

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

**THESE
PRÉSENTÉE À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN RESSOURCES MINÉRALES**

**PAR
BENOIT DUBÉ**

**MÉTALLOGÉNIE AURIFÈRE DU FILON-COUCHE DE BOURBEAU,
RÉGION DE CHIBOUGAMAU, QUÉBEC**

AVRIL 1990



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

Les minéralisations aurifères filonniennes mises en place dans des filons-couches mafiques-ultramafiques différenciés sont répandues dans le monde entier et parmi les exemples les plus importants, notons les gisements aurifères situés dans le Golden Mile Dolerite Sill de Kalgoorlie en Australie (Phillips, 1986). Ces minéralisations aurifères sont fréquemment confinées à l'intérieur du filon-couche et les patrons de fracturation ainsi que le réseau de veines de quartz sont souvent mieux développés et fréquemment beaucoup plus complexes dans cette unité stratigraphique qu'ils ne le sont à l'extérieur de celle-ci. Dans le cadre de notre étude métallogénique du filon-couche de Bourbeau, nous avons donc cherché à comprendre l'influence et les contrôles possibles que celui-ci exerce sur la minéralisation. L'objectif global de ce projet visait donc à déterminer le mode et la chronologie de mise en place de la minéralisation aurifère dans le filon-couche de Bourbeau et à préciser les mécanismes ponctuels nécessaires à la genèse des gisements aurifères qu'il contient. Le filon-couche de Bourbeau est situé dans la région de Chibougamau. Il s'agit d'un filon-couche différencié de composition mafique à intermédiaire qui s'étend sur plus d'une centaine de kilomètres de longueur. Il est l'hôte des mines d'or Cooke et Norbeau et de quelques indices aurifères.

L'analyse structurale réalisée aux mines Cooke et Norbeau et dans les indices aurifères a permis de constater que la minéralisation se situe principalement à l'intérieur de veines présentes dans des zones de cisaillement. Toutefois, alors qu'à la mine Norbeau il s'agit de zones de cisaillement ductiles-cassantes, la minéralisation à la mine Cooke est contenue dans des zones de cisaillement ductiles-cassantes à cassantes plus ou moins intenses, et des fractures minéralisées subparallèles aux zones de cisaillement. De plus, il existe des différences dans la complexité du réseau de "fractures" minéralisées. À la mine Cooke et dans la majorité des indices étudiés, il s'agit de zones de cisaillement subparallèles aux unités stratigraphiques, alors qu'à la mine Norbeau, il existe plusieurs zones de cisaillement d'orientation diverses dont une est sub-parallèle aux unités stratigraphiques. Les structures internes caractérisant ces différentes zones de cisaillement suggèrent que dans l'ensemble, les relations angulaires entre la schistosité et la direction du cisaillement, l'attitude des veines subhorizontales de même que l'attitude des stries et linéations minéralogiques présentes à l'intérieur des zones de cisaillement indiquent un mouvement inverse-oblique où la composante verticale du mouvement est dominante. L'analyse structurale réalisée à la mine Cooke suggère que les zones de cisaillement minéralisées ont été produites par une contrainte principale subhorizontale d'orientation N-S, une contrainte intermédiaire sub-horizontale plongeant faiblement vers l'est et une contrainte minimum subverticale compatible avec la déformation régionale kénorienne d'orientation N-S. À la mine Norbeau, la déformation est beaucoup plus complexe. L'analyse nous amène à conclure que les zones de cisaillement ne sont pas compatibles avec un système conjugué mais témoignent plutôt d'une déformation uniaxiale dont l'axe est orienté à 346° avec une plongée relativement abrupte, et cet axe est pratiquement contenu dans le plan du filon-couche. Les autres axes de déformation se situent sur un grand cercle orienté à $078^\circ/36^\circ$. Comme la déformation est uniaxiale, les contraintes principales et intermédiaires ne sont pas réellement distinguables. Toutefois, la méthode d'Angelier suggère que la contrainte principale est orientée à environ $078^\circ/38^\circ$ et la contrainte intermédiaire à $144^\circ/33^\circ$. Les axes d'extension et de raccourcissement seraient donc confinés à l'intérieur du plan correspondant à l'attitude du filon-couche de Bourbeau.

Les zones de cisaillement minéralisées de la mine Cooke ont ultérieurement été recoupées par des failles obliques d'orientation nord-est (sénestres) et parfois nord-sud (dextres). Ces failles de même que les failles régionales du Lac Gwillim et de Chibougamau-Copper ont été produites par un même système dont la contrainte principale est subhorizontale et d'orientation N-S, alors que les contraintes intermédiaire et minimum plongent respectivement vers l'ouest ($263^{\circ}/55^{\circ}$) et vers l'est ($113^{\circ}/46^{\circ}$). La faille du lac Gwillim est donc tardive par rapport à la minéralisation trouvée à la mine Cooke.

L'altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine Cooke est peu développée mais il est tout de même possible de regrouper les minéraux d'altération en au moins trois faciès : un faciès à séricite \pm calcite \pm chlorite, suivi d'un faciès à chlorite + calcite \pm axinite et, finalement, accolée à la veine minéralisée on note régulièrement une zone à chlorite massive. À l'inverse, l'altération hydrothermale observée à la mine Norbeau et dans la majorité des indices aurifères est bien développée et s'avère typique des gisements aurifères du type "lode gold". On note de façon générale, qu'à proximité de la zone minéralisée, l'altération se caractérise par la présence d'une zone de séricite-ankérite-calcite-pyrite, suivie d'une zone à séricite-ankérite-calcite-chlorite et, finalement, d'une zone à chlorite-calcite.

L'étude lithogéochimique quantitative fait ressortir des divergences marquées entre l'altération de la mine Cooke et de la mine Norbeau. On constate principalement un gain en Fe en approchant des veines minéralisées à la mine Cooke alors que l'on note des gains en K, Ca et S à Norbeau. De plus, on note des pertes en Ca et Mg à Cooke seulement. Ces divergences suggèrent donc l'apport de fer par le fluide dans les zones d'altération de la mine Cooke alors qu'à la mine Norbeau, les relations texturales, telles la présence de cristaux de sulfures accolés aux grains de leucoxène, suggèrent que le fer provient du protolite original, alors que le soufre a été fourni par le fluide. Les pertes en Ca à Cooke expliquent en partie, la formation d'axinite dans les veines minéralisées par suite de sa combinaison avec le bore présent dans le fluide. À Norbeau, ce lessivage n'est pas observé, au contraire on constate un gain en Ca qui s'est combiné au CO_2 provenant du fluide pour former les carbonates. L'absence d'apport notable de K dans les zones à chlorite+calcite \pm axinite et chlorite massive de la mine Cooke suggère que cet environnement était plutôt oxydant comme en témoigne la présence de chlorite et l'hématisation des feldspaths présents dans les veines. En ce qui a trait aux similitudes, on note des gains communs en C, As et Au et un lessivage du Na en approchant des veines minéralisées. Le lessivage du Na traduit dans les deux cas l'altération subie par les plagioclases. Les deux fluides contenaient donc du H_2O , comme en témoigne la formation des chlorites et des séricites, et du CO_2 comme le suggèrent les gains en C et la précipitation des carbonates.

Les veines de quartz cartographiées dans les mines Cooke et Norbeau sont généralement déformées. Elles contiennent deux générations de quartz, une première déformée et une deuxième néominéralisée. La présence d'axinite et de feldspath potassique, fréquemment hématisé, est caractéristique de la mine Cooke. Alors qu'à la mine Cooke, la proportion de sulfures est grande ($\leq 90\%$) (chalcopryrite, pyrrhotite, arsénopyrite et pyrite), elle ne dépasse pas 5 % à la mine Norbeau (arsénopyrite et pyrite). La mise en place des sulfures a eu lieu, dans les deux mines étudiées, dans un milieu dynamique (zones de cisaillement) qui a continué de se déformer même après la formation des veines. Ces mouvements ont engendré la

déformation, la redistribution et possiblement, par endroit, la redissolution et la reprécipitation des sulfures. À la mine Cooke, ce processus a généré des textures complexes étant donné l'abondance de sulfures ductiles (chalcopyrite et pyrrhotite). De plus, à cet endroit, des mouvements ultérieurs provoqués par des failles tardives ont possiblement joué un rôle non-négligeable dans la déformation observée à l'intérieur des veines. Aux mines Norbeau et Cooke, l'or a probablement été transporté sous forme de complexe bisulfuré du type $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ et $\text{Au}_2\text{S}(\text{HS})_2^{2-}$. Ces complexes agissent en tant que source de l'or et également comme source du soufre. Ils sont déstabilisés par suite de la réaction du fer avec le soufre, provoquant ainsi la précipitation de l'or. À la mine Norbeau, le Fe^{+2} nécessaire à cette réaction proviendrait des titanomagnétites primaires altérées en leucoxène alors qu'à la mine Cooke, le fer était véhiculé par le fluide. La diminution de l'activité du soufre constitue le mécanisme de précipitation, de l'or et des phases métalliques, que nous suggérons. De plus, à la mine Cooke, l'oxydation est également un mécanisme de précipitation probable.

L'influence principale du filon-couche de Bourbeau se situe au niveau mécanique. Le filon-couche a réagi comme un horizon compétent dans une matrice de roches plus ductiles constituées de filons-couches ultramiques-mafiques et de sédiments. De plus, il est probable que la différenciation magmatique subie par le filon-couche a joué un rôle important puisque l'hétérogénéité primaire a probablement favorisé le développement de zones de cisaillement le long ou à angle par rapport à ces discontinuités mécaniques et chimiques. Nos travaux révèlent que l'anisotropie primaire de la résistance d'une telle unité de roche compétente, étant donné le litage primaire qu'elle contient, et l'orientation de cette unité lithologique peut induire une déformation interne différente de la déformation régionale et favoriser ainsi le développement de zones de cisaillement locales incompatibles avec le patron de déformation régional.

L'influence chimique de la roche hôte sur la précipitation de la minéralisation est particulièrement manifeste à la mine Norbeau, étant donné l'intime relation spatiale qui existe entre les titanomagnétites primaires altérées en leucoxène-anatase et les cristaux de pyrite et d'arsénopyrite renfermant des grains d'or. Cette relation suggère donc que les roches encaissantes ont joué un rôle important dans la précipitation de la solution hydrothermale en fournissant le fer nécessaire à la déstabilisation du complexe aurifère bisulfuré. À la mine Cooke, l'influence de la composition chimique de la roche hôte sur la précipitation du fluide minéralisé est beaucoup moins évidente.

Abstract

Lode gold deposits hosted by layered mafic to ultramafic sills are common world wide and some of the best examples are the Archean lode gold deposits located in the Golden Mile dolerite sill of Kalgoorlie Australia (Phillips, 1986). These mineralizations are frequently confined into the sills and the fracture and vein patterns are better developed and frequently more complex in those stratigraphic units than outside of them. In this gold metallogeny study, we have tried to understand the influence and the possible control of the sills on the mineralization. The main goal of this thesis was to determine the mode and the chronology of emplacement of the gold mineralization into the Bourbeau Sill and to better understand the local processes related to the genesis of the gold deposits. The Bourbeau Sill is located in the Chibougamau area. It is a layered mafic to intermediate sill which has a lateral extension of one hundred kilometers. It hosts the Cooke and Norbeau mines as well as some gold showings.

Structural analysis at the Cooke and Norbeau mines as well as in the showings shows that the gold mineralization is mainly located in quartz veins located into shear zones. However, whereas at the Norbeau mine the shear zones are ductile-brittle, the mineralization at the Cooke mine is located in brittle-ductile to brittle shear zones, more or less intense, and in mineralized fractures sub-parallel to the shear zones. Furthermore, there are differences in the complexity of the mineralized "fracture" pattern. At the Cooke mine and in most of the showings, the deformed zones are sub-parallel to the stratigraphic units, whereas at the Norbeau mine there is several different orientations are observed. The internal structural characteristics of the shear zones suggest that in overall, the angular relationship between the schistosity and the shear zones directions, the attitude of the sub-horizontal veins as well as the attitude of the lineations and striations located inside the shear zones suggest an oblique-reverse movement with a dominant vertical component. The structural analysis at the Cooke mine shows that the mineralized shear zones have been produced by a main sub-horizontal and north-south directed stress, an intermediate sub-horizontal stress with a shallow plunge to the east and a sub-vertical minimum stress compatible with the Kenorean orogeny. At the Norbeau mine, the deformation is more complex. The analysis suggests that the shear zones are not related to a conjugate system but are rather related to a uniaxial deformation with an axis oriented at 346° with a relatively steep plunge which is almost enclosed into the plane of the Bourbeau sill. The other two axes of deformation are located on a great circle oriented at $078^\circ/36^\circ$. As the deformation is uniaxial, the minimum and intermediate axes are not really distinguished. However, the Angelier and Mechler (1977) method suggests that the main stress is oriented approximatively at $078^\circ/38^\circ$ and the intermediate axis at $144^\circ/33^\circ$. The axes of extension and shortening would then be almost confined within the plane defining the attitude of the Bourbeau Sill.

The mineralized shear zones at the Cooke mine have later been cut by oblique north-east (senestral) and sometimes north-south (dextral) faults. These faults, as well as the regional Gwillim lake fault and Chibougamau-Copper, have been produced by the same stress regime characterized by a sub-horizontal north-south directed principal stress whereas the intermediate and minimum axes are respectively plunging to the west ($263^\circ/55^\circ$) and to the east ($113^\circ/46^\circ$). The Gwillim lake fault is younger than the mineralization found at the Cooke mine.

The hydrothermal alteration associated with the mineralized zones of the Cooke mine is weak but it is still possible to define three alteration facies: a sericite±calcite±chlorite facies, followed by a chlorite±calcite±axinite facies and a strongly chloritized facies adjacent to the mineralized vein. However, the hydrothermal alteration observed at the Norbeau mine and in most of the gold showings is well developed and is typical of lode gold deposits. There is generally a sericite-ankerite-calcite-pyrite zone which is close to the mineralized vein, followed by a sericite-ankerite-calcite-chlorite zone and, finally, a chlorite-calcite zone.

A quantitative lithogeochemical study shows strong differences between the alteration of the Cooke and Norbeau mines. There is an iron increase near the mineralized veins of the Cooke mine, whereas there is a K, Ca and S increase at Norbeau. Also, we notice, leaching in Ca and Mg at the Cooke mine. These variations suggest that the iron originates from the fluid at Cooke whereas at Norbeau, the textural relationships such as the sulfide closely associated with leucoxene, suggest that the iron is coming from the host rock, whereas the sulfur has been transported by the fluid. The leaching of Ca at Cooke partly explains the axinite formation in the mineralized veins because of its combination with the boron in the fluid. At Norbeau, such a leaching is not observed, on the contrary we notice a gain in Ca, which has been combined with the CO₂ in the fluid to form the carbonate. The absence of a gain in K in the chlorite±calcite±axinite and massive chlorite zones at Cooke suggests that the environment was rather oxidizing as this is suggested by the occurrence of chlorite and the hematization of the feldspar located in the veins. But there are also similarities in both mines: a gain in Ca, As and Au and a leaching of Na close to the veins. Both fluids contained H₂O, as this is suggested by the presence of chlorite, sericite and CO₂ (suggested by the gain in C and the precipitation of carbonates).

