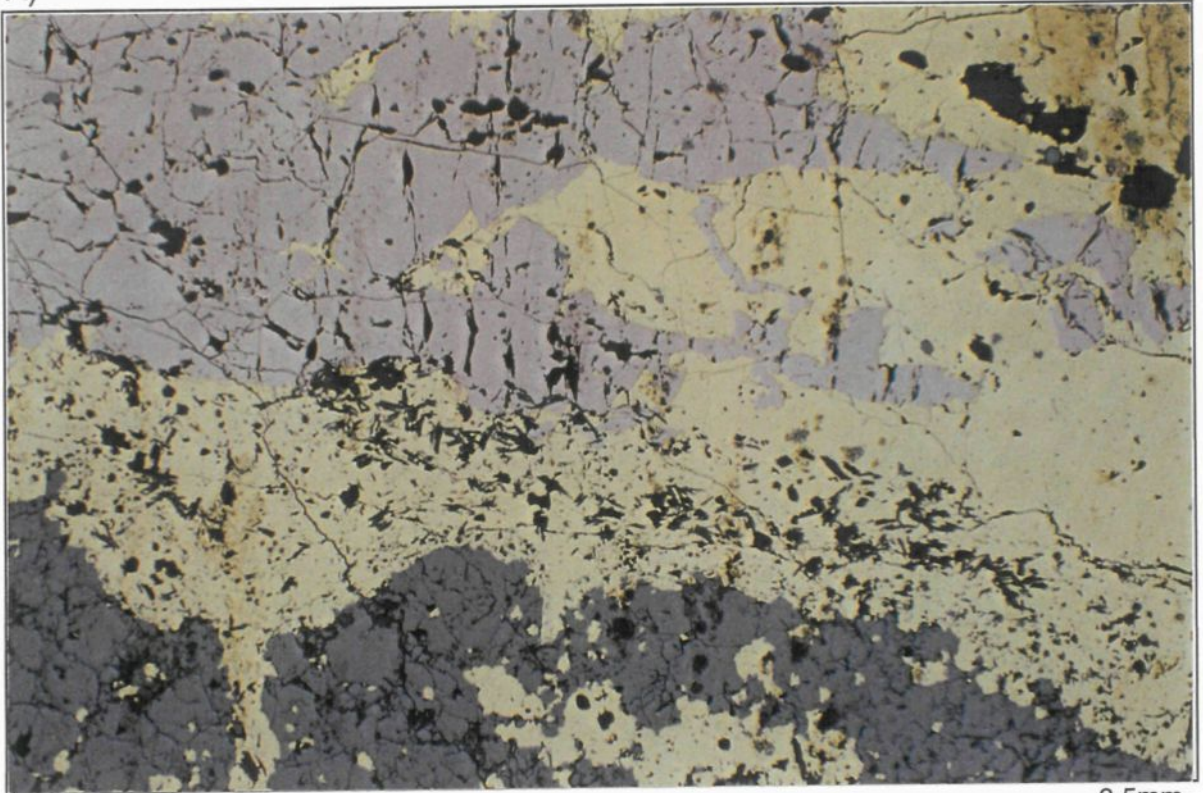
La gangue, de composition très variable, renferme du quartz, des plagioclases, de la chlorite, de la séricite, de l'apatite, des carbonates et des amphiboles. La majorité des


Planche 11

A) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation massive montrant un rubanement magnétite (gris foncé), de chalcopryrite (jaune) et de pyrrhotite (gris pâle).

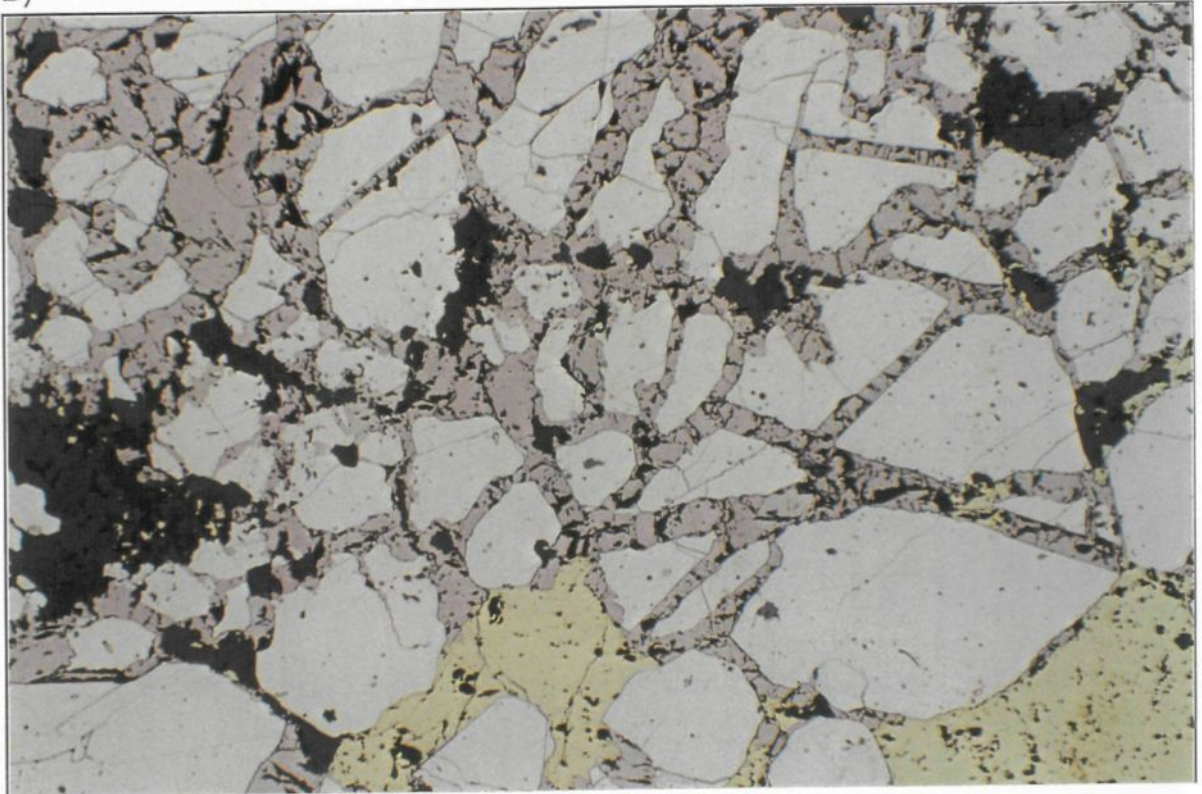
B) Photomicrographie en lumière réfléchie de la minéralisation avec des porphyroblastes de pyrite fracturée qui montre une sorte de bréchification *in situ*. Les fractures sont occupées par la pyrrhotite (gris pâle). Il y a aussi présence de chalcopryrite (en jaune).


A)



0.5mm


B)



0.5mm


minéraux silicatés montre la texture “decussate” qui se développe dans la minéralisation.

De façon générale, la minéralisation du gisement Ansil de la présente étude est identique à celles des autres études antérieures faites sur le gisement Ansil, et elle est similaire à celles des autres gisements de la région de Rouyn-Noranda, avec quelques différences qui résident dans la quantité d'un minéral par rapport à un autre. Au niveau d'Ansil, la chalcopryrite et la pyrrhotite sont les plus abondants avec des pourcentages pouvant aller jusqu'à 60% et 35 % respectivement. Contrairement aux autres gisements, comme par exemple le gisement Corbet où la pyrrhotite et la chalcopryrite atteignent des pourcentages de 60 et 9 % respectivement et la pyrite 20%. Une des caractéristiques aussi du gisement Ansil est l'abondance de la magnétite qui est un minéral moins commun ailleurs dans les autres dépôts de sulfures massifs volcanogènes.

III.4 Conclusions préliminaires de la pétrographie

L'examen pétrographique des deux trous de forages provenant de la propriété Ansil a révélé une zonation d'altération au niveau de la rhyolite du mur. Le degré d'altération s'intensifie au fur et à mesure que l'on s'approche de l'amas minéralisé. Ainsi trois assemblages minéralogiques ont été mis en évidence:

- une zone distale caractérisée par l'assemblage séricite-chlorite.
- une zone intermédiaire avec l'assemblage chlorite-carbonates.
- une zone proximale se caractérisant par l'assemblage chlorite.

L'altération a également touché l'andésite du toit en provoquant des changements minéralogiques, mais, contrairement à la rhyolite, un seul assemblage a été décelé au niveau de l'andésite: il s'agit de l'assemblage chlorite+séricite+quartz±carbonates. L'analyse de la chlorite a donné une chlorite riche en fer. La minéralisation d'Ansil est très simple, facile à

identifier et montre dans l'ordre décroissant d'abondance les minéraux suivants: la chalcopyrite, la pyrrhotite, la magnétite, la sphalérite et en moindre quantité la pyrite.

CHAPITRE IV

GÉOCHIMIE

IV.1 Introduction

Pour caractériser géochimiquement les unités volcaniques d'Ansil dans la présente étude, nous allons nous baser sur des analyses chimiques originales (Annexe 3) et sur d'autres analyses provenant de Cattalani *et al.* (1993a) (Annexe 2). Ces dernières ont été choisies afin d'être représentatives des échantillons les moins altérés, étant donné l'absence de ce type d'échantillons dans nos roches et surtout dans l'andésite qui ne présente aucun échantillon frais. En effet, les critères de classification définis par Gélinas *et al.* (1977) pour sélectionner les roches fraîches, et qui se basent essentiellement sur l'absence de corindon normatif, la présence de clinopyroxène et une faible perte au feu, ne se rencontrent pas pour les échantillons andésitiques et pour la majorité des échantillons rhyolitiques. De plus l'indice d'altération ($I.A = [(MgO+K_2O)/(MgO+K_2O+CaO+Na_2O)] \times 100$) de Ishikawa *et al.* (1976) donne des valeurs très élevées, généralement supérieur à 50%, ce qui signifie que les échantillons de la présente étude sont soit séritisés, soit chloritisés et/ou les feldspaths ont été lessivés. Enfin, au point de vue chimique, les échantillons montrent une certaine mobilité de quelques éléments, entre autres une perte en sodium (\pm calcium) et un enrichissement en fer

et magnésium. Il s'ensuit donc que les diagrammes, et particulièrement ceux qui contiennent un de ces éléments, Ca, Na, Mg, et Fe (par exemple: Irvine et Baragar 1971; Miyashiro 1974; et Jensen 1976), sont peu fiables pour la classification pétrologique des roches altérées par hydrothermalisme, *i.e* montrant une mobilité de ces éléments. Toutefois les échantillons les moins altérés vont être utilisés pour caractériser les volcanites d'Ansil et servir également à montrer l'évolution de l'altération dans ces unités.

D'autres part, les composantes qui demeurent immobiles lorsqu'elles sont soumises aux conditions hydrothermales vont être utilisées pour établir la composition primaire des roches ainsi que leurs affinités chimiques. De nombreuses études portant sur les gisements de sulfures massifs volcanogènes ont montré que quelques éléments traces, Ti, Al et les terres rares lourdes, restent immobiles sous les conditions imposées par l'altération hydrothermale et le métamorphisme au faciès schistes verts (voir notamment MacLean 1988; MacLean et Kranidiotis 1987; Campbell *et al.* 1984 ; Costa *et al.* 1983; MacGeehan et MacLean 1980; Riverin et Hodgson 1980; Roberts et Reardon 1978).

Comparativement à la pétrographie qui nous a permis de mettre en évidence trois zones caractérisées chacune par son propre assemblage minéralogique dans la rhyolite, la géochimie comme on le verra ne permet pas cette conclusion.

IV.2 Caractérisation des volcanites d'Ansil

IV.2.1 Les éléments majeurs

Généralement, les roches volcaniques sont classées en fonction de la teneur en silice pour fin de nomenclature. D'après Gélinas *et al.* (1977), la teneur en silice des andésites est comprise dans l'intervalle 54% à 62%, alors que les rhyolites ont des teneurs plus élevées que 71%. Cette nomenclature correspond bien aux roches les moins altérées choisies dans

Cattalani *et al.* (1993a) (Annexe 2).

La distribution des analyses des roches dites fraîches et altérées sur le diagramme K_2O-SiO_2 (Peccerillo et Taylor 1976; figure 11) permet de classifier les roches les moins altérées, d'en caractériser les affinités géochimiques et d'en observer l'effet de l'altération. Le diagramme montre que tous les échantillons non altérés et même les échantillons altérés se rangent dans le champ des séries tholéitiques pauvres en K. Les analyses de la rhyolite Northwest varie d'une composition franchement rhyolitique (les échantillons frais) à dacitique à même andésitique pour les échantillons altérés. Par contre, les échantillons de l'andésite Rusty-Ridge sont de composition basaltique et andésitique pour les roches fraîches et altérées. La variation de composition dans les roches altérées est donc due entre autres à la mobilité de la silice durant le processus d'altération. Du fait que la rhyolite altérée et l'andésite montrent parfois une composition très similaire compte tenu de l'addition du Fe dans la première et de SiO_2 dans la seconde lors de l'altération, le recours à leur teneur en titane (TiO_2) s'avère très utile pour faire la distinction entre ces deux unités. La rhyolite a des teneurs ne dépassant pas 0,43% alors que l'andésite montre des valeurs supérieures à 1,15% (annexe 3). Le diagramme TiO_2-Zr (figure 12) permet de faire nettement la distinction entre la rhyolite et l'andésite, car ce diagramme est considéré l'un des plus fiable et informatif, du fait que le TiO_2 et le Zr sont considérés être immobiles lors de l'altération hydrothermale. Sur ce diagramme, on peut identifier les compositions originales des roches totales, même si les volcanites ont été sévèrement altérées et métamorphisées.

Sur le diagramme ternaire AFM (Irvine et Baragar 1971; figure 13), les échantillons frais de la rhyolite et de l'andésite se distribuent près de la ligne séparant les champs tholéitique et calco-alcalin. Les échantillons altérés, par contre, se situent complètement dans le champ tholéitique. La rhyolite montre un degré d'altération variable et progressif qui

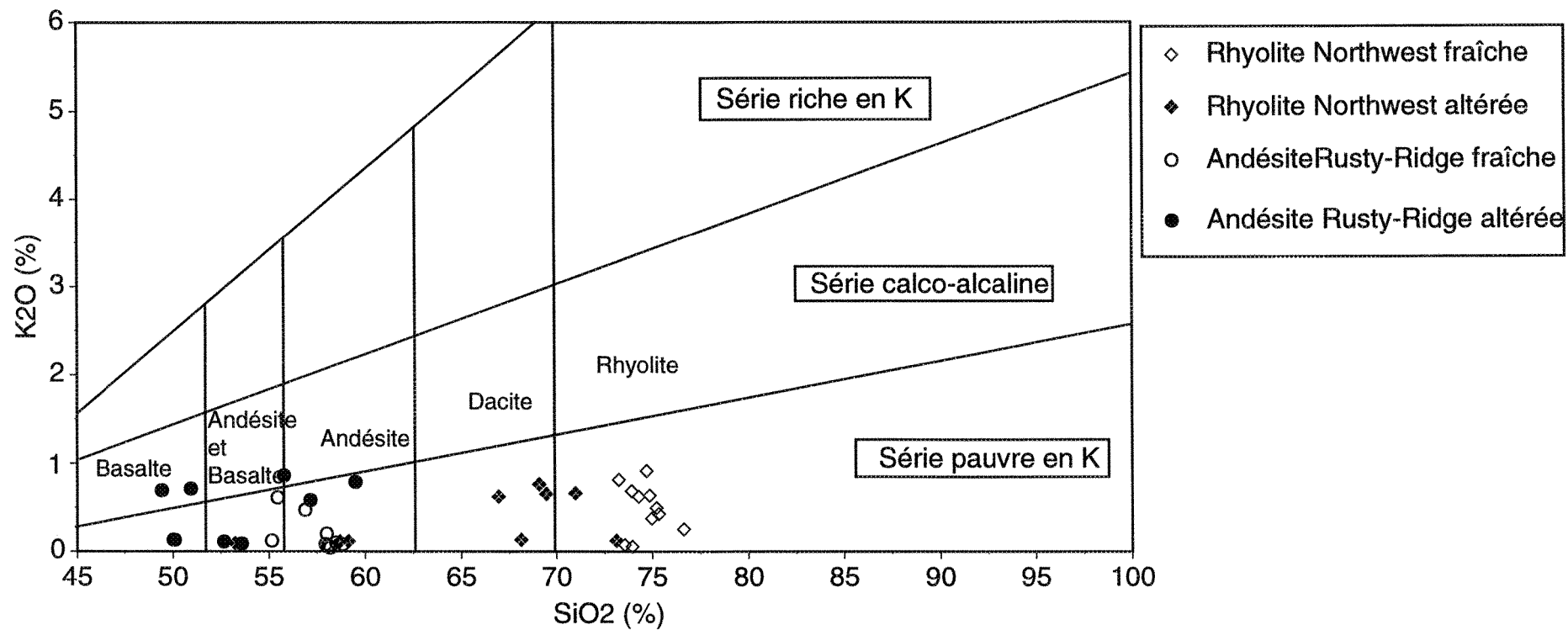


Figure 11: Diagramme K_2O en fonction de SiO_2 pour la classification détaillée des roches volcaniques (Peccerillo et Taylor, 1976). Les échantillons moins altérés proviennent de Cattalani *et al.* (1993a).

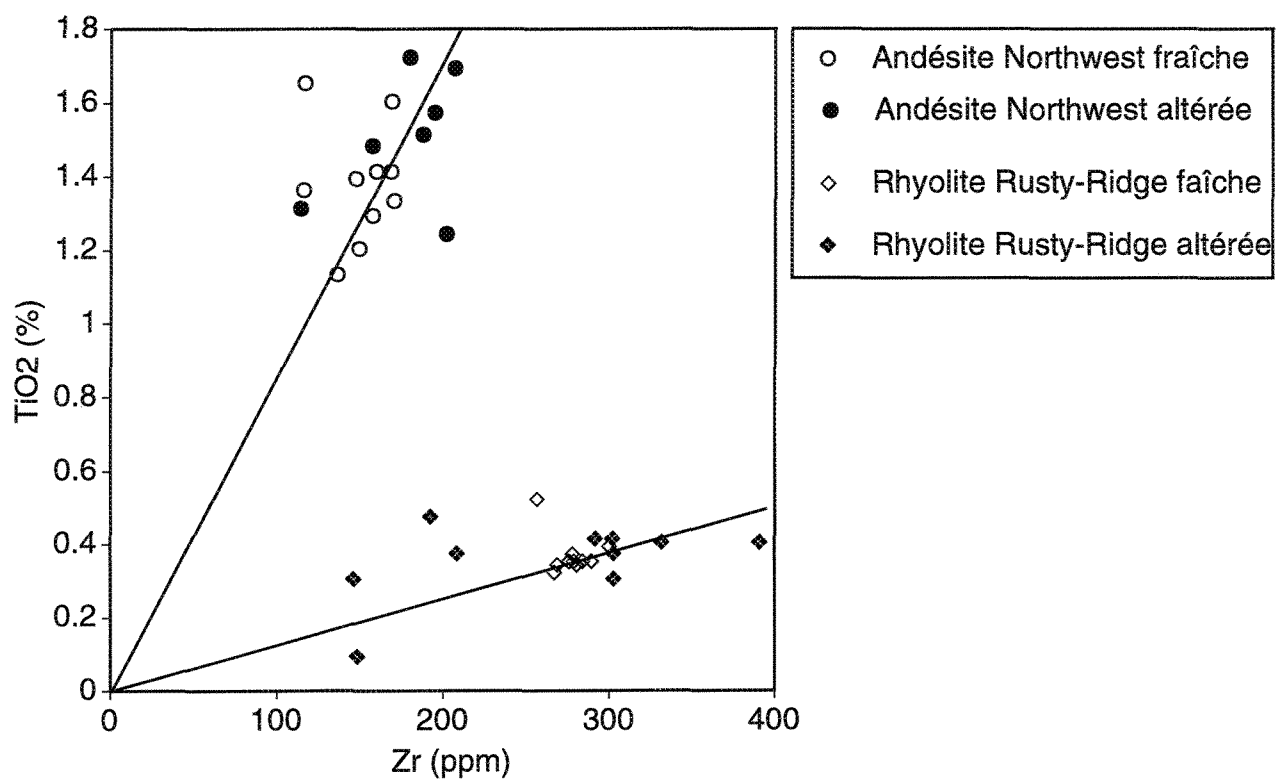


Figure 12: Diagramme binaire TiO₂ en fonction de Zr pour les échantillons altérés et moins altérés du gisement Ansil. Les échantillons moins altérés proviennent de Cattalani *et al.* (1993a).

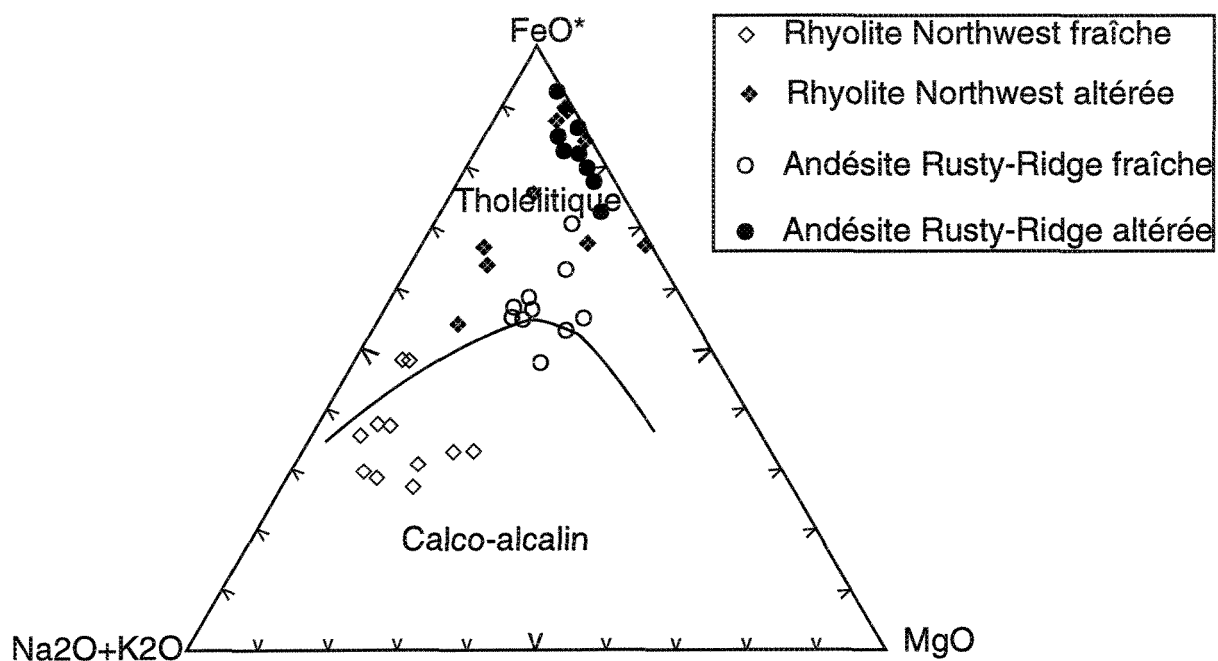


Figure 13: Diagramme AFM pour les roches moins altérées et altérées de la rhyolite et de l'andésite. Les échantillons moins altérés proviennent de Cattalini *et al.* (1993a). La ligne divisant les champs tholéitiques et calco-alcalins provient d'Irvine et Baragar (1971).

évolue vers le pôle ferreux. Alors que tous les échantillons altérés de l'andésite se concentrent près du pôle du fer. Cette évolution géochimique vers le pôle ferrifère (figure 13) ne peut être liée qu'à un événement hydrothermal minéralisateur responsable de la présence de la chlorite ferrifère (de teinte verte), confirmée par les analyses à la microsonde (Annexe 4) et les observations pétrographiques du chapitre précédent, et du stilpnomélane, associé à la minéralisation (planche 4B).

Certains auteurs (Carignan 1979; Knuckey et Watkins 1982; Knuckey *et al.* 1982 et Tanguay *et al.* 1990) ont observé cette augmentation de fer dans la cheminée d'altération de différents gisements de sulfures massifs volcanogènes de l'Abitibi. Nous en concluons que les deux trous de forages traversent bel et bien la cheminée altération du gisement Ansil.

IV.2.2 Les éléments traces

Des études sur l'altération hydrothermale liée aux gisements de sulfures massifs volcanogènes dans la région de l'Abitibi ont révélé l'immobilité de plusieurs éléments au cours du processus d'altération. Parmi ces éléments, on trouve certains éléments en traces à charge ionique élevée (Zr, Y, Nb, éléments de terres rares, Hf, Ta, Th, U), mais dans les zones fortement altérées, quelques-uns de ces éléments peuvent devenir légèrement mobiles entre autres l'Y (MacLean et Kranidiotis 1987; MacLean 1990; Barrett et MacLean 1991; Barrett *et al.* 1991a, b, c, 1992 et Shriver et MacLean 1993) et les terres rares (Cattalani *et al.* 1993a et Barrett *et al.* 1991c).

L'utilisation de certains de ces éléments dans le but de classer des roches de la région de Rouyn-Noranda, s'est avérée importante, étant donné que ces éléments en traces sont incompatibles dans les suites tholéiitiques et transitionnelles et sont aussi immobiles.

Quelques rapports de ces éléments ont été calculés pour caractériser les volcanites

d'Ansil par Cattalani *et al.* (1993a) et Barrett *et al.* (1991c) sur des échantillons moins altérés. Notamment le rapport Zr/Y montre une moyenne d'environ 5 caractérisant des roches volcaniques tholéiitiques à transitionnelles (3-6) plutôt que calco-alcalines (7-9 ou plus). Sur le diagramme ternaire AFM (figure 13), on a vu que les échantillons frais se projettent autour de la ligne séparant les deux champs, c'est-à-dire le champ transitionnel, ce qui prouve que les roches encaissantes du gisement Ansil ont une affinité tholéiitique à transitionnelle.

Le tableau 3 des valeurs (Zr/Yb) montre des valeurs qui se situent généralement entre 44 et 65 pour les deux types d'unités. Ces valeurs sont typiques des volcanites transitionnelles et près de la limite tholéiitique (figure 14) (Barrett et MacLean 1994a). La forte corrélation (figure 15a) entre ces deux éléments prouve leur immobilité au cours des processus d'altération hydrothermale.

IV.2.3 Les éléments de terres rares (ETR)

La géochimie des éléments de terres rares (ETR) peut être également utilisée pour déterminer les affinités magmatiques primaires des roches volcaniques représentatives de la mine Ansil, à condition que ces éléments ne soient pas mobilisés par l'altération hydrothermale, comme il a été déjà mentionné par Cattalani *et al.* (1993a) et Barrett *et al.* (1991c). Toutefois les processus d'altération ne semblent pas avoir d'effet sur les roches les moins altérées qui selon Cattalani *et al.* (1993a) et Barrett *et al.* (1991c) montrent un rapport La_N/Yb_N d'environ 2,3 caractérisant ainsi des volcanites tholéiitiques.

Sur les diagrammes binaires Zr-Yb et Zr-La (figure 15a et 15b), les échantillons des deux unités de la présente étude se retrouvent sur les mêmes regroupements linéaires indiquant que ni les terres rares légères, ni les terres rares lourdes n'étaient vraiment mobilisées par les processus d'altération. En effet, la mobilité des éléments des terres rares

Rhyolite		Andésite	
Echantillon	Zr/Yb	Echantillon	Zr/Yb
94-M-1	55.28	94-M-13	59.12
94-M-2	64.93	94-M-14	57.56
94-M-3	63.02	94-M-16	54.16
94-M-4	44.7	94-M-18	73.09
94-M-5	54.11	94-M-19	47.7
94-M-32	68.9	94-M-20	57.77
94-M-34	63.08	MM94-A-9	55.77
MM94-A-4-A	35.35	MM94-A-1	48.71
MM94-A-5	53.83		
Moyenne	50.32	Moyenne	56.735

Tableau 3: Les valeurs du rapport Zr/Yb pour la rhyolite Northwest et l'andésite Rusty-Ridge du gisement Ansil de la présente étude.