The quartz veins mapped at the Norbeau and Cooke mines are generally deformed and they contain two generations of quartz, a first one strongly deformed and a second one undeformed. The occurrence of axinite and of potassic feldspar, frequently hematized, is characteristic of the Cooke mine. Whereas the sulfides are abundant at Cooke (≤90%), they represent no more than 5% at Norbeau. The emplacement of the sulfide has occurred, in both mines, in a dynamic (shear zone) environment where deformation continued after the vein formation. These movements have produced the deformation, redistribution and possibly the dissolution and recrystallization of the sulfides. At Cooke, this process generated complex textures because of the abundance of ductile sulfides. Also, at Cooke, later movements related to the brittle faults may have played a role in the deformation observed inside the veins. At Cooke and Norbeau, the gold has probably been transported as a bisulfide complex, such as Au(HS)⁻² and Au₂S(HS)⁻². These complexes represent the source of gold and also of sulfur. They have been destabilized by the reaction of iron with sulfur, producing the gold precipitation. At Norbeau, the Fe⁺² necessary for that reaction comes from the titanomagnetite altered in leucoxene, whereas at Cooke, the iron was transported by the fluid. The diminution of sulfur activity is the precipitation mechanism suggested for the gold and metallic phases. At Cooke, the oxidation is also a possible precipitation mechanism.

The main influence of the Bourbeau Sill is mechanic. The sill acted as a competent horizon in a matrix of more ductile material composed of mafic-ultramafic sills and sediments. Also, it is possible that the magmatic differentiation of the sill has played an important role as this primary heterogeneity has probably enhanced the development of shear zones along and across

the discontinuity. Our work reveals that the primary strength anisotropy of this competent unit may induce a internal strain different from the regional one and favors the development of local shear zones not compatible with the regional deformation pattern.

The chemical influence of the host rock on the precipitation of the mineralization is particularly evident at Norbeau because of the close spatial relationship between the titanomagnetite altered in leucoxene and the pyrite and arsenopyrite hosting the gold. This relationship suggests that the host rock has played a key role in destabilizing the hydrothermal solution and the bisulfide complex carrying the gold. At Cooke, the chemical influence of the host rock on the precipitation is less evident.

Je dédie ce travail à ma femme Pascale
pour son aide, sa grande compréhension et
son encouragement constant et si important
tout au long de ce travail.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, Jayanta Guha, de ses judicieux conseils, son encouragement, sa disponibilité et son appui financier tout au long de ce travail. Mes remerciements sincères s'adressent également à MM. J. M. Franklin, François Robert et Howard Poulsen, de la Commission géologique du Canada (C.G.C.), qui m'ont offert leur aide très précieuse, leur appui et leur encadrement durant mon séjour à la C.G.C. J'aimerais remercier tout particulièrement MM. Harold Brisson (assistant sénior), Yves Michaud (assistant-sénior) et Yves Savard (assistant-junior) de la qualité du travail qu'ils ont effectué, de même que MM. Guy Archambault, E. H. Chown, Jean Bélanger et Gérard Woussen de l'Université du Québec à Chicoutimi (U.Q.A.C.), de leur apport scientifique et logistique. Je me dois de souligner également l'excellent travail effectué par Claude Dallaire, du Centre d'Étude sur les Ressources Minérales de l'U.Q.A.C., dans la réalisation de plusieurs des figures de même que M. Yvon Boudreault (U.Q.A.C.) pour la fabrication des plaques minces.

Je remercie les responsables et les géologues de la société Falconbridge Copper Ltée, Division Opémiska et de la société Explorations Falconbridge Ltée à Chapais, maintenant Minnova Inc, de leur très grande collaboration et des nombreuses discussions accordées lors des travaux à la mine Cooke et sur les indices aurifères; les compagnies Northgate Ltée (en particulier Paul Archer et Jean-Pierre Bérubé), Norbeau Mines et M. David Malouf de la compagnie Consolidated Copper Lode Development inc. pour avoir permis l'accès à la mine Norbeau et pour avoir offert leur excellente collaboration. Je tiens également à souligner la grande qualité de l'encadrement scientifique et logistique fourni par le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec par l'entremise d'Alain Simard, Kamal Sharma, Réal Daigneault, André Gobeil et Gilles O. Allard.

J'aimerais remercier grandement la Commission géologique du Canada à Ottawa de m'avoir accueilli dans ses locaux et d'avoir permis de profiter de leurs installations et services durant les deux dernières années de cette thèse. Mes remerciements s'adressent également à MM. D. Garson, D. Richardson, M. Bonardi, G. Pringle, R. Laramée, R. Lancaster et K. Nguyen de la C.G.C. pour leur appui scientifique et technique.

Enfin, j'aimerais remercier le Conseil National de la Recherche scientifique, la compagnie Alcan et la Fondation de recherche de l'Université du Québec pour leur aide financière par l'entremise de bourses d'étude.

TABLE DES MATIERES

	Page
1. INTRODUCTION	
1.1 Introduction.....	1
1.2 Objectifs.....	6
1.3 Méthodologie.....	7
2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL	
2.1 Introduction.....	9
2.2 Lithostratigraphie.....	9
2.3 Roches intrusives.....	11
2.4 Géologie structurale et métamorphisme.....	13
2.5 Minéralisations.....	13
2.6 Environnement géologique des mines et des indices aurifères étudiés	
2.6.1 Mine Cooke	
2.6.1.1 Introduction.....	14
2.6.1.2 Géologie régionale.....	14
2.6.1.3 Géologie locale.....	16
2.6.1.4 Minéralisation.....	18
2.6.2 Mine Norbeau	
2.6.2.1 Introduction.....	21
2.6.2.2 Géologie régionale.....	21
2.6.2.3 Géologie locale.....	21
2.6.2.4 Minéralisation et zones de cisaillement.....	24
2.6.3 Indices aurifères.....	26
3 PÉTROGRAPHIE ET PÉTROCHIMIE DU FILON-COUCHE DE BOURBEAU	
3.1 Étude régionale du filon-couche de Bourbeau	
3.1.1 Introduction.....	34

	Page
3.1.2 Pétrographie	
3.1.2.1 Pyroxénite (péridotite).....	37
3.1.2.2 Leucogabbro.....	38
3.1.2.3 Ferrogabbro à quartz.....	39
3.1.2.4 Ferrodiorite à quartz - Ferrodiorite granophyrique.	39
3.1.2.5 Sommaire de l'étude pétrographique.....	41
3.1.3 Pétrochimie régionale	
3.1.3.1 Introduction.....	41
3.1.3.2 Diagrammes binaires.....	42
3.1.3.3 Classification chimique.....	42
3.1.4 Sommaire de l'étude régionale	45
3.2 Étude du filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke	
3.2.1 Introduction.....	45
3.2.2 Pétrographie des faciès du filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke	
3.2.2.1 Introduction.....	48
3.2.2.2 Pyroxénite.....	48
3.2.2.3 Leucogabbro.....	48
3.2.2.4 Ferrogabbro à quartz.....	50
3.2.3 Pétrochimie du filon-couche de Bourbeau dans le secteur de la mine Cooke	
3.2.3.1 Introduction.....	51
3.2.3.2 Diagrammes binaires des éléments majeurs et mineurs.....	51
3.2.3.3 Diagrammes binaires et ternaires: classification chimique.....	54
3.3 Étude du filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau	
3.3.1 Introduction	54
3.3.2 Pétrographie des faciès du filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau	
3.3.2.1 Péridotite.....	57

	Page
3.3.2.2 Leucogabbro.....	57
3.3.2.3 Ferrogabbro à quartz.....	59
3.3.2.4 Ferrodiorite à quartz et intercroissances granophyriques.....	59
3.3.2.5 Ferrogabbro sommital.....	60
3.3.4 Pétrochimie du filon-couche de Bourbeau dans le secteur de la mine Norbeau	
3.3.4.1 Introduction.....	61
3.3.4.2 Diagrammes binaires des éléments majeurs et mineurs	61
3.3.4.3 Diagrammes binaires et ternaires: classification chimique.....	64
3.4 Comparaison avec l'étude régionale.....	65
 4-ANALYSE STRUCTURALE	
4.1 Introduction.....	70
4.2 Mine Cooke	
4.2.1 Introduction.....	71
4.2.2 Veines minéralisées nos 7 et 9.....	71
4.2.3 Zones de cisaillement localisées au contact Bourbeau-Blondeau	81
4.2.4 Failles tardives	
4.2.4.1 Introduction.....	82
4.2.4.2 Failles NE-SW, N-S et E/NE.....	82
4.2.4.3 Faille Chibougama-Copper.....	86
4.2.4.4 Faille du Lac Gwillim.....	89
4.2.5 Sommaire.....	93
4.3 Mine Norbeau	
4.3.1 Introduction.....	94
4.3.2 Stratification S_0	95
4.3.3 Discontinuité D_2	
4.3.3.1 Introduction.....	97

	Page
4.3.3.2 Schistosité et clivage est-ouest.....	97
4.3.3.3 Failles longitudinales est-ouest et nord-ouest.....	97
4.3.3.4 Zones de cisaillement est-ouest.....	99
4.3.3.5 Caractéristiques structurales des zones de cisaillement associées aux veines aurifères est-ouest.....	100
4.3.3.6 Zone de cisaillement est/sud-est.....	111
4.3.3.7 Veines aurifères nord-est et nord-sud (#1 et #4)....	114
4.3.4 Discontinuité D_3	118
4.3.5 Sommaire.....	122
4.4 Localisation des axes X-Y-Z de l'ellipsoïde de déformation	
4.4.1 Introduction.....	122
Méthode d'Arthaud.....	124
Méthode d'Angelier.....	124
Méthode de Wallace.....	125
4.4.2 Mine Cooke	
4.4.2.1 Introduction.....	126
4.4.2.2 Résultats.....	126
4.4.3 Mine Norbeau	
4.4.3.1 Introduction.....	128
4.4.3.2 Résultats.....	129
4.4.3.3 Discussions.....	133
4.5 Description sommaires des caractéristiques structurales des indices aurifères.....	135
4.6 Comparaison et discussions.....	138
5- MINÉRALOGIE ET PARAGENESE DES VEINES	
5.1 Introduction.....	144
5.2 Mine Cooke	
5.2.1 Texture.....	146
5.2.2 Minéralogie	
5.2.2.1 Gangue.....	147
5.2.2.2 Phases métalliques.....	155

	Page
5.2.3 Paragénèse.....	159
5.3 Mine Norbeau	
5.3.1 Texture.....	164
5.3.2 Minéralogie	
5.3.2.1 Gangue.....	165
5.3.2.2 Phases métalliques.....	166
5.3.3 Paragénèse.....	172
5.4 Comparaison de la minéralogie des veines observée dans les mines Cooke et Norbeau.....	175
6- ALTÉRATION HYDROTHERMALE	
6.1 Introduction.....	177
6.2 Altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine Cooke.	
6.2.1 Introduction.....	179
6.2.2 Pétrographie des altérations.....	179
6.2.3 Faciès d'altération	
6.2.3.1 Faciès à séricite-calcite-chlorite.....	186
6.2.3.2 Faciès à chlorite-calcite-axinite.....	192
6.2.3.3 Faciès à chlorite.....	193
6.2.3.4 Minéraux à comportement particulier	
6.2.3.4.1 Axinite.....	193
6.2.4 Lithogéochimie des zones minéralisées	
6.2.4.1 Introduction.....	202
6.2.4.2 Lithogéochimie qualitative.....	203
6.2.4.3 Lithogéochimie quantitative	
6.2.4.3.1 Introduction.....	206
6.2.4.3.2 Théorie.....	206
6.2.4.3.3 Résultats pour le Forage S-588 et U-9399.	207

	Page
6.2.4.4 Éléments indicateurs.....	219
6.2.5 Discussions	
6.2.5.1 Formation de l'axinite.....	224
6.2.5.2 Formation des autres minéraux de gangue présents dans les veines.....	224
6.2.6 Sommaire.....	225
6.3 Mine Norbeau	
6.3.1 Pétrographie des altérations	
6.3.1.1 Introduction.....	228
6.3.1.2 Patron d'altération.....	229
6.3.1.3 Zone non-altérée par le fluide hydrothermal.....	237
6.3.1.4 Altération développée dans le ferrogabbro et la ferrodiorite	
6.3.1.4.1 Introduction.....	240
6.3.1.4.2 Faciès à chlorite et calcite.....	241
6.3.1.4.3 Faciès à séricite/ankérite/calcite/chlorite...	245
6.3.1.4.4 Faciès à séricite/ankérite-calcite/pyrite.....	249
6.3.1.5 Altération développée dans le leucogabbro.....	252
6.3.2 Lithogéochimie de l'altération hydrothermale	
6.3.2.1 Introduction.....	253
6.3.2.2 Lithogéochimie qualitative.....	255
6.3.2.3 Lithogéochimie quantitative.....	260
6.3.3 Éléments indicateurs.....	275
6.3.4 Discussion: Chronologie de formation des différentes phases d'altération.....	279
6.3.5 Sommaire.....	283
6.4 Altération hydrothermale associée aux indices aurifères.....	284
6.5 Interprétation et discussions	
6.5.1 Introduction.....	293
6.5.2 Transformations minéralogiques associées aux zones aurifères de la mine Cooke.....	294

	Page
6.5.3 Transformations minéralogiques associées aux zones aurifères de la mine Norbeau.....	298
6.5.4 Discussions.....	303
6.5.5 Comparaisons entre l'altération de la mine Cooke, de la mine Norbeau et des indices.....	303
 7- SYNTHESE ET DISCUSSIONS	
7.1 Introduction.....	307
7.2 Synthèse et discussions	
7.2.1 Fracturation hydraulique.....	307
7.2.2 Mécanisme de précipitation.....	308
7.2.3 Synthèse sur le mode de mise en place de la minéralisation aurifère aux mine Cooke et Norbeau.....	314
7.3 Comparaison entre les mines Cooke et Norbeau et les indices.....	316
7.4 Intégration entre le contexte géologique des mines Cooke et Norbeau et l'évolution tectonique régionale	
7.4.1 Mine Cooke	
7.4.1.1 Introduction.....	321
7.4.1.2 Analyse structurale des failles présentes dans le secteur de la mine Cooke et détermination des axes X-Y-Z de l'ellipsoïde de déformation.....	322
7.4.1.3 Modèle.....	326
7.4.2 Mine Norbeau.....	328
7.5 Comparaison avec d'autres mines aurifères montrant des caractéristiques semblables et localisées dans des filons-couches.....	
7.5.1 Introduction.....	329
7.5.2 Mine Norbeau.....	333
7.5.3 Mine Cooke.....	336
7.6 Modèle métallogénique du filon-couche de Bourbeau	
7.6.1 Influence mécanique: compétence et anisotropie.....	337

	Page
7.6.2 Influence chimique.....	341
7.7 Guides d'explorations pour des gisements localisés dans des filons- couches semblables.....	342
7.7.1 Guides à l'échelle locale.....	342
7.7.2 Guides régionaux.....	343
7.7.3 Guides généraux.....	344
8 CONCLUSION	
8.1 Analyse structurale.....	346
8.2 Altération.....	347
8.3 Minéralogie et paragenèse.....	348
8.4 Conclusion d'ordre générale.....	349
9 RÉFÉRENCES.....	353
10 ANNEXES:	
Annexe 1	
Tableau A - Composition minéralogique primaire des roches ultramafiques du filon-couche de Bourbeau	374
Tableau B - Composition minéralogique primaire du leucogabbro du filon-couche de Bourbeau.	374
Tableau C - Composition minéralogique primaire du ferrogabbro à quartz du filon-couche de Bourbeau	374
Tableau D - Composition minéralogique primaire de la ferrodiorite à quartz du filon-couche de Bourbeau	374
Annexe 2 : Technique d'analyse à la microsonde	
Tableau 1 -Composition chimique de la hornblende métamorphique, mine Cooke, déterminée par analyses à la microsonde.	377
Tableau 2 - Composition chimique des carbonates, mine Cooke, déterminée par analyse à la microsonde.	378

Tableau 3 -Composition chimique de l'actinote métamorphique déterminée par analyses à la microsonde, mine Norbeau.	380
Tableau 4 - Composition chimique du stilpnomélane métamorphique déterminée par analyses à la microsonde, mine Norbeau.	381
Tableau 5 - Composition des carbonates, de la chlorite et de la fuchsite de certains indices aurifères déterminée par analyse à la microsonde Tiré de Dubé et Guha, 1989.	382
Tableau 6 - Composition idéalisée des minéraux utilisés pour balancer les réactions chimiques.	383
Annexe 3	
Carte de localisation des échantillons, des sections et des forages étudiés à la mine Norbeau	387
Annexe 4	
Tableau 1: Techniques d'analyses utilisées par Bondar-Clegg	389
Tableau 2: Techniques d'analyses utilisées par N.A.S. et X RAY Lab.	391
Tableau 3: Analyses du standard SY-3 de la Commission géologique du Canada par N.A.S. et X RAY Lab.	393
Tableau 4: Analyses du standard JC-84-3	394
MINE COOKE	
Tableau A-1 Analyses des éléments majeurs et des éléments traces du forage S-589	395
Tableau A-2 Analyse des éléments majeurs et des éléments traces du forage S-588	396
Tableau A-3 Analyse des éléments majeurs et des éléments traces du forage U-9399	399
Tableau A-4 Analyse des éléments majeurs et des éléments traces du forage U-15331	402
Tableau A-5 Analyse des éléments majeurs et des éléments traces d'une section de la veine 9 au niveau 5 de la mine Cooke	404

Tableau A-6	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces d'une section de la veine 7 réalisée au niveau 6 de la mine Cooke	405
Tableau A-7	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces d'une section de la veine 7 réalisée au niveau 6 de la mine Cooke	407
Tableau A-8	Analyse chimique d'un dyke porphyrique à la mine Cooke.	408

MINE NORBEAU

Tableau B-1	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces de l'étude pétrochimique réalisée à la mine Norbeau	409
Tableau B-2	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces du forage SH-8-85 à la mine Norbeau	415
Tableau B-3	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces pour le forage N 81-11 à la mine Norbeau	419
Tableau B-4	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces de la section New Vein réalisée à la mine Norbeau	422
Tableau B-5	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces de la section Sharpe à la mine Norbeau	424
Tableau B-6	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces de la veine Mann à la mine Norbeau	427
Tableau B-7	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces de la veine #1 à la mine Norbeau	428
Tableau B-8	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces de la veine découverte (extension de la veine #2) à la mine Norbeau	430

INDICES AURIFERES

Tableau C-1	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces du forage S-1003 de l'indice Chibougamau-Copper	431
Tableau C-2	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces de l'indice Bourbeau West-1	432
Tableau C-3	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces du forage BO-20 de l'indice Bourbeau West-2	433

Tableau C-4	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces de l'indice du Ruisseau Leclerc	435
Tableau C-5	Analyse des éléments majeurs et des éléments traces l'indice Springer	436

LISTE DES FIGURES

<u>FIGURE</u>		<u>PAGE</u>
1	Localisation des mines de la région de Chibougamau-Chapais.....	2
2	Schéma stratigraphique de la région de Chibougamau.....	10
3	Géologie simplifiée de la région de Chibougamau-Chapais et localisation des secteurs étudiés.....	12
4	Localisation géographique et géologique de la mine Cooke.....	15
5	Plan géologique du niveau 6 à la mine Cooke. Modifié d'après une compilation de la mine Cooke.....	19
6	Localisation géographique et géologique de la mine Norbeau.....	22
7	Géologie locale de la mine Norbeau.....	23
8	Géologie simplifiée du secteur de l'indice Chibougamau-Copper.....	27
9	Plan géologique de l'indice "Bourbeau West 1".....	28
10	Plan géologique de l'indice "Bourbeau West 2".....	29
11	Plan géologique de l'indice "Ruisseau Leclerc".....	30
12	Plan géologique de l'indice "TADD".....	31
13	Plan géologique de l'indice "Springer".....	32
14	Stratigraphie du filon-couche de Bourbeau dans les différents secteurs étudiés.....	36
15	Photomicrographie d'une intercroissance granophyrique observée dans le faciès ferrodioritique, canton Cuvier.....	40
16	Diagrammes binaires utilisant SiO_2/MgO (A) et $(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)/\text{MgO}$ (B) comme indice de différenciation montrant l'évolution chimique régionale du filon-couche de Bourbeau.....	43
17	Diagrammes AFM (A) et de Jensen (B) montrant l'évolution chimique régionale du filon-couche de Bourbeau.....	44
18	Localisation géographique et géologique du forage S-589 et position des échantillons étudiés.....	46
19	Localisation des forages U-13166 et U-13106 à la mine Cooke.....	47
20	Diagrammes binaires montrant l'évolution chimique du filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke.....	53

	Page
21 Diagramme de $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (MacDonald et Katsura, 1964) du filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke.....	55
22 Diagrammes AFM (A) et de Jensen (B) montrant l'évolution chimique du filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke.....	56
23 Diagrammes binaires montrant l'évolution pétrochimique du filon- couche de Bourbeau à la mine Norbeau.....	63
24 Diagramme de $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ (MacDonald et Katsura, 1964) du filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau.....	65
25 Diagrammes AFM (A) et de Jensen (B) montrant l'évolution chimique du filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau.....	66
26 Stéréogramme équiaire des pôles de la foliation et des fractures à l'intérieur des zones de cisaillement compilées sur les plans de la mine (A) et cartographiées aux niveaux 4 à 10 (B). Stéréogramme équiangle des caractéristiques structurales de la zone de cisaillement majeure cartographiée au niveau 8 (C).....	73
27 Modèle de propagation des zones de cisaillement dextres selon Ramsay (1980).....	75
28 Représentation schématique de la distribution des zones minéralisées et des failles aux niveaux 2, 4, 6, 8 et 10 de la mine Cooke. (Modifiée d'après les plans de niveaux de la mine).....	76
29 Photographie (A) et schéma (B) d'une zone de cisaillement cartographiée au niveau 6 (veine no 6-74-3) de la mine Cooke. Aspect théorique d'une zone de cisaillement (C) (modifié d'après Guha et al., 1983).....	77
30 Photographie (A) et schéma (B) d'une zone de cisaillement cartographiée au niveau 6 (veine no 95) de la mine Cooke.....	79
31 Stéréogramme équiaire des stries et des linéations associées aux zones de cisaillement cartographiées à la mine Cooke.....	80
32 Stéréogrammes équiaires illustrant une compilations des plans de failles cartographiés (A) et les principaux plans de failles compilés sur les	

	page
plans de la mine (B).....	83
33 A) Photographie d'une faille cassante typique. Mine Cooke, veine 7-74-3. B) Photographie d'une faille cassante typique. Mine Cooke, veine 6-74-3. C) Photomicrographie illustrant la texture ultramylonite caractérisant la zone de gouge définissant le plan de faille cassant de la figure B.....	85
34 A- Photographie de la faille Chibougamau-Copper telle qu'observée au 10 ^e niveau de la mine Cooke B- Agrandissement de la figure 34 A montrant clairement le plan de faille et l'intense déformation présente dans le filon-couche de Bourbeau	88
35 A) Photographie illustrant la déformation ductile-cassante associée à la zone de faille du Lac Gwillim. B) Photographie montrant le plan de faille principal cartographié dans la zone de faille du Lac Gwillim. Vue vers le sud. C) Photographie illustrant la zone schisteuse injectée de veinules de quartz- calcite et associée au plan de faille principale cartographié dans la zone de faille du lac Gwillim	91
36 Stéréogrammes des pôles des plans S_0 (A), S_2 schistosité (B) et S_2 cisaillement (C) à la mine Norbeau.....	96
37 Géologie locale de la mine Norbeau.....	98
38 A) Vue d'ensemble d'une partie de la veine de quartz New Vein. Regard vers l'est. B) Stries observées sur le mur de la veine Sharpe. C) Sties observées sur le mur de la veine New Vein. D) Veines sub-horizontales plissées observées dans le secteur de la veine Sharpe.....	103
39 Stéréogrammes des pôles des plans de la schistosité dominante à la veine New Vein (A) et à la veine Sharpe (B).....	104
40 Section de sondage à la veine Sharpe montrant la relation angulaire entre la schistosité et la zone de cisaillement.....	105
41 Stéréogrammes des pôles des plans de la deuxième "schistosité" à la veine	

	page
New Vein (A) et à la veine Sharpe (B).....	106
42 Stéréogrammes des linéations mesurées à la veine New Vein (A) et à la veine Sharpe (B).....	108
43 Stéréogramme équiaire montrant la distribution des veines de quartz sub-horizontales cartographiées aux veines New Vein et Sharpe.....	109
44 Bloc diagramme illustrant les relations structurales observées à l'intérieur des zones de cisaillement à la mine Norbeau.....	110
45 Stéréogramme équiaire présentant les données structurales caractérisant la veine no 5.....	112
46 Photographie (A) et schéma (B) d'une vue en coupe de la veine #5.....	113
47 Vue en plan (a et b) et en coupe (C) des veines #1 et #4 à la mine Norbeau (selon Prochnau, 1971).....	115
48 Stéréogrammes équiaires montrant les principaux éléments structuraux caractérisant la portion de la veine no 1 cartographiée (A) et la distribution des linéations et stries mesurées et compilées à partir des plans de la mine Norbeau (B).....	117
49 Photographies (a et b) des failles cassantes nord-ouest dextres observées dans les sédiments de la Formation de Blondeau.....	120
50 Stéréogrammes des pôles des plans de clivage S_3 (A) et des failles et cisaillements mineurs S_3 (B).....	121
51 A) Méthode d'Arthaud (1969) présentant le pôle des différents plans de mouvement M (axe B) des foliations, contenant des linéations et associées aux zones de cisaillement catographiées à la mine Cooke. B) Méthode d'Angelier appliquée aux zones de cisaillement de la mine Cooke (voir texte). StéréOgrammes équiaires.....	127
52 Stéréogramme équiangle montrant l'intersection dans le cadran sud-est des plans représentant l'orientation moyenne des veines de quartz aurifère à la mine Norbeau. Localisation du champ de distribution des linéations et des stries mesurées et compilées en comparaison avec la position théorique, telle que définie, selon la méthode d'Anderson (1951), par	

	page
l'intersection des orientations moyennes des veines de quartz.....	130
53 Résultats de la méthode d'Arthaud appliquée aux différentes zones de cisaillement de la mine Norbeau. Diagramme équiaire.....	131
54 Résultats de l'application de la méthode d'Angelier sur les zones minéralisées de la mine Norbeau.....	132
55 Résultats de l'application de la méthode de Wallace sur les zones minéralisées de la mine Norbeau.....	134
56 Stéréogrammes équiaires présentant les principales caractéristiques structurales des indices aurifères cartographiés.....	137
57 Représentation du concept de déformation à l'intérieur d'une unité compétente en comparaison avec l'ellipsoïde de déformation situé à l'extérieur de cette unité.....	141
58 Photographie montrant un exemple typique de veine de quartz-chalcopyrite aurifère à la mine Cooke.....	145
59 A) Feldspaths potassiques (Fk) localisés au contact entre la veine de sulfure et l'encaissant gabbroïque. B) Cristaux d'axinite (Ax) localisés au contact entre la veine minéralisée et l'encaissant gabbroïque. C) Grain de quartz cataclasé entouré d'une deuxième génération de quartz néominéralisé, limpide, auquel s'associe la présence de chalcopyrite (Cp). D) Grain d'axinite (Ax) rempli et remplacé par la chalcopyrite (Cp).....	149
60 A) Cristal de feldspath potassique (Fk) partiellement remplacé par de l'axinite (Ax). Le feldspath potassique et l'axinite sont entourés et partiellement remplacés par de la chalcopyrite (Cp). B) Cristal de feldspath potassique (Fk) fracturé et rempli de fines inclusions d'hématite. C) Cristaux et agrégats de feldspath potassique (Fk) entourés et partiellement remplacés par de la chalcopyrite. D) Grains de feldspath potassique (Fk) hématisés entourés de quartz limpide, le tout remplacé par de la chalcopyrite.....	152

61	A) Photomicrographie d'une veine de quartz cataclasée montrant la fracturation du quartz (Qz) et la présence de chalcopryrite (Cp) en remplissage de fractures. B) Photomicrographie montrant un grain de pyrite (Py) cataclasé, fragmenté et sub-arrondi baignant dans une matrice de chalcopryrite (Cp). C) Photomicrographie montrant l'intense déformation subie par les grains de pyrite (Py), baignant dans une matrice de chalcopryrite (Cp). D) Photomicrographie illustrant la rotation d'un grain sub-arrondi d'arsénopyrite localisée dans une matrice de pyrrhotite (Po) contenant également des grains de chlorite (Cl) et d'axinite (Ax) qui soulignent la foliation.....	157
62	A) Photomicrographie montrant des plages d'or dans la chalcopryrite en remplissage de fractures dans l'arsénopyrite et en remplissage de fractures dans l'arsénopyrite B) Photomicrographie montrant des plages d'or (Au) au contact entre la gangue et l'arsénopyrite (Asp). C) Photomicrographie montrant des plages d'or en inclusion dans la chalcopryrite.....	162
63	A) Photomicrographie montrant de la pyrite (Py) intimement associée à du leucoxène (Le) (veine Sharpe). B) Photomicrographie montrant la présence de pyrite au contact entre l'encaissante et la veine, suivie de la formation d'arsénopyrite et de quartz.	167
64	A) Photomicrographie illustrant la présence d'or (Au) en inclusion dans la pyrite (Py). B) Photomicrographie montrant la présence d'or (Au) au contact quartz (Qz) et arsénopyrite (Asp). Veine New Vein. C) Photomicrographie montrant la présence d'or (Au) en remplissage de fracture dans du quartz (Qz). Veine Mann.....	169
65	A) Photomicrographie montrant la présence d'or (Au) au contact entre la pyrite (Py) et la chalcopryrite (Cp) qui est elle-même en inclusion dans	

	page
la pyrite (Veine Sharpe).	
B) Photomicrographie montrant la présence d'or (Au) dans du leucoxène (Le) (veine #1)	173
66 Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans le forage S-588.....	180
67 Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans le forage U-9399.....	181
68 Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans le forage U-9389.....	182
69 Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans le forage U-15331.....	183
70 A) Photomicrographie montrant un cristal de plagioclase fortement séricitisé (Se) entouré de chlorite (Cl) B) Photomicrographie d'un cristal de plagioclase séricitisé (Se) qui a ultérieurement été chloritisé (Cl) . C) Photomicrographie illustrant la chloritisation (Cl) massive subie par le gabbro. À noter également la présence de grains de leucoxène-rutile (Le).....	189
71 Diagramme de Hey (1967) montrant la composition chimique différente des chlorites en fonction du faciès d'altération. Mine Cooke.....	191
72 A) Photographie illustrant la présence de veines de tension remplies d'axinite. Mine Cooke, niveau 9, veine 95 B) Photographie illustrant la présence d'axinite sous forme de brèche hydrothermale. Mine Cooke, veine 6-74-3 C) Photographie illustrant la présence de veinules d'axinite (Ax) associées à une faille cassante.....	197
73 A) Cristaux d'axinite (Ax) attachés aux bordures d'une veine de sulfures (S) et accolés à l'encaissant chloritisé (Cl), mine Cooke. B) Cristaux d'axinite (Ax) situés dans la veine de chalcopryrite (Cp). C) Cristal d'axinite (Ax) partiellement remplacée par la chalcopryrite (Cp).	