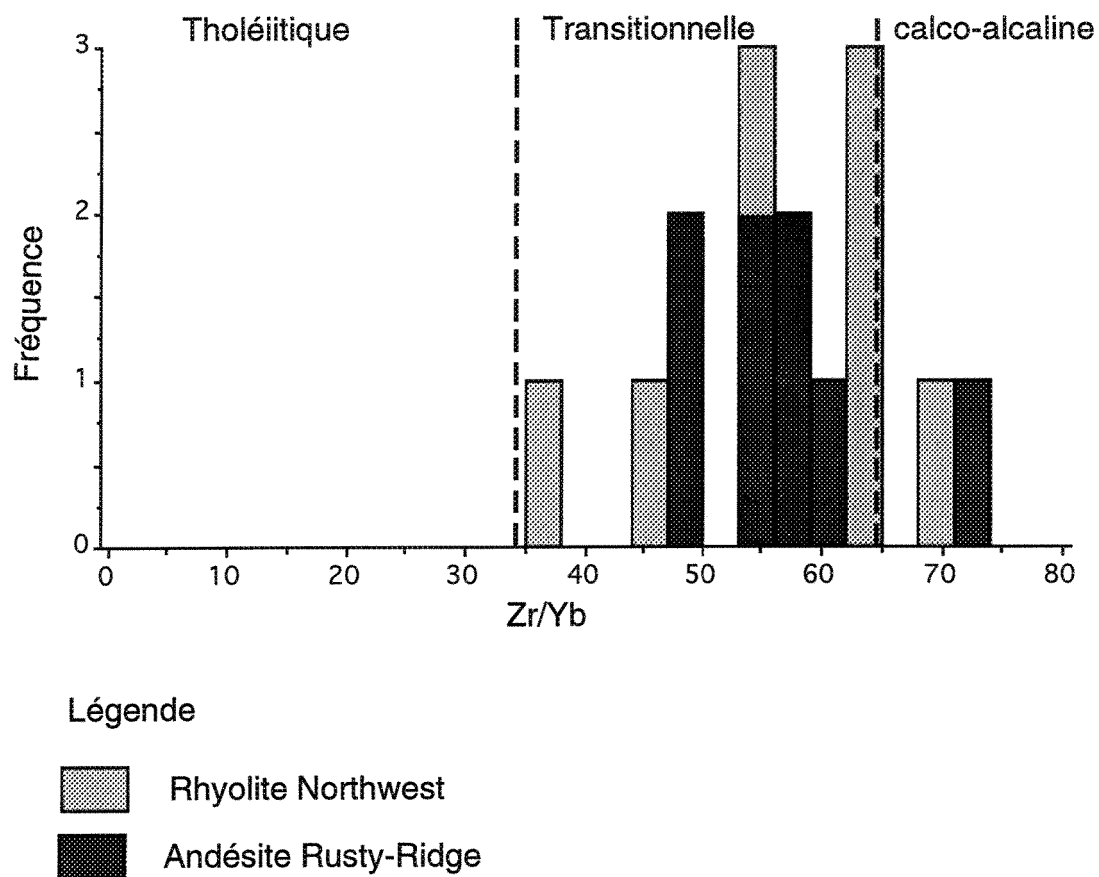


Figure 14: Histogramme de la répartition du rapport Zr/Yb de la rhyolite et l'andésite d'Ansil pour les échantillons de la présente étude.

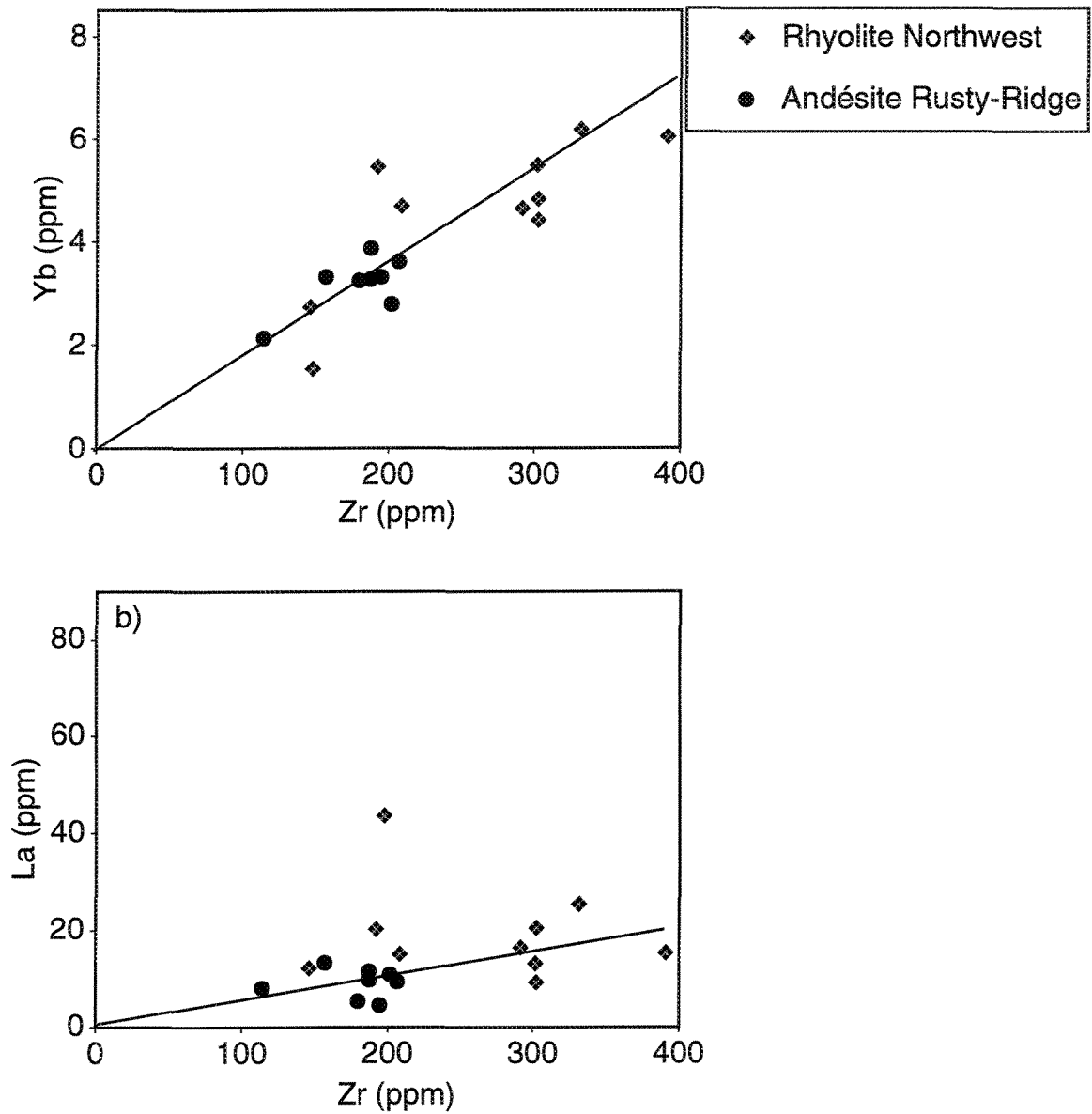


Figure 15: Diagrammes Yb et La en fonction de Zr. Les distributions linéaires indiquent des degrés d'incompatibilité élevés pour ces éléments.

est contrôlée par deux facteurs principaux: (1) les échanges ioniques entre un minéral et le fluide métasomatique, (2) la dissolution d'un minéral contenant une concentration des ETR. Si la mobilité des ETR résulte de la dissolution d'un minéral par un fluide, alors la mobilité dépend de la nature du minéral hôte, de la composition du fluide et des conditions de pression-température du fluide. Une seule exception, par contre, a été observé dans les échantillons étudiés de la rhyolite. Il s'agit d'un échantillon qui montre un enrichissement en terres rares légères. Pétrographiquement, cet échantillon montre de l'apatite (planche 5B) qui est un minéral accessoire riche en ETR légères, qui pourrait être probablement responsable de cette variation. Les profils des ETR normalisés à la chondrite (selon Haskin *et al.* 1968) pour les andésites et les rhyolites de la présente étude sont présentés sur les figures 16 et 17. Les profils de la rhyolite et de l'andésite altérées sont plats à légèrement inclinés et les rapports La_N/Yb_N varient de 1,24 à 3,10 pour la rhyolite et de 0,88 à 2,68 pour l'andésite (tableau 4), typique des valeurs tholéitiques ($La_N/Yb_N < 2,5$) à transitionnelles ($2,5 \leq La_N/Yb_N \leq 4$) selon Leshner *et al.* (1986) et Barrett et MacLean (1994b).

Les spectres des éléments des terres rares pour la rhyolite (figure 16) de la présente étude montrent des formes et des pentes presque similaires à deux exceptions. La première consiste en une accentuation de l'anomalie en Eu^* (figure 16a) en fonction de l'intensité de l'altération. L'importance de cette anomalie dépend en partie du degré de destruction du plagioclase. Ce processus a pour effet de libérer l'Eu de la structure cristalline du plagioclase pour lequel l'Eu a une grande affinité (MacLean 1988, Barrett *et al.* 1992). La deuxième particularité correspond à deux échantillons rhyolitiques (figure 16b). Le premier (94-M-32) montre une anomalie positive en Eu. Ceci peut probablement s'expliquer par le fait que l'appauvrissement en Eu durant la chloritisation peut être suivie par un ajout d'Eu quand la roche est traversée par des fluides plus froids durant le dernier stade l'activité hydrothermale. En effet l'Eu devient moins soluble à des températures au dessous de 250°C et sous des

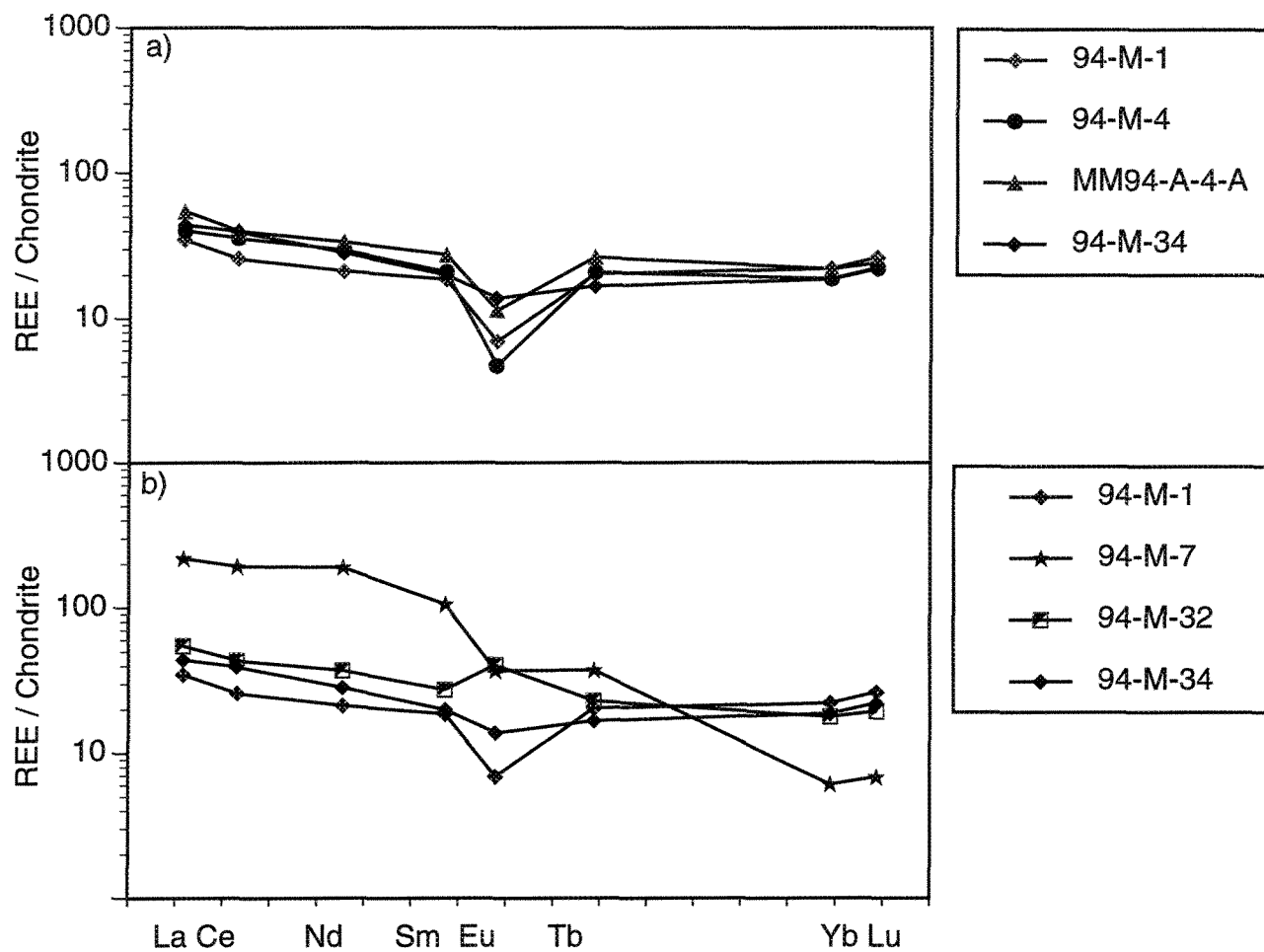


Figure 16: a) Profils des éléments des terres rares (ETR) de la rhyolite Northwest normalisés par rapport à la chondrite, b) représente quelques profils particuliers de certains échantillons de la rhyolite

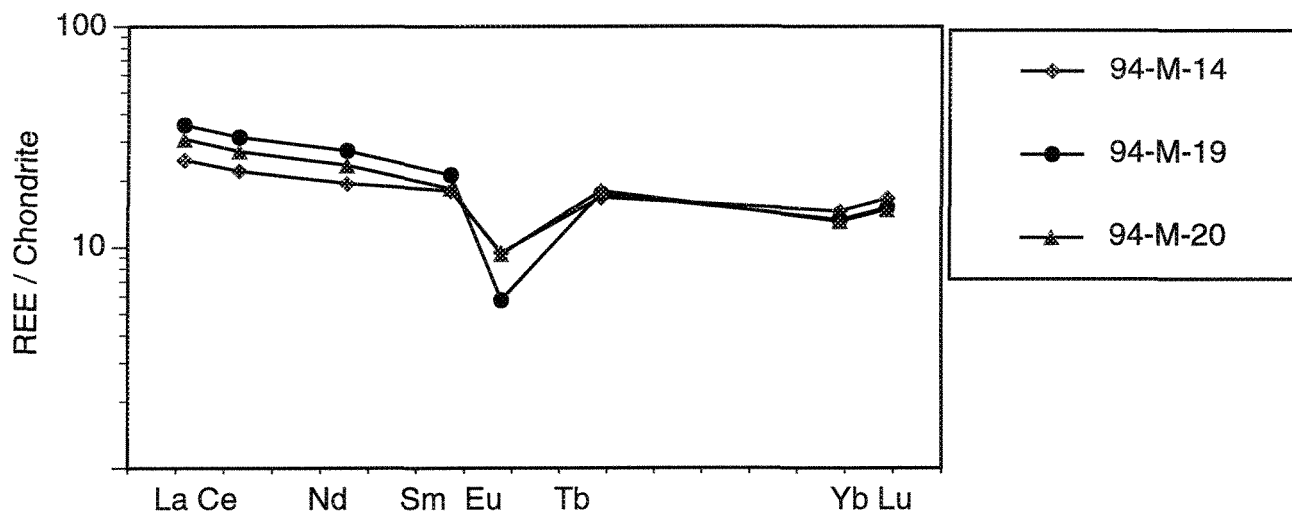


Figure 17: Profils des éléments des terres rares (ETR) de l'andésite Rusty-Ridge normalisés par rapport à la chondrite.

Rhyolite		Andésite	
Echantillon	LaN/YbN	Echantillon	LaN/YbN
94-M-1	1.58	94-M-13	0.88
MM94-A-5	2.74	94-M-14	1.71
94-M-2	1.68	MM94-A-9	1.07
94-M-3	1.24	94-M-16	2.50
94-M-4	2.14	94-M-18	2.59
94-M-5	2.96	94-M-19	2.68
94-M-32	3.10	MM94-A-1	1.67
94-M-34	2.36	94-M-20	2.35
MM94-A-4-A	2.49		
Moyenne	2.26	Moyenne	1.96

Tableau 4: Les valeurs du rapport LaN/YbN pour la rhyolite Northwest et l'andésite Rusty-Ridge du gisement Ansil de la présente étude.

conditions plus oxydantes (Sverjensky 1984). Le deuxième échantillon (94-M-7), comme il a été déjà mentionné ci-haut, renferme de l'apatite, minéral accessoire riche en ETR légères par rapport aux ETR lourdes.

L'andésite Rusty-Ridge de la présente étude (figure 17) montre des spectres des éléments de terres rares semblables et permet donc de conclure à une affinité géochimique similaire à celle des rhyolites.

IV.3 Effets de l'altération

IV.3.1 Généralités

Les fluides hydrothermaux qui participent à la formation des dépôts de sulfures massifs volcanogènes ont pour effet d'affecter les roches hôtes de signatures témoignant de leur passage. Ces signatures se traduisent, en plus des modifications minéralogiques, par des variations chimiques qui sont dépendantes de plusieurs facteurs, comme la composition et l'évolution de la solution hydrothermale, la nature physique et compositionnelle de la roche hôte, le taux d'interaction solution/roche, le taux de mobilité des éléments chimiques, etc.

L'étude géochimique s'est avérée un outil très important pour l'exploration minière comme l'ont révélé plusieurs études, parmi lesquelles on peut citer Riverin et Hodgson (1980), Franklin *et al.* (1981), Costa *et al.* (1983), Larson (1984), Vance et Condie (1987), Ashley *et al.* (1988) et Peterson (1988).

IV.3.2 Éléments majeurs

La variation chimique des oxydes majeurs reflète, en général, les changements minéralogiques observés durant le processus d'altération (Gélinas *et al.* 1977; Knuckey *et al.* 1982; Tanguay *et al.* 1990 et L'Heureux 1992). En effet, les plagioclases sont représentés

par le Na₂O et le CaO, le quartz par le SiO₂ et les minéraux d'altération dont la chlorite par le FeO et le MgO, et la séricite par le K₂O. Plusieurs études sur l'altération hydrothermale, qui accompagne la formation des sulfures massifs volcanogènes, ont montré que l'accroissement de l'intensité de l'altération s'accompagne par une perte de CaO et de Na₂O et par des gains de FeO et MgO.

La rhyolite Northwest et l'andésite Rusty-Ridge montrent des variations chimiques similaires, telles que montrées sur les diagrammes binaires CaO+Na₂O vs. Fe₂O₃ (figure 18), CaO+Na₂O vs. MgO (figure 19) et CaO+Na₂O vs. Fe₂O₃+MgO (figure 20). Ces diagrammes montrent en quelque sorte que l'altération affectant le mur est un peu plus intense que celle affectant le toit. Ceci se manifeste par une grande perte, en général de Na₂O et de CaO et un enrichissement important du Fe₂O₃ et MgO dans la rhyolite. Le diagramme SiO₂ en fonction Fe₂O₃+MgO (figure 21) permet de visualiser le comportement de la silice dans les deux unités et, comme on peut le constater, la rhyolite montre des valeurs en silice allant jusqu'à 40% ce qui implique un appauvrissement important alors que la plupart des échantillons andésitiques ont des valeurs variant de 50 à 60 %.

Ces changements chimiques se traduisent, respectivement par une destruction des plagioclases (lessivage de Na et de Ca), une séricitisation et une chloritisation sur le diagramme CaO+Na₂O vs. K₂O (figure 22), en plus du lessivage de la silice déjà montré.

Ces variations minéralogiques et chimiques ont été observées dans plusieurs études faites au niveau des cheminées d'altération d'autres gisements de sulfures massifs volcanogènes dans la région de l'Abitibi (Riverin et Hodgson 1980; Knuckey *et al.* 1982; Gibson *et al.* 1983 et Tanguay *et al.* 1990). On peut remarquer le peu de variation du CaO et Na₂O que montre l'andésite par rapport à la rhyolite, ce qui laisse dire que l'altération affectant l'andésite Rusty-Ridge est moins intense que celle affectant la rhyolite Northwest

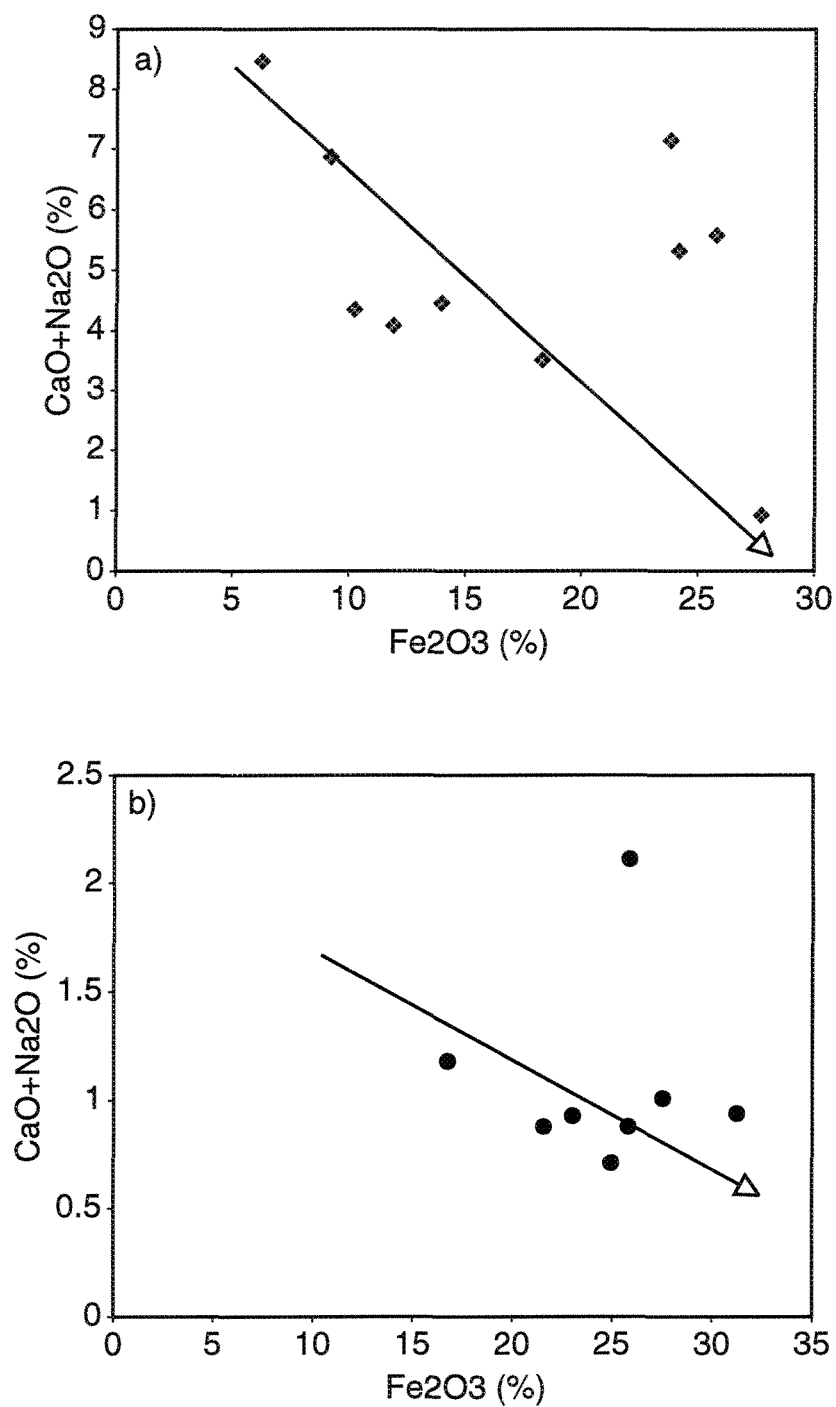


Figure 18: Diagrammes binaires montrant la variation de $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}$ (%) vs. Fe_2O_3 (%) dans a) la rhyolite et b) l'andésite. La flèche représente la tendance de l'altération.

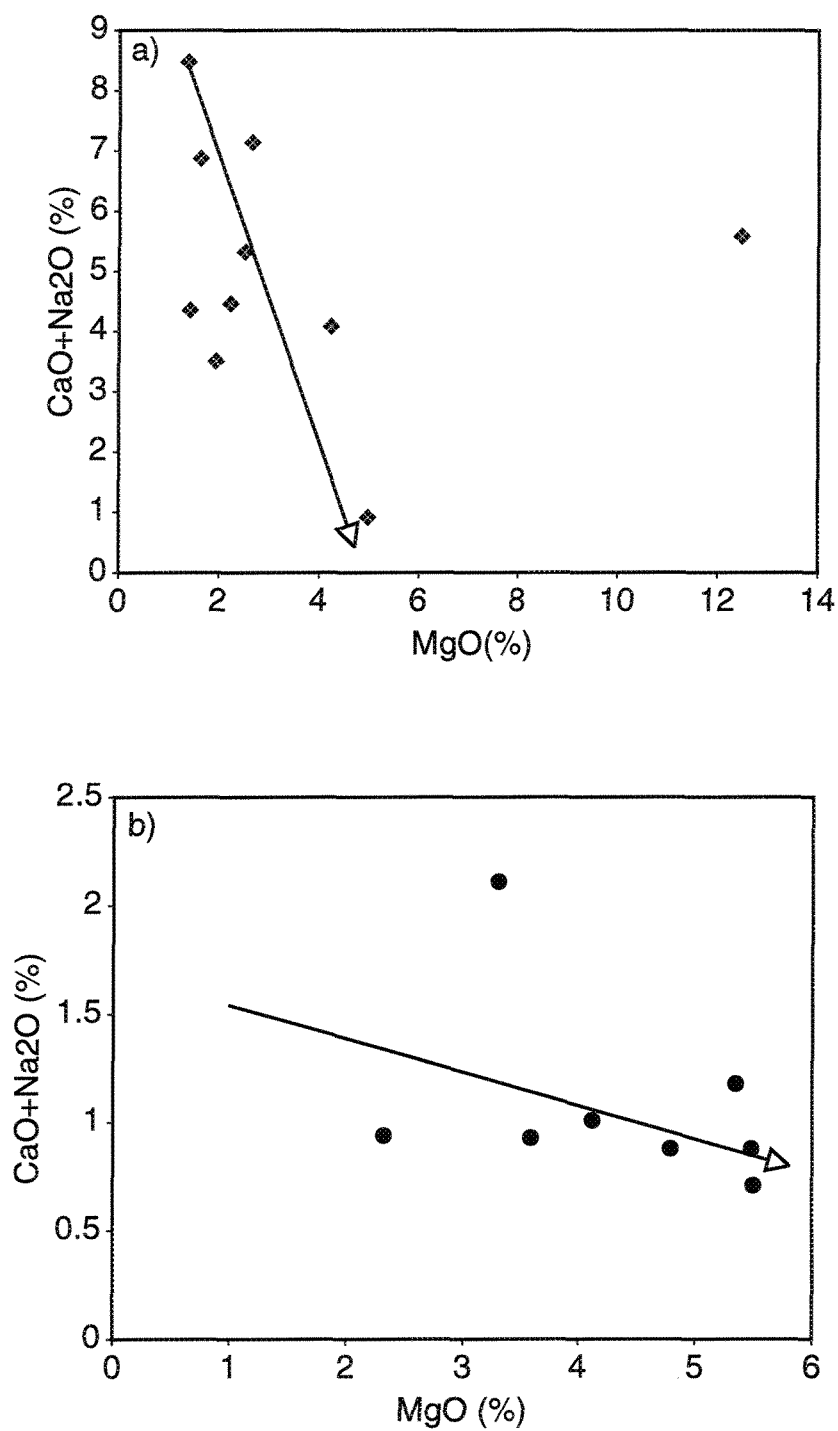


Figure 19: Diagrammes binaires montrant la variation de CaO+Na₂O (%) vs. MgO (%) dans: a) la rhyolite et b) l'andésite. La flèche représente la tendance de l'altération.

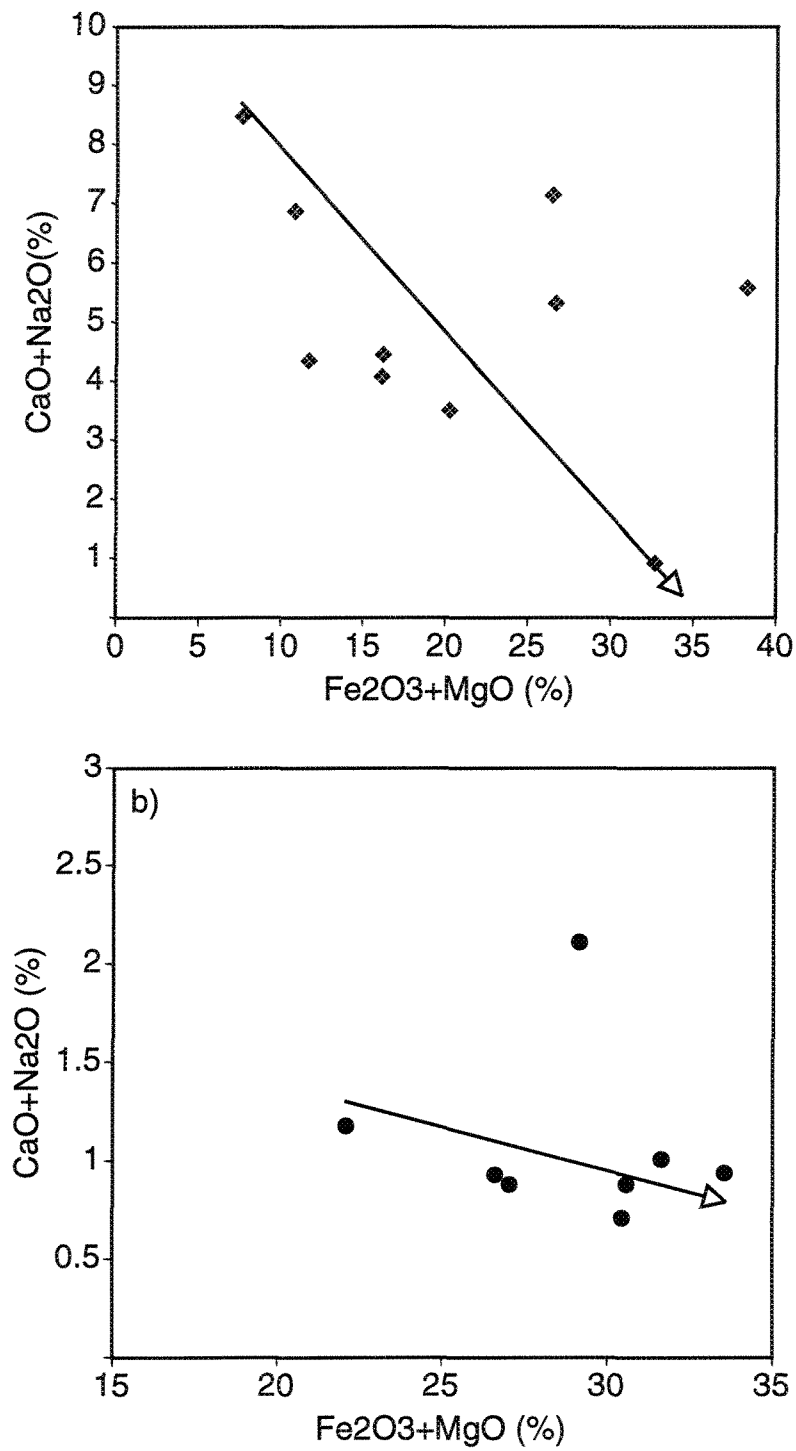


Figure 20: Diagrammes binaires montrant les variations: a) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (%) vs. $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}$ (%) dans la rhyolite et b) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (%) vs. $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}$ (%) dans l'andésite.