	À noter l'abondance d'inclusions de chalcopryrite.	page
	D) Grains d'axinite (Ax) fortement déformés et remplacés par les sulfures (S).....	199
74	Diagramme de classification de l'axinite selon d'Ozaki (1972) en fonction de son mode d'occurrence. Ce diagramme montre qu'il n'y a pratiquement pas de variation de composition entre les axinites.....	201
75	Lithogéochimie qualitative du forage S-588 à la mine Cooke.....	204
76	Lithogéochimie qualitative du forage U-9399 à la mine Cooke.....	205
77	Profil lithogéochimique quantitatif du forage S-588 à la mine Cooke.....	210
78	Profil lithogéochimique quantitatif du forage U-9399 à la mine Cooke.....	214
79	Diagrammes du cuivre (A) et de l'arsenic (B) en fonction de l'or à la mine Cooke.....	220
80	Diagrammes du soufre (A) et de l'argent (B) en fonction de l'or à la mine Cooke.....	221
81	Diagramme du CO ₂ en fonction de l'or à la mine Cooke.....	222
82	Diagramme des éléments traces Zr/Y (A) et La/Yb (B) pour le forage N 81-11 à la mine Norbeau.....	230
83	Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans le forage N 81-11 de la veine New Vein à la mine Norbeau.....	231
84	Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans la section de la veine New Vein à la mine Norbeau.....	232
85	Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans le forage SH 8-85 de la veine Sharpe à la mine Norbeau.....	233
86	Diagramme des éléments traces Zr/Y (A) et La/Yb (B) pour le forage SH 8-85 à la mine Norbeau.....	234
87	Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans la section de la veine Sharpe à la mine Norbeau.....	235
88	Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans la section de la veine #1 à la mine Norbeau.....	236

	page
89 Diagramme de Hey (1967) montrant la composition chimique différente des chlorites en fonction du faciès d'altération. Mine Norbeau	239
90 A) Exemple de mylonite observée dans la zone de cisaillement. B) Exemple de déformation et de foliation caractérisant la zone à chlorite-calcite. C) Cristal de plagioclase (P) intensément remplacé par la séricite (Se) et l'ankérite (Ank). D) Cristaux de pyrite (Py) accolés à des grains de leucoxène (Le).....	243
91 Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans la section de la veine Mann à la mine Norbeau.....	254
92 Lithogéochimie qualitative utilisant le rapport K_2O/Na_2O	256
93 Lithogéochimie qualitative utilisant le rapport $SiO_2/(CO_2 + H_2O^+ + S)$..	257
94 Lithogéochimie qualitative As (ppm) vs Au (ppb).....	258
95 Lithogéochimie qualitative Cu (ppm) vs Au (ppb).....	259
96 Profil lithogéochimique quantitative du forage N 81-11.....	262
97 Profil lithogéochimique quantitative de la section New Vein.....	266
98 Profil lithogéochimique quantitative de la section Sharpe.....	269
99 Profil lithogéochimique quantitative du forage N 87-2.....	272
100 Diagrammes de l'arsenic (A) et du soufre (B) en fonction de l'or.....	276
101 Diagrammes du cuivre (A) et de l'argent (B) en fonction de l'or.....	277
102 Diagramme de l'or (ppb) en fonction du CO_2 à la mine Norbeau.....	278
103 Diagramme calculé de l'activité de l'oxygène vs l'activité du soufre pour le système Au-Fe-As- NaCl-S-H ₂ O à 250°C montrant la stabilité relative de l'arsénopyrite et leur relation avec la solubilité de l'or. Le champ de stabilité de l'arsénopyrite est superposé sur le diagramme de la figure 103 (tiré de Romberger, 1986).....	311
104 Diagramme calculé de l'activité de l'oxygène et du soufre pour le système Au-Fe-NaCl-S-H ₂ O à une température de 250° et un pH de 5, montrant la	

	Page
solubilité relative des minéraux contenant du fer et la solubilité de l'or. Tiré de Romberger (1986).....	313
105 A) Stéréogramme équiaire des principaux plans de faille locaux cartographiés, et orientation moyenne de la faille Chibougamau-Copper et de la faille du lac Gwillim. Les cercles noirs représentent l'orientation des stries sur ces plans de faille. B-Pôle des plans de mouvement associés aux plans de faille cartographiés à la mine Cooke selon la méthode d'Arthaud (1969). Stéréogramme équiaire. C-Localisation des contraintes associée à la formation des failles de la mine Cooke selon la méthode d'Angelier (Angelier et Mechler, 1977). Stéréogramme équiaire.....	323
106 Modèle structural expliquant la relation spatiale et génétique qui existe entre les grandes structures nord-est et la minéralisation dans la région de Chapais-Chibougamau.....	327
107 Comparaison lithogéochimique entre le le Golden Mile Dolerite sill (Travis et al., 1971, Clark, 1980) et le filon-couche de Bourbeau. A) Diagramme AFM, B) Diagramme de Jensen (1976).....	332

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau</u>	<u>Page</u>
1 Production minière du district de Chibougamau.....	3
2 Tableau comparatif des principales caractéristiques des indices aurifères. Tiré de Dubé et Guha, 1989	34
3 Variation d'assemblage minéralogique en fonction des faciès pétrologiques observés dans le forage S-589 à la mine Cooke.....	49
4 Composition chimique moyenne des différents faciès pétrologiques observés dans le filon-couche de Bourbeau, mine Cooke.....	52
5 Variation d'assemblage minéralogique en fonction des faciès pétrologiques observés à la mine Norbeau.....	58
6 Composition chimique moyenne des différents faciès pétrologiques observés dans le filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau.....	62
7 Comparaison entre la composition chimique moyenne des faciès pétrologiques du filon-couche de Bourbeau observés à l'échelle régionale et à la mine Cooke.....	68
8 Composition moyenne des feldspaths potassiques associés à la minéralisation aurifère à la mine Cooke. Déterminée par analyse à la microsonde.....	154
9 Composition chimique moyenne de l'or à la mine Cooke telle que déterminée par analyse quantitative à la microsonde	160
10 Composition chimique moyenne de l'or à la mine Norbeau telle que déterminée par analyse quantitative à la microsonde	171
11 Composition chimique de la séricite telle que déterminée par analyse à la microsonde. Mine Cooke.....	185
12 Variation d'assemblages minéralogique en fonction des faciès d'altération observés à la mine Cooke. La largeur du trait représente l'abondance relative.....	187
13 Composition chimique moyenne de la chlorite de la mine Cooke en fonction du faciès d'altération déterminée par analyse à la microsonde.....	190

	page
14 Composition chimique moyenne de l'axinite en fonction de son mode d'occurrence à la mine Cooke. Déterminée par analyse à la microsonde.	194
15 Composition chimique moyenne de la chlorite de la mine Norbeau en fonction du faciès d'altération déterminée par analyse à la microsonde.....	238
16 Variation d'assemblages minéralogique en fonction des faciès d'altération observés à la mine Norbeau. La largeur du trait représente l'abondance relative.....	244
17 Composition chimique moyenne des carbonates de la mine Norbeau en fonction du faciès d'altération déterminée par analyse à la microsonde.....	246
18 Composition chimique moyenne de la séricite dans la zone de séricite/ carbonates/ chlorite de la mine Norbeau telle que déterminée par analyse à la microsonde.....	248
19 Composition chimique moyenne de la séricite dans la zone de séricite/ carbonates/ pyrite de la mine Norbeau telle que déterminée par analyse à la microsonde.....	250
20 Analyse sommaire des éléments majeurs et des éléments traces de l'indice Chibougamau-Copper.....	286
21 Analyse sommaire des éléments majeurs et des éléments traces de l'indice Bourbeau West-1.....	287
22 Analyse sommaire des éléments majeurs et des éléments traces de l'indice Bourbeau West-2.....	288
23 Analyse sommaire des éléments majeurs et des éléments traces de l'indice du ruisseau Leclerc.....	289
24 Analyse sommaire des éléments majeurs et des éléments traces de l'indice Tadd.....	290
25 Analyse sommaire des éléments majeurs et des éléments traces de l'indice Springer.....	291
26 Résumé des principales caractéristiques géologiques des mines	

		page
	et indices étudiés. Tiré de Dubé et Guha, 1989	317
27	Comparaison stratigraphique entre le Golden Mile Dolerite Sill (Travis et al., 1971, Clark, 1980) et le filon-couche de Bourbeau.....	331

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1-INTRODUCTION

Les minéralisations aurifères filonniennes mises en place dans des filons-couches mafiques-ultramafiques différenciés présentent des traits communs et sont légèrement distincts des types classiques de minéralisations aurifères. Elles sont communes à travers le monde et parmi les exemples les plus importants notons les gisements aurifères situés dans le Golden Mile Dolerite Sill de Kalgoorlie en Australie (Phillips, 1986) et la mine de San Antonio dans l'Ouest canadien (Poulsen et al., 1986; Ames, 1988). Ces minéralisations aurifères sont fréquemment confinées à l'intérieur du filon-couche ou y sont tout au moins beaucoup plus importantes que dans les unités stratigraphiques environnantes. De plus, les patrons de fracturation et le réseau de veines de quartz sont souvent mieux développés et fréquemment beaucoup plus complexes dans cette unité stratigraphique qu'ils ne le sont à l'extérieur de celle-ci. La minéralisation se situe dans des systèmes "anastomosés" caractérisés par plusieurs orientations différentes de veines de quartz ou de "lodes". Dans le cadre de notre étude métallogénique du filon-couche de Bourbeau nous avons donc cherché à comprendre l'influence et les contrôles possibles que celui-ci exerce sur la minéralisation. Nous croyons qu'il s'agit là d'un problème particulier qui demeure *relativement peu considéré*.

Dans cette optique, le filon-couche de Bourbeau situé dans la région de Chibougamau, représente un site privilégié. D'abord parce que ce filon-couche différencié, de composition mafique à intermédiaire, s'étend sur plus d'une centaine de kilomètres de longueur (figure 1) et il est l'hôte de deux des quatre mines d'or, au sens strict, connues jusqu'à présent dans cette région, soit les mines Cooke et Norbeau (figure 1 et tableau 1). De plus, ces deux mines aurifères présentent des caractéristiques différentes nous permettant possiblement de mieux évaluer le contrôle exercé par le filon-couche. L'une des deux mines, soit la mine Norbeau, présente également des caractéristiques typiques de celles caractérisant ce type de gisement, soit un réseau de veines très complexes situé dans la partie supérieure du filon-couche. Enfin,

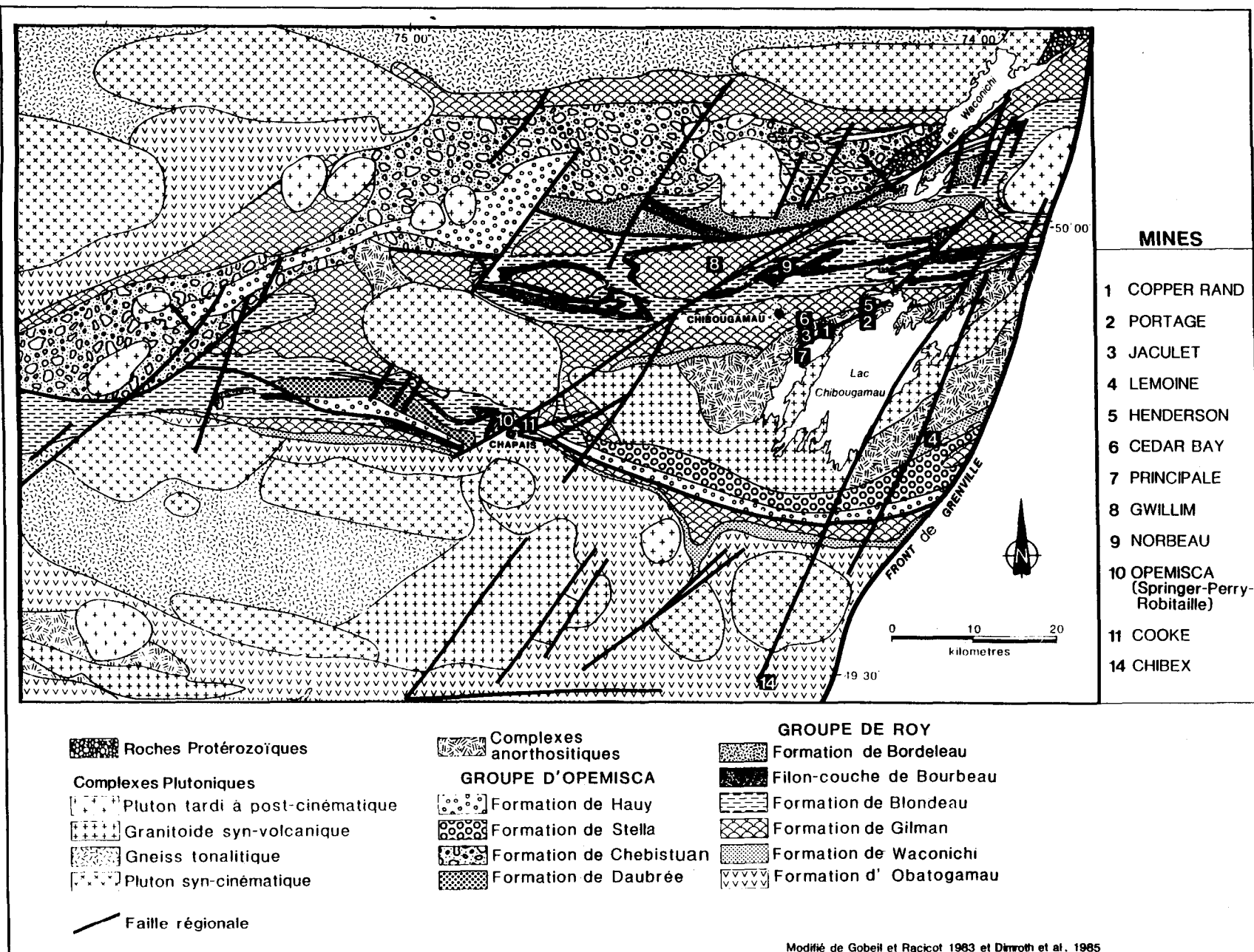


FIGURE 1: Localisation des mines de la région de Chibougamau-Chapais.

TABLEAU I: PRODUCTION MINIÈRE DU DISTRICT DE CHIBOUCANAU

NOM	ANNÉE DE PRODUCTION	PRODUCTION 000 TONNES	TENEURS MÉTAUX PRODUITS				RÉSERVES (tonnes)	TYPE DE MINÉRALISATION	ROCHE NOTE
			Cu %	Zn %	Au (g/t)	Ag (g/t)			
<u>Mines Northgate Patino</u>									
1. Copper Rand *	1960-	11,381	1.89	-	2.39	7.50	5 014 803 ⁽¹⁾	Filonien	Complexe du Lac Doré
2. Portage *	1960-	3,751	1.85	-					
3. Jaculet	1960-71 1974-77	1,091	1.84	-	1.44	6.85	114 000	Filonien	Complexe du Lac Doré
4. Lemoine	1975-83	757	4.18	9.52	-	-	0	Volcanogène	Formation de Waconichi
<u>Ressources Camchib Inc.</u>									
5. Henderson II * Henderson I *	1962- 1959-71	8,149	1.80	-	1.58	-	193 644 ⁽²⁾	Filonien	Complexe du Lac Doré
6. Cedar Bay *	1957-	3,643	1.67*	-	3.16	-	183 214 ⁽²⁾	Filonien	Complexe du Lac Doré
7. Principale	1955-75 1979-81	4,841	1.82	-	1.15	-	0	Filonien	Complexe du Lac Doré
8. Gwillim	1980-83	228	-	-	4.81	5.08	N.D.	Filonien	Formation de Gilman
<u>Norbeau Mines Ltd</u>									
10. Norbeau	1964-69	419	-	-	13.16	1.64	110 000 A 750 000 B	Filonien	Filon-couche de Bourbeau

TABLEAU 1: PRODUCTION MINIÈRE DU DISTRICT DE CHIBOUGAMAU
(suite)

NOM	ANNÉE DE PRODUCTION	PRODUCTION 000 TONNES	TENEURS MÉTAUX PRODUITS				RÉSERVES (tonnes)	TYPE DE MINÉRALISATION	ROCHE HÔTE
			Cu %	Zn %	Au (g/t)	Ag (g/t)			
<u>Corporation Falconbridge Copper</u>									
11. A) Springer *	1954-	11,963	2.61	-	1.09	-	462 098 ⁽¹⁾	Filonien	Filon-couche de Ventures
B) Perry	1966-83	8,556	2.21	-	0.07	-	909 000	Filonien	Filon-couche de Ventures
C) Robitaille	1969-72	188	2.04	-	0.53	11.21	0	Filonien	Filon-couche de Ventures
12. Cooke *	1976-	1,738	0.68	-	5.25	10.00	209 425 ⁽¹⁾	Filonien	Filon-couche de Ventures
13. Lac Short *	1984-	770	-	-	5.46	-	1 841 200 ⁽¹⁾	Filonien	Volcaniques mafiques de Groupe de Roy et pluton syénitique
<u>Mines d'or du Lac Bachelor</u>									
14. Lac Bachelor *	1982-	648	-	-	5.22	-	569 000 ⁽¹⁾	Filonien	Basaltes et pyroclastites felsiques du Groupe de Roy et pluton O'Brien
<u>Ressources du Lac Meston</u>									
15. Chibex (Joe Mann)	1956-60 1974-75	762	0.48	-	6.86	4.87	800 000 ^B	Filonien	Formation d'Obatogamau

Références: DV-85-08 et Gobeil et Racicot (1983, 1984)
* Statistiques du Bureau de Chibougamau (05-02-87)
A - Malouf (1984)
B - Whitcway (1986)
C - Finance 02-02-87

(1) Réserve en date du 01-01-86
(2) Réserve en date du 01-04-86
N.D. Non-disponible

Allard (1982) a proposé, d'après la similitude entre les faciès lithologiques, qu'il existait beaucoup d'analogies entre le filon-couche de Bourbeau et le Golden Mile Dolerite Sill de Kalgoorlie en Australie.

Avant que ne débute nos travaux, les connaissances acquises sur le filon-couche de Bourbeau (Duquette, 1970) provenaient principalement des travaux de cartographie et de stratigraphie réalisés par Duquette (1970, 1976, 1982), Gobeil (1973), Avramtchev (1975) et Boudreault (1977), des travaux de compilation de Allard (1976), Allard et al. (1979) et Gobeil et Racicot (1983), et des travaux à caractère pétrologique et pétrochimique de Poitras (1984) et Dubé (1985). Le groupe de recherche en Archéen du Centre d'Études sur les Ressources Minérales de l'U.Q.A.C. a entrepris des travaux ponctuels qui touchent à la fois à la lithogéochimie et à la gîtologie (Bélanger, 1979; Bélanger et al., 1984; Buchanan, 1983; Crugnola, 1984; Pilote et al., 1984; Dubé, 1985 et Dubé et al., 1987). Au point de vue gîtologique, la mine Cooke a été sommairement décrite par Watkins et Riverin (1982), par Coulombe (1984) et par Boisvert et Drouin (1985), tandis que la mine Norbeau a été étudiée par Prochnau (1971). Toutefois, l'étude de ce dernier auteur ne couvrait pas les veines aurifères est-ouest qui présentent une excellente qualité d'affleurement et une précieuse source d'information.

Les mines Cooke et Norbeau (Dubé et Guha, 1986a, 1986b, 1989) sont du type filonien; toutefois elles présentent des différences gîtologiques notables, en particulier au niveau de la nature et de l'intensité de l'altération hydrothermale et des assemblages métalliques associés à la minéralisation. On note en effet, une grande abondance de chalcopryrite ($\leq 80\%$) à la mine Cooke tandis que les phases sulfurées sont presque absentes à la mine Norbeau ($\leq 5\%$ de pyrite et arsénopyrite). La mine Cooke présente donc beaucoup d'affinités, étant donné le contenu élevé en cuivre présent dans les veines, avec les mines de cuivre-or caractérisant la région de Chibougamau, tandis que la mine Norbeau possède des caractéristiques typiques aux mines d'or du type filonien ("lode gold") (Roberts, 1987). Il s'avère donc intéressant de pouvoir comparer ces caractéristiques dans un même contexte stratigraphique.

Quelques indices aurifères sont également connus dans le filon-couche de Bourbeau (Dubé et Guha, 1987 et 1989). Ces indices possèdent des structures et des altérations hydrothermales

relativement similaires à celles observées dans les mines. Toutefois, aucun d'entre eux ne contient, à cette date, de zone minéralisée comparable à celles trouvées dans les mines Norbeau et Cooke. Ainsi, la seule présence de structures et d'altérations hydrothermales dans le filon-couche de Bourbeau n'indique pas nécessairement la présence de minéralisation aurifère exploitable économiquement. Il s'avérerait donc très intéressant de mieux comprendre les facteurs ponctuels contrôlant la mise en place de la minéralisation aurifère et de tenter d'expliquer les différences gîtologiques entre ces deux mines. Cette démarche constituerait également une contribution à la compréhension de la genèse des gisements du type "lode-gold".

1.2- OBJECTIFS

Ces travaux s'intègrent dans une étude globale de la métallogénie de la région de Chibougamau dirigée par Jayanta Guha de l'Université du Québec à Chicoutimi. Notre contribution personnelle réside dans la métallogénie aurifère spécifique au filon-couche de Bourbeau.

L'objectif global de ce projet vise à déterminer le mode de mise en place de la minéralisation aurifère dans le filon-couche de Bourbeau et à préciser les mécanismes ponctuels nécessaires à la formation de gisements du type "lode-gold". Au point de vue plus local, il vise à définir la chronologie de mise en place de la minéralisation chez les mines Cooke et Norbeau.

Les objectifs plus spécifiques visés dans le cadre de ce projet sont :

- Définition du **rôle joué par le filon-couche de Bourbeau** dans le processus de mise en place de la minéralisation et ce tant au niveau mécanique que chimique.
- Mise en évidence des **différences gîtologiques** qui existent entre la mine Cooke et la mine Norbeau.
- Définition de la **relation structurale et génétique** existant entre la mine Cooke et la faille du lac Gwillim.
- Formulation de certains **guides d'exploration** à l'échelle locale et régionale.

1.3- MÉTHODOLOGIE

Dans le cadre de ce travail trois approches méthodologiques distinctes mais complémentaires ont été utilisées :

1.3.1- Caractérisation pétrologique, pétrographique et pétrochimique du filon-couche de Bourbeau dans des secteurs non minéralisés.

1.3.2- Caractérisation des minéralisations aurifères trouvées dans le filon-couche de Bourbeau grâce à l'étude des mines Cooke et Norbeau de même que de certains autres indices aurifères connus.

1.3.3- Modélisation de la mise en place de la minéralisation aurifère dans le filon-couche de Bourbeau et formulation de guides d'exploration.

Les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse se sont échelonnés sur une période de quatre ans de juin 1985 à mai 1989. Les travaux des deux premières années ont été totalement financés par le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (M.E.R.) dans le cadre d'un contrat entre le M.E.R. et l'U.Q.A.C. Dans le cadre de ce contrat quatre rapports ont été publiés. Il s'agit d'abord d'un rapport préliminaire (Dubé et Guha, 1986a) traitant de la stratigraphie régionale du filon-couche de Bourbeau, qui comprend également un levé détaillé de la mine Cooke et le résultat de travaux préliminaires à la mine Norbeau. Le second est un rapport d'étape traitant particulièrement de l'étude régionale du filon-couche de Bourbeau et de la gîtologie de la mine Cooke (Dubé et Guha, 1986b). Le troisième est un rapport préliminaire décrivant succinctement les différents indices aurifères avoens étudiés à l'été 1986 (Dubé et Guha, 1987). Finalement, le rapport MM 88-03 (Dubé et Guha, 1989) est une synthèse finale englobant l'ensemble des travaux dans le cadre du projet Bourbeau.

Nous présentons maintenant une brève description de la structure que nous avons choisi d'utiliser dans cette thèse, afin d'atteindre les objectifs fixés au chapitre 1. Ainsi, le chapitre 2 vise à préciser le contexte géologique régional de ce travail. Nous y avons inséré une description sommaire des caractéristiques géologiques des mines Cooke et Norbeau et des indices aurifères de façon à bien situer le lecteur dès le départ. Au chapitre 3, nous présentons une étude

péetrographique et pétrochimique détaillée du filon-couche de Bourbeau de façon à définir ces caractéristiques primaires dans des secteurs éloignés des zones minéralisées et également à proximité de ces zones (mines Cooke et Norbeau). Cette démarche nous permettra d'avoir un meilleur contrôle sur les caractéristiques primaires des roches étudiées. Dans les chapitres 4, 5 et 6 nous avons choisi de présenter parallèlement l'analyse structurale, la minéralogie et la paragenèse des veines ainsi que l'altération hydrothermal des mines Cooke et Norbeau et, lorsque approprié, des indices aurifères. Nous croyons que cette démarche permettra de mettre en évidence plus facilement les similitudes et divergences de même que l'influence de chacun des thèmes traités sur la mise en place de la minéralisation. Dans chacun de ces chapitres nous présentons un sommaire de chacun des sites étudiées et une comparaison entre eux da façon à synthétiser l'information. Au chapitre 7, nous présentons une synthèse du mode de mise en place de la minéralisation aurifère dans le filon-couche de Bourbeau et des discussions visant, entre autres, à évaluer le rôle mécanique et chimique possiblement joué par le filon-couche de Bourbeau et à formuler des guides d'exploration. Finalement, au chapitre 8 nous présentons une conclusion à ce travail.

CHAPITRE II

CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

2.1- Introduction

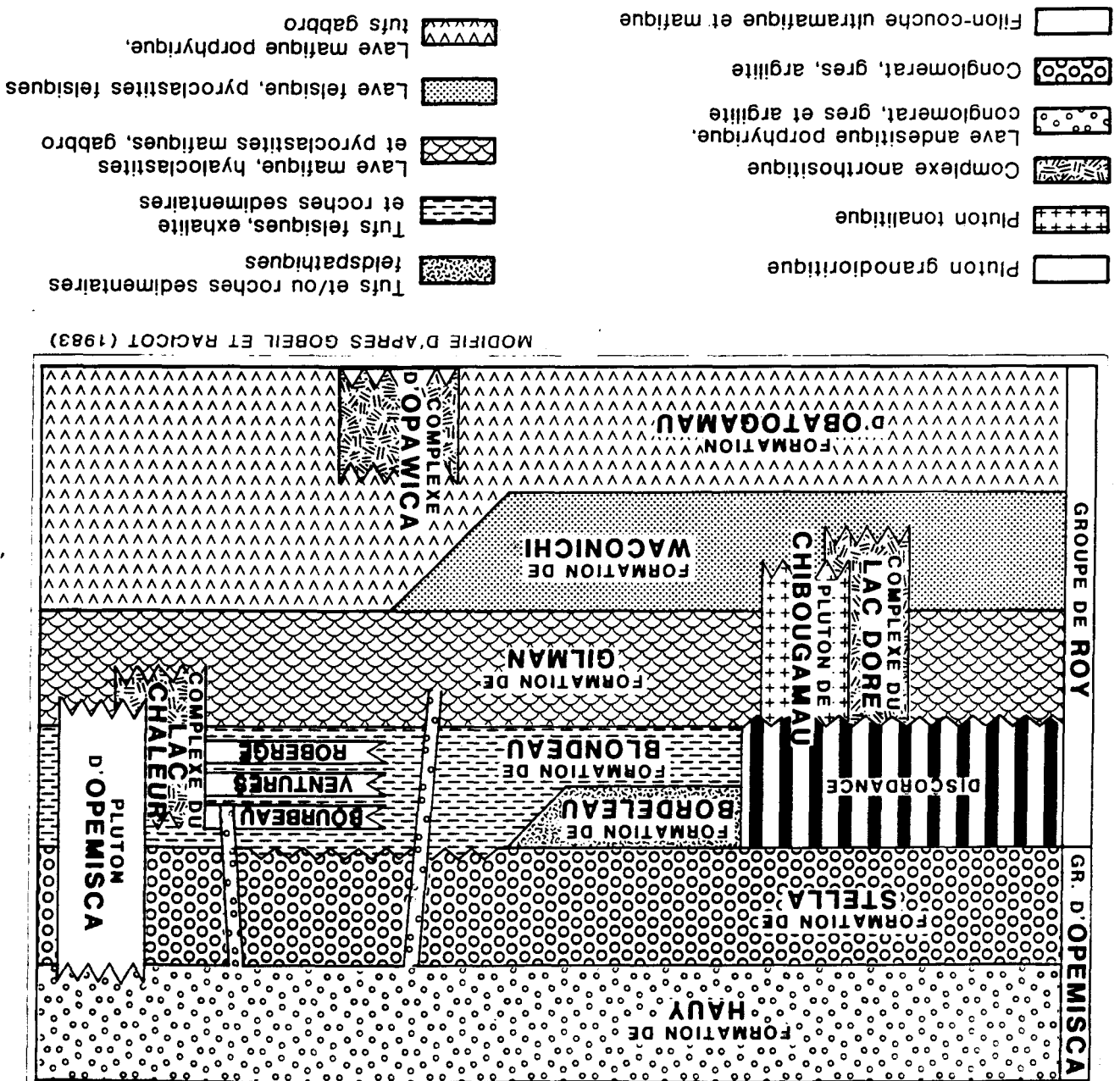
Le cadre de cette étude se situe dans la région de Chibougamau-Chapais à quelque 600 km au nord de Montréal. La région de Chibougamau-Chapais fait partie de la province du Supérieur (Stockwell, 1964) dont elle forme l'extrémité orientale. Elle comprend également une partie de la sous-province de Mistassini. Le front de Grenville constitue la limite orientale de la région. À une plus grande échelle, la région de Chibougamau fait partie de la ceinture de roches vertes de Matagami-Chibougamau (Allard et al., 1985). Elle représente selon Dimroth et al., (1985) la zone interne de la ceinture orogénique archéenne de l'Abitibi.

2.2- Lithostratigraphie

L'ensemble des unités lithologiques de la région de Chibougamau-Chapais est d'âge Archéen et Protérozoïque. Les roches archéennes sont constituées d'un socle de gneiss tonalitique (Dimroth et al., 1985) sur lequel reposent des sillons de roches volcaniques et sédimentaires d'orientation dominante est-ouest. Affectées par l'orogénie Kénorienne, ces roches volcano-sédimentaires sont, dans l'ensemble, métamorphisées au faciès schiste vert et elles présentent un pendage sub-vertical. Les unités lithologiques d'âge Protérozoïque se composent de roches sédimentaires d'âge Aphébien, composant la sous-province de Mistassini ou représentant des lambeaux de dimension restreinte préservés tectoniquement dans les empilements de roches précambriennes, et de dykes de diabase.