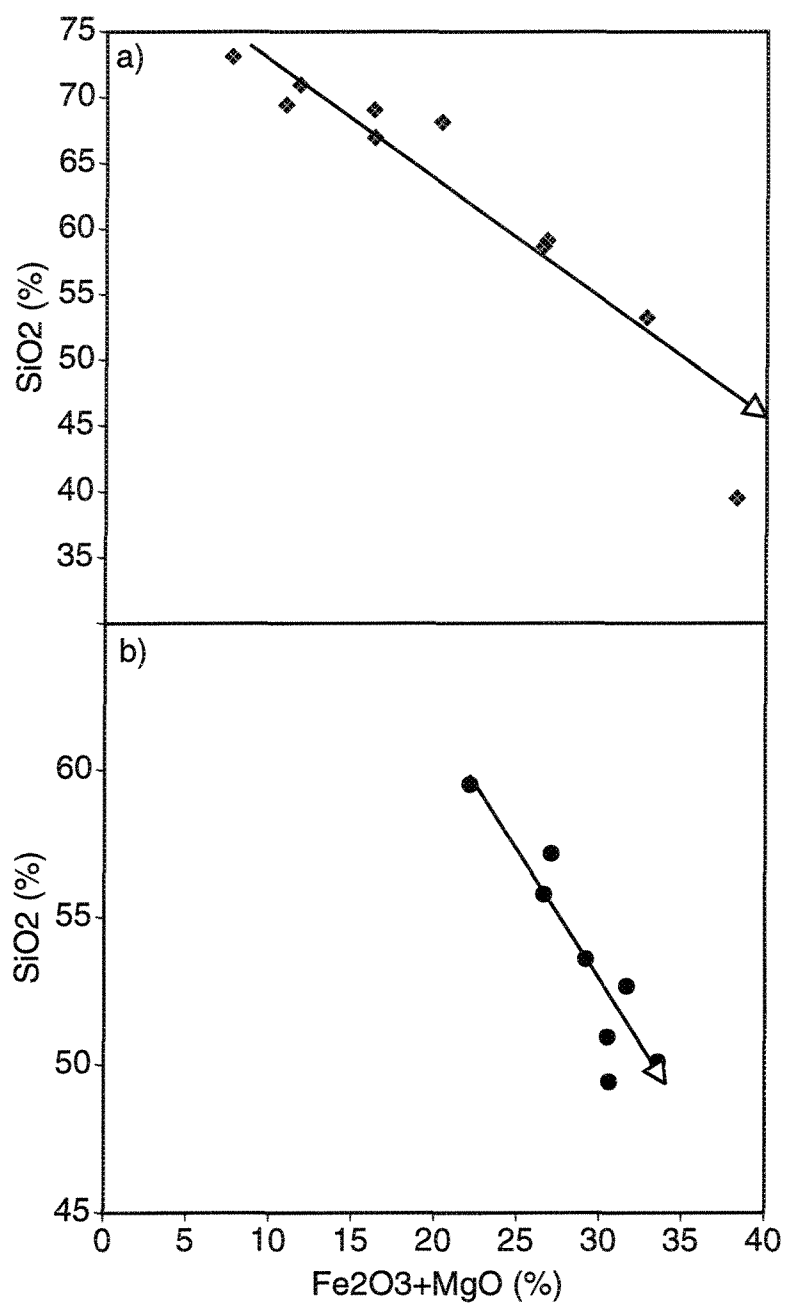


Figure 21: Diagrammes binaires montrant la variation de SiO_2 (%) en fonction de $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ (%) dans a) La rhyolite et b) l'andésite.

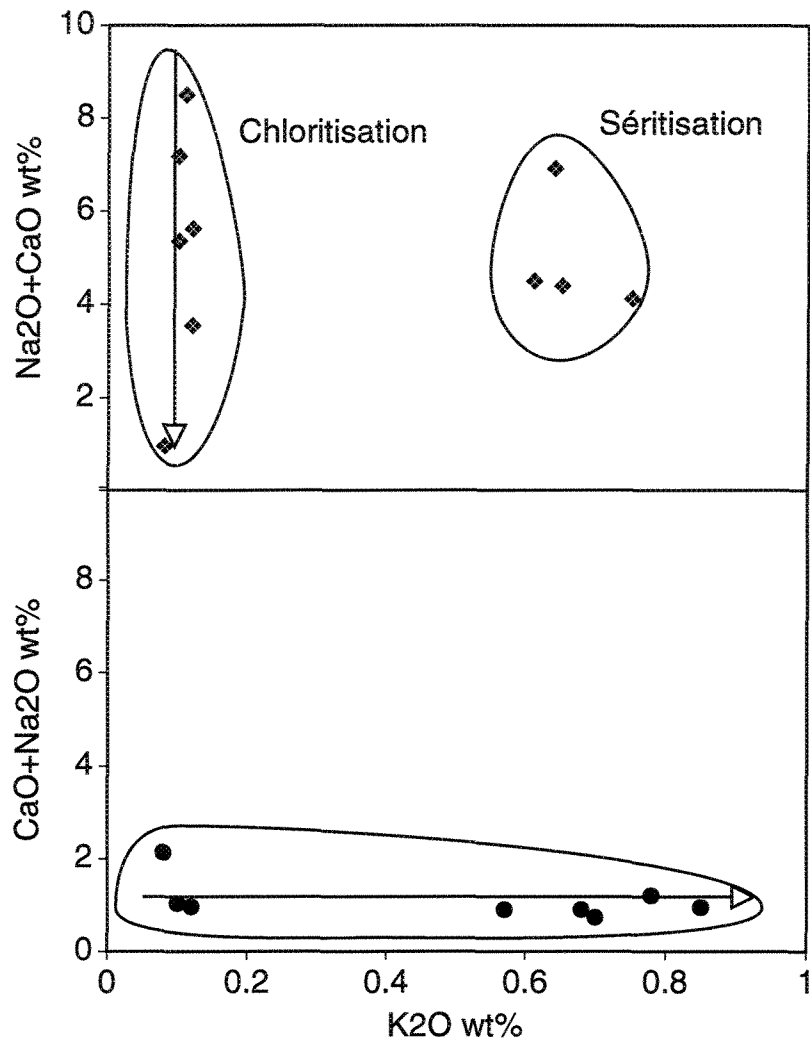


Figure 22: Diagrammes binaires : a) Rhyolite CaO+Na2O (wt%) vs. K2O (wt%), b) Andésite CaO+Na2O (wt%) vs, K2O(wt%).

qui constitue le mur du gisement Ansil.

Une suite de minéraux normatifs ont été calculés à partir des analyses chimiques de la présente étude, permettant un estimé de la quantité et du type de minéraux d'altération en utilisant les calculs normatifs standards. Ce calcul a été fait en effectuant une association des minéraux obtenus à partir de la norme avec les minéraux d'altération. C'est ainsi que la l'orthose normatif correspondrait à la séricite observée en lames minces et les minéraux normatifs ferro-magnésiens tels l'hypersthène, le diopside et la magnétite correspondraient à la chlorite. Les minéraux d'altération les plus abondants sont le quartz, l'albite, la séricite et la chlorite. Les diagrammes ternaires impliquant ces minéraux vont nous permettre d'évaluer les tendances minéralogiques et géochimiques de l'altération (silicification, séricitisation ou chloritisation).

Sur le diagramme ternaire quartz-séricite-albite (figure 23a), l'ensemble des échantillons se situent pour la rhyolite le long de la droite albite-quartz, et plus précisément entre la rhyolite la moins altérée et le sommet du quartz. Ce regroupement de points atteste que des réactions sont à l'origine de la décomposition de l'albite et la production de la chlorite et peu de séricite. Le lessivage du sodium diminue la quantité de l'albite et fait en sorte que les échantillons se retrouvent près du sommet du quartz, car ce diagramme n'indique pas en soi, une addition de la silice dans le système. Concernant l'andésite (figure 23b), tous les échantillons sont regroupés près du sommet du quartz, et le manque d'échantillons frais limite la discussion sur l'évolution de l'altération. On pourrait probablement voir les mêmes changements que ceux observés pour la rhyolite si on avait des échantillons frais. Par contre le regroupement des échantillons près du sommet du quartz vient corroborer la présence d'un seul assemblage minéralogique déterminé par l'étude pétrographique (chlorite+séricite+quartz±carbonates).

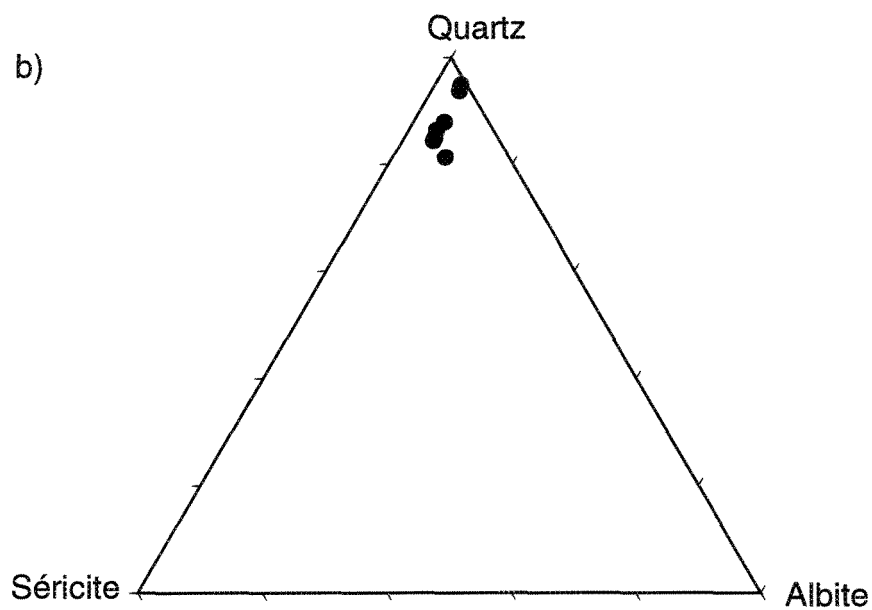
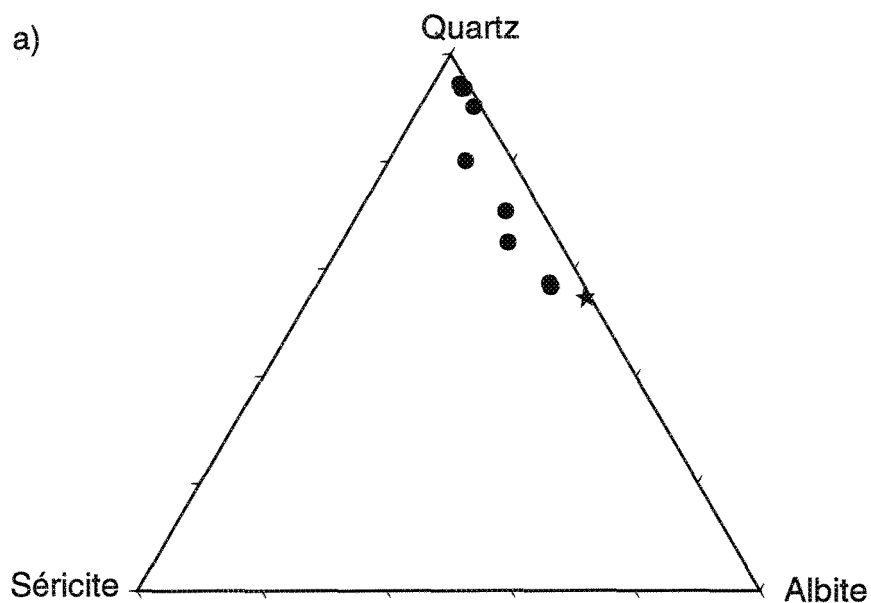


Figure 23: Diagrammes ternaires des minéraux d'altération normatifs quartz-séricite-albite de : a) la rhyolite et b) l'andésite.

★ représente l'échantillon le moins altéré.

Le diagramme ternaire albite-séricite-chlorite pour la rhyolite Northwest (figure 24a) permet de mettre en évidence également la déstabilisation de l'albite par perte de son sodium et la formation principalement de la chlorite dont la quantité dépend de l'Al, (qui est considéré immobile dans de telles conditions d'altération et du métamorphisme de faciès schistes verts dans la région de l'Abitibi et surtout dans le district de Noranda), présent dans la rhyolite et essentiellement l'Al de l'albite qui est converti pour donner de la chlorite constituant la phase d'altération principale des échantillons étudiés de la rhyolite. Le diagramme Albite-séricite-chlorite (figure 24b) montre un seul nuage de points vers le pôle de la chlorite, ceci renforce l'existence d'un seul assemblage minéralogique (chlorite+séricite+quartz±carbonates) dans l'andésite Rusty-Ridge.

Le diagramme quartz-séricite-chlorite (figure 25) montre qu'en plus de la chlorite, les échantillons de deux (2) unités contiennent des quantités raisonnables de quartz qui restent difficiles à estimer directement à partir du diagramme. Donc les changements du contenu en silice, comme d'ailleurs pour les autres éléments, seront évalués en utilisant la méthode de calculs de changements de masse, discutée dans une section qui suit.

IV.3.3 Éléments de terres rares (ETR)

À l'exception de l'accentuation de l'anomalie négative en Eu, surtout dans la rhyolite Northwest, les éléments des terres rares, comme il a été déjà mentionné ci-haut, ne semblent pas avoir été affectés par les processus d'altération hydrothermale dans les trous de forages de la présente étude (figure 16 et 17). Aucun appauvrissement ou enrichissement relatif n'a été observé, sauf pour l'échantillon 94-M-7 (figure 17) qui renferme de l'apatite et qui montre un enrichissement des ETR légers par rapport aux ETR lourds. Contrairement à ce qui a été rapporté par Barrett *et al.* (1991c) et Cattalani *et al.* (1993a) sur la mobilité des ETR dans le gisement Ansil, les processus d'altération semblent n'avoir eu aucun effet discernable sur les

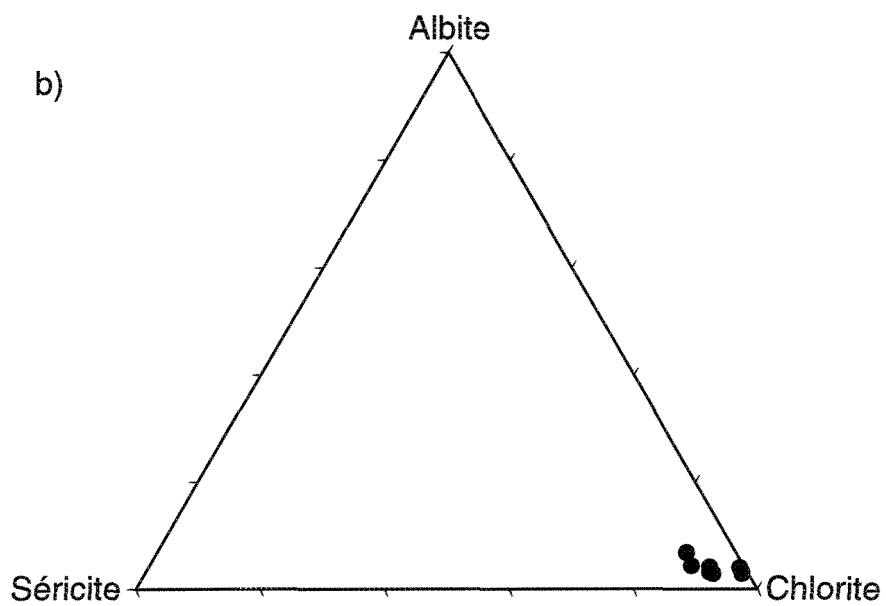
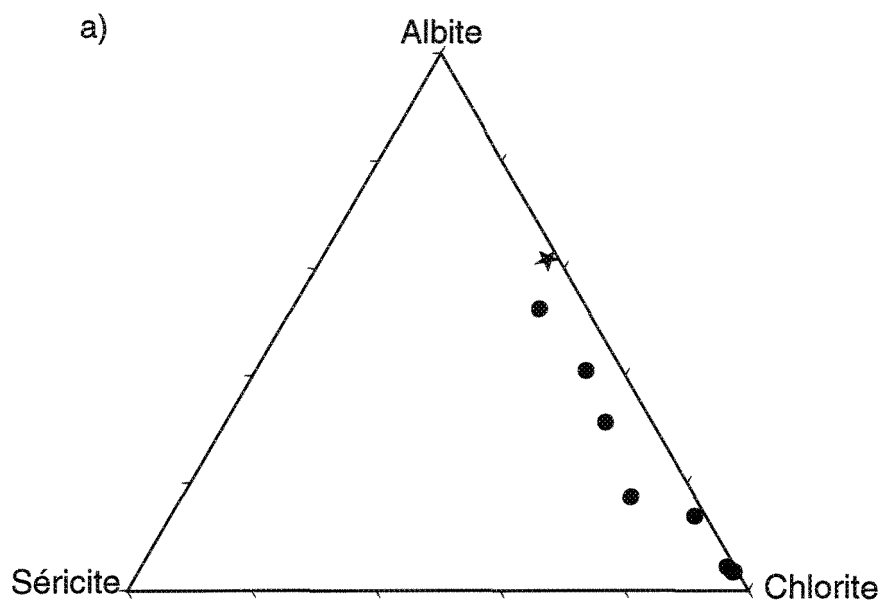


Figure 24: Diagrammes ternaires des minéraux d'altération normatifs albite-séricite-chlorite de: a) la rhyolite et b) l'andésite.

★ représente l'échantillon le moins altéré.

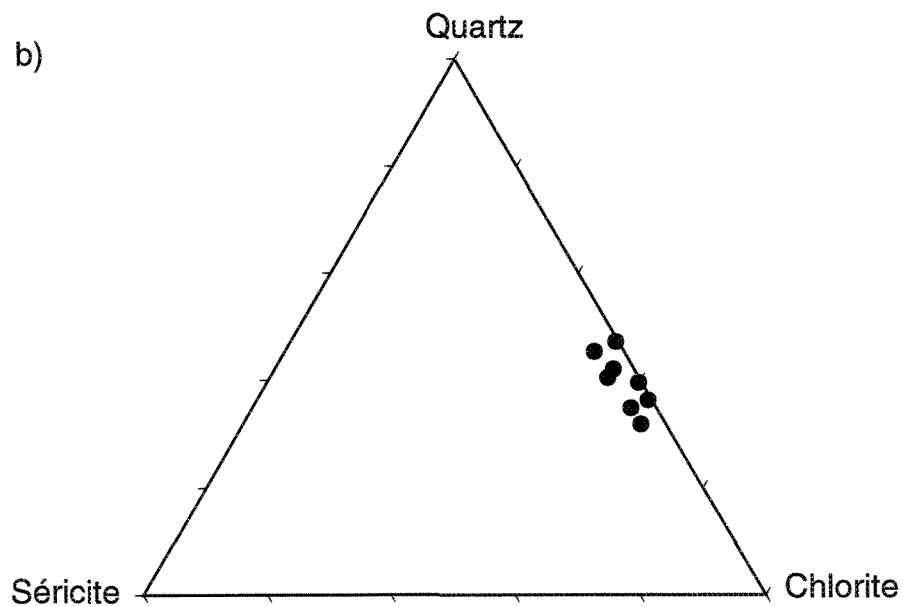
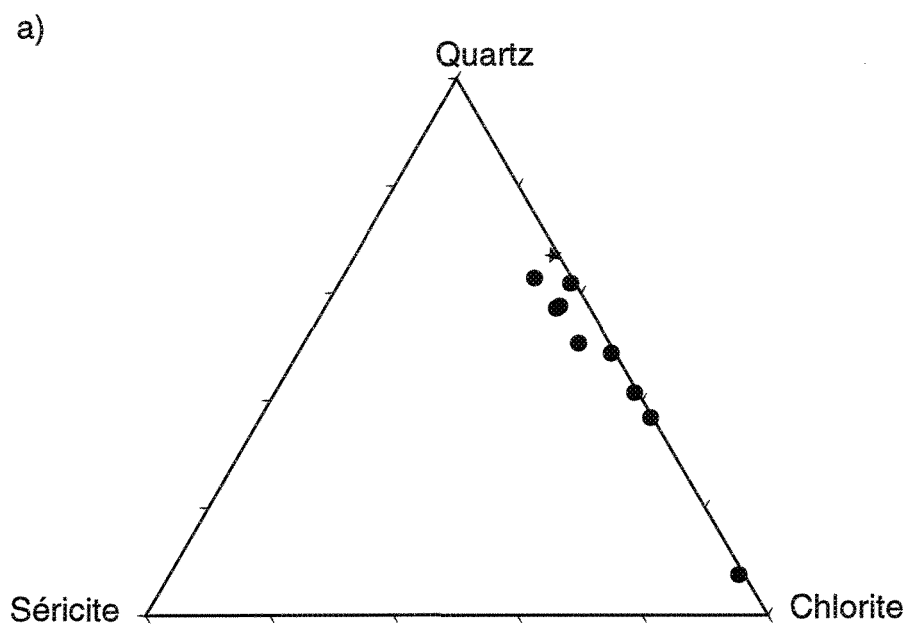


Figure 25: Diagrammes ternaires des minéraux d'altération normatifs quartz-séricite-chlorite de: a) la rhyolite et b) l'andésite.

* représente l'échantillon le moins altéré.

profils des ETR de cette partie du gisement.

La figure 26 montre une comparaison des profils ETR de la présente étude avec ceux de Cattalani *et al.* 1993a (annexe 2). Ces derniers (figure 26b) montrent une variation évidente de l'allure des courbes par rapport au profil de leur échantillon le moins altéré (RHY 8-0). Ce sont surtout les éléments des terres rares légères et moyennement lourdes qui illustrent cette mobilité, soit par lessivage soit par ajout. Au contraire, les profils de la présente étude n'indiquent pas une telle distribution (figure 26a). Sur la figure 26c, on a normalisé un échantillon altéré par rapport à un autre moins altéré et on remarque bien la mobilité des terres rares dans le cas de l'échantillon provenant de Cattalani *et al.* (1993a) comparativement à celui de la présente étude. Ces observations sur l'immobilité des éléments des terres rares de la présente étude peuvent être également comparées à certains résultats obtenus au niveau de certains trous de forages dans l'étude de Cattalani *et al.* (1993a) qui ne montrent pas de mobilité. Ces résultats montrent une similitude dans les patrons des éléments des terres rares des roches les moins altérées et ceux des échantillons les plus altérés, notamment les échantillons les plus chloritisés. La mobilité des ETR est reliée à la température de l'altération (Cattalani *et al.* 1993a). L'absence de mobilité des éléments des terres rares (surtout les ETR légères) peut refléter une chloritisation à une température plus basse, alors que la présence d'une mobilité des ETR légères (lessivage) est typique des roches chloritisées qui ont subi un lessivage à haute température (Leshner *et al.* 1986 et MacLean 1988). Donc en général, le degré de mobilité des ETR dans les volcanites altérées est relié à la température d'altération.

IV.4 Étude de corrélation entre les éléments

Pour montrer la relation et le lien qui peuvent exister entre certains éléments majeurs et mineurs au cours des processus d'altération hydrothermale, une étude de corrélation a été

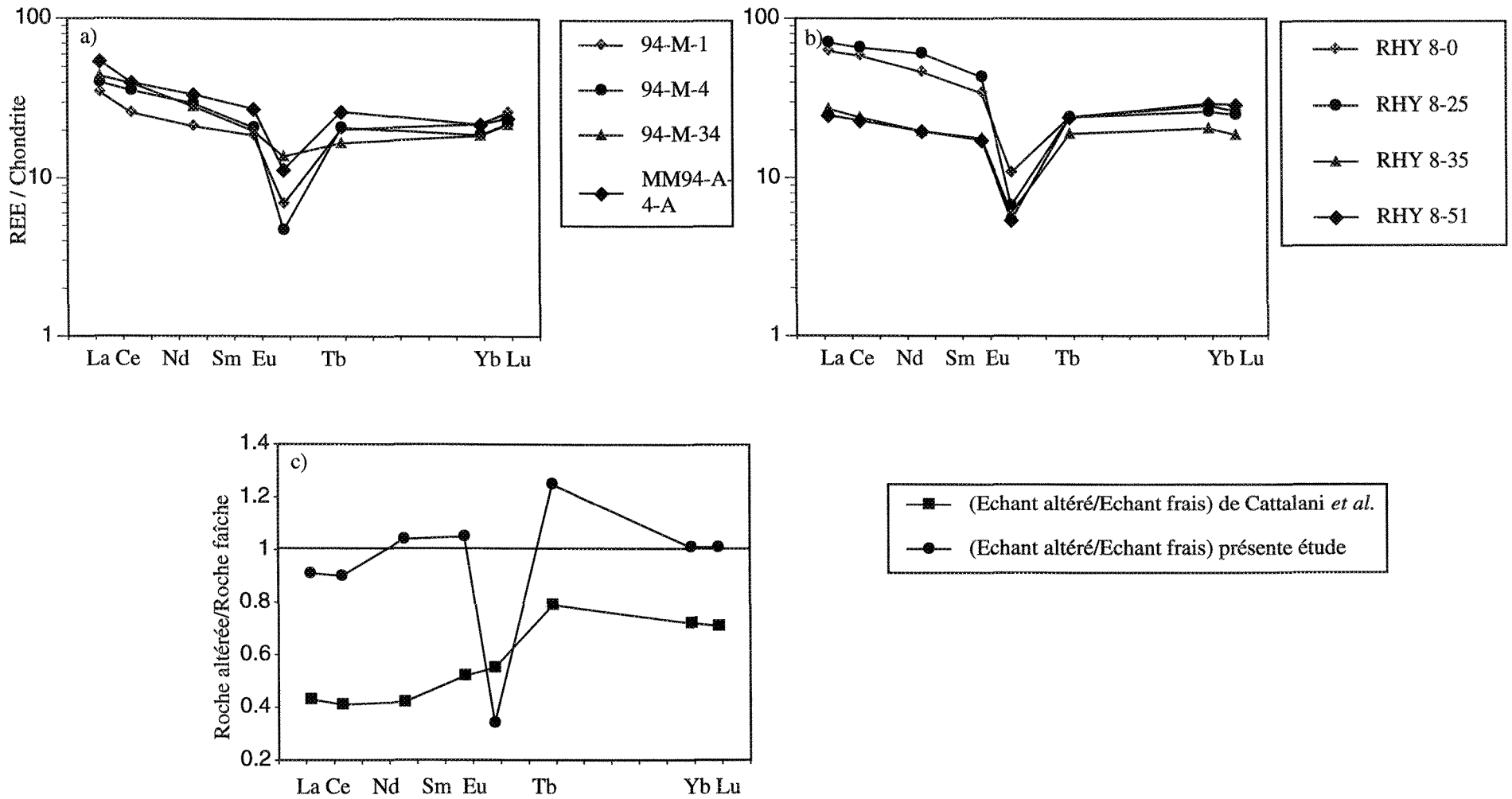


Figure 26: Comparaison des profils des éléments des terres rares dans a) les échantillons de la rhyolite de la présente étude, b) les échantillons provenant de Cattalani *et al.* 1993. Notez la distribution des éléments dans b) par rapport à a). c) montre la distribution des éléments des terres rares dans le cas de Cattalani *et al.* 1993a par rapport à celle de la présente étude.

entreprise pour les échantillons de la rhyolite et de l'andésite. Les tableaux 5 et 6 résument respectivement les résultats de cette corrélation pour la rhyolite et l'andésite. Toutefois certains traits caractéristiques peuvent être dégagés de cette corrélation.

IV.4.1 La rhyolite Northwest

En effet, l'affinité chimique entre les éléments peut être visualisée par le type de corrélation soit positive (forte) ou négative qui peut exister entre ces éléments. La matrice de corrélation est souvent utilisée dans l'examen des données géochimiques pour voir et identifier les paires d'éléments fortement corrélables entre eux (Beach et Tarney 1978, Weaver *et al.* 1981, Sachs 1984 et Rollinson 1993).

Dans la rhyolite (tableau 5), on a une corrélation fortement négative entre SiO₂ et Fe₂O₃ (figure 27a, $r=-0.956$), MgO ($r=-0.664$), PAF (figure 27b, $r=-0.858$) et MnO ($r=-0.376$), alors que le SiO₂ montre une corrélation fortement positive avec Na₂O ($r=0.784$), cette corrélation se faisant d'une façon hyperbolique (figure 27c). Ces observations concordent bien avec ce qui a été observé tant du point de vue pétrographique que chimique: la formation de la chlorite se fait par enrichissement en Fe₂O₃, MgO, MnO et PAF, éléments montrant des corrélations fortement positives entre eux (figure 28 a, b, c) et s'accompagne d'un lessivage du SiO₂ et du Na₂O associé à la destruction des plagioclases. Les deux effets combinés augmentent avec l'intensité des processus de l'altération hydrothermale.

D'autres part, le K₂O, le Rb et le Ba sont fortement corrélés entre eux (figure 29a, b, c). Cette corrélation entre K₂O-Rb-Ba s'explique par la substitution facile de ces éléments entre eux. Toutefois les figures 29b et 29c montrent un regroupement de deux nuages bien distincts. Ceci peut être attribué probablement aux deux principaux phénomènes d'altération (la séricitisation et la chloritisation). Un premier groupe, avec des teneurs faibles en K₂O, Ba

	SiO2	Fe2O3	Al2O3	TiO2	P2O5	K2O	MgO	MnO	CaO	Na2O	PAF	Rb	Yb	Ba	Zr	La
SiO2	1															
Fe2O3	-.956	1														
Al2O3	.119	-.315	1													
TiO2	-.096	-.121	.906	1												
P2O5	-.288	.288	-.6	-.503	1											
K2O	.547	-.616	.459	.193	-.512	1										
MgO	-.664	.593	.097	.286	-.235	-.089	1									
MnO	-.376	.428	-.411	-.263	-.046	-.061	.797	1								
CaO	-.044	.06	-.73	-.619	.826	-.326	-.288	.068	1							
Na2O	.784	-.886	.509	.351	-.155	.39	-.672	-.725	-.119	1						
PAF	-.858	.861	-.532	-.307	.611	-.546	.541	.55	.468	-.828	1					
Rb	.5	-.532	.33	.128	-.458	.845	.077	.161	-.376	.296	-.445	1				
Yb	.327	-.424	.867	.714	-.765	.588	-.104	-.48	-.761	.514	-.708	.481	1			
Ba	.615	-.714	.367	.16	-.553	.935	-.04	.079	-.306	.43	-.602	.923	.521	1		
Zr	.828	-.833	.451	.173	-.662	.709	-.493	-.452	-.357	.708	-.921	.564	.705	.732	1	
La	.54	.01	.368	.237	-.208	-.169	-.272	-.524	-.602	.267	-.363	-.008	.45	-.199	.17	1

Tableau 5: Corrélacion entre les éléments majeurs et certains éléments traces de la rhyolite. la valeur significative à 99% est de 0,661.

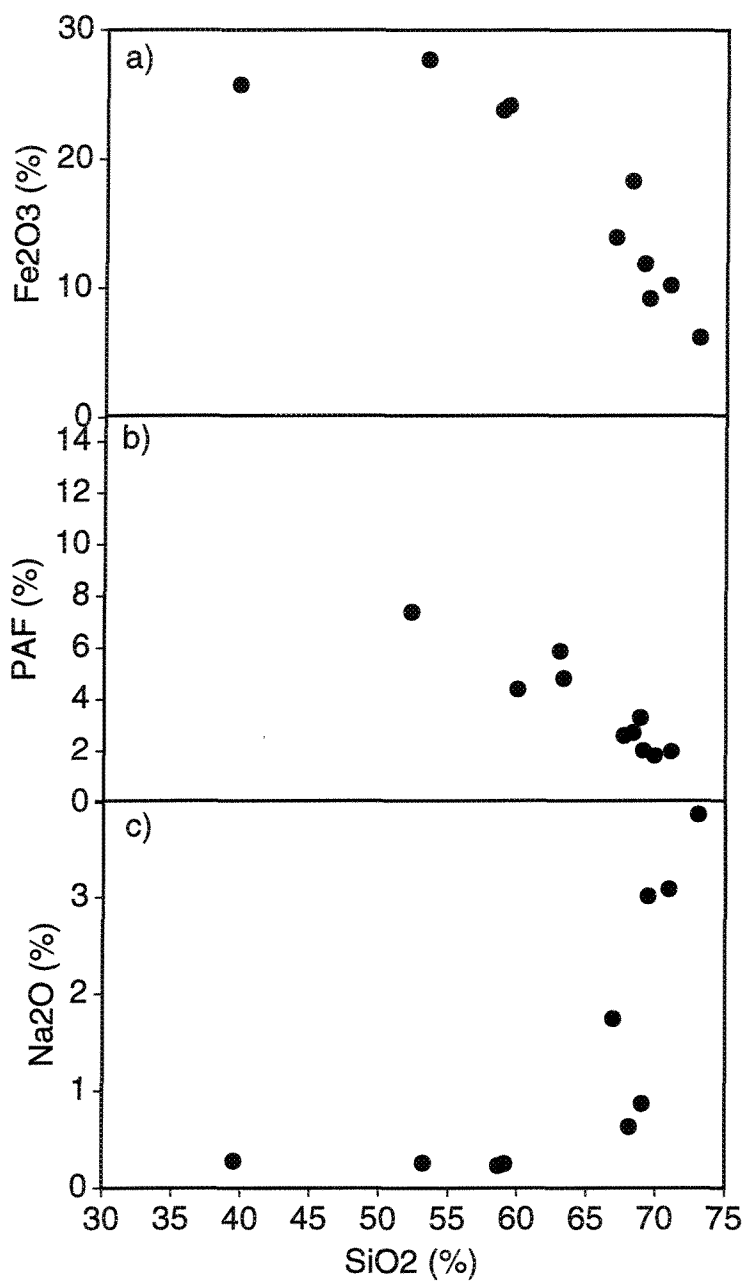


Figure 27: Diagrammes binaires montrant les relations qui existent entre certains éléments dans la rhyolite:

a) Fe₂O₃ vs. SiO₂ ($r = -0.956$)

b) PAF vs. SiO₂ ($r = -0.858$)

c) Na₂O vs. SiO₂ ($r = 0.784$)

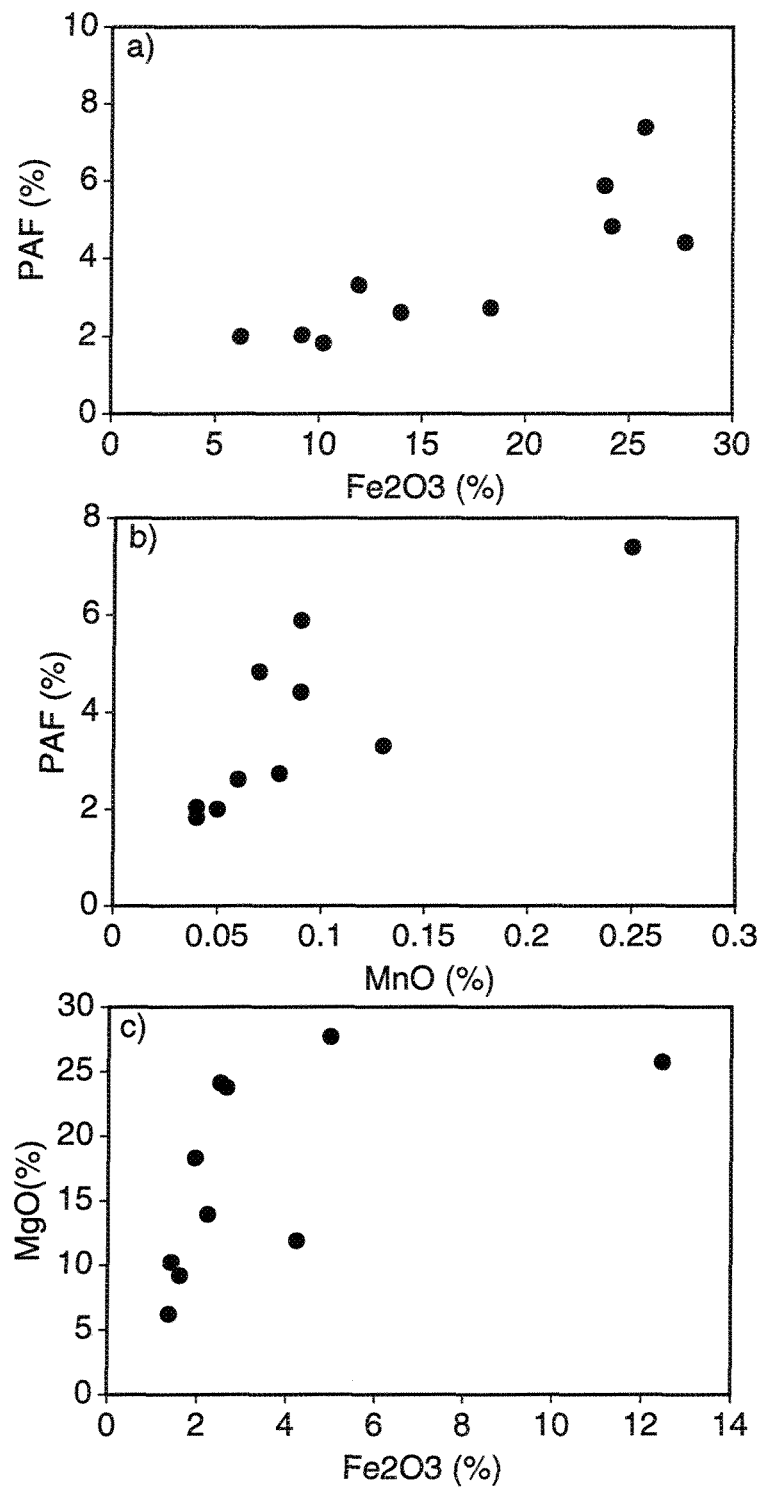


Figure 28: Diagrammes binaires montrant les relations qui existent entre certains éléments dans la rhyolite:

a) PAF vs. Fe₂O₃ ($r=0.861$)

b) PAF vs. MnO ($r=0.550$)

c) MgO vs. Fe₂O₃ ($r=0.593$)

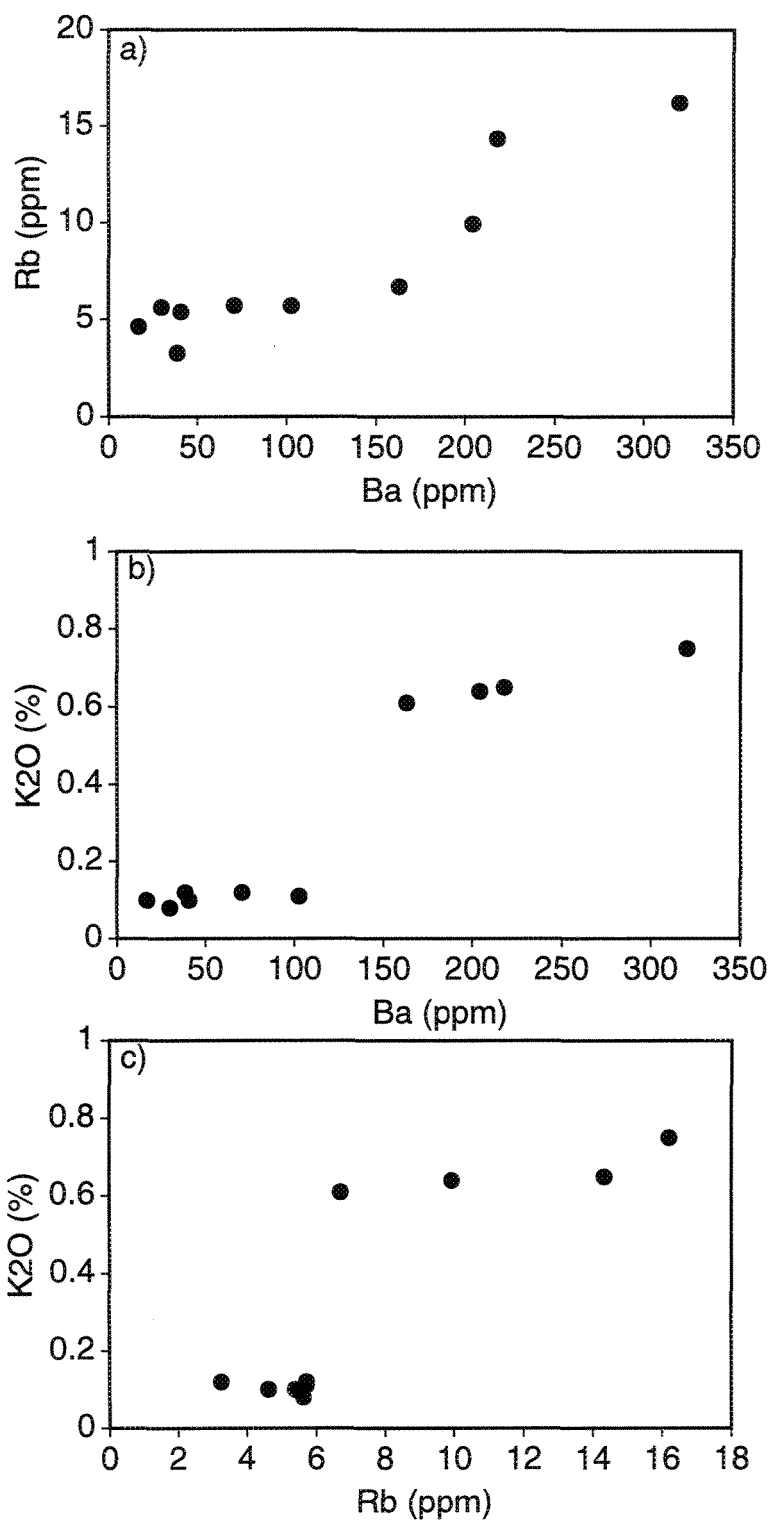


Figure 29: Diagrammes binaires montrant les relations qui existent entre certains éléments dans la rhyolite:

a) Rb vs. Ba ($r=0.923$)

b) K2O vs. Ba ($r=0.935$)

c) K2O vs. Rb ($r=0.845$)

et Rb correspondant probablement à la chloritisation, et le deuxième groupe avec des teneurs un peu plus importantes en ces éléments, pourrait être dû à la présence de ces éléments dans le même minéral. Un diagramme $K_2O(\%)$ vs. $Fe_2O_3(\%)$ (non montré ici) confirme la présence de deux groupes en fonction de leurs teneurs en K_2O et Fe_2O_3 .

IV.4.2 L'andésite Rusty-Ridge

L'andésite montre presque les mêmes corrélations que pour la rhyolite (tableau 6), ceci peut être expliqué probablement par un processus d'altération commun qui les a affecté et qui a induit donc les changements chimiques similaires, mais ces corrélations sont moins prononcées du fait que l'andésite est moins altérée que la rhyolite. Toutefois quelques différences sont également observées, surtout la corrélation négative entre le Fe_2O_3 et le MgO (figure 30). Ceci peut être expliqué probablement par la faible teneur du magnésium dans cette unité. En effet, d'après la composition globale de la roche en Fe et Mg et la teinte de polarisation de la chlorite qui est généralement bleue à bleu-violet (voir chapitre de pétrographie), la chlorite est de nature ferrugineuse, ce qui est conforme aux données de certains auteurs qui ont travaillé dans la région de Noranda (Riverin 1977, Price 1980 et Pearson 1986). La même constatation a été faite à partir de l'étude des analyses à la microsonde (chapitre III.3.2).

IV.4.3 Changement de masse

Pour évaluer adéquatement les gains et les pertes d'éléments chimiques lors du processus d'altération hydrothermale des roches du gisement Ansil, nous avons utilisé la méthode du calcul de changements de masse. La méthode consiste à calculer le changement de masse pour chaque élément mobile d'un échantillon en référence à la concentration d'un élément immobile.

	SiO2	Fe2O3	Al2O3	TiO2	P2O5	K2O	MgO	MnO	CaO	Na2O	PAF	Rb	Yb	Ba	Zr	La
SiO2	1															
Fe2O3	-.859	1														
Al2O3	-.44	-.048	1													
TiO2	.836	-.512	-.727	1												
P2O5	-.45	.033	.73	-.541	1											
K2O	.375	-.697	.537	-.083	.281	1										
MgO	.365	-.698	.298	.044	.399	.63	1									
MnO	-.027	-.336	.411	-.199	.446	.335	.854	1								
CaO	.221	-.094	-.266	.5	-.149	-.517	-.134	.023	1							
Na2O	.104	.032	-.241	.062	-.217	-.36	-.377	-.482	.246	1						
PAF	-.375	-.093	.715	-.567	.758	.375	.666	.834	-.214	-.328	1					
Rb	.122	-.485	.73	-.387	.294	.876	.375	.174	-.498	-.094	.344	1				
Yb	.621	-.183	-.816	.668	-.831	-.094	-.293	-.588	-.074	.201	-.843	-.236	1			
Ba	.417	-.748	.567	.051	.379	.937	.604	.335	-.247	-.345	.384	.793	-.207	1		
Zr	.521	-.289	-.646	.385	-.619	-.048	.225	.022	-.118	.157	-.363	-.173	.685	-.268	1	
La	-.407	.459	.001	-.403	-.352	-.208	-.506	-.316	-.355	.355	-.059	.03	.079	-.355	-.041	1

Tableau 6: Corrélacion entre les éléments majeurs et certains éléments traces de l'andésite.
La valeur significative à 99% est 0,708.

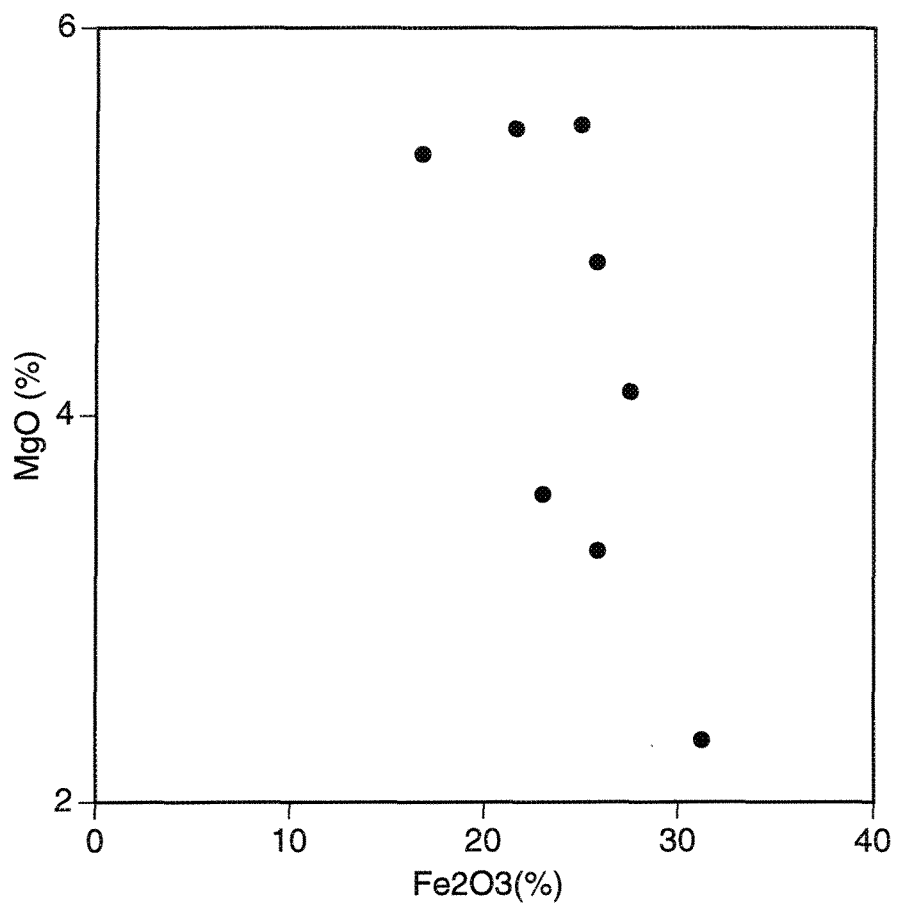


Figure 30: Diagramme binaire MgO vs. Fe2O3 de l'andésite montrant la relation inversement proportionnelle entre ces deux éléments ($r=-0.698$)

Les calculs de changements de masse se font selon la méthode décrite par MacLean et Kranidiotis (1987) et MacLean (1990), et sont similaires à ceux de Gresens (1967) modifiés par Babcock (1973) et Grant (1986), qui ont utilisé une variété d'éléments pour estimer les changements de masse.

La masse d'un échantillon, après l'altération, est appelée composition reconstituée (C.R) (MacLean et Kranidiotis 1987; MacLean 1990; MacLean et Barrett 1993; Barrett et MacLean 1994b et Cattalani et Bambic 1994). Elle est calculée à partir d'une analyse chimique initiale en se basant sur 100 unités de masse de l'échantillon frais (précurseur), en utilisant le Zr comme composante immobile. Donc un ajout ou une perte de masse est équivalent en pourcentage de poids:

$$C.R = \frac{\text{Zr précurseur}}{\text{Zr altéré}} \times \text{composante altérée}$$

Avec

- C.R: est la composition reconstituée.
- Zr précurseur: concentration en Zr dans l'échantillon le moins altéré.
- Zr altéré: concentration en Zr dans l'échantillon altéré.
- Composante altérée: Composition d'un élément (majeur ou mineur) dans l'échantillon altéré.

Cette méthode normalise de façon efficace tout changement de composantes mobiles par rapport aux concentrations en Zr du précurseur (l'échantillon le moins altéré dans ce cas). Les changements de masse sont obtenus en calculant la différence entre la composition de l'échantillon frais (précurseur) et la masse totale de l'échantillon après l'altération (C.R):

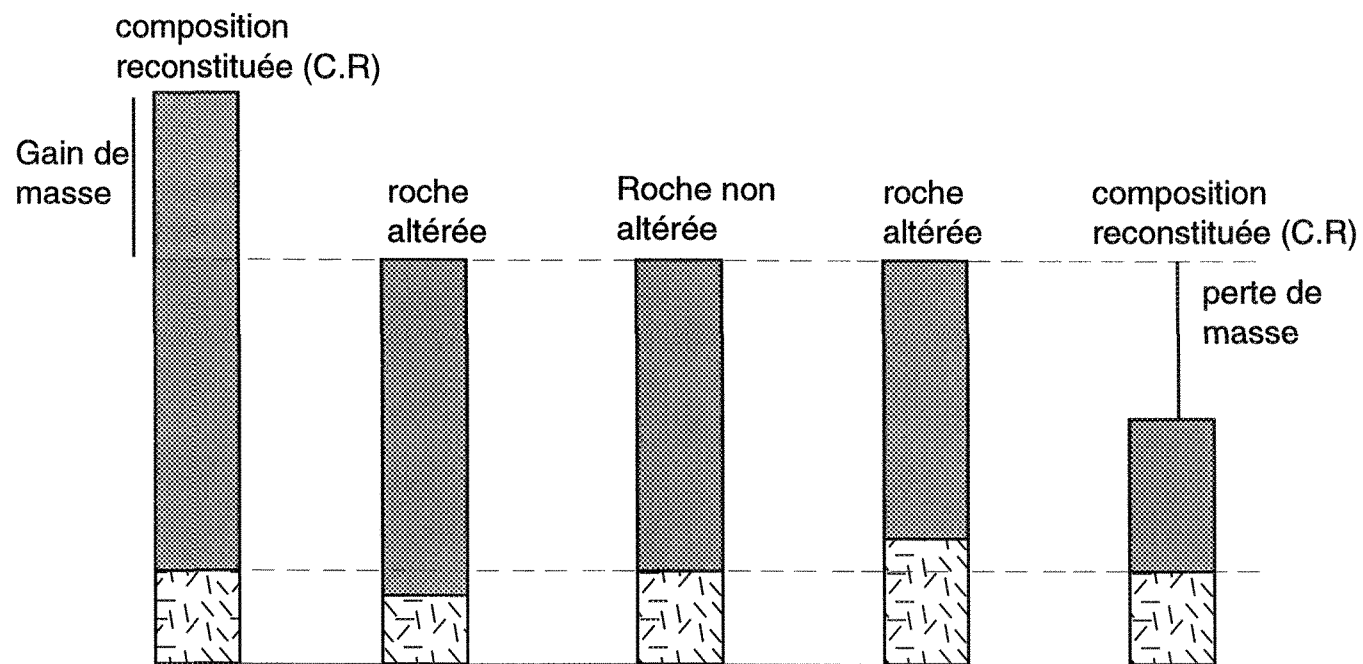
Changement de masse = C.R - Composition du précurseur

Cette procédure est illustrée schématiquement à la figure 31. Sur cette figure, en prenant l'exemple d'un gain de masse, les constituants immobiles diminuent d'environ du tiers par rapport aux teneurs du précurseur (l'échantillon le moins altéré), ce qui donne une composition reconstituée (C.R) de 150 unités et un gain de masse de 50 unités (c'est à dire 50% du poids). Les différents calculs sont reportés à l'annexe 5.

La figure 32 montre une brève explication des diagrammes qui vont être utilisés pour interpréter les résultats de changements de masse. Cette figure schématique représente les changements de masse de deux composantes A (en abscisse) et B (en ordonnée), l'intersection des deux lignes de zéro correspond à la composition de l'échantillon le moins altéré. Le quadrant gauche supérieur représente une perte de A et un gain de B, contrairement au quadrant droit inférieur qui montre un gain de A et une perte de B, le quadrant gauche inférieur indique une perte des deux composantes A et B, alors que la partie droite inférieure de la figure correspond à un gain des deux éléments A et B.

Sur le diagramme binaire $\Delta M \text{ K}_2\text{O}$ vs. $\Delta M \text{ Na}_2\text{O}$ (figure 33a), une perte en Na_2O est accompagnée par un léger enrichissement en K_2O , ce qui témoigne d'une séricitisation des deux unités qui n'est pas très importante. La perte importante des composantes Na_2O et CaO suite à l'altération hydrothermale par destruction des plagioclases est évidente à la figure 33b, bien que des échantillons de la rhyolite laissent paraître un gain en CaO , ce qui reflète probablement une légère carbonatation, telle qu'observée par l'étude pétrographique (la zone 2).

Le diagramme $\Delta M \text{ CaO}+\text{NaO}$ vs. $\Delta M \text{ FeO}+\text{MgO}$ (figure 34a) montre la relation qui existe entre la destruction des plagioclases et la formation de la chlorite. Cette relation est très



Légende

 Éléments immobiles

 Éléments mobiles

Figure 31: Diagramme schématique illustrant la méthode de calcul de changement de masse, avec des constituants mobiles et immobiles dans une roche non altérée et dans son équivalent altéré et la composition reconstituée (C.R). Modifié de MacLean (1990).

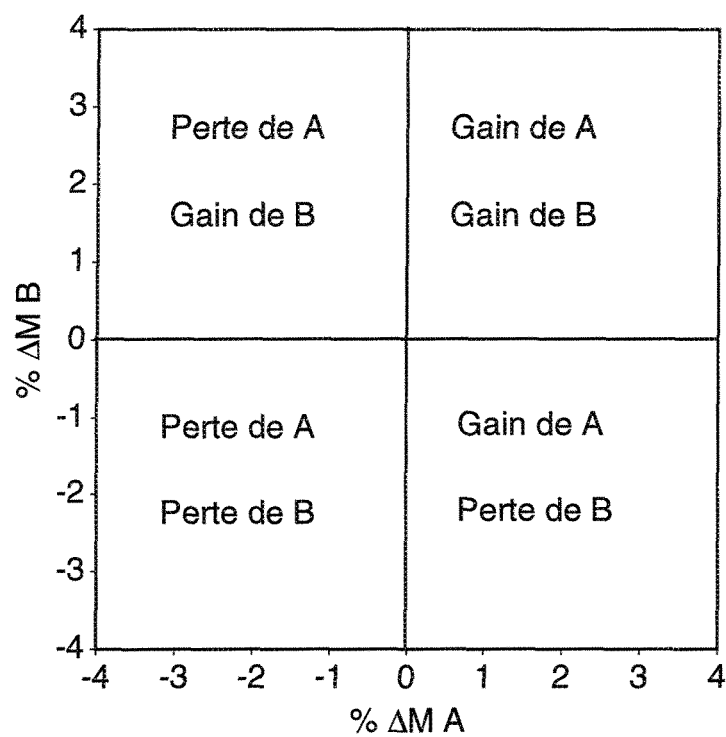


Figure 32: Diagramme de changements de masse schématique montrant les gains et les pertes de deux éléments A et B. L'intersection des lignes de zéro correspondent à la composition de l'échantillon le moins altéré.