La stratigraphie de la région de Chibougamau-Chapais (Duquette, 1970; Gobeil et Racicot, 1983; Allard et al., 1985) peut se résumer (figure 2) à deux grandes unités lithostratigraphiques : un empilement de roches volcaniques (Groupe de Roy) sur lequel repose en discordance une séquence de roches volcano-sédimentaires (Groupe d'Opémisca). Le Groupe de Roy est composé de deux cycles volcaniques constitués chacun d'un membre mafique et d'un

FIGURE 2 : Schéma stratigraphique de la région de Chibougamau.



membre felsique. Les formations d'Obatogamau (membre mafique) et de Waconichi (membre felsique) forment le premier cycle tandis que les formations de Gilman (membre mafique) et de Blondeau (membre felsique) constituent le deuxième cycle. Le Groupe d'Opémisca est constitué, à la base, de sédiments de la Formation de Stella (conglomérats et argilites), surmontés d'une alternance de sédiments et d'andésites porphyriques potassiques (Allard *et al.*, 1985).

2.3- Roches intrusives

De nombreuses masses intrusives se sont mises en place dans les unités lithostratigraphiques de la région de Chibouganau-Chapais. Il s'agit notamment du Complexe du Lac Doré (Allard, 1976), une intrusion stratiforme, d'un complexe mafique-ultramafique (Complexe de Cummings, Duquette, 1976) constitué de trois filons-couches (Roberge, Ventures et Bourbeau) mis en place dans la Formation de Blondeau (Groupe de Roy)(figure 2), et de nombreuses intrusions granitiques pré-tectoniques (pluton de Chibougamau) à post-tectoniques (pluton d'Opémisca) (Duquette, 1970; Gobeil et Racicot, 1983).

Les travaux que nous avons réalisés dans le cadre de ce projet concernent uniquement les roches du filon-couche de Bourbeau (figure 3). Le filon-couche de Bourbeau (Duquette, 1970) est localisé au sommet du Complexe de Cummings. Ce dernier est actuellement reconnu sur une étendue d'au moins 100 kilomètres, du front de Grenville jusqu'au canton de Dolomieu (Gobeil et Racicot, 1983). L'épaisseur moyenne de chacun des filons-couches du Complexe de Cummings est de l'ordre de 400 mètres, avec un maximum de 1000 m (Allard et Gobeil, 1984).

La stratigraphie interne régionale du filon-couche de Bourbeau a récemment été résumée par Allard et Gobeil (1984) à partir de leurs travaux et de ceux de Duquette (1976), Boudreault (1977) et Poitras (1984). Le filon-couche est constitué, de la base au sommet, d'une zone de trempe de composition gabbroïque, d'une unité de pyroxénite-péridotite, d'une unité de leucogabbro, d'une unité de ferrodiorite à quartz et finalement, au sommet, d'une unité de granophyre sodique.

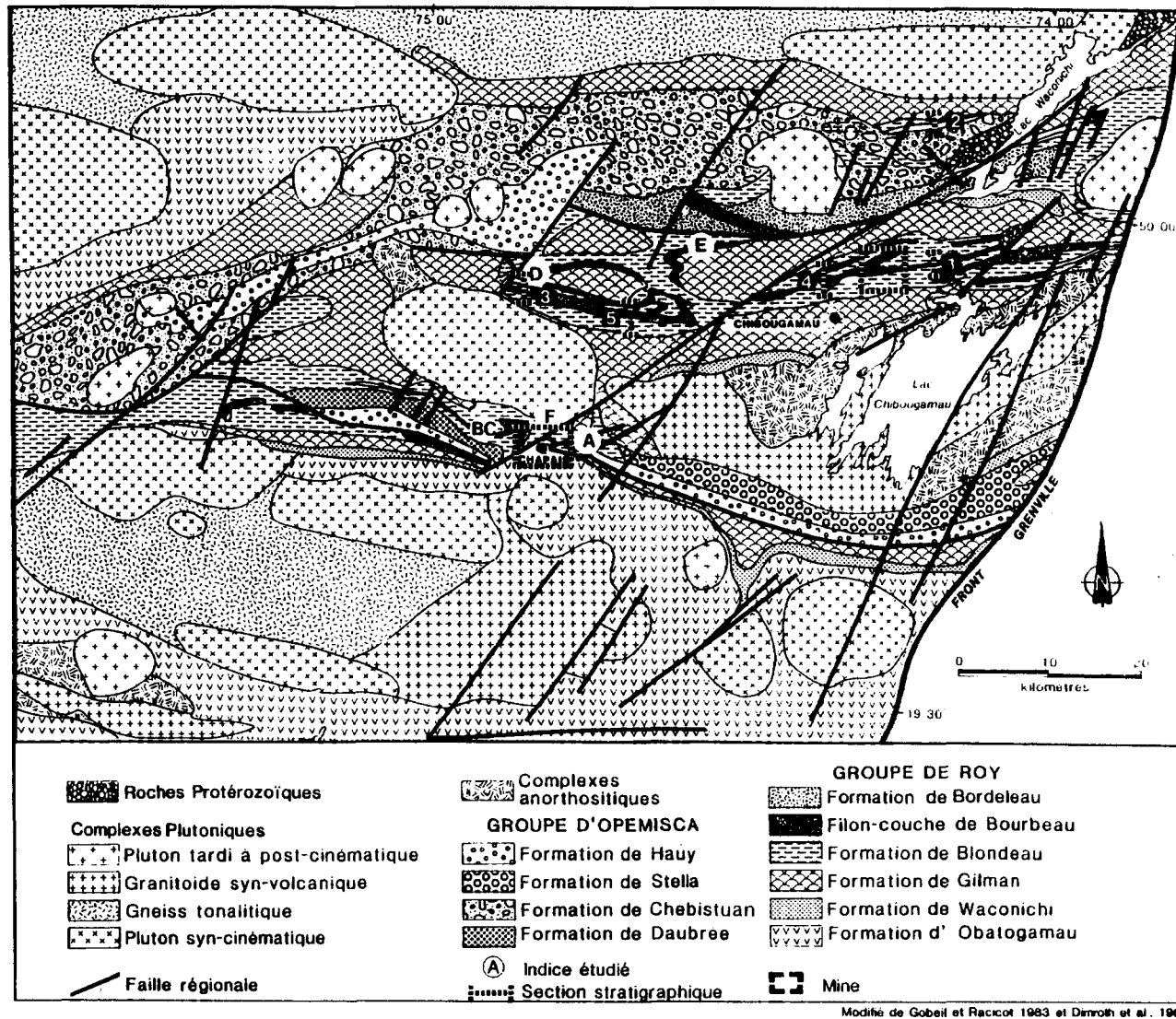


FIGURE 3: Géologie simplifiée de la région de Chibougamau-Chapais et localisation des secteurs étudiés.

2.4- Géologie structurale et métamorphisme

L'ensemble de la région de Chibougamau-Chapais fait partie d'un synclinorium de plus de 180 km de longueur et d'orientation est-ouest. Dans la partie est de la région, ce synclinorium se subdivise en une structure anticlinale (anticlinal de Chibougamau) séparant le synclinal de Waconichi au nord et le synclinal de Chapais au sud. Selon Allard et al., (1985), cette période de plissement représente la deuxième phase de déformation; la première phase ayant généré des plis d'orientation nord-sud plus locaux et sans schistosité associée (Daigneault et Allard, 1984).

Les roches de la région sont recoupées par au moins 4 systèmes de failles majeures. Il s'agit des failles d'orientation est-ouest (faille Kapunapotagen, Faribault), nord-est (faille du Lac Doré, faille du lac Gwillim), nord-ouest et les failles nord/nord-est associées au front de Grenville. Toutes les roches de la région de Chibougamau-Chapais sont métamorphisées au faciès schiste vert.

2.5- Minéralisations

Le district minier de Chibougamau-Chapais renferme plusieurs types de minéralisations différents. Les plus importants sont : les gisements filoniens de Cu-Au situés dans le Complexe du Lac Doré (Copper Rand, Henderson, etc)(figure 1), les gisements de Cu du filon-couche de Ventures à Chapais (Springer et Perry); le dépôt de sulfures massifs volcanogènes de la Formation de Waconichi (Lemoine); les gisements aurifères filoniens dans le filon-couche de Bourbeau (Cooke et Norbeau), dans les laves basaltiques de la Formation de Gilman (Gwillim) et dans les gabbros et laves felsiques de la Formation d'Obatogamau (Chibex-Joe Mann); les dépôts de fer-titane-vanadium du Complexe du Lac Doré et les zones amiantifères de plusieurs millions de tonnes dans le filon-couche de Roberge. Nous présentons maintenant un sommaire de l'environnement géologique des mines Cooke et Norbeau, de même que des principaux indices aurifères présents dans le filon-couche de Bourbeau. Cette section vise à présenter que leurs principales caractéristiques de façon à bien situer le lecteur et n'inclus donc qu'un minimum d'information concernant la structure l'altération et la minéralogie des veines. Ces aspects seront traités avec plus de détails dans les chapitres suivants.

2.6-Environnement géologiques des mines et indices étudiés

2.6.1 Mine Cooke

2.6.1.1 Introduction

La mine Cooke est localisée dans le canton de Lévy (feuille SNRC 32 G/15) à environ 2,5 km au nord-est de la ville de Chapais (figure 4). Il s'agit d'une mine d'or et de cuivre exploitée par Minnova Inc (anciennement Corporation Falconbridge Copper), division Opémiska , à Chapais, propriétaire de trois autres mines dans la région: Springer, Perry et Robitaille, qui ont eu une part importante dans la production du cuivre du Québec au cours des trente dernières années (figure 1, tableau 1). À Chapais, les quatres mines de Minnova sont comprises à l'intérieur d'une superficie de moins de 6 km² et actuellement seules les mines Cooke et Springer sont en exploitation.

La mine Cooke a amorcé sa production en 1977 et, depuis son ouverture, plus de 1 730 000 tonnes de minerai ont été extraites. Les teneurs moyennes exploitées sont de 0,68% de cuivre et de 5,25 g/t (0,155 oz/tonne) d'or. Il s'agit donc d'une mine exceptionnellement riche en cuivre et en or. Les réserves en date du 1 janvier 1986 étaient de 209 425 tonnes à 0,8 % de cuivre et 4,66 g/t (0,135 oz/t) d'or (tableau 1).

2.6.1.2 Géologie régionale

L'environnement géologique de la mine Cooke est constitué de laves mafiques coussinées qui appartiennent à la Formation de Gilman (figure 4). Cette formation est recouverte par les roches felsiques (laves, tufs et volcanoclastites) de la Formation de Blondeau. Les filons-couches mafiques-ultramafiques de Ventures et de Bourbeau se sont mis en place dans la Formation de Blondeau, avant la déformation régionale, et couvrent la majeure partie du secteur. Enfin, dans la partie nord, on note la présence du pluton granodioritique d'Opémisca qui recoupe l'ensemble des unités précitées. Selon Durocher (1985), le pluton Opémisca est post-tectonique étant donné la présence d'une auréole de métamorphisme et des contacts discordants avec les roches encaissantes. De plus, les datations U-Pb sur des zircons réalisées

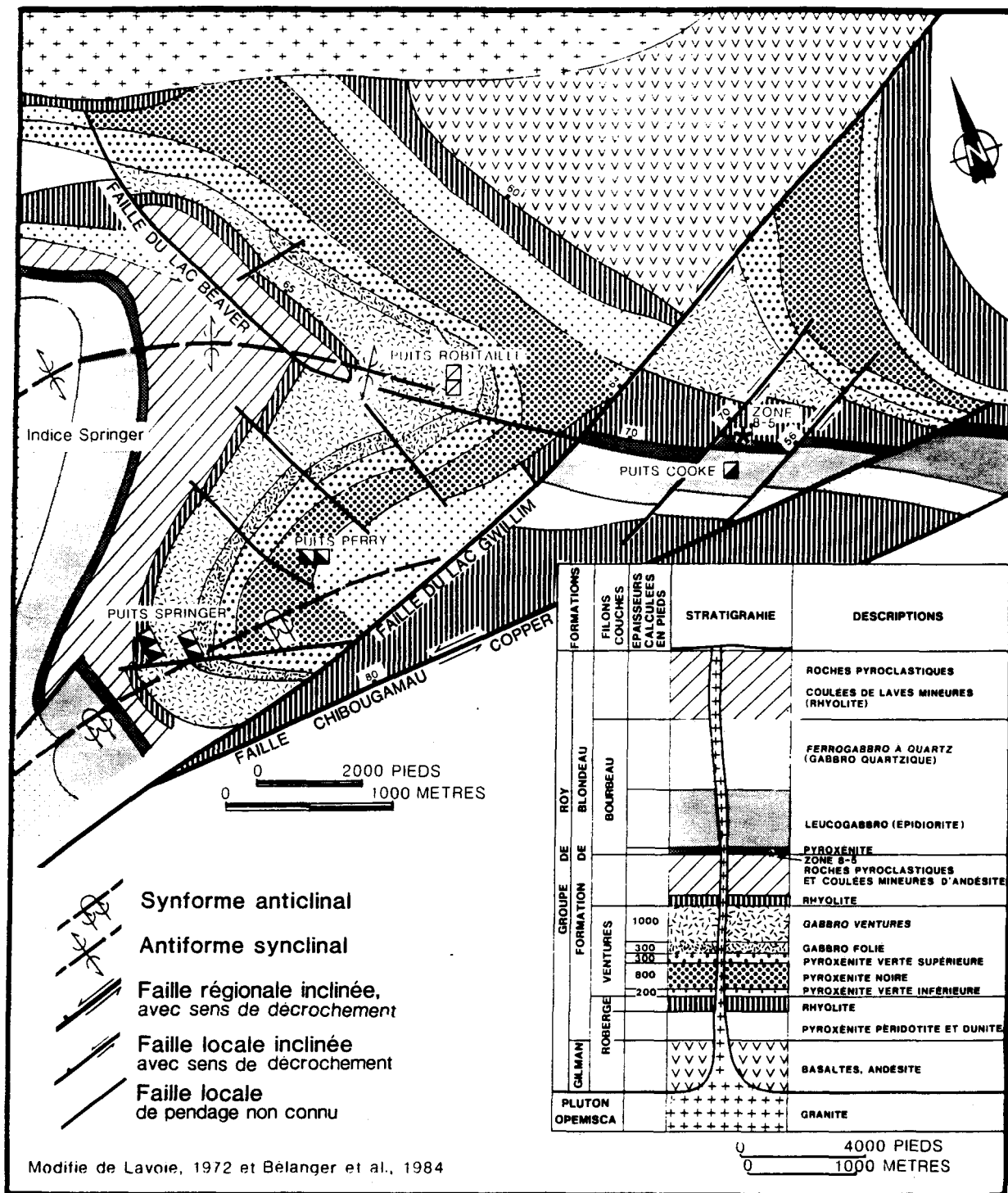


Figure 4: Localisation géographique et géologique de la mine Cooke.

par Gariépy et Allègre (1985) (2695 +/- 8 Ma) et par Frarey et Krogh (1986) (2697.3 +/- 2 Ma) ont permis selon ces auteurs de confirmer la mise en place post-tectonique du pluton d'Opémisca. Toutefois, selon E. H. Chown (communication personnelle) le pluton d'Opémisca est plutôt syn-tectonique.

La complexité de la géologie de la région réside dans la structure de l'empilement. D'après Lavoie (1972), l'ensemble des unités lithologiques a d'abord subi une compression N-S qui a plissé et renversé les strates engendrant ainsi un synclinal majeur de direction est-ouest (synclinal de Chapais). Elles ont, simultanément ou par la suite, été replissées pour former un synforme anticlinal au sud et un antiforme synclinal au nord (figure 4). Enfin, ces structures ont été recoupées par la faille du lac Gwillim, une cassure régionale d'orientation NE-SW, à rejet oblique senestre (Dimroth et al., 1984c). D'autres réseaux de failles de moins grande amplitude sont également observés dans le secteur: au N-W de la faille du lac Gwillim deux systèmes de failles dominant soit : des failles de direction E-W, à pendage vers le sud et vers le nord, qui contrôlent en partie la minéralisation à la mine Springer et un deuxième réseau de failles d'orientation NW-SE, à rejet dextre d'environ 150 m (Salmon et al., 1984). Du côté sud-est de la faille du lac Gwillim, on note principalement la faille Chibougamau Copper de direction ENE et à rejet oblique senestre, de l'ordre de quelques centaines de mètres. La mine Cooke est située entre la faille du lac Gwillim et la faille Chibougamau Copper (figure 4). Finalement, notons également la présence de la faille Kapunapotagen (Charbonneau, 1981) située au sud du secteur étudié. Il s'agit d'une faille longitudinale d'orientation est-ouest qui amène une juxtaposition d'unités distinctes en opposition de sommet stratigraphique (Daigneault et Allard, 1984) et qui est recoupée par la faille du lac Gwillim.

2.6.1.3 Géologie locale

L'environnement géologique immédiat de la mine Cooke est relativement simple (figure 4). De la base au sommet stratigraphique, soit du nord vers le sud, on observe des volcanoclastites, des cherts et quelques coulées felsiques massives appartenant à la Formation de Blondeau (Bélanger et al., 1984). Ces roches felsiques ont été envahies par le filon-couche de Bourbeau. Ce filon-couche gabbroïque a développé, dans ce secteur, trois des quatre faciès présents régionalement, soit, de la base au sommet: une pyroxénite, un leucogabbro (appelé épidiomite à la mine Cooke) et un ferrogabbro à quartz (appelé gabbro à quartz à la mine Cooke). Une

description détaillée des caractéristiques pétrographiques et chimiques de ces différents faciès pétrologiques est présentée au chapitre suivant.

À la mine Cooke, on observe très fréquemment la présence de dykes porphyriques, orientés aléatoirement. Ces dykes sont de couleur noire et sont composés de 20 à 25% de phénocristaux de feldspath et/ou pyroxène dont la dimension varie de 1,5 mm à 4mm. Ces phénocristaux sont constitués principalement d'albite (10-20%) et de clinopyroxènes (5 à 10%) ouralitisés en trémolite/ actinote. La matrice, formée de petits grains (0,1mm) est constituée de plagioclase (45%), de trémolite-actinote (20%), de quartz (5%) et de sphène (1%). Des dykes de composition minéralogique semblable ont été rapportés dans l'environnement de la mine Cooke et des mines Opémiska par Wolhuter (1984). Ce dernier propose que ces dykes sont probablement plus anciens que le pluton d'Opémiska car aucun dyke de porphyre n'a été trouvé dans cette intrusion. L'analyse chimique d'un dyke porphyrique à phénocristaux de plagioclase calcique et de hornblende est présentée à l'annexe 4, tableau A-8. Sa composition chimique est relativement proche de celle du leucogabbro du filon-couche de Bourbeau. Il est à noter que ce dyke a été partiellement métasomatisé comme en témoigne son contenu anormal en Au (97 ppb) et en B (120 ppm). Ces dykes sont, au même titre que le filon-couche de Bourbeau, recoupés par les zones de cisaillement minéralisées. Ils sont donc antérieurs aux zones de cisaillement et de fractures minéralisées. On observe régulièrement la présence de cisaillement au contact entre les dykes et les roches du filon-couche. Cette coïncidence spatiale est probablement provoquée par la différence de compétence mécanique existant entre les deux matériaux.

Lors de la cartographie de la zone de sulfures massifs volcanogènes (zone 8-0-55) localisée au 8^e niveau de la mine, nous avons noté des indications suggérant la présence d'un pli, du moins local, vers l'extrémité ouest du gisement de la mine Cooke. En effet, les sédiments felsiques de la Formation de Blondeau, présents à proximité de la zone 8-0-55, ont une orientation qui varie de 282°/60° à 343°/78° sur un intervalle de quelques mètres. De plus, ce litage primaire est recoupé par un clivage pénétratif, probablement de plan axial, orienté en moyenne à 215°/46°. La relation angulaire entre le litage et le clivage suggère que les roches de ce secteur se situent possiblement dans une charnière de pli. La linéation d'intersection entre le clivage et le litage est orientée à 352°/38°. Cette linéation d'intersection est

probablement subparallèle à la charnière du pli. Ce plissement a ultérieurement été mis en évidence par les travaux d'exploration réalisés par Minnova. En effet, à environ 250 m plus à l'ouest de la zone cartographiée et à un niveau supérieur (7^e niveau), Minnova a démontré que les unités stratigraphiques ne sont plus orientées vers le W-NW mais tournent assez brusquement vers le N-NE, dans une direction parallèle à l'orientation du clivage que nous avons mesuré (215°/46°) (Gérard Doiron, communication personnelle). Selon ce dernier, ce pli n'a pas été observé au-dessus du 7^e niveau, il ne semble pas, selon les données de forage, avoir affecté la stratigraphie plus à l'ouest du secteur où il a été observé et, finalement, il n'affecte pas non plus les zones minéralisées trouvées dans la pyroxénite. De plus, d'après la carte de compilation de la société Minnova, ce pli n'affecte pas, en surface, les unités stratigraphiques. Ainsi, même s'il est difficile pour le moment d'en avoir une image définitive, le pli observé aux 7^e et 8^e niveaux de la mine semble véritablement être local et son effet sur la stratigraphie et les zones minéralisées est probablement relativement marginal.

2.6.1.4 Minéralisation

Deux principales zones minéralisées sont exploitées à la mine Cooke. Ces zones sont connues sous le nom de veines nos 7 et 9 et elles sont confinées au leucogabbro et au ferrogabbro à quartz (figure 5). Ces zones minéralisées ont une extension latérale de l'ordre de 400-500 m et une extension verticale d'au moins 530 m. Au cours de l'année 1987, des zones de cisaillement aurifères ont été découvertes dans la pyroxénite localisée au 7 et 8 niveau (veines 64, 65 et 66) et située à l'extrémité ouest de la mine (Gérard Doiron, Minnova, communication personnelle). Le tonnage et les teneurs de ces zones restent à définir mais plusieurs dizaines de milliers de tonne de minerais ont, à cette date, été délimités. On note également la présence, au 8^e niveau de la mine, d'une lentille de sulfures massifs volcanogènes (zone 8-0-55) (Bélanger *et al.*, 1984) localisée au contact entre la pyroxénite du Bourbeau et les volcanoclastites de la Formation de Blondeau. Cette lentille a un tonnage estimé à 50 000 tonnes de minerais à une teneur de 2,97% Cu, 3,38% Zn, 35,66 Ag g/t (1,04 Ag oz/t) et 0,408 Au g/t (0,012 Au oz/t) (Bélanger *et al.*, 1984). Cette zone de sulfures massifs volcanogènes est précinématique aux zones de cisaillement EW et NW-SE et a donc été déformée par celles-ci.

Les veines nos 7 et 9 correspondent à un ensemble de plusieurs zones de cisaillement, plus ou moins intenses, d'orientation générale EW à NW-SE et de fractures minéralisées

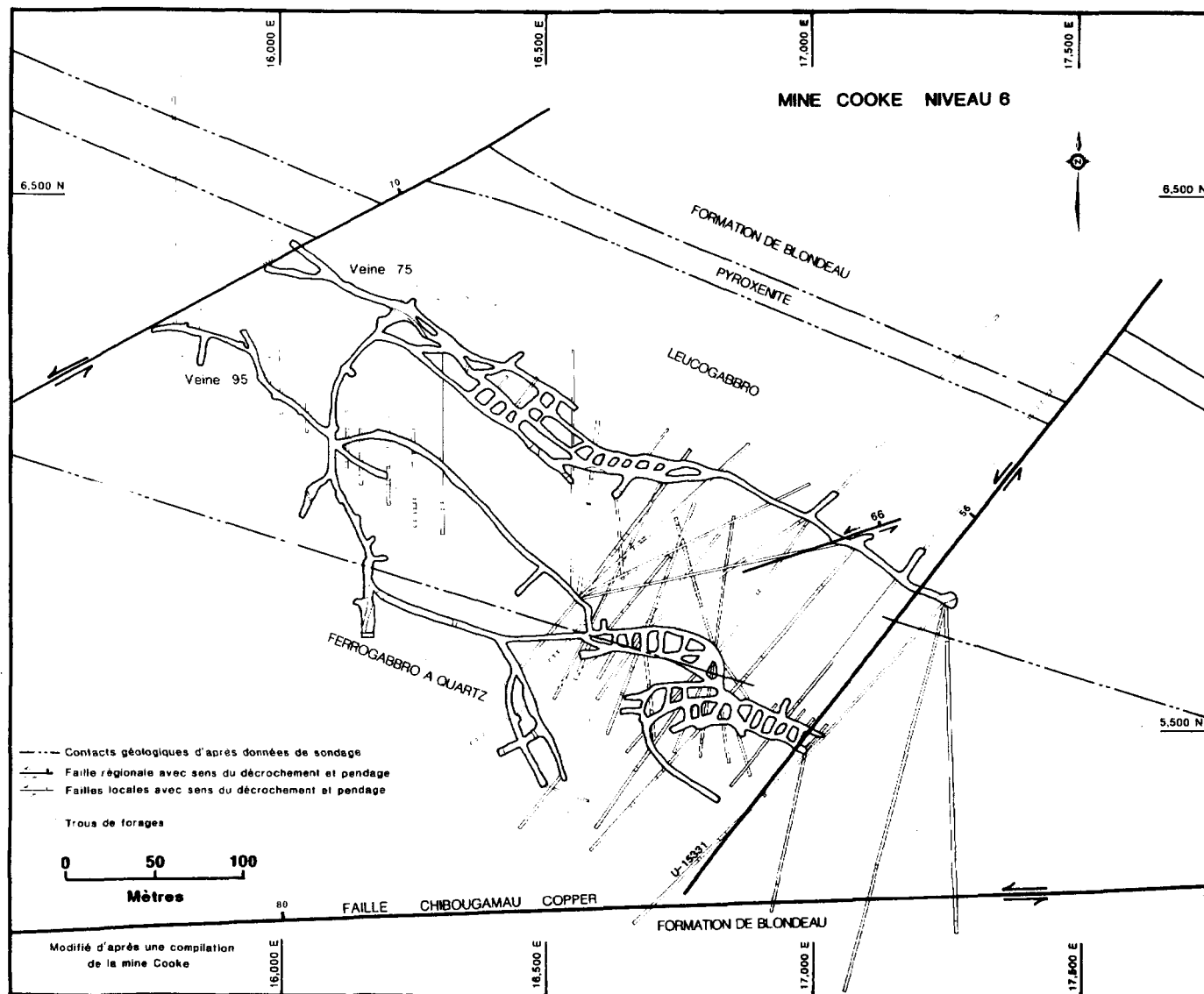


Figure 5: Plan géologique du niveau 6 à la mine Cooke. Modifié d'après une compilation de la mine Cooke.

(parfois 4 ou 5) de même orientation. La largeur de chacune de ces zones varie de moins de 3 cm à plus de 13 mètres . Dans l'ensemble toutefois, la largeur des cisaillements minéralisés exploités varie de 2 à 3 mètres (Coulombe, 1984). Ces zones minéralisées sont généralement contenues dans des zones de cisaillement ductiles- cassantes à cassantes (Ramsay, 1980). Par endroits toutefois, la minéralisation est localisée dans des veines mises en place dans des fractures de tension, sans déformation importante de l'encaissant. Dans les zones de cisaillement, le gabbro est mylonitisé et de couleur noir lustré. Cette couleur s'associe à une chloritisation de l'éponte. Ces cisaillements se manifestent par des zones schisteuses d'intensité variable, contenant de nombreuses veines et veinules de quartz \pm calcite orientées parallèlement aux murs de la zone de cisaillement ou parfois discordantes par rapport à ceux-ci. La largeur de ces veines peut atteindre jusqu'à 60 cm. La direction de la foliation observée dans les zones de cisaillement est en générale sub-parallèle, en plan, à la direction de la zone de cisaillement.

À l'extérieur des cisaillements, le gabbro est peu ou pas déformé. Outre des fractures en tension remplies de calcite ou, plus localement d'axinite, la roche ne semble affectée par aucune discontinuité structurale et la schistosité régionale semble, à l'échelle mégascopique, pratiquement absente.

L'altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine Cooke est relativement peu développée. Elle se caractérise par une chloritisation et une séricitisation de l'éponte. La chloritisation est accolée à la veine alors que la séricite se situe dans l'enveloppe entourant la zone chloriteuse. Cette altération rétrograde les assemblages minéralogiques issus du métamorphisme régional, démontrant ainsi la tardivité relative de la mise en place de la minéralisation. L'altération des épontes est discutée en détail au chapitre 6.

La minéralisation se trouve dans des veines et veinules de quartz, calcite, axinite et/ou feldspaths potassiques. Ces veines contiennent généralement une assez grande proportion de sulfures en particulier de la chalcopryrite, de la pyrrhotite, de la pyrite et de l'arsénopyrite. L'or est principalement observé en inclusion ou en remplissage de fractures des sulfures.

Les zones minéralisées sont recoupées et déplacées par des failles tardives cassantes dont l'orientation varie de NE-SW à NNE et localement ENE. Ces failles contrôlent les extensions latérales du gisement (figure 5).

2.6.2 Mine Norbeau

2.6.2.1 Introduction

La mine Norbeau est une mine d'or du type filon de quartz. La production a débuté en 1964 et s'est terminée en 1969. Au total 419 029 tonnes de minerai titrant 13,16 g/t Au (0,39 oz/t) et 1,64 g/t Ag (0,048 oz/t) ont été produites (Canadian Mines Handbook, 1970-1971). Les réserves prouvées des veines no 1 et no 4 sont de 110 000 tonnes à 7,06 g/t (Malouf 1984) alors que les réserves présumées de l'ensemble de la propriété sont évaluées, selon Lavergne (1985) et Whiteway (1986) à environ 750 000 tonnes de minerai à une teneur de 6,17 g/t (0,18 Au oz/t).

2.6.2.2 Géologie régionale

La mine Norbeau est localisée dans le canton de McKenzie (feuille SNRC 32 G/16) à environ 5 km au nord-est de la ville de Chibougamau (figure 6). Elle se situe sur le flanc sud du synclinal de Chibougamau. Ce dernier constitue une structure majeure d'orientation E-W qui plisse la Formation de Blondeau et les filons-couches du Complexe de Cummings. À l'ouest, le synclinal plonge faiblement vers l'est alors que vers l'est, il plonge faiblement vers l'ouest (Duquette, 1982). Selon ce dernier, le flanc sud du synclinal se caractérise par la présence d'un pli d'entraînement connu sous le nom d'anticlinal de Roberge. Dans ce secteur, on note de nombreuses failles dont les plus importantes sont la faille du lac Gwillim, qui engendre vers l'ouest un déplacement apparent senestre du synclinal de Chibougamau, et la faille de McKenzie-Narrows qui provoque, vers l'est, un déplacement apparent dextre. De plus, des failles longitudinales E-W sont également rapportées par notamment Allard (1976), Daigneault et Allard, (1984) et Pilote (1986).