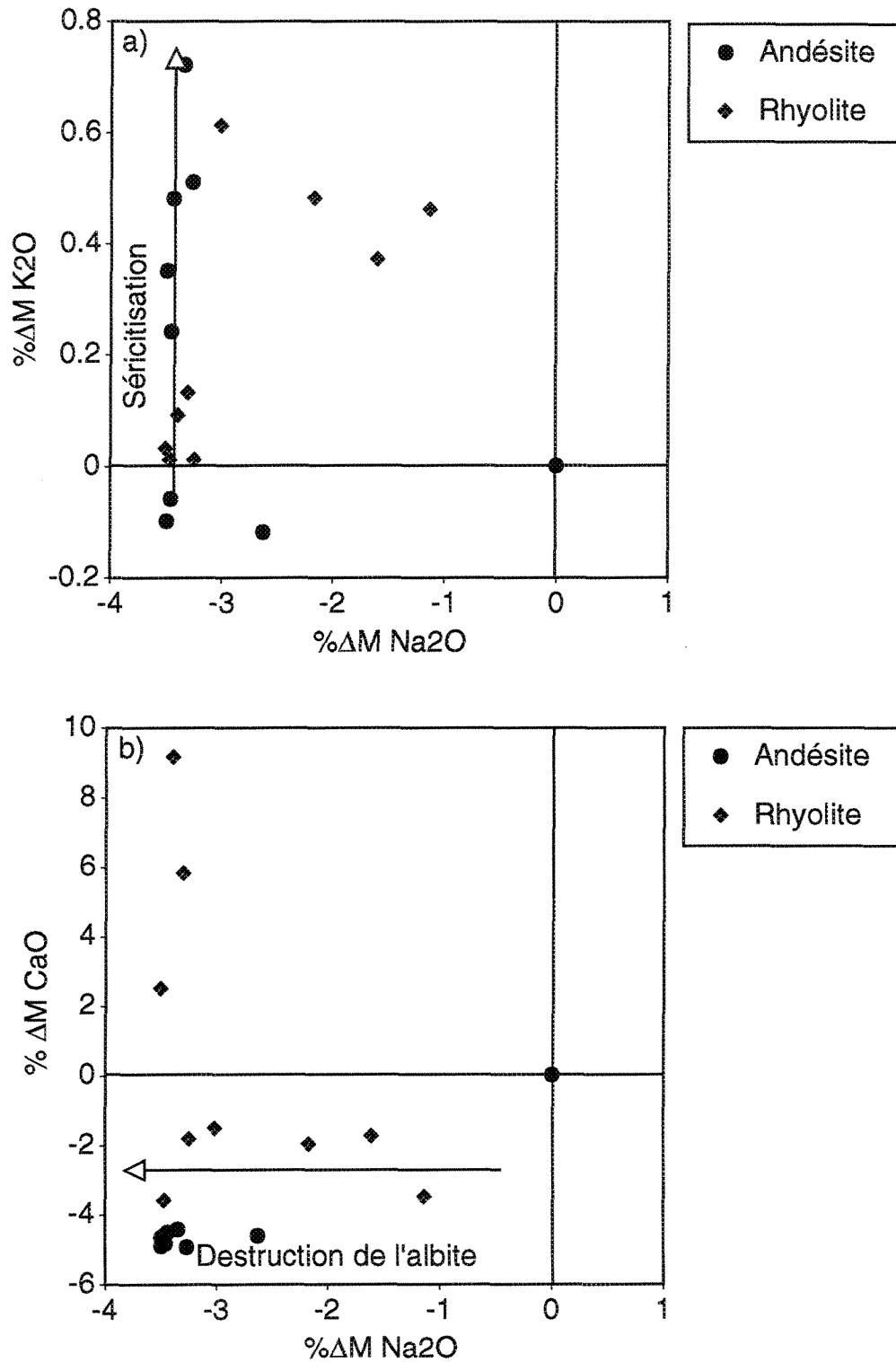


Figure 33: Diagrammes de changements de masse pour: a) K₂O et Na₂O et b) CaO et Na₂O de la rhyolite et de l'andésite. L'intersection des lignes de zéro correspond à la composition de l'échantillon le moins altéré.

nette sur le diagramme $\Delta M \text{ Na}_2\text{O}$ vs. $\Delta M \text{ FeO}+\text{MgO}$ (figure 34b) où la rhyolite Northwest et l'andésite Rusty-Ridge montrent que la perte en sodium est accompagnée d'un gain substantiel en $\text{FeO}+\text{MgO}$. Ce gain varie de 0% à environ 25% pour l'andésite et de 0% à plus de 50% pour la rhyolite, mais ce gain en $\text{FeO}+\text{MgO}$ est principalement dû à l'ajout du fer (figure 35a), alors que le magnésium ne montre pas de changement, sauf dans quelques échantillons de rhyolite (figure 35b). L'enrichissement en fer peut être attribué à la formation de la chlorite lors de la réaction de la roche avec la solution minéralisatrice. On a déjà vu dans l'étude des résultats de l'analyse à la microsonde que la quantité de fer dans la roche est proportionnelle à celle de la chlorite (figure 10). Ces changements de masse se traduisent du point de vue minéralogique par la destruction des plagioclases albitiques qui sont accompagnés d'une addition de $\text{Fe}\pm\text{Mg}$ par les solutions hydrothermales pour former surtout de la chlorite, un peu de séricite et de carbonates. Une perte de silice d'environ 20% marque la majorité des échantillons de la rhyolite et l'andésite (figure 35).

L'enrichissement en Rb et en K_2O , sur le diagramme impliquant des éléments majeurs et en traces (K_2O et Rb), durant la séricitisation (figure 36) produit un regroupement quasi-linéaire, du fait de la grande affinité chimique entre ces deux éléments qui conservent presque le même rapport durant le processus d'altération.

IV.5 Géochimie de la minéralisation

Un total de douze (12) échantillons de la minéralisation ont été analysés pour le Cu, le Zn, le Pb, l'Ag et l'Au. La plupart des échantillons proviennent du trou A-20. Les moyennes des analyses de ces éléments sont présentées au tableau 7. Une étude de corrélation entre certains de ces éléments a également été effectuée.

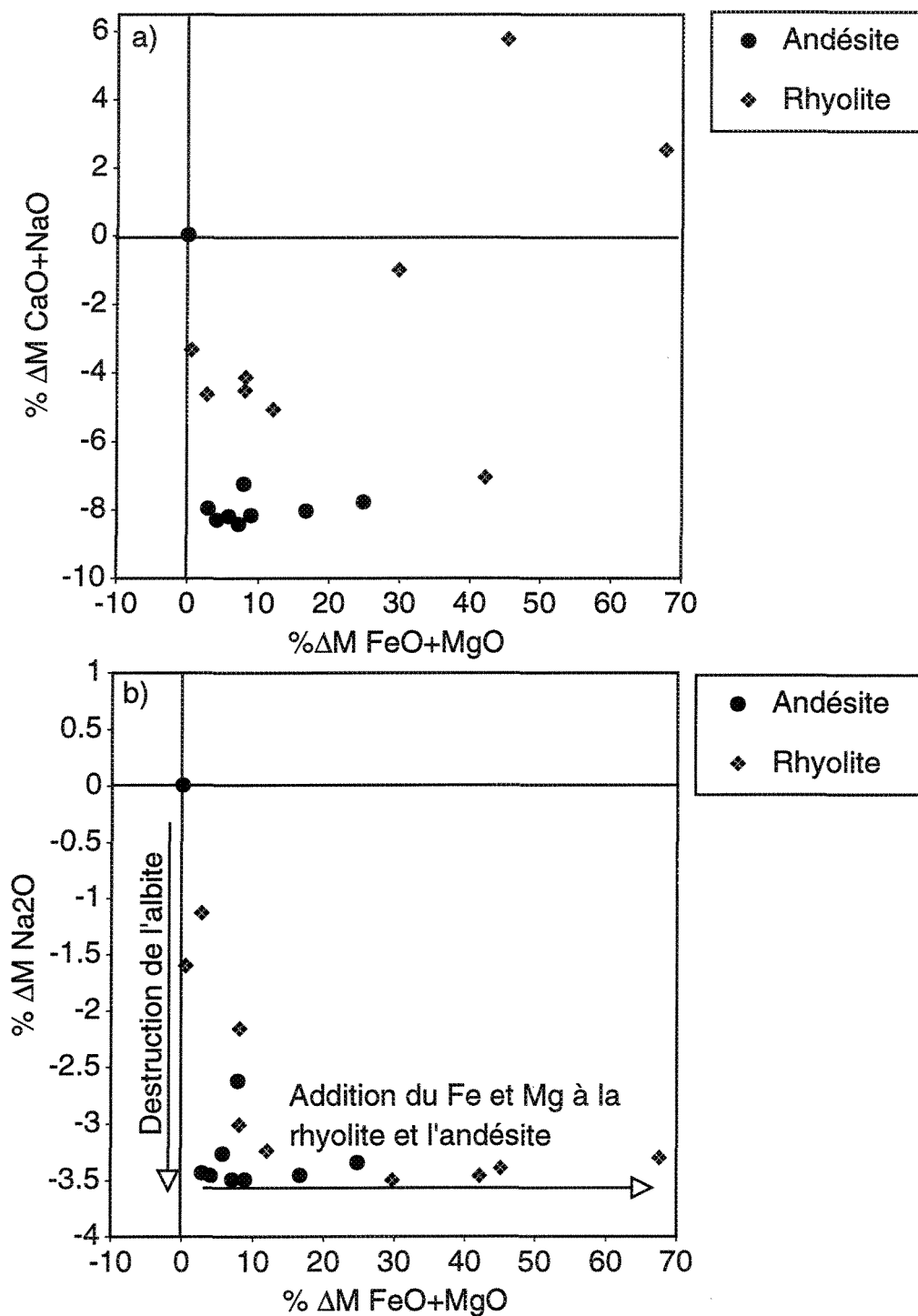


Figure 34: Diagrammes de changements de masse pour: a) CaO+Na₂O vs. FeO+MgO et b) Na₂O vs. FeO+MgO de la rhyolite et de l'andésite. L'intersection des lignes de zéro correspond à la composition de l'échantillon le moins altéré.

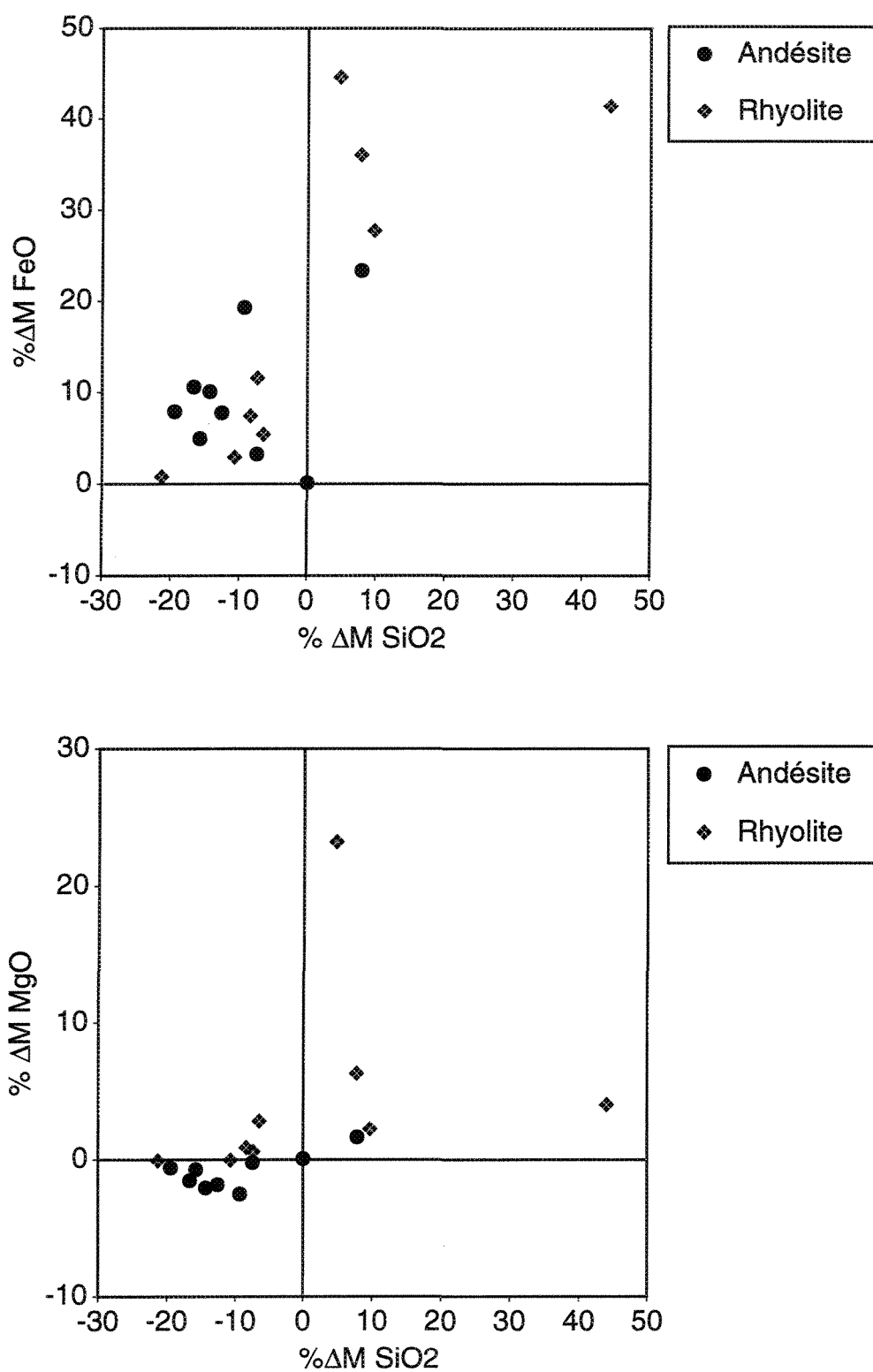


Figure 35: Diagrammes de changements de masse pour: a) FeO et SiO₂ et b) MgO et SiO₂ de la rhyolite et de l'andésite. L'intersection des lignes de zéro correspond à la composition de l'échantillon le moins altéré.

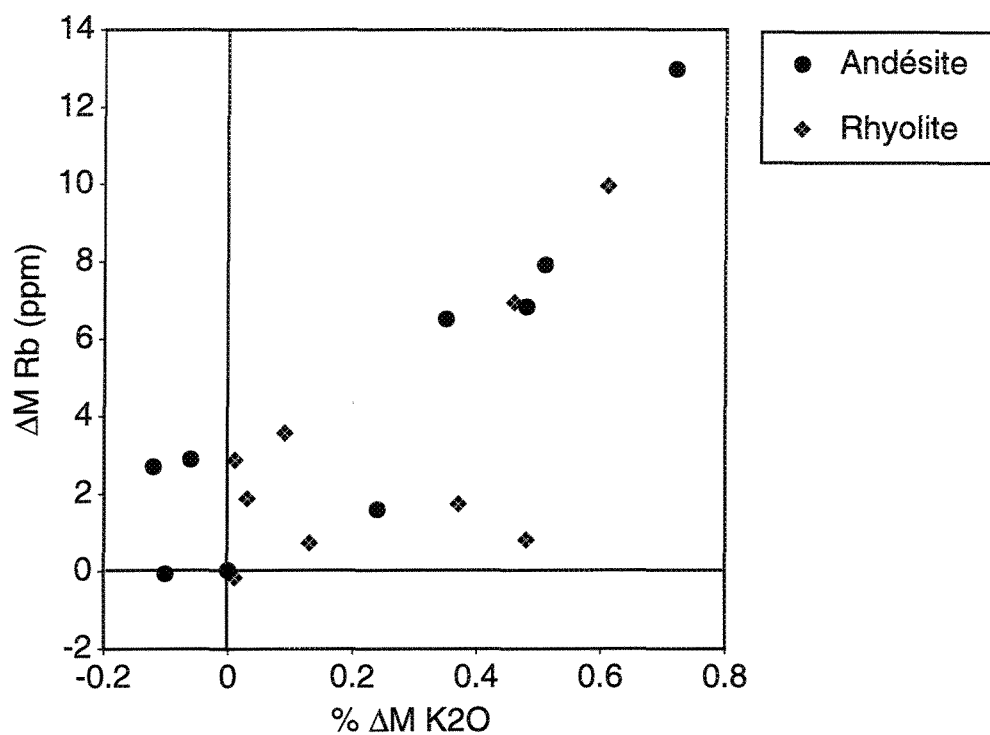


Figure 36: Diagramme de changement de masse pour Rb et K₂O de la rhyolite et de l'andésite. L'intersection des lignes de zéro correspond à la composition de l'échantillon le moins altéré.

Echantillon	% Cu	%Zn	%Co	Ag(ppm)	Au(ppm)
94-M-9	5.03	0.24	0.09	4.27	0.05
94-M-12	9.01	0.25	0.08	8.37	0.86
94-M-21	6.64	0.11	0.07	19.80	0.32
94-M-22	8.48	0.05	0.11	12.51	0.13
94-M-23	25.92	0.32	0.02	87.97	0.08
94-M-24	24.15	0.17	0.06	30.51	0.13
94-M-25	24.03	0.21	0.04	24.15	0.05
94-M-28	23.50	0.25	0.06	21.47	0.10
94-M-29	14.59	0.44	0.08	20.14	0.71
94-M-30	28.22	0.36	0.03	42.47	0.16
94-M-33	5.15	0.01	0.02	7.69	0.01
94-A-3-A	22.90	0.18	0.04	72.78	0.23
Moyenne	16.47	0.22	0.06	29.34	0.23

Tableau 7: montrant les valeurs de metaux dans certains échantillons de la minéralisation du gisement Ansil.

Distribution et corrélation entre les éléments

La distribution des éléments métalliques dans la partie minéralisée du gisement Ansil est la suivante:

Le cuivre: Il constitue le métal le plus abondant. D'ailleurs le gisement Ansil est reconnu par sa teneur élevée en Cu (7,2%), ce qui est élevé pour la région de l'Abitibi en général, et le district de Noranda en particulier. Les analyses de la présente étude montrent des teneurs qui varient de 5% à plus de 28%. Ceci est conforme avec l'étude pétrographique qui montre que la chalcoppyrite constitue le minéral le plus abondant, source principale de cuivre dans le gisement Ansil.

Le zinc: La concentration du zinc dans les échantillons étudiés n'est pas importante. Elle varie entre 0,01 et 0,36% (la valeur moyenne est 0,22%, tableau 7). Ceci est reflété par la faible quantité de sphalérite qui ne dépasse pas 1% .

Le cobalt: Son contenu est généralement faible. Il varie de 0,02 à 0,11% (une moyenne de 0.06%).

Le plomb et le nickel: Ces deux éléments diffèrent des autres éléments par leurs très faibles quantités, <0,01 pour le Pb et <0,003 pour le nickel.

L'or et l'argent montrent des teneurs de 0,23g/t et 29,34g/t respectivement.

Les corrélations principales (tableau 8) qui ressortent des données recueillies sont celles établies entre l'Ag et le Cu (figure 37a). Sur cette figure, le Cu et l'Ag montre une distribution quasi-linéaire avec un coefficient de corrélation de 0,7. Une même corrélation a été constatée par Cattalani *et al.* (1993a) pour des teneurs de Cu supérieures à 5%. Dans le diagramme binaire Co vs. Cu (figure 37b), le Co est corrélé d'une façon négative avec le Cu.

	Cu	Zn	Co	Au	Ag
Cu	1				
Zn	.485	1			
Co	-.548	-.073	1		
Au	-.344	-.267	.133	1	
Ag	.703	.306	-.59	-.12	1

Tableau 8: Corrélacion entre les éléments de la minéralisation du gisement Ansil.

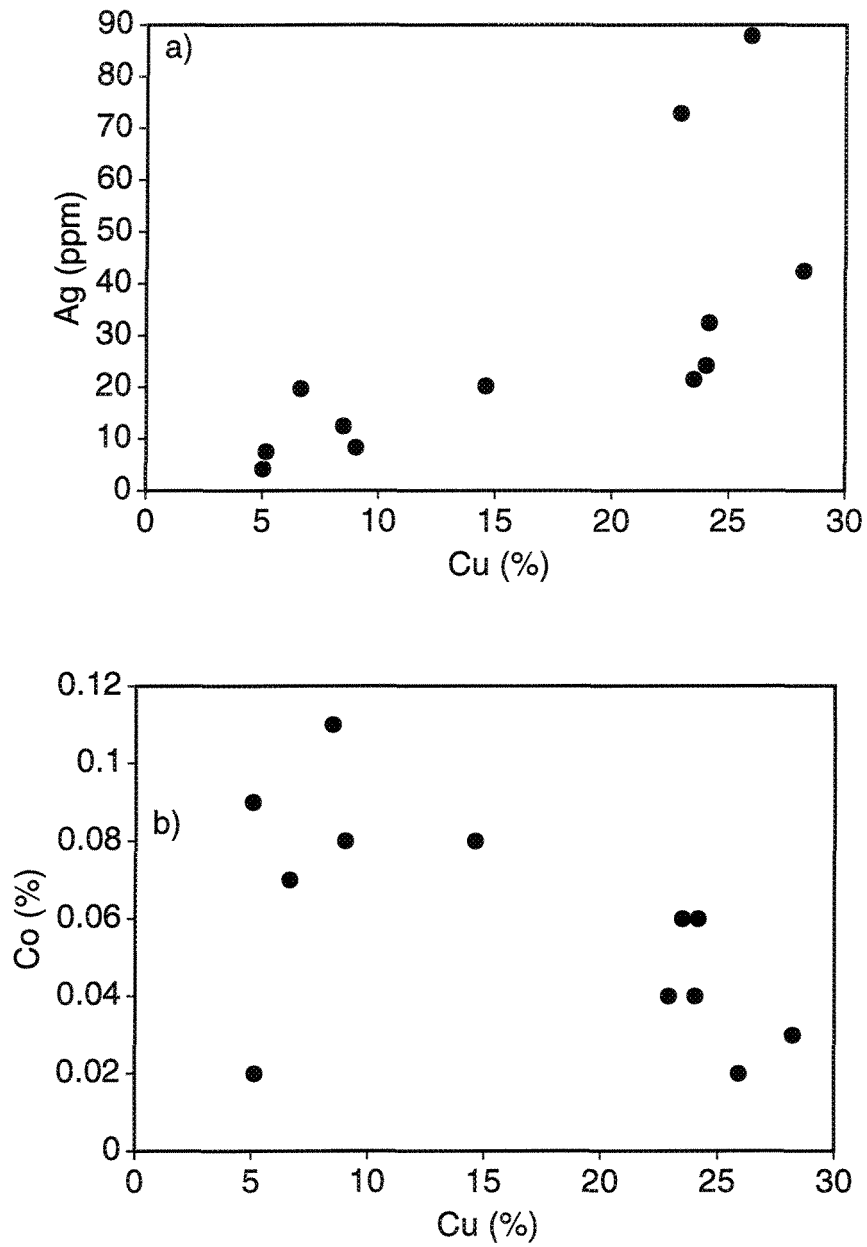


Figure 37: Diagrammes binaires montrant la relation entre a) Cu vs. l'Ag et b) Cu vs. le Co.

Ceci peut s'expliquer par la présence de la pyrrhotite, le seul minéral ferrifère d'importance présent dans l'amas principal d'Ansil, qui est enrichi en Co (Doiron 1984 et Cattalani *et al.* 1993a). On constate que l'Ag montre une excellente coïncidence spatiale avec les zones riches en Cu (figure 38). Cette corrélation entre le Cu et l'Ag pourrait être étudiée à l'aide de la microsonde, mais cette étude est limitée à cause de la limite de détection de l'appareil pour l'Ag qui est de l'ordre de 1000 ppm, valeur très élevée par rapport à celles des données analytiques (tableau 7). Aucune autre corrélation évidente n'a pas pu être mise en évidence.

IV.6 Conclusions préliminaires de la géochimie

L'étude géochimique de la présente étude des roches encaissantes et de la minéralisation du gisement Ansil a permis de mettre en évidence les conclusions suivantes:

- Une affinité tholéiitique à transitionnelle pour les unités encaissantes (la rhyolite Northwest et l'andésite Rusty-Ridge). Ceci est déterminé par les éléments traces et les terres rares. Ces dernières ne démontrent pas de mobilité dans cette partie du gisement.

- Un enrichissement en FeO, en MgO et en K₂O et un appauvrissement en Na₂O±CaO dans la rhyolite. Les mêmes changements ont été produits dans l'andésite à l'exception de la perte en CaO totale. Les variations géochimiques produites dans l'andésite sont moins prononcées que celles dans la rhyolite. L'analyse à la microsonde de la chlorite dans les deux unités a révélé une chlorite généralement ferrugineuse (ripidolite).

- Au niveau de la minéralisation, les analyses chimiques montrent des teneurs importantes en Cu et des teneurs faibles pour les autres éléments métalliques.

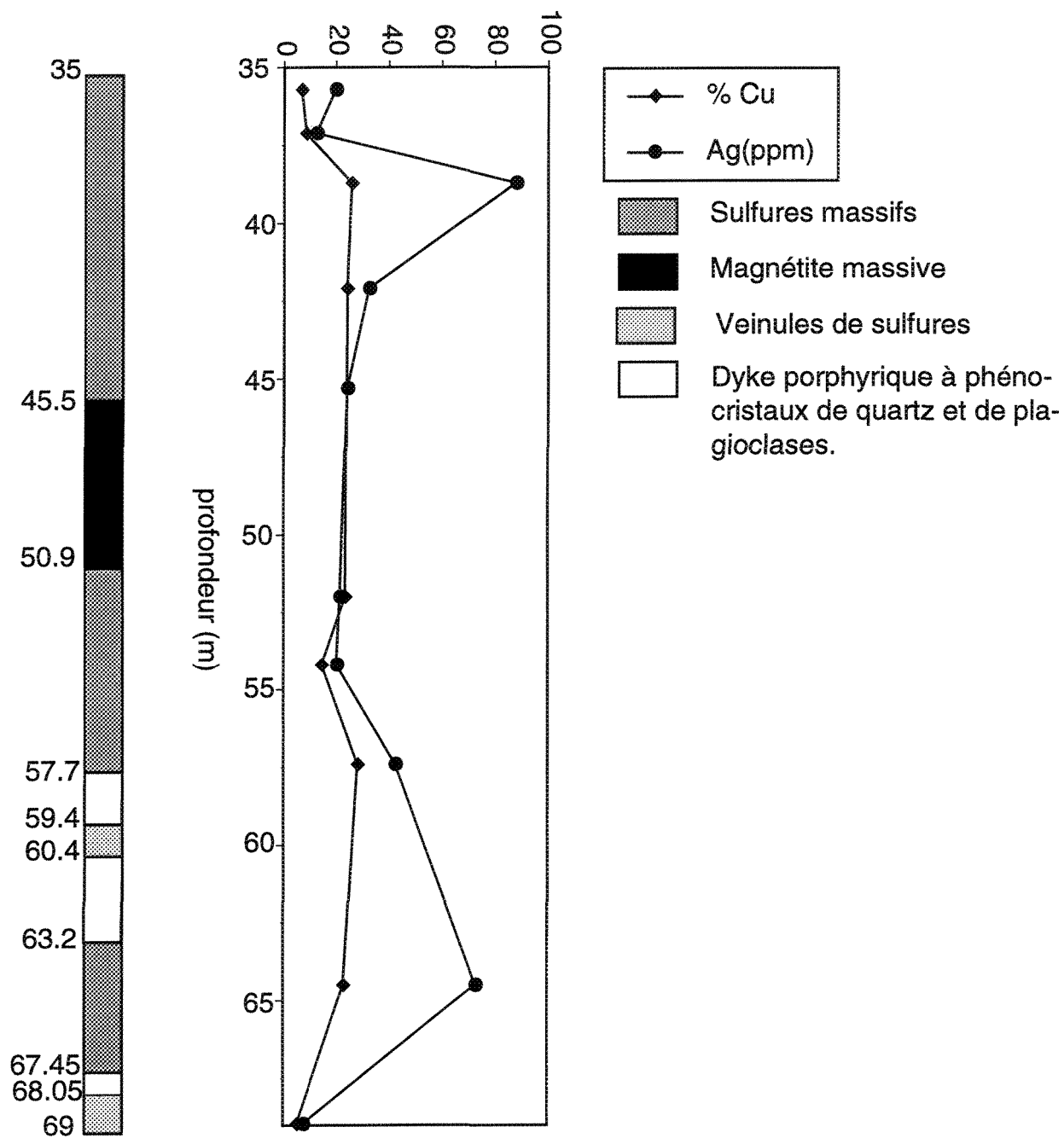


Figure 38: Colonne stratigraphique avec des profils de concentration du Cu et d'Ag en fonction de la profondeur au niveau de la minéralisation pour le trou A-20.

CHAPITRE V

COMPARAISONS

V.1 Introduction

Les gisements de sulfures massifs volcanogènes ont fait l'objet de plusieurs études concernant leur caractérisation pétrographique et géochimique. Ces études ont permis de montrer l'évolution et les changements que les roches encaissantes des gisements ont subis lors de la mise en place de la minéralisation, à cause de l'interaction entre ces roches et l'eau.

Selon Franklin *et al.* (1981) et Lydon (1984), l'altération hydrothermale se manifeste dans les gisements de sulfures massifs volcanogènes de type Cu-Zn par une chloritisation entourée par une séricitisation. Le gisement Ansil est conforme à cette proposition (Cattalani *et al.* 1993a et Barrett *et al.* 1991c). Les trous de forages de la présente étude ne recoupent pas toute la cheminée d'altération, alors cette observation est plus ou moins évidente.

Une comparaison entre les variations pétrographiques et géochimiques du gisement Ansil et d'autres gisements de même type va constituer ce dernier chapitre. Bien que l'échantillonnage ne permette pas de voir l'évolution de l'altération de l'extérieur vers

l'intérieur de la cheminée d'altération, ce qui rend la comparaison difficile, plusieurs traits de ressemblances et de différences peuvent être mis en évidence. Le tableau 9 résume les compositions pétrographiques et géochimiques du gisement Ansil et d'autres gisements de même type de la région du Noranda, de Matagami, de Chibougamau (tous archéens), d'Iwamuki (Japon, d'âge miocène) et dans le bassin arrière-arc de Manus actuel (Nouvelle Guinée).

V.2 Pétrographie

La présente étude nous a permis de voir que l'altération hydrothermale dominante dans le gisement Ansil est surtout de nature chloritique, ce qui est également observé dans les études antérieures effectuées sur le gisement Ansil (Cattalani *et al.* 1993a et Barrett *et al.* 1991c). La chlorite est quasi-présente dans tous les échantillons étudiés. Cette altération ressemble à celle observée dans la plupart des gisements du camp minier de Noranda et se distingue de l'altération qui a affectée les gisements Horne et Delbridge. Dans ces derniers, l'altération consiste surtout en une silicification et une séricitisation suivie d'une chloritisation locale (MacLean et Hoy 1991, Barrett *et al.* 1991a et Cattalani *et al.* 1993b). La zone d'altération, à Millenbach, a été affecté par le métamorphisme thermique. Ce métamorphisme a produit certains minéraux du faciès amphibolite comme la cordiérite et l'anthophyllite. Les zones fortement chloritisées ont été converties à des zones à anthophyllite, contrairement au gisement Ansil où le métamorphisme est de faible intensité. Généralement, cette altération est le résultat de la destruction des plagioclases et la formation de la chlorite.

Dans la région de Matagami, l'altération qui a été mise en évidence montre des différences importantes qui se résument essentiellement par la présence du talc (Isle-Dieu (Tanguay 1990) et Lac Mattagami (Roberts et Reardon 1978). Ceci n'a pas été observé dans

Région	Gisements	Pétrographie	Géochimie
Noranda (Archéen)	Ansil	Chl, ser, qz, carb, stilp, act.	+Fe, +Mg, ±K, ±Ca, -Na, -Si.
	Millenbach	Cord, anth, chl, bio, ser.	+Fe, +Mg, -Ca, -Na, -K, -Al.
Matagami (Archéen)	Isle-Dieu	Chl, ser, ab, qz, tc	+Mg, +Fe, +Mn, -Ca, -Si, -Na.
	Lac Mattagami	Tc, act, chl, qz, stilp, bio.	+Mg, +Fe, -Na, -K, -Al, -Si.
Chibougamau (Archéen)	Zone "8-5"	Chl, bio, stip, ser, sp-leu, ±tr, ±carb	+Fe, +Mg, +Ca, -Na, -K
Japon (Miocène)	Iwamuki	Ser, qz, chl, ab, kao.	+Mg, +Al, -Ca, -Na, -K.
Nouvelle Guinée (Récent)	site de Pacmanus	—	+K, +Mg, -Si, -Fe, -Na, -Ca.

Tableau 9: Résumé de la comparaison entre le gisement Ansil et d'autres gisements de même type.

chl: chlorite, ser: séricite, qz: quartz, carb: carbonate, stilp: stilpnomélane, act: actinolite, bio:

biotite, cord: cordiérite, anth: anthophyllite, al: albite, tc: talc, tr: Trémolite, sp-leu: sphène-leucoxène.,

kao: kaolinite. -: appauvrissement, +: gain, ±: erratique.

le gisement Ansil. Selon Roberts et Reardon (1978), le talc s'est formé par remplacement de la chlorite dans le gisement de Lac Mattagami. Toutefois aucune évidence pétrographique de remplacement de la chlorite par du talc n'a pas pu être mise en évidence dans le gisement d'Isle-Dieu (Tanguay 1990). En plus du talc observé dans le gisement Lac Mattagami et qui peut constituer parfois jusqu'à 90%, l'actinolite, la chlorite, le quartz, le stilpnomélane et la biotite constituent les principaux minéraux de la zone du coeur de la cheminée d'altération. Cette zone est entourée par une autre zone avec 90% de chlorite. Au niveau de Chibougamau, la zone minéralisée "8-5", localisée au contact des roches felsiques de la formation Blondeau avec le filon-couche de Bourbeau, montre une altération caractérisée par la présence de la chlorite, de la biotite, du stilpnomélane, de la séricite, du sphène-leucoxène, et des traces de trémolite avec des carbonates dispersés de façon erratique (Bélanger *et al.* 1984). Le gisement de sulfures massifs volcanogènes Iwamuki au Japon (d'âge miocène) est caractérisé par une altération en séricite qui est omniprésente proche de la minéralisation (au coeur) (Urabe *et al.* 1983 et Bryndzia *et al.* 1983). Cette zone est entourée par une zone de chlorite et de séricite. C'est le cas contraire des gisements de sulfures massifs volcanogènes archéens (cas d'Ansil) qui sont caractérisés par une zone chloriteuse au centre, proche de la minéralisation, cette dernière entourée par une zone de séricite à la périphérie.

Une des caractéristiques également importante du gisement Ansil, comparativement aux autres gisements de même type, est la présence d'une altération importante au niveau du toit du gisement, observée dans de rares gisements, tels que le gisement Amulet (Spence 1975), le gisement de Corbet (Knuckey et Watkins 1982), et quelques gisements Kuroko (Iijima 1974).

V.3 Géochimie

Tout comme la majorité des autres gisements de la région, le gisement Ansil est situé au

contact entre une andésite et une rhyolite. Les échantillons les plus frais de ces deux unités (Cattalani *et al.* 1993a) montrent une affinité tholéiitique et pauvre en K (figure 11) à transitionnelle sur le diagramme AFM (figure 12). Le rapport de certains éléments (Zr/Y) (Cattalani *et al.* 1993a), La_N/Yb_N (Cattalani *et al.* 1993a et la présente étude) et Zr/Yb (Cattalani *et al.* 1994 et la présente étude) révèlent également des valeurs tholéiitiques à transitionnelles. De ce fait, les roches encaissantes d'Ansil ressemblent davantage aux autres roches de la série centrale des mines (Cattalani *et al.* 1994 et Barrett et MacLean 1994a).

L'altération affectant les roches encaissantes des gisements de sulfures massifs volcanogènes de l'Abitibi et surtout celles du camp minier de Noranda et de Matagami se caractérisent par un appauvrissement de $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$ (lessivage des plagioclases) et un enrichissement en $\text{FeO}+\text{MgO}$ (formation de la chlorite). Chimiquement, les roches altérées de la zone minéralisée "8-5" dans la région de Chibougamau montre un appauvrissement en Na_2O et K_2O et un enrichissement en FeO , MgO et également en CaO . Ces résultats concordent avec les variations chimiques dans les gisements de sulfures massifs volcanogènes en général et ceux de la présente étude du gisement Ansil en particulier, à l'exception de l'enrichissement parfois en CaO (zone 2). L'altération au niveau des gisements de sulfures massifs volcanogènes du Japon se traduit chimiquement par un enrichissement en K_2O et SiO_2 et une perte de CaO , Na_2O et MgO dans la partie centrale de la zone d'altération. L'étude des zones de minéralisation des fonds sous-marins a contribué à une meilleure compréhension des gisements de sulfures massifs volcanogènes. De plus, l'attention des chercheurs s'est accrue à la suite de la découverte de cheminées hydrothermales sur les dorsales des fonds océaniques de l'est du Pacifique, lesquelles précipitent des sulfures à caractères identiques aux gisements de SMV. Mais les études sur les altérations ne sont pas encore bien développées. Néanmoins le site de Pacmanus (Binns et Scott 1993) dans le bassin arrière-arc de Manus (Nouvelle-Guinée) a montré, selon une

étude comparative entre quelques échantillons altérés et frais, un gain en K, Mg et un appauvrissement en Si, Fe, Na et Ca.

La figure 39 illustre les variations chimiques dues à l'altération pour le gisement Ansil ainsi que ceux de Millenbach (pour la région de Noranda) et les gisements de Lac Mattagami et Isle-Dieu (pour la région de Matagami). Ce diagramme permet de mettre en évidence les relations qui existent entre les ferro-magnésiens, les alcalis et l'aluminium. Le tétraèdre F-C-A-K (Riverin et Hodgson 1980) démontre les variations géochimiques observées dans les zones d'altération du gisement Ansil (présente étude) et ceux de Millenbach (Riverin et Hodgson 1980), Isle-Dieu (Tanguay 1990) et Lac Mattagami (Roberts et Reardon 1978). Ce diagramme permet de visualiser la similarité des altérations entre la présente étude et les dépôts bien connus de Millenbach, Lac Mattagami et Isle-Dieu. Les altérations des différents gisements démontrent un mouvement vers le pôle (FeO+MgO) et un éloignement du pôle (CaO+Na₂O). Ceci est concordant avec la formation de la chlorite et le lessivage des plagioclases.

Sur les quatre diagrammes ternaires, les altérations ont les mêmes tendances, une orientation générale vers le pôle (FeO+MgO) sur les diagrammes ternaires C-F-K, F-C-A et F-K-A et une orientation vers le pôle Al₂O₃ sur le diagramme K-A-C qui est considéré comme immobile lors de l'altération.

Le gisement de Corbet (Knuckey et Watkins 1982) montre également les mêmes variations géochimiques observées dans les gisements ci-dessus. Ces traits de similitudes dans les patrons d'altération entre le gisement Ansil et ceux de Millenbach et Corbet de la région de Noranda et Isle-Dieu et Lac Mattagami de la région de Matagami, ainsi que de la zone minéralisée "8-5" de la région de Chibougamau suggèrent fortement que les processus hydrothermaux sont identiques (Knuckey et Watkins 1980). La comparaison de l'évolution

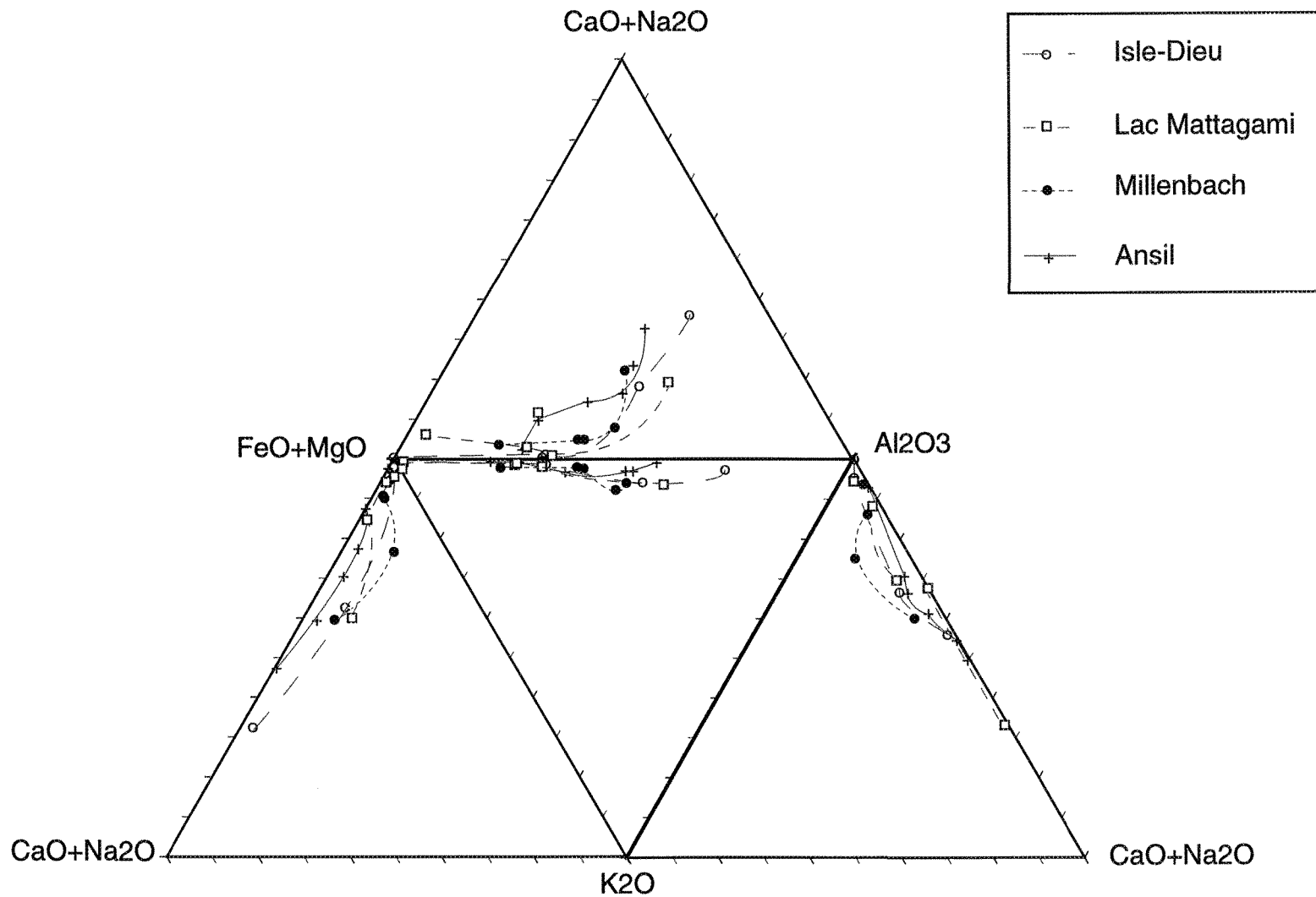


Figure 39: Tétraèdre F-C-A-K de Riverin et Hogdson (1980) montrant les variations chimiques de l'altération dans les gisements d'Isle-Dieu (Tanguay 1990), Lac Mattagami (Roberts et Reardon 1978), région de Matagami, et les gisements Millenbach (Riverin et Hogdson 1980) et Ansil (la présente étude), région Noranda.

des patrons géochimiques représente donc un critère encourageant pour l'exploration minière d'autres gisements du même type.

CHAPITRE VI

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les zones d'altération hydrothermale, si caractéristiques des dépôts de SMV de l'Abitibi québécois, résultent de l'interaction entre l'eau de mer, progressivement réchauffée, et les roches. Comme ces zones sont plus larges que les dépôts qu'elles entourent, elles sont particulièrement importantes en exploration. Le principe général est toujours de passer d'une zone altérée plus étendue à une zone plus restreinte en resserrant la cible d'exploration.

Cette étude entre dans le cadre des études qui ont pour but principal la caractérisation des zones d'altération des gisements de sulfures massifs volcanogènes par des critères pétrographiques et géochimiques. Le gisement Ansil fait l'objet de cette étude et plusieurs échantillons ont été recueillis pour la caractérisation pétrographique et géochimique des roches encaissantes de ce gisement.

Le gisement Ansil est situé à 11 km de la ville de Rouyn-Noranda. Il est localisé classiquement entre la rhyolite Northwest et l'andésite Rusty-Ridge, et est formé par une lentille de sulfures massifs volcanogènes.

Les altérations hydrothermales se marquent par des modifications surtout de la composition minéralogique et chimique des roches encaissantes. Les altérations, de même

que les concentrations des métaux, sont considérées comme les résultats des solutions hydrothermales, qui agissent en faisant recristalliser les roches encaissantes en provoquant des modifications soit par addition de certains éléments soit par lessivage d'autres. Ces changements se manifestent par l'apparition de nouveaux minéraux comme la chlorite qu'on rencontre le plus souvent dans le cas de la présente étude. En plus de la rhyolite Northwest, l'altération a affecté également l'andésite Rusty-Ridge, ce qui marque l'envergure de l'altération dans cette région.

Dans un district ou dans une mine déjà connus (comme dans le cas de la présente étude), l'étude de forages dans la zone d'altération permet d'en tirer des conclusions très utiles pour l'orientation de la suite des recherches et des travaux.

Les roches volcaniques dans la région de Noranda ont été classifiées, comme des roches appartenant à des suites tholéiitiques et calco-alkalines (Gélinas *et al.* 1984, Ludden *et al.* 1986 et Paradis *et al.* 1988). Des études récentes dans cette région ont montré que les roches hôtes de certains gisements, surtout celles de "la séquence des mines centrale" ont une affinité transitionnelle (Barrett *et al.* 1991c et Shriver et MacLean 1993) à cause de leur composition chimique intermédiaire entre les suites tholéiitique et calco-alkaline. Cependant la suite transitionnelle à une teneur faible en K₂O comme la suite tholéiitique et des rapports Zr/Y et LaN/YbN plus proche de la suite tholéiitique que de la suite calco-alkaline. La présente étude montre que la rhyolite Northwest et l'andésite Rusty-Ridge sont d'affinité tholéiitique à transitionnelle.

Les résultats pétrographiques et géochimiques de la présente étude des roches encaissantes provenant de deux trous de forages, ont confirmé les travaux antérieurs dans le gisements Ansil et ont révélé les caractéristiques classiques des zones d'altération des gisements de sulfures massifs volcanogènes dues à la circulation des fluides hydrothermaux

lors de la mise en place du gisement de sulfures. Notamment, les changements pétrographiques se manifestent par la présence de la chlorite lorsque l'on s'approche de la minéralisation et par la disparition des feldspaths. Les calculs de changements de masses ont permis de quantifier ces variations pétrographiques en démontrant que le Na₂O et le CaO (dans la plupart des cas) ont été lessivés alors que le FeO et le MgO±K₂O ont été ajoutés. En effet, l'altération hydrothermale des roches volcaniques déstabilise le plagioclase et forme de la séricite et de la chlorite. Ceci se traduit géochimiquement par l'appauvrissement en Na dans la roche durant l'altération. Cette réaction constitue un outil géochimique important pour observer l'évolution de l'altération, car dans la région de Noranda, les valeurs initiales typiques en Na₂O et K₂O sont de 4-5 % et 0,5 % respectivement (MacLean et Hoy 1991 et Barrett *et al.* 1991c). Le lessivage en Na (Ca) provoque la libération de l'Al, qui est par la suite utilisé pour former de la chlorite, (phase principale dans les roches altérées du gisement Ansil), suivant une réaction par interaction avec la Fe et le Mg de deux sources différentes (Barrett et MacLean 1994b et Barrett *et al.* 1994c), soit le Fe et le Mg de la roche initiale, soit ceux provenant des fluides hydrothermaux. La séricite est également formée par l'Al libéré par déstabilisation des plagioclases. La source de K, par contre, est essentiellement hydrothermale, car les roches volcaniques primaires appartiennent à une source volcanique faible en K (figure 11). Une certaine quantité de Ca dans le système est stabilisée dans les carbonates, surtout de la dolomie.

La chlorite est un minéral dont le rapport Fe/Mg s'est avéré un paramètre très utile pour quantifier l'altération et utile aussi pour indiquer l'approche de la minéralisation, car ce rapport est alors sensiblement plus élevé (Carignan 1975, Riverin et Hodgson 1980). Les analyses à la microsonde de la chlorite se situent dans le champ de la ripidolite sur le diagramme de Hey (1954), et montre dans sa majorité un rapport Fe/Mg élevé correspondant à une chlorite plus ferrifère. Ces travaux ont permis de confirmer ceux déjà effectués sur la

propriété d'Ansil.

Ces variations ont été observées aussi bien dans le mur (la rhyolite) que dans le toit (l'andésite). Ceci démontre que le système hydrothermal s'est maintenu pour une longue période. Les changements de masse indiquent que l'andésite Rusty-Ridge a subi un degré d'altération plus faible que la rhyolite Northwest.

D'après la description de la rhyolite Northwest de la présente étude à partir d'échantillons provenant de deux trous de forages, on remarque que l'altération s'intensifie quand on s'approche de la minéralisation. Il est donc possible de mettre en évidence ces changements, survenus lors de la circulation des fluides hydrothermaux, et se traduisant par une signature pétrographique et géochimique particulière. Cette altération débute par la destruction des plagioclases et l'apparition de la séricite qui devient de moins en moins importante vers la minéralisation. Cette diminution de la séricite s'accompagne de l'apparition des carbonates (dolomies) et l'accroissement de la quantité de la chlorite. Cette dernière domine les échantillons près de l'amas minéralisé.

Donc l'étude pétrographique a révélé trois assemblages minéralogiques dans la rhyolite au fur et à mesure que l'on s'approche de la minéralisation et l'intensité d'altération augmente. Les trois assemblages minéralogiques caractéristiques se résument comme suit :

- une zone distale caractérisée par l'assemblage séricite-chlorite.
- une zone intermédiaire avec l'assemblage chlorite-carbonates.
- une zone proximale se caractérisant par l'assemblage chlorite.

D'une façon générale et malgré l'échantillonnage limité, on peut voir les

caractéristiques générales qu'on peut rencontrer dans les gisements de sulfures massifs volcanogènes avec une altération séricitique distale et une altération chloritique proximale.

L'altération a également touché l'andésite du toit en provoquant des changements minéralogiques, mais, contrairement à la rhyolite, un seul assemblage a été décelé au niveau de l'andésite: il s'agit de l'assemblage chlorite+séricite+quartz±carbonates.

Les analyses à la microsonde de la chlorite dans les échantillons de la rhyolite et de l'andésite montrent une chlorite ferrugineuse dans le rapport Fe/Mg est supérieur à 5. Cette chlorite se situe dans le champ de la ripidolite.

L'étude pétrographique de la minéralisation d'Ansil est très simple. Elle nous a aussi révélé les principaux minéraux métalliques que l'on rencontre au niveau de ce type de gisement et elle a montré dans l'ordre décroissant d'abondance les minéraux suivants: la chalcopyrite, la pyrrhotite, la magnétite, la sphalérite et en moindre quantité la pyrite. Les principales textures qui ressortent de cette étude de la minéralisation, sont souvent massives ou rubannées pour la chalcopyrite et la pyrrhotite et disséminées pour les autres sulfures. Toutefois la magnétite montre parfois une texture aciculaire et la pyrite une texture bréchiue.

Le traitement des données géochimiques nous a permis de tirer les conclusions suivantes:

1) Les roches encaissantes du gisement Ansil (la rhyolite Northwest et l'andésite Rusty-Ridge) selon l'étude combinée du diagramme binaire K_2O-SiO_2 (Peccerillo et Taylor 1976; figure 11) et du diagramme ternaire AFM (Irvine et Baragar 1971; figure 13) ont une affinité tholéiitique à transitionnelle pour les échantillons les moins altérés (Cattalani *et al.* 1993a). Les volcanites d'Ansil sont caractérisées par une forte altération chimique révélée par la présence du corindon normatif et des valeurs en perte au feu importantes dépassant

dans la majorité des cas 2%. Certains éléments en traces à charge ionique élevée sont restés immobiles au cours de l'altération hydrothermale. Nous avons donc utilisé quelques rapports de ces éléments dans le but de faire la classification des roches volcaniques du gisement Ansil, étant donné que ces éléments en traces sont incompatibles dans les suites tholéiitiques et transitionnelles et sont aussi immobiles. Entre autres, la moyenne du rapport Zr/Y est égale à environ 5 (Cattalani *et al.* 1993a et Barrett *et al.* 1991c), ce qui caractérise des roches volcaniques tholéiitiques à transitionnelles (3-6) plutôt que calco-alkalines (7-9 ou plus).

D'autre part, le rapport Zr/Yb de la présente étude montre des valeurs qui se situent généralement entre 44 et 65 pour les deux types d'unités lithologiques. Ces valeurs sont typiques des volcanites transitionnelles et près de la limite tholéiitique (figure 14) (Barrett et MacLean 1994a et b).

2) La géochimie des éléments des terres rares (ETR) peut également servir à déterminer les affinités magmatiques primaires des roches volcaniques représentatives de la mine Ansil, à condition que ces éléments ne soient pas mobilisés par l'altération hydrothermale ce qui est le cas pour les échantillons de la présente étude. Les rapports La_N/Yb_N varient de 1,24 à 3,10 pour la rhyolite et de 0,88 à 2,68 pour l'andésite, typiques des valeurs tholéiitiques ($La_N/Yb_N < 2,5$) à transitionnelles ($2,5 \leq La_N/Yb_N \leq 4$) (Leshner *et al.* 1986 et Barrett et MacLean 1994a et b).

3) L'altération a provoqué dans les roches encaissantes d'Ansil, d'une part, un enrichissement principalement en FeO ± en MgO et en K₂O, et d'autre part, un appauvrissement presque complet en Na₂O et généralement en CaO. L'altération affectant la rhyolite est un peu plus intense que celle affectant l'andésite. Ceci se manifeste par une grande perte de Na₂O et de CaO et l'enrichissement important du Fe₂O₃ et du MgO dans la rhyolite. La silice est appauvrie d'une façon plus prononcée dans la rhyolite que dans

l'andésite. Ces changements chimiques sont tout à fait compatibles avec une destruction des plagioclases, une séricitisation et une chloritisation, en plus du lessivage de la silice. Aucune évidence de la présence de minéraux argileux alumino-silicatés n'a été observée dans la collection d'échantillons faisant l'objet de cette étude. Ces variations minéralogiques et chimiques ont été observées dans plusieurs études faites au niveau des cheminées d'altération d'autres gisements de sulfures massifs volcanogènes dans la région de l'Abitibi (Riverin et Hodgson 1980; Knuckey *et al.* 1982; Gibson *et al.* 1983 et Tanguay *et al.* 1990).

4) Les éléments métalliques de la minéralisation ont des teneurs très importantes en Cu, ce qui est très encourageant pour la poursuite de l'exploration minière dans cette partie de gisement.

Les processus hydrothermaux du gisement Ansil semblent être identiques à ceux responsables de plusieurs gisements dont ceux de Millenbach et Corbet de la région de Noranda et ceux des gisements d'Isle-Dieu et Lac Mattagami de la région de Matagami, car ces gisements affichent un comportement géochimique semblable à celui d'Ansil, comme le révèle le tétraèdre F-C-A-K de Riverin et Hodgson (1980), c'est à dire un lessivage calcosodique et un enrichissement ferro-magnésien. Et ceci se traduit sur le tétraèdre F-C-A-K par un mouvement vers le pôle (FeO+MgO) et un éloignement du pôle (CaO+Na₂O).

Donc pour l'exploration, l'échantillonnage restreint de la présente étude, à partir de deux trous de forages, permet de voir les caractéristiques principales que l'on peut généralement tirer des études de ce type de gisement. Les conclusions que l'on peut tirer de cette étude peuvent être d'ordre pétrographique et chimique. La chloritisation est importante au voisinage de la minéralisation. L'analyse chimique à la microsonde de cette chlorite a donné une chlorite ferrifère avec un rapport Fe/Mg élevé, ce qui est en accord avec plusieurs études faites au niveau de certains gisements du même type. Le sodium est très appauvri dans

les échantillons fortement altérés, donc il est plus important pour l'exploration de détecter principalement les roches pauvres en Na, alors que les autres éléments pourraient servir comme guides auxiliaires. Les changements de masse de ces zones chloritisées montrent une addition très importante en Fe+Mg. Ces zones peuvent être de très bonnes cibles d'exploration, car elles représentent des conduits où se concentrent les décharges hydrothermales, contrairement aux zones qui montrent un faible ajout de Fe+Mg qui représentent essentiellement des roches hydratées (Barrett *et al.* 1993). En somme, la présence de très importantes quantités de sulfures massifs et les teneurs en métaux de base surtout en cuivre encouragent la continuité de l'exploration de cette région.

- Bien que le faible échantillonnage de cette étude ait permis de voir les caractéristiques générales d'une altération hydrothermale au niveau du gisement Ansil, une cueillette de données supplémentaires pourrait être fondamentale pour bien cerner l'altération dans sa globalité, surtout entre les deux de trous de forages et dans les zones les plus fraîches. Et probablement, quelques trous de forages seront également recommandés pour voir également l'étendue de la minéralisation entre ces deux forages.

- Une étude des isotopes $\delta^{18}\text{O}$ pourrait être d'une grande importance pour l'exploration. Les isotopes $\delta^{18}\text{O}$ se sont avérés utiles car, en général, un abaissement des valeurs du $\delta^{18}\text{O}$ suggère la présence d'une altération hydrothermale importante associée à l'épisode minéralisateur.

RÉFÉRENCES

- Anderson, J. U., 1963. Effects of pretreatments on soil dispersion New Mexico, State College Agricultural Experimental Research, Report 78: 14p.
- Ashley, P. M., Dudley, R. J., Lesh, R. H., Marr, J. M., et Ryall, A. W., 1988. The Scuddles Cu-Zn prospect, an Archean volcanogenic massive sulfide deposit, Golden Grove District, Western Australia. *Economic Geology*, **83**: 918-951.
- Babcock, R. S., 1973. Computational models of metasomatic processes. *Lithos*, **6**: 279-290.
- Barrett, T. J., et MacLean, W. H., 1991. Chemical mass, and oxygen isotopic changes during extreme alteration of Archean rhyolite, Noranda. *Economic Geology*, **28**: 406-414.
- Barrett, T. J., et MacLean, W. H., 1994a. Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VHMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks. *Édité par Lentz, D. R. Dans Alteration and alteration processes associated with ore forming systems: Geological Association of Canada, Short Course Notes*, **11**: 433-467.
- Barrett, T. J., et MacLean, W. H., 1994b. Gisements de sulfures massifs de la région de Rouyn-Noranda. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 93-01.
- Barrett, T. J., MacLean, W. H., Cattalani. S., et Hoy, L. D., 1994c. Géologie et géochimie du gisement Corbet, Rouyn-Noranda. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 92-07.
- Barrett, T. J., Cattalani. S., et MacLean, W. H., 1991a. Massive sulphide deposits of the Noranda area, Quebec I. The Horne Mine. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **28**: 465-488.
- Barrett, T. J., Cattalani, S. Chartrand, F., et Jones, P. 1991b. Massive sulphide deposits of the Noranda Area, Quebec II. The Aldermac mine. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **28**: 1301-1327.

- Barrett, T. J., MacLean, W. H., Cattalani. S., Hoy, L., et Riverin, G., 1991c. Massive sulphide deposits of the Noranda area, Quebec. III. The Ansil Mine. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **28**: 1699-1730.
- Barrett, T. J., Cattalani. S., Hoy, L., Riopel, J., et Lafleur, P. J., 1992. Massive sulphide deposits of the Noranda area, Quebec. IV. The Mobrún Mine. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **29**: 1349-1374.
- Barrett, T. J., MacLean, W. H., Cattalani. S., et Hoy, L. D., 1993. Massive sulphide deposits of the Noranda area, Quebec V. The Corbet Mine. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **30**: 1934-1954.
- Beach, A., et Tarney, J., 1978. Major and trace element patterns established during retrogressive metamorphism of granulite facies gneisses, NW Scotland. *Precambrian Research*, **7**: 325-348.
- Bédard, L. P., et Barnes S.J., 1990. Instrumental neutron activation analysis by collecting only one spectrum : Results for international geochemical reference samples. *Geostandards Newsletter*, **14**: 479-484.
- Bélanger, J., Guha, J., Coulombe, A., et Carignan, J. 1984. The "8-5" zone, Cooke Mine, Chapais: A volcanogenic massive sulphide deposit in the Blondeau Formation. *Dans Chibougamau Stratigraphy and Mineralisation. Edité par J. Guha et E. H Chown. L'institut canadien des mines et de la métallurgie, volume special 34*: 271-287.
- Binns, R. A., et Scott, S. D., 1993. Actively-forming polymetallic sulfide deposits associated with felsic volcanic rocks in the eastern Manus back-arc basin, Papua New Guinea. *Economic Geology*, **88**: 2226-2236.
- Bryndzia, L. T., Scott, S. D., et Farr, J. E., 1983. Mineralogy, Geochemistry and mineral chemistry of siliceous ore and altered footwall rocks in the Uwamuki 2 and 4 deposits, Kosaka mine, Hokuroko district, Japon. *Dans The Kuroko and related Volcanogenic Massive sulfide Deposits. Edité par H. Ohmoto et B. J. Skinner. Economic Geology Monograph 5*: 507-522.
- Campbell, I. H., Leshner, C. M., Coad, P., Franklin, J. M., Gorton, M. P., et Thurston, P.

- C., 1984. Rare earth element mobility in alteration pipes below massive Cu-Zn sulfide deposits. *Chemical Geology*, **45**: 181-202.
- Card, K.D., 1990. A review of the Superior Province of the Canadian Shield, a product of Archean accretion. *Precambrian Research*, **48**: 99-156.
- Carignan, J., 1979. Géochimie et géostatistique appliquées à l'exploration des gisements volcanogènes: le gisement de Millenbach. Thèse de doctorat, École polytechnique, Montréal, Québec.
- Cattalani, S., et Bambic, C. P., 1994. Lithogeochemistry and mass changes: Application To Mineral Exploration. A short course convened by: l'Association Professionnelle des Géologues et Géophysiciens du Québec.
- Cattalani, S., Barrett, T. J., MacLean, W. H., et Hoy, D. L., 1993a. Géologie et Géochimie de la mine Ansil, Rouyn-Noranda. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. ET 91-03.
- Cattalani, S., MacLean, W. H., et Barrett, T.J., 1993b. Géologie et géochimie du gisement Delbridge, Rouyn-Noranda. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. ET 91-08.
- Cattalani, S., MacLean, W. H., Shriver, N. A., Barrett, T.J., et Hoy, D.L., 1994. Géologie et géochimie du gisement Norbec, Rouyn-Noranda. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. ET 92-01.
- Chown, E.H., Daigneault, R., Mueller, W., et Mortensen, J. K., 1992. Tectonic evolution of northern volcanic zone, Abitibi Belt, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **29**: 2211-2225.
- Comba, C.D.A., 1975. Copper-zinc zonation in tuffaceous exhalites, Millenbach Mine, Noranda, Quebec. Unpub. M. Sc. Thesis, Queen's University., Kingston, Ontario.
- Costa, U. R., Barnett, R. L., et Kerrich, R., 1983. The Mattagami Lake Mine Archean Zn-Cu sulfide deposit, Quebec: hydrothermal coprecipitation of talc and sulfides in sea-floor brine pool-Evidence from geochemistry, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, and mineral chemistry. *Economic Geology*, **78**: 1144-1203.

- de Rosen-Spence, A. F., 1976 Stratigraphy development and petrogenesis of the central Noranda volcanic pile, Noranda, thèse de doctorat , Université de Toronto, Toronto, Ontario.
- Dimroth, E., Cousineau, P., Leduc . M., et Sanschagrín, Y., 1978. Structure and organization of Archean subaqueous basalts flows, Rouyn-Noranda Area. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **15**: 902-918.
- Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M., et Goulet, N., 1982 Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part I: Stratigraphy and paleogeographic model. *Canadian Journal of Earth Sciences*. **19**: 1729-1758.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., et Rocheleau, M., 1983. Evolution of the South-Central Segment of the Abitibi Belt, Quebec. Part II: tectonic evolution and geochemical model. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **20**: 1355-1373.
- Doiron, G.A., 1984. Ansil discovery, Noranda, Quebec. Minnova inc. Rapport interne.
- Edwards, R et Atkinson, K. 1986. Ore deposit geology and its influence on mineral exploration. London New York, Chapman and Hall. 466p.
- Franklin, J. M., Lydon, J. W., et Sangster, D. F., 1981. Volcanic associated massive sulfide deposits. *Economic Geology*, 75e Anniverssary volume:485-627.
- Frater, K. M. 1985. Mineralization at the Golden Cu-Zn deposit, Western Australia: Deformation textures of the opaque minerals. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **22**: 1-14.
- Furnes, H., Fridleifsson, I.B., et Atkins, F.B., 1980. Subglacial volcanics-On the formation of acid hyaloclastites. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **8**: 95-110.
- Galley, A. G., Salmon, B., et Jonasson, I. R., 1991. Sphalerite-rich breccias in the footwall of the Ansil copper deposit, Noranda, Quebec. *Dans Current Research, Part C. Geological Survey of Canada, Paper 91-1C*: 35-42.
- Gélinas, L., Brooks, C., Perrault, G., Carignan, J., Trudel, P., et Crasso, F., 1977.

Chemo-stratigraphic divisions within the Abitibi volcanic Belt, Rouyn-Noranda District, Quebec. Dans *volcanic Regimes in Canada*. Edité par Baragar W. R. A., Coleman, L. C., et Hall, J.M., Geological Association of Canada, special paper 16: 265-295.

Gélinas, L., et Ludden, J.N., 1984. Rhyolitic volcanism and the geochemical evolution of an Archean central ring Complex; The Blake River Group volcanics of the southern Abitibi Belt, Superior Province. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 35: 77-88.

Gélinas, L., Trudel, P., et Hubert .C., 1984. Chemostratigraphic division of the Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Abitibi, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 21: 220-231.

Gibson, H.L., 1989. The mine sequence of the central Noranda Volcanic Complex: geology, alteration, Massive sulfide deposits and volcanological reconstruction, Unpub. Ph.D thesis, Carleton University. Ottawa, Ontario.

Gibson, H. L., et Watkinson, D. H., 1990. Volcanogenic massive sulphide deposits of the Noranda Cauldron and Shield Volcano, Quebec. *Dans la ceinture polymétallique du Nord-ouest québécois: synthèse de 60 ans d'exploration minière*. Edité par M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.M. Lulin, et A. Simard. L'institut canadien des mines et de la métallurgie, volume special 43: 119-132.

Gibson, H.L, Watkinson, D.H., et Comba, C.D.A, 1983. Silicification: Hydrothermal Alteration in an Archean Geothermal System Within Amulet Rhyolite Formation, Noranda, Quebec, *Economic Geology*, 78: 954-971.

Goldie, R., 1978. Magma mixing in the Flavrian pluton, Noranda area, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 15: 132-144.

Goodwin, A. M., et Ridler, R. H., 1970. The Abitibi orogenic belt. Dans A. J. Baer., ed., *Symposium on Basins and Geosynclines of the Canadian Shield*. Geological Survey of Canada, 70-40: 1-30.

Grant, J. A., 1986. The isocon diagram-A simple solution to Gresens equation for metasomatic alteration. *Economic Geology*, 81: 1976-1982.

- Gresens, R. L., 1967. Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology*, **2**: 44-65.
- Hargreaves, R., et Ayres, L. D., 1979. Morphology of Archean meta-basalt flows, Utike Lake, Manitoba. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **16**: 1452-1466.
- Haskin, L., Haskin, M. A., et Frey, F. A., 1968. Relative and absolute terrestrial abundance of the rare earths. In Ahrens, L. M (ed). *Origin and ditribution of the the elements*, Pergamon. Oxford: 889-912.
- Hey, H. M., 1954. A new review of the chlorites. *Mineralogical Magazine*, **30**: 277-292.
- Hocq, M., 1994. La province du Supérieur. *Dans la géologie du Québec*. Éditeur C. Dubé. 7-20.
- Hubert, C., Trudel . P., et Gelinas, L., 1984. Archean wrench fault tectonics and structural evolution of the Blake River Goup, Abitibi Belt, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **21**: 1024-1032.
- Iijima, A., 1974. Clay and zeolitic alteration zones surrounding Kuroko deposits in the Hokuroku district, Northern Atika, as submarine hydrothermal diagenetic alteration products: *Society of Mining Geologists of Japan, Special Issue 6*: 267-290.
- Irvine, T.N., et Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **8**: 523-548.
- Ishikawa, Y., Sawaguchi, T., Iwaya, S., et Horiuchi, M., 1976. Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on modes of volcanism of underlying dacite and alteration halos. *Mining Geology*, **26**: 105-117.
- Jackson, S.L, Cruden, A.R., White, D., et Milkereit, B. 1995. A seismic-reflection-based regional cross section of the southern Abitibi greenstone belt. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **32**: 135-148.
- Jensen, L. S., 1976. A new cation plot for classifying subalkaline volcanic rocks. Ontario Division of Mines, Miscellaneous paper 66.

- Knuckey, M. J., Comba, C. D. A., et Riverin, G., 1982. Structure , metal zoning and alteration at the Millenbach deposit, Quebec, Canada. *Dans Precambrian Sulphide Deposits, H.S. Robinson Memorial Volume, Edité par: R.W Hutchinson, C.D. Spence and J. M.Franklin. Geological Association of Canada, Special paper 25: 255-296.*
- Knuckey, M. J., et Watkins, J. J., 1982. The Geology of the Corbet Massive Sulphide Deposits, Noranda District, Quebec, Canada. *Dans Precambrian Sulphide Deposits, H.S. Robinson Memorial Volume, Edité par: R.W Hutchinson, C.D. Spence and J. M.Franklin. Geological Association of Canada, Special paper 25: 297-317.*
- Larson, P.B., 1984. Geochemistry of the alteration pipe at the Bruce Cu-Zn volcanogenic massive sulfide deposit, Arizona. *Economic Geology, 79: 1880-1896.*
- Leshner, C. M., Goodwin, A. M., Campbell, I. H., et Gorton, M. P., 1986. Trace element geochemistry of ore-associated and barren felsic metavolcanic rocks in the Superior Province, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences, 23: 222-237.*
- L'Heureux, M., 1992. Caractérisation géochimiques des volcanites et d'une cheminée d'altération dans la partie ouest du bloc de Powell, Rouyn-Noranda, Québec. Mémoire de maîtrise, Université de Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.
- Lichtblau, A. P., et Dimroth, E., 1980. Stratigraphy and facies at the south margin of the Archean Noranda Caldera, Noranda, Quebec. *Dans Current Research, Part A. Commission géologique du Canada, Paper 80-1A: 69-76.*
- Ludden, J., Gélinas, L., et Trudel, P., 1982. Archean metavolcanics from the Rouyn-Noranda district, Abitibi Greenstone Belt, Quebec. *Mobility of trace elements and petrogenetic constraints, 19: 2276-2287.*
- Ludden, J., Hubert, C., et Gariépy, C., 1986. The tectonic evolution of the Abitibi greenstone belt of Canada. *Geological Magazine, 123: 153-166.*
- Lydon, J.W., 1984. Ore deposit models- 8. Volcanogenic massive sulphide deposits, Part 1: descriptive model. *Geoscience Canada, 11: 195-202.*
- Lydon, J.W., 1988. Volcanogenic massive sulphide deposits, Part 2 . Genetic models. *Geoscience Canada, 15: 43-65.*

- MacGeehan, P.J., et MacLean, W.H., 1980. Tholeiitic basalt-rhyolite magmatism and massive sulphide deposits at Matagami, Quebec. *Nature*, **283**: 153-1157.
- MacLean, W.H., 1988. Rare earth element mobility at constant inter-REE ratios in alteration zone at Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Mineralium Deposita*, **23**: 231-238.
- MacLean, W.H., 1990. Mass change calculations in altered rock series. *Mineralium Deposita*, **25**: 44-49.
- MacLean, W. H., et Barrett, T. J., 1993. Lithogeochemical techniques using immobile element. *Dans* Hoffman, E. L., et Moore. D. W., ed., *Deep exploration using lithogeochemistry*. *Journal of Geochemical Exploration*, **48**: 109-134.
- MacLean, W.H., et Kranidiotis, P., 1987. Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration : Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*, **82**: 951-962.
- MacLean, W.H., et Hoy, L.D., 1991. Geochemistry of hydrothermally altered rocks at Horne Mine, Noranda, Quebec. *Economic Geology*, **86**: 505-528.
- M.E.R.Q/O.G.S., 1984. Carte lithostratigraphique de la Sous-Province de l'Abitibi. DV 83-16. 1:500 000.
- Miyashiro, A., 1974. Volcanic rock series in the Island Arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, **274**: 321-355.
- Mortensen, J. K., 1993. U-Pb geochronology of eastern Abitibi Subprovince. Part 2: Noranda-Kirkland Lake area. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **30**: 29-41.
- Morton, R. L., et Franklin, J.M., 1987. Two fold classification of Archean Volcanic-associated massive sulphide deposits. *Economic Geology*, **82**: 1057-1063.
- Paradis, S., Ludden, K. N., et Gélinas, L., 1988. Evidence for contrasting compositional spectra in comagmatic intrusive and extrusive rocks of the Blake River Group, Abitibi, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **25**: 134-144.

- Pearson, V., 1986. *Pétrographie, géochimie et interprétation d'un assemblage à cordierite-anthophyllite dans les roches mafiques archéennes de Macanda, Canton Beauchastel, Noranda, Québec. Mémoire de maîtrise, Université de Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.*
- Peccerillo, A., et Taylor, S. R., 1976. *Geochemistry of Eocene calco-alkaline volcanic rocks from Kastamanu ore, Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 68: 63-81.*
- Péloquin, A. S., Verpaelst, P., Paradis, S., Gaulin, R., et Cousineau, P., 1989. *Le Groupe de Blake River dans les cantons de Duprat et Dufresnoy. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. MB 89-02.*
- Peloquin, A. S., Potvin, R., Paradis, S., Laflèche M.R., Verpaelst, P., et Gibson, H.L. 1990. *The Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Quebec: a stratigraphic synthesis. Dans la ceinture polymétallique du Nord-ouest québécois: synthèse de 60 ans d'exploration minière. Edité par M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.M. Lulin, et A. Simard. L'institut canadien des mines et de la métallurgie, volume special 43: 107-118.*
- Peterson, J.A., 1988. *Distribution of selected trace and major elements around the massive sulfide deposit at the Penn Mine, California. Economic Geology, 83: 419-427.*
- Price, P., 1980 *Thin section Hole : Mac 79-7, Macanda propriety, Beauchastel, Twp. Noranda Exploration, Internal report: 10p.*
- Powell, W. G., Carmichael, D. M., et Hodgson, C. J., 1995. *Conditions and timing of metasomatic in the southern Abitibi greenstone belt, Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences, 32: 787-805.*
- Rive, M., Pintson, H., et Ludden, J.N., 1990. *Characteristics of late Archean plutonic rocks from the Abitibi and Pontiac Sub-Provinces, Superior Province, Canada. Dans la ceinture polymétallique du Nord-ouest québécois: synthèse de 60 ans d'exploration minière. Edité par M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.M. Lulin, et A. Simard. L'institut canadien des mines et de la métallurgie, volume special 43: 65-76.*
- Riverin, G., 1977. *Wall-rock alteration at the Millenbach Mine, Noranda area, Quebec.*

Thèse de doctorat, Université Queen's, Kingston, Ontario.

- Riverin, G., et Hodgson, C.J., 1980. Wall-rock alteration at the Millenbach Cu-Zn Mine, Noranda, Quebec. *Economic Geology*, **75**: 424-444.
- Riverin, G. Labrie, M. Salmon, B. Cazavant, A. Asselin, R. et Gagnon, M., 1990. The geology of the Ansil deposit, Rouyn-Noranda, Quebec. *Dans la ceinture polymétallique du Nord-ouest québécois: synthèse de 60 ans d'exploration minière. Edité par M. Rive, P. Veepaelst, Y. Gagnon, J.M. Lulin, et A. Simard. L'institut canadien des mines et de la métallurgie, volume special 43*: 143-151.
- Roberts, R. G., 1966. The geology of the Mattagami Lake Mine, Galinée Township, Quebec. Thèse de Doctorat, McGill University, 224p.
- Roberts, R.G., 1975. The geological setting of Mattagami Lake Mine, Quebec: a volcanogenic massive sulphide deposit. *Economic Geology*, **70**: 115-129.
- Roberts, R. J., et Reardon, E. J., 1978. Alteration and ore forming processes at Mattagami Lake Mine, *Canadian Journal of Earth Sciences*, **15**: 1-21.
- Rollinson, H. R., 1993. Using geochemical data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman Scientific Technical, New York. 352p.
- Sachs, L., 1984. Applied Statistics: a handbook of techniques, 2nd edition. Springer-Verlag. New York.
- Sangster, D. F., 1972. Precambrian volcanogenic massive sulphide deposits in Canada: a review. Geological Survey of Canada. Paper 72-22, 44p.
- Sangster, D.F., 1980. Quantitative characteristics of volcanogenic massive sulphide deposits. Metal content and size distribution of massive sulphide deposits in volcanic centers. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin*, **73**: 74-81.
- Shriver, N.A., et MacLean, W. H., 1993. Mass, volume and chemical changes in the alteration zone at Norbec Mine, Noranda, Quebec. *Mineralium Deposita*, **28**: 157-166.
- Spence, C. D., 1975. Volcanogenic features of the Vauze sulfide deposit, Noranda, Quebec.

- Economic Geology, **70**: 102-114.
- Spence, C.D., et de Rosen-Spence, A.F., 1975. The place of sulfide mineralization in the volcanic sequence at Noranda, Quebec. *Economic Geology*, **70**: 90-101.
- Stockwell, C.H., et McGlynn, J. C., 1970. Geology of the Canadian Shield: Geology and Economic Minerals of Canada. *Economic Geology*. Report N°1: 44-54.
- Sverjensky, D.D., 1984. Europium redox equilibrium in aqueous solution. *Earth and Planetary Science Letters*, **67**: 70-78.
- Tanguay, R., 1990. Caractéristiques pétrologiques et géochimiques de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu, Matagami, Québec. Mémoire de maîtrise, Université de Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec: 117p.
- Tanguay, R., Carignan, J., Piché, M., Beaudry, C., et Bonenfant, A., 1990. Caractéristiques pétrographiques et géochimiques de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu, Matagami, Québec. *Dans la ceinture polymétallique du Nord-ouest québécois: synthèse de 60 ans d'exploration minière. Edité par M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.M. Lulin, et A. Simard. L'institut canadien des mines et de la métallurgie, volume special 43: 349-361.*
- Urabe, T., Scott, S. D., et Hattori, K., 1983. A comparison of footwall-rock alteration and geothermal systems beneath some Japanese and Canadian volcanogenic massive sulfide deposits. *Dans The Kuroko and related Volcanogenic Massive sulfide Deposits. Edité par H. Ohmoto et B. J. Skinner. Economic Geology Monograph 5: 345-364.*
- Vance, R.K., et Condie, K. C., 1987. Geochemistry of the footwall alteration associated with the Early Proterozoic United Verde massive sulfide deposit, Jerome, Arizona. *Economic Geology*, **82**: 571-586.
- Verpaelst, P., 1985. Géologie de la séquence volcanique archéenne de Duprat, Abitibi, Québec, Thèse de doctorat. Université de Montréal.
- Verpaelst, P., Peloquin, A. S., Adam, E., Barnes, A.E., Ludden, J. L., Dion, D-J., Hubert, C., Milkereit, B et Labrie, M., 1995. Seismic reflection profiles across the "Mines Series" in the Noranda camp of the Abitibi belt, eastern Canada. *Canadian*

Journal of Earth Sciences, 32: 176-176.

Weaver, B., L, Tarney, J., et Windley, B., 1981. Geochemistry and petrogenesis of the Fiskenaasset anorthosite complex southern west Greenland: nature of the parent magma. *Geochemica and Cosmochemica acta*, 45: 711-725.

Annexe 1

Journaux de sondages pour les trous de forages de la présente étude

Trou A-20		Journal de sondage pour le trou A-20		
De... A (m)	Type de roche	Texture et structure	Altération	Minéralisation
0 A 35,65	Andésite coussinée	Andésite coussinée. Bordures de coussins évidentes marquées par des brèches hyaloclastiques chloriteuses et siliceuses . Concentration d'amygdales en bordures des coussins. Après 18,30 quelques mégacoussins. Dyke porphyrique entre 5,50 et 6,20.	chloriteuse	
35,65 A 45,5	Sulfures massifs	Sulfures massifs principalement composés de pyrrhotite (Po) et chalcopyrite (Cp) avec 50% de magnétite dans les 15 premiers cm. Laminations évidentes à 60°-70° A/C.		40%-45% Po et 55%-60% Cp
45,5 A 50,6	Magnétite massive	Magnétite massive avec 1-2% de matrice chloriteuse et trace de Cp dissiminée.	chloriteuse	98% Magnétite trace de Cp.
50,6 A 57,65	Sulfures massifs	sulfures massifs principalement composés de Po et Cp. Laminé à 10°-30°-60° A/C.		50.60 - 57.65: 30% Po, 68% Cp.
57,65 A 59,40	Dyke	dyke porphyrique		
59,4 A 60,40	Sulfures en Veinules	Sulfures en veinules composés de 12% à 15 % de Cp. Matrice intensément chloritisée de couleur noire. Le dernier 20 cm est laminé à 50°-60° A/C.	Quelques veines de chlorite massive	
60,40 A 60,80	Magnétite	Magnétite massive		85% de Mag, 10%Po Trace Cp
60,8 A 63,35	Dyke	Dyke porhyrique		
63,35 A 65,95	Sulfures massifs	Sulfures massifs composés de Po+Cp Contact supérieur à 5°-10° A/C.		30%Po 5% Mag- 60% de Cp.
65,95 A 66,4	Magnétite massive	Magnétite massive avec 2%-3% de chlorite verte		95%Mag
66,40 à 81,40	Rhyolite	Rhyloite parfois minéralisée en veinules de sulfures. Localement bréchique composée de fragments blancs-beiges sub-arrondis et siliceuses.	siliceuse et chloriteuse	

Trou A-175				
De... A (m)	Type de roche	Texture et structure	Altération	Minéralisation
0 A 3,90	Rhyolite	Rhyolite bréchique avec des petits fragments (1-2mm) dans une matrice siliceuse verdâtre et légèrement chloriteuse.	Chloritisation faible à forte	
3,90 A 16,70		Rhyolite pseudo-bréchique avec des taches siliceuses verdâtres diffuses dans une matrice siliceuse verdâtre. De 14,60 à 14,75 présence d'une zone cisailée chloriteuse.		
16,70 A 20,10		Rhyolite pseudo-bréchique avec des taches siliceuses diffuses dans une matrice chloriteuse.		
22,40 a 25,20		Rhyolite bréchique avec des fragments mafiques chloriteux (0,1-1,0cm) sub-angleux dans une matrice légèrement siliceuse.		
25,20 A 27,85		Taches siliceuses locales (05cm).		
27,85 A 30,50		Rhyolite moyennement chloritisée . parfois les textures sont masquées par de la chlorite.		
30,50 A 35,60		Rhyolite bréchique avec des fragments mafiques(0,2-0,5cm) dans une matrice de carbonates et de chlorite. Présence d'un dyke porphyrique frais de couleur gris pâle . La taille des phénocristaux et de 1-3mm (10%) les contacts chloriteux sur 5 cm de chaque côté .		
35,60 A 37,55		Rhyolite avec un aspect bréchique . La matrice est siliceuse chloriteuse et carbonatée.		
37,55-38,35		Rhyolite chloritisée. Présence d'une veine d'épidote à 36,55m (1 cm) et une veine de carbonates à 38,30m.		

Journal de sondage du trou A-175 (suite)

De... A (m)	Type de roche	Texture et structure	Altération	Minéralisation
38,35 A 41,30	Magnétite	Magnétite semi-massive dissiminée dans une matrice chloriteuse. Une veinule de carbonate à 39,25 (5cm). Entre 39,50m et 42,30m une zone fortement chloritisée avec des contacts nets.		55%-70% Mag.
41,30 A 45,65	Amphibolite	Amphibolite bien cristallisée avec des cristaux de dimension de (2X5mm) de 41,30-42,05 et de 46,30-46,50. Présence de la magnétite par endroits.		10%-50%Mag.
45,65 A 54,05	Sulfures massifs	Sulfures massifs composées de Cp et de Po généralement laminées.		40%-45%Po 55%-60%Cp.
54,05 A 60,66	Andésite massive	Texture micro-dioritique de gris pâle-moyen. Présence des amygdules remplies de silice au contact des sulfures massifs sur 5cm, entre 59,40 et 60,30, l'andésite est bréchique avec des fragments (1-1.5 cm) à texture microdioritique.	Altération faible	

Annexe2

-Tableaux des analyses chimiques des éléments majeurs et traces des échantillons frais de la rhyolite Northwest et de l'andésite de Rusty-Ridge du gisement Ansil (Cattalani *et al.* 1993a).

Rhyolite la moins altérée	%SiO ₂	%FeO	%Al ₂ O ₃	%TiO ₂	%P ₂ O ₅	%K ₂ O	%MgO	%MnO	%CaO	%Na ₂ O
	76.61	2.56	11.49	0.32	0.03	0.25	1.81	0.08	1.94	4.92
	75.32	3.71	12.45	0.37	0.07	0.42	0.74	0.05	1.28	5.59
	74.84	3.27	12.49	0.34	0.02	0.63	1.9	0.07	1.56	4.88
	73.93	3.9	12.54	0.35	0.07	0.05	0.9	0.06	2.61	5.59
	74.68	3.15	13.24	0.39	0.02	0.91	1.13	0.09	0.87	5.52
	73.89	4.25	12.59	0.35	0.04	0.68	1.21	0.24	1.42	5.32
	73.52	5.75	12.66	0.35	0.01	0.07	0.95	0.08	1.37	5.24
	74.96	2.99	13.01	0.35	0.05	0.37	1.37	0.11	0.96	5.82
	73.22	3.8	12.82	0.35	0.04	0.81	2.53	0.19	1.57	4.47
	75.2	3.29	12.45	0.34	0.05	0.49	2.47	0.1	1.85	3.77
	74.27	5.17	12.6	0.52	0.09	0.62	0.74	0.1	1.64	4.24

Andésite la moins altérée	%SiO ₂	%FeO	%Al ₂ O ₃	%TiO ₂	%P ₂ O ₅	%K ₂ O	%MgO	%MnO	%CaO	%Na ₂ O
	56.89	9.81	15.83	1.13	0.12	0.46	5.28	0.24	7.77	2.37
	58.19	11.34	15.33	1.41	0.2	0.03	4.14	0.39	6.41	2.56
	58.85	10.23	15.37	1.36	0.15	0.07	3.9	0.21	5.31	4.55
	58.02	11.38	15.41	1.41	0.16	0.19	3.88	0.39	5.06	4.09
	57.94	10.3	15.43	1.29	0.18	0.07	3.37	0.25	6.7	4.47
	55.15	11.65	15.38	1.65	0.17	0.11	6.18	0.15	5.41	4.15
	55.46	9.64	15.97	1.39	0.21	0.6	5.51	0.2	6.43	4.59
	58.09	11.58	15.6	1.6	0.39	0.05	4.02	0.2	3.03	5.44
	58.49	19.84	15.87	1.2	0.11	0.09	5.64	0.31	4.81	2.65
	58.04	10.62	15.31	1.33	0.15	0.12	4.04	0.19	6.09	4.12

Analyses chimiques des roches les moins altérées de la rhyolite Northwest et de l'andésite Rusty-Ridge. Les analyses proviennent de Cattalani *et al.* (1993a).

Echantillon	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
RHY 8-0	62.67	58.52	46.41	34.20	10.80	24.14	28.63	26.32
RHY 8-12	32.7	31.35	29.54	21.65	4.83	14.14	13.31	12.11
RHY 8-25	70.84	65.83	60.48	43.29	6.67	24.14	26.21	25.00
RHY 8-35	27.25	24.03	19.69	17.75	5.98	18.97	20.56	18.68
RHY 8-51	24.8	22.99	19.69	17.32	5.40	24.14	29.44	28.95
Moyenne	43.65	40.54	35.16	26.84	6.74	21.11	23.63	22.21

Les éléments des terres rares de la rhyolite Northwest normalisées par rapport au chondrite provenant de Cattalani *et al.* (1993a).

Annexe3

-Tableaux des analyses chimiques des éléments majeurs et traces des échantillons altérés de la rhyolite Northwest et de l'andésite de Rusty-Ridge du gisement Ansil.

Echantillon	94-M-1	94-M-2	94-M-3	94-M-4	94-M-5	94-M-7	94-M-32	94-M-34	MM94-A-4-A	MM94-A-7	MM94-A-5
SiO2	64.57	68.05	68.54	56.44	54.03	37.59	67.01	73.84	49.07	46.74	65.57
Fe2O3	13.46	9.01	11.83	23.05	21.91	24.50	18.02	6.27	25.55	33.43	9.46
Al2O3	10.89	11.53	9.37	7.87	6.46	15.39	7.45	10.28	11.51	0.00	10.97
TiO2	0.39	0.39	0.37	0.35	0.28	0.08	0.30	0.42	0.43	0.03	0.37
P2O5	0.03	0.05	0.02	0.10	0.19	0.03	0.04	0.10	0.03	0.49	0.06
FeO	7.72	4.61	6.83	16.39	6.18	12.84	8.92	3.87	17.47	23.00	12.17
K2O	0.59	0.63	0.75	0.10	0.10	0.12	0.12	0.11	0.07	0.18	0.60
MgO	2.15	1.59	4.20	2.39	2.44	11.85	1.91	1.38	4.59	7.55	1.31
MnO	0.06	0.04	0.13	0.07	0.08	0.24	0.08	0.05	0.09	0.25	0.04
CaO	2.62	3.77	3.18	4.84	6.35	5.04	2.84	4.66	0.61	9.61	1.16
Na2O	1.69	2.96	0.86	0.24	0.21	0.27	0.62	3.89	0.24	0.33	2.86
PAF	2.62	2.04	3.31	4.83	5.89	7.39	2.74	2.00	4.41	0.12	1.83
Total	99.08	100.04	102.56	100.28	97.95	102.49	101.11	103.02	96.6	98.74	94.24
La	12.77	14.99	8.84	14.74	11.83	80.04	20.15	16.12	19.99	0.33	25.02
Ce	24.75	35.27	19.24	24.57	20	183.18	41.62	37.88	38.25	1.2	60.45
Nd	15.08	20.03	12.49	21	15.46	133.96	26.36	20.11	23.88	<1.7	35.11
Sm	4.3	5.25	3.29	4.82	3.74	24.35	6.29	4.58	6.33	0.29	8.12
Eu	0.6	0.74	0.46	0.41	0.34	3.21	3.53	1.2	0.99	0.32	1.28
Tb	1.18	1.51	0.84	1.21	0.74	2.17	1.32	0.97	1.53	0.31	1.81
Yb	5.46	6.02	4.8	4.66	2.7	1.51	4.39	4.62	5.43	2.4	6.16
Lu	0.99	1.06	0.88	0.84	0.54	0.26	0.73	0.83	0.91	0.39	1.04
Ba	163	204	320	41	17	39	71	103	30		218
Co	27.4	31.6	34.3	70.3	91.4	51.4	34.3	36.1	5.7	52.3	11.9
Cr	4.4	3.8	3.8	6.0	5.9	11.2	6.5	3.8	11.6	4.9	17.4
Hf	7.2	7.9	6.4	5.8	4.6	0.6	4.9	7.0	7.4	0.1	7.2
Rb	7	10	16	5	5	3	6	6	6	4	14
Ta	1.5	1.8	1.8	1.2	1.2	0.1	1.2	1.9	0.9	<0.031	0.8
Th	3.3	3.6	3.2	2.7	2.1	0.3	2.5	3.0	3.6	<0.061	3.4
Zr	349	400	270	189	144	148	169	297	193	<89	337

Tableau des analyses chimiques pour les éléments majeurs et mineurs de la rhyolite .

Échantillon	94-M-13	94-M-14	94-M-16	94-M-18	94-M-19	94-M-20	MM94-A-9	MM94-A-1
SiO ₂	50.24	52.80	46.28	47.12	47.63	50.52	57.53	53.84
Fe ₂ O ₃	26.24	19.91	24.15	23.09	29.69	24.36	16.18	22.23
Al ₂ O ₃	12.30	11.54	15.86	14.61	13.02	12.66	14.09	13.71
TiO ₂	1.49	1.56	1.23	1.15	1.41	1.43	1.67	1.45
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.06	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02
FeO	16.99	13.15	15.73	17.70	20.88	16.07	12.02	15.61
K ₂ O	0.10	0.53	0.64	0.64	0.12	0.07	0.75	0.82
MgO	3.93	5.07	4.49	5.09	2.20	3.11	5.18	3.47
MnO	0.10	0.12	0.11	0.12	0.10	0.09	0.12	0.09
CaO	0.75	0.56	0.60	0.45	0.68	0.78	0.87	0.42
Na ₂ O	0.21	0.26	0.22	0.21	0.21	1.21	0.26	0.48
PAF	4.24	4.69	5.33	5.14	4.17	4.28	4.45	3.97
Total	99.62	97.04	98.97	97.64	99.25	98.54	101.12	100.5
La	4.28	9.09	7.8	10.6	13.06	11.28	5.09	9.51
Ce	6.49	14.51	9.22	16.03	14.64	16.11	5.4	27.14
Nd	5.98	13.77	13.36	18.62	19.41	16.67	6.4	15.69
Sm	2.19	4.14	2.75	3.8	4.89	4.24	2.15	4.18
Eu	0.46	0.82	0.69	0.52	0.5	0.81	0.59	0.59
Tb	0.7	0.97	0.62	0.91	1.01	1.04	0.64	1.1
Yb	3.29	3.59	2.11	2.76	3.29	3.24	3.22	3.85
Lu	0.55	0.63	0.4	0.44	0.57	0.56	0.59	0.61
Ba	40	297	469	272	54	38	532	421
Co	29.4	31.0	40.2	42.3	61.9	51.4	23.7	32.7
Cr	8.7	11.5	115.7	122.4	23.2	19.5	17.4	26.4
Hf	3.9	3.5	2.5	2.6	3.4	3.4	4.2	4.0
Rb	5	8	13	14	7	8	13	15
Ta	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.5
Th	1.0	1.1	0.9	0.8	1.0	1.0	1.4	1.1
Zr	191	207	114	200	178	274	249	175

Tableau des analyses chimiques pour les éléments majeurs et mineurs de l'andésite.

Annexe4

-Tableaux des analyses chimiques de la chlorite dans la rhyolite et l'andésite.

Echantillon	94-M-1(1)	94-M-1(2)	94-M-1(3)	94-M-2(1)	94-M-2(2)	94-M-2(3)	94-M-3(1)	94-M-3(2)	94-M-3(3)	94-M-5(1)	94-M-5(2)	94-M-5(3)	94-M-6(1)	94-M-6(2)	94-M-6(3)
SiO2	22.84	23.59	22.73	23.12	22.78	22.5	25.41	30.24	26.08	23.7	23.23	23.89	22.99	23.25	23.24
Al2O3	23.51	23.17	23.66	23.29	24.06	23.4	21.35	19.9	20.96	19.53	20.25	20.25	19.27	19.3	19.17
FeO	34.99	34.98	33.88	34.61	33.92	33.73	27.71	25.95	26.61	39.69	38.68	38.59	40.23	39.64	39.99
MgO	8.14	8.68	8.35	8.55	8.51	8.06	14.23	12.86	15.12	6.59	6.56	6.67	5.74	5.72	5.78
Total	89.48	90.42	88.62	89.57	89.27	87.69	88.7	88.95	88.77	89.51	88.72	89.4	88.23	87.91	88.18
Si	4.97	5.07	4.97	5.01	4.94	4.98	5.34	6.18	5.43	5.31	5.23	5.31	5.27	5.23	5.31
Al	6.03	5.87	6.1	5.95	6.15	6.1	5.28	4.97	5.14	5.16	5.37	5.31	5.2	5.21	5.17
Fe	6.37	6.28	6.19	6.28	6.15	6.24	4.86	4.44	4.63	7.44	7.28	7.18	7.7	7.74	7.65
Mg	2.64	2.79	2.72	2.76	2.75	2.67	4.45	3.92	4.69	2.2	2.2	2.22	1.96	1.98	1.97
Total	20.01	20.01	19.98	20	19.99	19.99	19.93	19.51	19.89	20.11	20.08	20.02	20.13	20.16	20.1

Echantillon	94-M-7(1)	94-M-7(2)	94-M-7(3)	94-M-32(1)	94-M-32(2)
SiO2	25.9	27.48	25.44	22.22	22.2
Al2O3	19.61	17.54	19.9	21.46	21.47
FeO	26.3	24.72	25.94	36.8	37.81
MgO	15.5	17.56	15	5.61	5.32
Total	87.31	87.3	86.28	86.09	86.8
Si	5.51	5.79	5.47	5.12	5.08
Al	4.92	4.36	5.05	5.83	5.79
Fe	4.68	4.36	4.67	7.09	7.24
Mg	4.92	5.52	4.81	1.93	1.81
Total	20.03	20.03	20	19.97	19.92

Résultats des analyses par la microsonde des chlorites de la rhyolite.

Échantillon	94-M-14(1)	94-M-14(2)	94-M-14(3)	94-M-16(10)	94-M-16(2)	94-M-16(3)	94-M-17(1)	94-M-17(2)	94-M-17(3)	94-M-18(1)	94-M-18(2)	94-M-18(3)	94-M-20(1)	94-M-20(2)	94-M-20(3)
SiO ₂	23.59	24.12	23.86	24.1	22.96	24.84	22.85	23.38	22.78	22.68	22.93	23.23	21.57	22.08	22.36
Al ₂ O ₃	22.46	22.17	22.71	21.56	23.06	20.43	22.53	22.57	22.94	22.48	22.84	22.17	23.39	23.4	22.46
FeO	29.99	29.81	30.01	30.2	30.82	29.79	33.78	33.4	33.57	33.18	32.8	32.56	36.42	36.63	36.42
MgO	11.32	11.39	11.05	11.46	10.31	12.14	8.43	8.71	8.79	8.93	8.79	8.96	6.27	6.04	6.71
Total	87.36	87.49	87.63	87.32	87.15	87.2	87.59	88.06	88.08	87.27	87.36	86.92	87.65	88.15	87.95
Si	5.13	5.22	5.16	5.24	5.02	5.4	5.06	5.01	5.13	5.03	5.06	5.15	5.05	4.94	5.01
Al	5.75	5.66	5.79	5.53	5.95	5.23	5.88	5.95	5.84	5.88	5.94	5.8	5.84	6.17	5.93
Fe	4.45	5.4	5.43	5.5	5.64	5.42	6.25	6.17	6.13	6.16	6.06	6.04	6.94	6.85	6.83
Mg	3.67	3.68	3.56	3.72	3.36	3.93	2.79	2.88	2.85	2.95	2.89	2.96	2.2	2.02	2.24
Total	19	19.96	19.94	19.99	19.97	19.98	19.98	20.01	19.95	20.02	19.95	19.95	20.03	19.98	20.01

Résultats représentatifs des analyses par la microsonde des chlorites de l'andésite.

Annexe5

-Tableaux des calculs de changement de masse pour la rhyolite et l'andésite.

Échantillon	CR(SiO ₂)	ΔM SiO ₂	CR (Fe ₂ O ₃)	ΔM Fe ₂ O ₃	CR (Al ₂ O ₃)	ΔM Al ₂ O ₃	CR(TiO ₂)	ΔM TiO ₂	CR (P ₂ O ₅)	ΔM P ₂ O ₅
94-M-1	64.64	-8.45	13.48	7.27	10.9	0.72	0.4	-0.01	0.03	-0.07
94-M-2	51.77	-21.32	6.85	0.64	8.77	-1.41	0.3	-0.11	0.04	-0.06
94-M-3	66.53	-6.56	11.48	5.27	9.09	-1.09	0.36	-0.05	0.02	-0.08
94-M-4	82.74	9.65	33.79	27.58	11.54	1.36	0.52	0.11	0.15	0.05
94-M-5	117.06	43.97	47.48	41.27	14	3.82	0.6	0.19	0.42	0.32
94-M-7	77.74	4.65	50.66	44.45	31.82	21.64	0.18	-0.23	0.08	-0.02
94-M-32	65.64	-7.45	17.65	11.44	7.29	-2.89	0.29	-0.12	0.04	-0.06
94-M-34*	73.09	0	6.21	0	10.18	0	0.41	0	0.1	0
MM94-A-4-A	80.82	7.73	42.09	35.88	18.96	8.78	0.71	0.3	0.05	-0.05
MM94-A-5	62.36	-10.73	9	2.79	10.43	0.25	0.35	-0.06	0.05	-0.05

Échantillon	CR (K ₂ O)	ΔM K ₂ O	CR (MgO)	ΔM MgO	CR (MnO)	ΔM MnO	CR (CaO)	ΔM CaO	CR (Na ₂ O)	ΔM Na ₂ O	CR (Rb)	ΔM Rb
94-M-1	0.59	0.48	2.15	0.78	0.06	0.01	2.62	-2	1.69	-2.17	6.48	0.77
94-M-2	0.48	0.37	1.21	-0.16	0.03	-0.02	2.87	-1.75	2.25	-1.61	7.41	1.7
94-M-3	0.72	0.61	4.08	2.71	0.13	0.08	3.09	-1.53	0.84	-3.02	15.62	9.91
94-M-4	0.14	0.03	3.51	2.14	0.1	0.05	7.09	2.47	0.35	-3.51	7.56	1.85
94-M-5	0.2	0.09	5.29	3.92	0.18	0.13	13.76	9.14	0.46	-3.4	9.24	3.53
94-M-7	0.24	0.13	24.5	23.13	0.49	0.44	10.42	5.8	0.55	-3.31	6.41	0.7
94-M-32	0.12	0.01	1.87	0.5	0.08	0.03	2.78	-1.84	0.61	-3.25	5.51	-0.2
94-M-34*	0.11	0	1.37	0	0.05	0	4.62	0	3.86	0	5.71	0
MM94-A-4-A	0.12	0.01	7.56	6.19	0.14	0.09	1	-3.62	0.39	-3.47	8.55	2.84
MM94-A-5	0.57	0.46	1.25	-0.12	0.04	-0.01	1.11	-3.51	2.72	-1.14	12.6	6.89

tableau des changements de masse de la rhyolite, les données sont normalisés à la valeur du Zr de l'échantillon le moins altéré.

C.R=Zr précurseur/(Zr altéré*composante altérée)

Changement de masse(ΔM)=C.R-Composition du précurseur

* Précurseur

Echantillon	CR(SiO ₂)	ΔM SiO ₂	CR (Fe ₂ O ₃)	ΔM Fe ₂ O ₃	CR (Al ₂ O ₃)	ΔM Al ₂ O ₃	CR(TiO ₂)	ΔM TiO ₂	CR (P ₂ O ₅)	ΔM P ₂ O ₅
94-M-13	41.05	-16.67	21.45	10.48	10.05	-5.49	1.22	-0.17	0.02	-0.17
94-M-14	41.94	-15.78	15.82	4.85	9.17	-6.37	1.24	-0.15	0.01	-0.18
94-M-16	65.57	7.85	34.21	23.24	22.47	6.93	1.74	0.35	0.08	-0.11
94-M-18	38.28	-19.44	18.76	7.79	11.87	-3.67	0.93	-0.46	0.02	-0.17
94-M-19	48.4	-9.32	30.17	19.2	13.23	-2.31	1.43	0.04	0.01	-0.18
94-M-20	43.4	-14.32	20.94	9.97	10.88	-4.66	1.22	-0.17	0.02	-0.17
MM94-A-9	50.24	-7.48	14.13	3.16	12.31	-3.23	1.45	0.06	0.02	-0.17
MM94-A-1	45.1	-12.62	18.61	7.64	11.48	-4.06	1.22	-0.17	0.02	-0.17
Échant*	57.72	0	10.97	0	15.54	0	1.39	0	0.19	0

Echantillon	CR (K ₂ O)	ΔM K ₂ O	CR (MgO)	ΔM MgO	CR (MnO)	ΔM MnO	CR (CaO)	ΔM CaO	CR (Na ₂ O)	ΔM Na ₂ O	CR (Rb)	ΔM Rb
94-M-13	0.08	-0.1	3.21	-1.58	0.09	-0.17	0.61	-4.69	0.17	-3.5	4.11	-0.09
94-M-14	0.42	0.24	4.02	-0.77	0.09	-0.17	0.44	-4.86	0.21	-3.46	5.77	1.57
94-M-16	0.9	0.72	6.35	1.56	0.16	-0.1	0.85	-4.45	0.32	-3.35	17.15	12.95
94-M-18	0.53	0.35	4.13	-0.66	0.1	-0.16	0.37	-4.93	0.17	-3.5	10.68	6.48
94-M-19	0.12	-0.06	2.24	-2.55	0.1	-0.16	0.7	-4.6	0.21	-3.46	7.07	2.87
94-M-20	0.06	-0.12	2.67	-2.12	0.08	-0.18	0.67	-4.63	1.04	-2.63	6.88	2.68
MM94-A-9	0.66	0.48	4.52	-0.27	0.1	-0.16	0.76	-4.54	0.23	-3.44	10.99	6.79
MM94-A-1	0.69	0.51	2.9	-1.89	0.07	-0.19	0.35	-4.95	0.4	-3.27	12.08	7.88
Échant*	0.18	0	4.79	0	0.26	0	5.3	0	3.67	0	4.2	0

tableau des changement de masse de l'andésite, les données sont normalisés à la valeur du Zr de l'échantillon le moins altéré.

C.R.=Zr précurseur/(Zr altéré*composante altérée)

Changement de masse(ΔM)=C.R-Composition du précurseur

* Précurseur

Annexe 6

- Tableaux descriptifs de la pétrographie de la rhyolite Northwest et de l'andésite Rusty Ridge du gisement Ansil.
- Tableaux représentatifs des pourcentages des minéraux dans les échantillons de la rhyolite Northwest et de l'andésite Rusty-Ridge du gisement Ansil

Trou de forage A-175

N° de l'échant	Profondeur(m)	Description
94-M-1	0.45	Chlorite+Plagioclase±quartz dans une matrice de chlorite, d'albite et peu de séricite. La chlorite de teinte anormale (gris bleu) a tendance à remplacer du shards de verre ou des minéraux ferro-magnésiens. La roche a une texture porphyrique.
94-A-5	7.20	Chlorite+Plagioclase±quartz dans une matrice de chlorite (teinte bleue), d'albite, de séricite et faiblement carbonatée. On note également la présence de quelques minéraux accessoires comme le rutile, l'épidote et le sphène (leucoxéne). Les plagioclases se présentent comme des petites inclusions à l'intérieur de la chlorite et montrent une couleur brunâtre qui peut être due à une quantité de fer échappée de la chlorite. De rares amygdules de chlorite tapissées de quartz sont également observées. La roche a une texture porphyrique.
94-M-2	10.80	Chlorite de teinte bleue+plagioclase+quartz±carbonates±épidote dans une matrice de chlorite, de plagioclase et de séricite. Le verre est remplacé par de la chlorite et des plagioclases. Présence d'amygdales de chlorite de petites tailles entourées de quartz. On note une diminution de la taille de la granulométrie.

Trou de forage A-175 (suite)

N° de l'échant	Profondeur(m)	Description
94-M-3	21.70	Chlorite montrant une teinte bleu violacé, beaucoup plus de quartz et d'albite, une matrice de chlorite, plagioclase, quartz et peu de séricite. On observe également des amygdales de chlorite entourées de quartz. Parfois la chlorite se présente en veines.
94-M-4	31.20	Chlorite verte en petites baguettes isolées ou massive. Cette chlorite semble remplacer le verre rhyolitique ou d'autres anciens minéraux, permettant ainsi la reconnaissance des textures primaires en arrière-plan. La présence de carbonates est notée. Plagioclases moins abondants avec parfois une couleur brunâtre, probablement due à une quantité de fer échappée de la chlorite. On note aussi la présence de minéraux opaques qui sont généralement associés aux carbonates. L'épidote est aussi présente. La texture perlitique est préservée dans certains endroits. On remarque l'absence de séricite. La matrice est chloriteuse, carbonatée avec peu de plagioclases.
94-M-5	34.5	Chlorite normale de teinte verdâtre, beaucoup de quartz qui se présente sous deux formes: - Quartz en forme d'yeux de quartz de petite taille. - Quartz en grains grossiers, parfois en veines. Présence également abondante des carbonates qui se trouvent associées aux minéraux opaques. Cette minéralisation est aussi associée au stilpnomélane. Ce dernier se présente généralement en forme de bâtonnets ou d'enchevêtrements de bâtonnets remplissant des fractures tardives et se présente donc sous forme veines et veinules recoupant l'ensemble de la roche. La matrice est formée de chlorite, de séricite et de quartz.

Trou de forage A-175 (suite)

N° de l'échant	Profondeur (m)	Description
94-M-6	35.85	Chlorite très abondante (70 à 95%) de teinte vert-bleu. Stilpnomélane de taille très fine. La minéralisation est associée aux carbonates et au stilpnomélane. La matrice est chloriteuse et carbonatée. Pas de quartz ni de séricite.
94-M-7	40.80	La chlorite est de teinte brun violacé, abondance de quartz qui occupe à peu près 15 à 25 % du volume de la roche. On note également la présence de quelques traces de l'épidote et des minéraux accessoires comme l'apatite. Cette dernière se présente parfois sous forme de cristaux automorphes bien cristallisés. La matrice est chloriteuse et carbonatée.
94-A-7	41.90	La chlorite est de teinte brun violacé à bleu, présence du quartz et des traces d'amphiboles (actinolite), et des traces de stilpnomélane, d'épidote et d'apatite et on note l'absence de carbonates et minéralisation.
94-M-8	45.60	La chlorite est moins fréquente que dans les autres échantillons. Les amphiboles représentent 60 à 75% du volume de la roche. La séricite et la chlorite remplissent parfois des fractures. La minéralisation est associée aux carbonates et le stilpnomélane recoupe parfois les minéraux opaques.
94-M-13	54.15	La chlorite est de teinte bleu-gris et représente jusqu'à environ 90% de la roche. Présence de la texture amygdalaire sous forme d'amygdales remplies de quartz et probablement de plagioclases. L'ensemble baigne dans une matrice de chlorite, d'albite et peu de quartz.

Trou de forage A-175 (suite)

N° de l'échant	Profondeur(m)	Description
94-M-14	56.95	Chlorite de teinte bleu-gris. Apparition de peu de séricite -qui se développe au niveau des macles et des clivages des plagioclases ne laissant ainsi que des vestiges des phénocristaux de plagioclases, peu de quartz qui remplit parfois des amygdales, et quelques minéraux accessoires, tels que de le rutil et des traces de zoisite. L'ensemble baigne dans une matrice de chlorite, de quartz et de séricite.
94-A-9	59.60	Chlorite de teinte bleu-gris avec un peu plus de quartz et de séricite. Présence également d'amygdales de quartz tapissées de chlorite.

Trou de forage A-20

N de l'échant-	Profondeur (m)	Description
94-M-15	2.45	Brèche de coulée dont les fragments sont très altérés en chlorite qui montre une biréfringence bleue. Présence d'amygdales remplies de quartz et de chlorite montrant une texture fibro-radiée. Parmi les minéraux accessoires, on trouve de l'épidote, des carbonates et probablement de la zoisite au niveau d'une veine de minéralisation. Le quartz est recristallisé indiquant un certain degré de silicification. L'ensemble montre une certaine déformation. (hyaloclastite)
94-M-16	4.80	Chlorite de teinte bleue+séricite avec une évidence de remplacement des phénocrisraux de plagioclase. Quelques cristaux d'épidote et des amygdales de quartz, d'albite et de chlorite.
94-M-17	10.30	Brèche andésitique dont les fragments sont chloritisés de teinte bleu violacé, silicification (quartz en phénocristaux recristallisés parfois fracturés), carbonates généralement entre les fractures de quartz. Certains cristaux de quartz montrent une extinction ondulante (due à la déformation). On remarque au niveau des fragments une zonalité indiquant plusieurs séquences de déposition sous forme de pulsations périodiques entre chlorite et quartz. Des rares grains épidotes sont également observés.
94-M-18	13	Chlorite soit sous forme d'amygdales, soit massive, des plagioclases et quelques petits cristaux de quartz. Pas de séricite. Le tout baigne dans une matrice de chlorite.
94-M-19	21.70	Chlorite de teinte bleue, séricite, quartz, et de rares grains d'épidote et de plagioclase.

Trou de forage A-20 (suite)

N° de l'échant	Profondeur (m)	Description
94-A-1	32.15	Plagiocalses altérés en séricite et en chlorite. La séricite est abondante et de grande taille et la chlorite est de teinte bleue. Présence également de minéraux opaques. La matrice est formée de chlorite, d'albite et de séricite.
94-M-20	35.10	Chlorite avec une biréfringence anormale (bleu-vert). La séricite est moins abondante que dans la précédente, parfois des plagioclases montrent un début d'altération en séricite. Le quartz est en veinules. On note aussi la présence de traces d'épidote et carbonates. La chlorite se trouve également sous forme d'amygdules tapissées de quartz. Minéraux opaques très fréquents.
94-M-32	66.40	Chlorite de teinte anormale(bleu-vert)-séricite-épidote-carbonates. La chlorite et parfois l'épidote sont en veines.
94-M-34	72.40	Même chlorite que précédament parfois en petites veinules-albite-carbonates±épidote et des traces de minéraux opaques.
94-A-4-A	79.40	Chlorite de teinte bleue (parfois en veines)-carbonates-quartz (dont certains cristaux montrent une extinction ondulante) et traces de stilpnomélane. Association des carbonates avec les minéraux opaques. L'ensemble baigne dans une matrice de chlorite et de quartz.

Minéraux

Echantillons	Profondeur(m)	quartz	Plagioclase	Chlorite	Séricite	Carbonates	Epidote	Stilpnomélane	Apatite	Amphiboles
94-M-1	0.45	20 à 30%	5 à 25 %	10 à 15 %	1 à 6 %	traces	—	—	—	—
94-A-5	7.20	?	12 à 15 %	12 à 15%	5 à 12 %	traces	traces	—	—	—
94-M-2	10.80	18 à 30 %	?	20 à 30 %	7 à 15 %	?	traces	—	—	—
94-M-3	21.70	?	?	≈ 35 %	2 à 5 %	—	—	—	—	—
94-M-4	31.20	—	≤2 %	15 à 35%	—	≈12%	≤1%	—	—	—
94-M-5	34.50	6 à 15 %	—	≈ 25%	—	10 à 20%	traces	4 à 6%	—	—
94-M-6	35.85	—	—	≥ 60 %	—	≈10 à 12%	—	8 à 12 %	—	—
94-M-7	40.80	≤ 25 %	—	≥ 55%	—	—	≤1 %	—	3%	—
94-A-7	41.90	10 à 15 %	—	30 à 45 %	—	—	traces	—	traces	traces
94-M-8	45.60	—	—	?	?	1%	—	traces	—	60 à 75%
94-M-13	54.15	?	?	≥ 75%	—	—	—	—	—	—
94-M-14	56.95	?	?	60 à 75%	≤1 %	—	traces	—	—	—
94-A-9	56.60	?	?	60 à 75 %	≈2 %	traces	—	—	—	—

Echantillons	Profondeur(m)	quartz	Plagioclase	Chlorite	Séricite	Carbonates	Epidote	Stilpnomélane	Apatite	Amphiboles
94-M-15	2.45	12 à 25 %	—	35 à 50%	—	≤3%	traces	—	—	—
94-M-16	4.80	5 à 10 %	?	20 à 50 %	2 à 5%	—	≤1%	—	—	—
94-M-17	10.30	25 à 35 %	—	20 à 45	—	5 à 8 %	traces	—	—	—
94-M-18	13.00	?	≤2%	20 à 45 %	—	—	—	—	—	—
94-M-19	21.70	15 à 20	2%	≈45 %	2 à 5 %	—	traces	—	—	—
94-A-1	32.15	15 à 20%	5 à 10%	25 à 50%	5%	—	—	—	—	—
94-M-20	35.10	25%	5 à 10 %	15%	1 à 3 %	traces	traces	—	—	—
94-A-4-A	66.40	10 à 20 %	—	40 à 50 %	—	?	—	traces	—	—
94-M-32	72.40	?	?	35%	≤5%	traces	traces	—	—	—
94-M-34	79.40	?	?	25%	traces	traces	≤2%	—	—	—

Tableau des pourcentages des minéraux dans la rhyolite Northwest et l'andésite Rusty-Ridge du gisement Ansil.