2.6.2.3 Géologie locale

La stratigraphie locale (figure 7) se résume, de la base au sommet, par : la présence

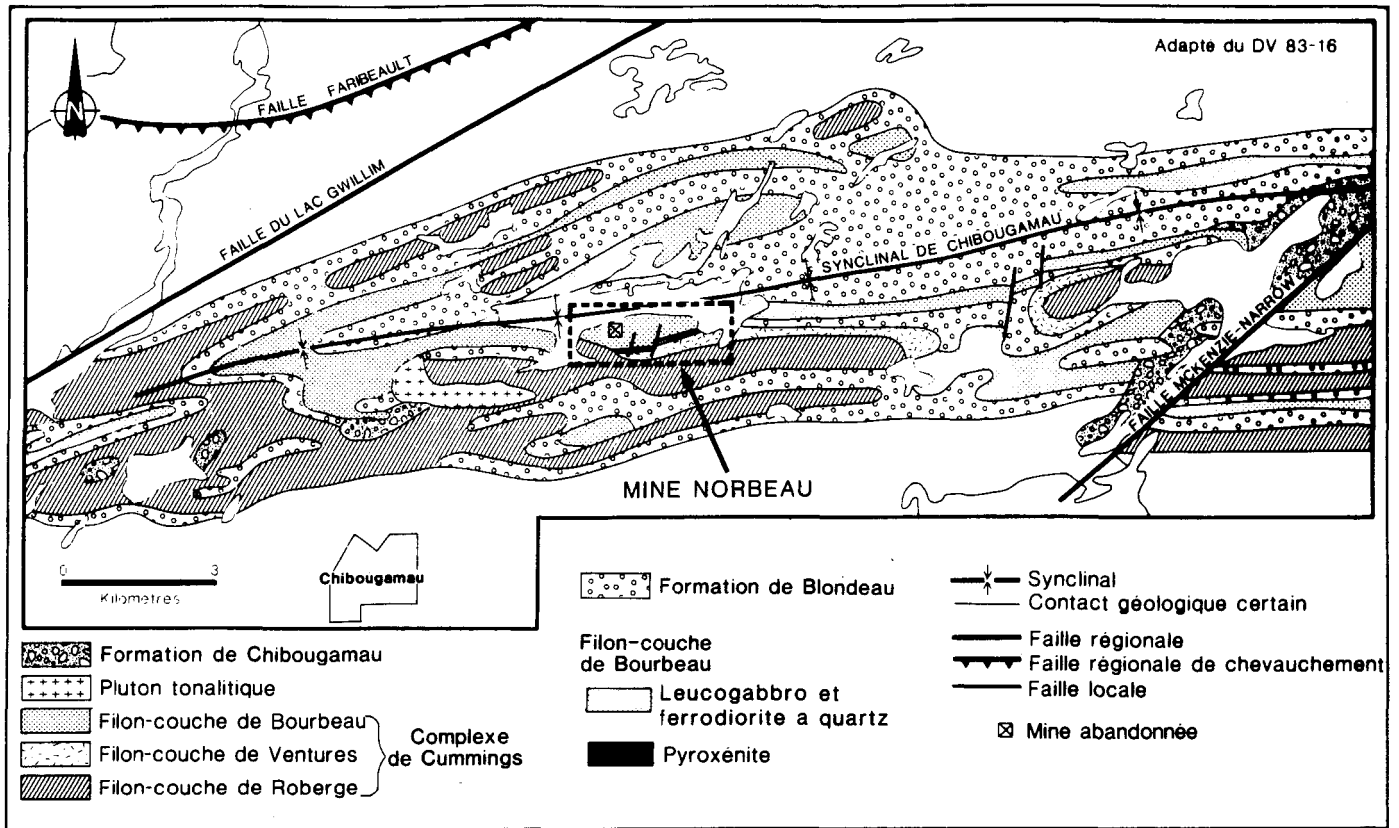


Figure 6: Localisation géographique et géologique de la mine Norbeau.

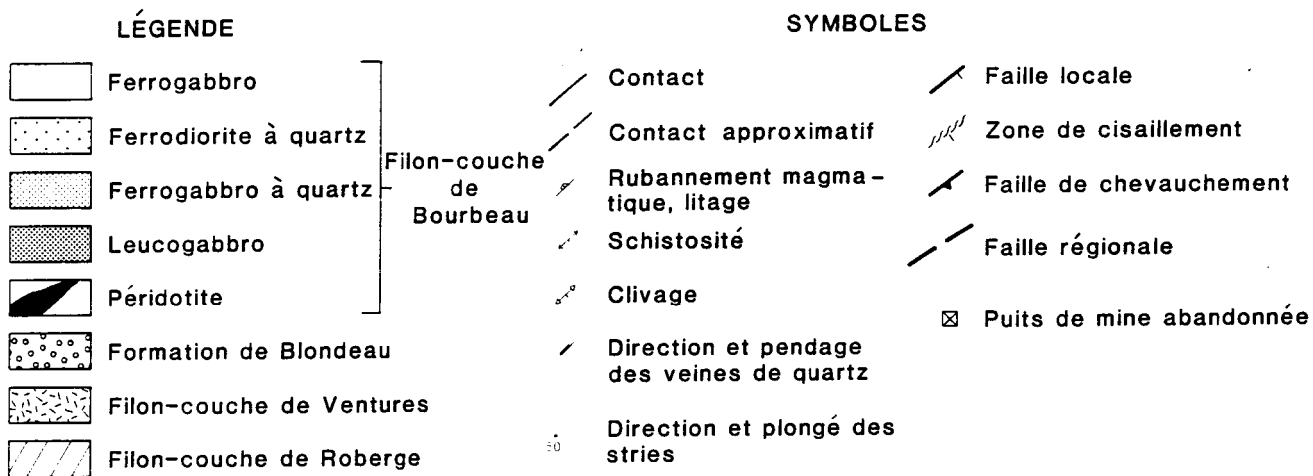
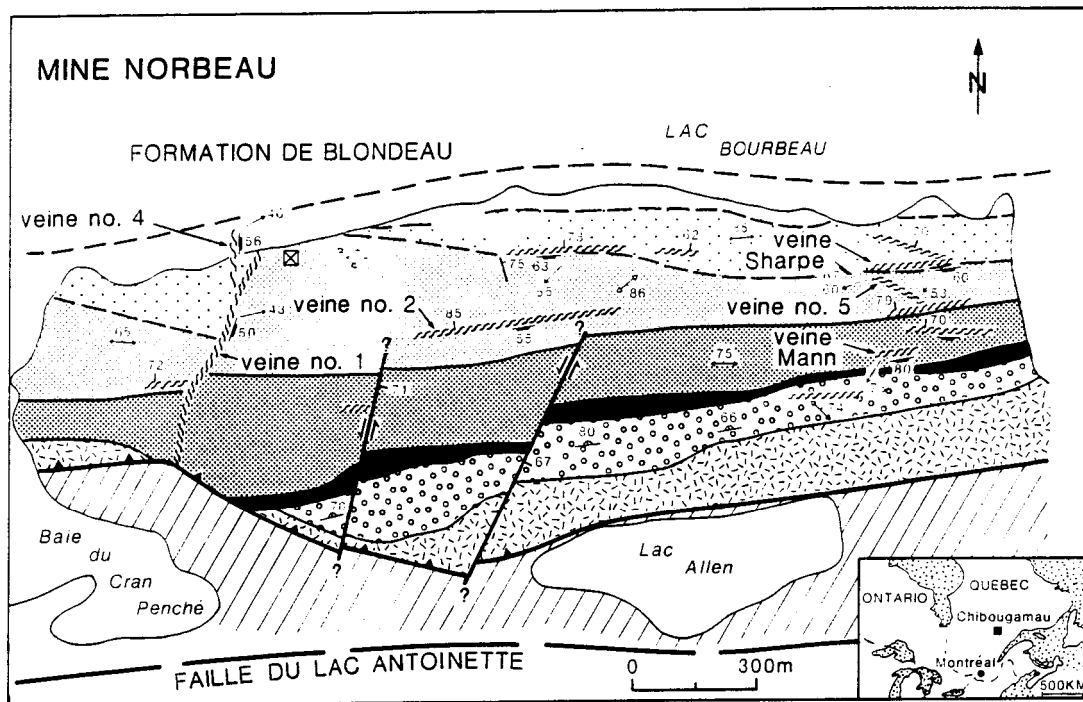


Figure 7: Géologie locale de la mine Norbeau.

discontinue de roches ultramafiques (dunites magnétiques) du filon-couche de Roberge; suivies d'une faible épaisseur de pyroxénites (vertes, non magnétiques) et de gabbros du filon-couche de Ventures; des sédiments volcanoclastiques, des tufs et un horizon sulfuré qui appartiennent à la Formation de Blondeau. Finalement, au sommet de cette succession, on trouve le filon-couche de Bourbeau. Le filon-couche de Bourbeau, hôte de la minéralisation à Norbeau, s'est mise en place dans la Formation de Blondeau avant la déformation régionale. Il est différencié in situ en au moins quatre faciès pétrologiques qui sont, de la base au sommet : une péridotite-pyroxénite, un leucogabbro, un ferrogabbro à quartz contenant des zones à rosettes de hornblende et, une ferrodiorite à quartz avec plus localement des zones granophyriques. On observe plus localement au sommet du filon-couche la présence d'un ferrogabbro. Nous présentons au chapitre suivant une description pétrographique et pétrochimique détaillée des différents faciès présents dans le filon-couche. Contrairement à la mine Cooke, aucun dyke n'a été cartographié dans le secteur de la mine Norbeau.

Les contacts entre les différentes unités stratigraphiques, le litage magmatique présent dans le leucogabbro et le litage dans les sédiments de la Formation de Blondeau sont, dans l'ensemble, orientés E-W et ont un pendage vers le nord. Les roches ont été affectées par le métamorphisme régionale schiste vert.

2.6.2.4 Minéralisation et zones de cisaillement

La minéralisation aurifère à la mine Norbeau est contenue dans des zones de cisaillement ductiles-cassants (Ramsay, 1980) confinées à l'intérieur du filon-couche de Bourbeau. Ces zones de cisaillement se manifestent par des zones très schisteuses et chloriteuses à l'intérieure de laquelle la schistosité est parallèle en direction et oblique en pendage à l'enveloppe de la zone de cisaillement. Ces zones de cisaillements contiennent une veine de quartz subverticale et des veines de quartz subhorizontales. Ces dernières sont principalement localisées dans le mur de la veine subverticale. À l'extérieur des zones de cisaillement, la déformation est relativement peu intense et se manifeste principalement par une faible schistosité régionale E-W. Des failles cassantes avec déplacement mineur et un clivage local d'orientation NE-SW et NW-SE représentent les derniers éléments structuraux affectant les roches de ce secteur.

Les veines minéralisées sont sinueuses et lenticulaires. Elles possèdent des orientations très diverses. La veine no 1 (figure 7) est orientée en moyenne à N35°/50°, et a produit environ 80% du minerai extrait de la mine. Elle s'est avérée productive sur une longueur maximale de 260 mètre et son extension verticale est de l'ordre de 370 m. La veine no 4 est orientée en moyenne à 0°/56° et a fourni le reste de la production. Elle a été mise en valeur sur une longueur maximale de 335 mètres et son extension verticale est de l'ordre de 470. Il est à noter que la veine no 4 n'affleure pas; elle apparaît seulement à partir du 1^{er} niveau de la mine. Il existe également plusieurs veines d'orientation E-W à pendage vers le S localisées à l'est des veines no 1 et no 4. Il s'agit des veines New Vein, Sharpe, Mann et no 2. Les deux premières ont fait l'objet de décapage intensif. Elles ont, en surface, une longueur d'environ 220 mètres et une largeur de 1 à 2 mètres. Ces veines sont également sinueuses et discontinues. De plus, les teneurs aurifères sont irrégulières. Selon Malouf (1981) la teneur moyenne de la veine New Vein est de 3,5 Au g/t (0,10 Au oz/t) sur une largeur de 3 mètres et une longueur de 270 mètres. Alors qu'à la veine Sharpe et à la veine no 5 (128°/67°) la teneur est de 5,65 g/t d'or (0,16 Au oz/t) sur une largeur de 2 mètres et une longueur totale de 200 mètres (Malouf, 1984).

La veine Mann, est une petite veine de quartz noir foncé d'une vingtaine de mètres de longueur et d'un maximum 0,70 mètre de largeur. Il s'agit d'une veine extrêmement riche en or où il est très fréquent d'observer de l'or visible à l'oeil nu. Nous avons observé, à l'est de la veine Mann, des veines de quartz aurifères semblables à celle-ci (figure 7). Toutefois, les teneurs en or, à la surface, semblent décevantes (Geisterfer, 1960; Prochnau, 1971). Finalement, la veine no 2 est localisée dans la partie centrale de la région étudiée. Selon nos observations (Dubé et Guha, 1989), elle s'étend latéralement sur au moins 460 m. De plus, elle possède des caractéristiques mégascopiques similaires à celles des veines Sharpe et New Vein et se localise dans un environnement semblable à celui de ces deux veines.

L'altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine Norbeau est particulièrement bien développée et se caractérise par une forte chloritisation, carbonatation et séricitisation de l'éponte. Toutefois, la distribution de l'altération n'est pas symétrique. La séricite et les carbonates de fer sont principalement localisés dans le mur de la veine sub-verticale, là où les veines subhorizontales sont principalement observées. L'or est

fréquemment observé à l'état natif dans les veines de quartz sub-verticales. Il est en inclusion dans la pyrite et l'arsénopyrite, au contact entre ces phases métalliques et le quartz, de même qu'en remplissage de fractures des sulfures et du quartz. L'altération et le mode d'occurrence de l'or sont traités en détail aux chapitres 5 et 6.

2.6.3 Indices aurifères

Nous présentons maintenant un bref résumé des caractéristiques géologiques des indices aurifères connus dans le filon-couche de Bourbeau. Le lecteur trouvera une discussion plus exhaustive de ces indices dans Dubé (1985) et dans Dubé et Guha (1987, 1989). Les indices aurifères étudiés sont : Chibougamau-Copper, Bourbeau West-1, Bourbeau West-2, du ruisseau Leclerc, Tadd et Springer (figures 8 à 13). Ces indices s'avèrent intéressants soit pour les intersections aurifères trouvées (Chibougamau-Copper, Bourbeau West-2 et Tadd) ou soit pour les altérations hydrothermales présentes (Bourbeau West-1, du ruisseau Leclerc). Il est à noter que tous ces indices n'ont pas fait l'objet d'une étude aussi détaillée et systématique que les mines Cooke et Norbeau. Toutefois, nous croyons que l'information recueillie nous permet tout de même de les caractériser.

Au point de vue régionale, les contacts stratigraphiques chez les indices Bourbeau West-1 et Bourbeau West-2, sont orientés à 105° et ont un pendage abrupt vers le sud (carte de compilation de Minnova), ils sont donc subparallèles à ceux de la mine Cooke. Selon une carte de compilation de Minnova, l'indice Chibougamau Copper serait localisé près de la charnière d'un pli local dont les flancs ont une orientation vers le NW-SE, donc subparallèle aux contacts stratigraphiques dans le secteur de Cooke. L'indice du ruisseau Leclerc est situé à l'intérieur d'un anticlinal NNE possiblement repris par une phase de déformation E-W (carte de compilation géoscientifique de Gobeil, 1983). Ce pli NNE aurait une faible extension et serait limité vers l'est par une faille d'orientation NE-SW le séparant d'un pli régional d'orientation E-W (Gobeil et Racicot, 1983). L'orientation des unités lithologiques est donc variable dans ce secteur. Selon les travaux sommaires que nous avons effectués, l'indice Tadd est situé sur le flanc sud d'un pli régional. Selon la carte de compilation de Lavoie (1972), l'indice Springer se situe sur le flanc est, près de la charnière, d'un pli synclinal antiforme d'orientation NE-SW. Dans le secteur immédiat de l'indice, les unités stratigraphiques sont donc orientées vers le NE-SW.

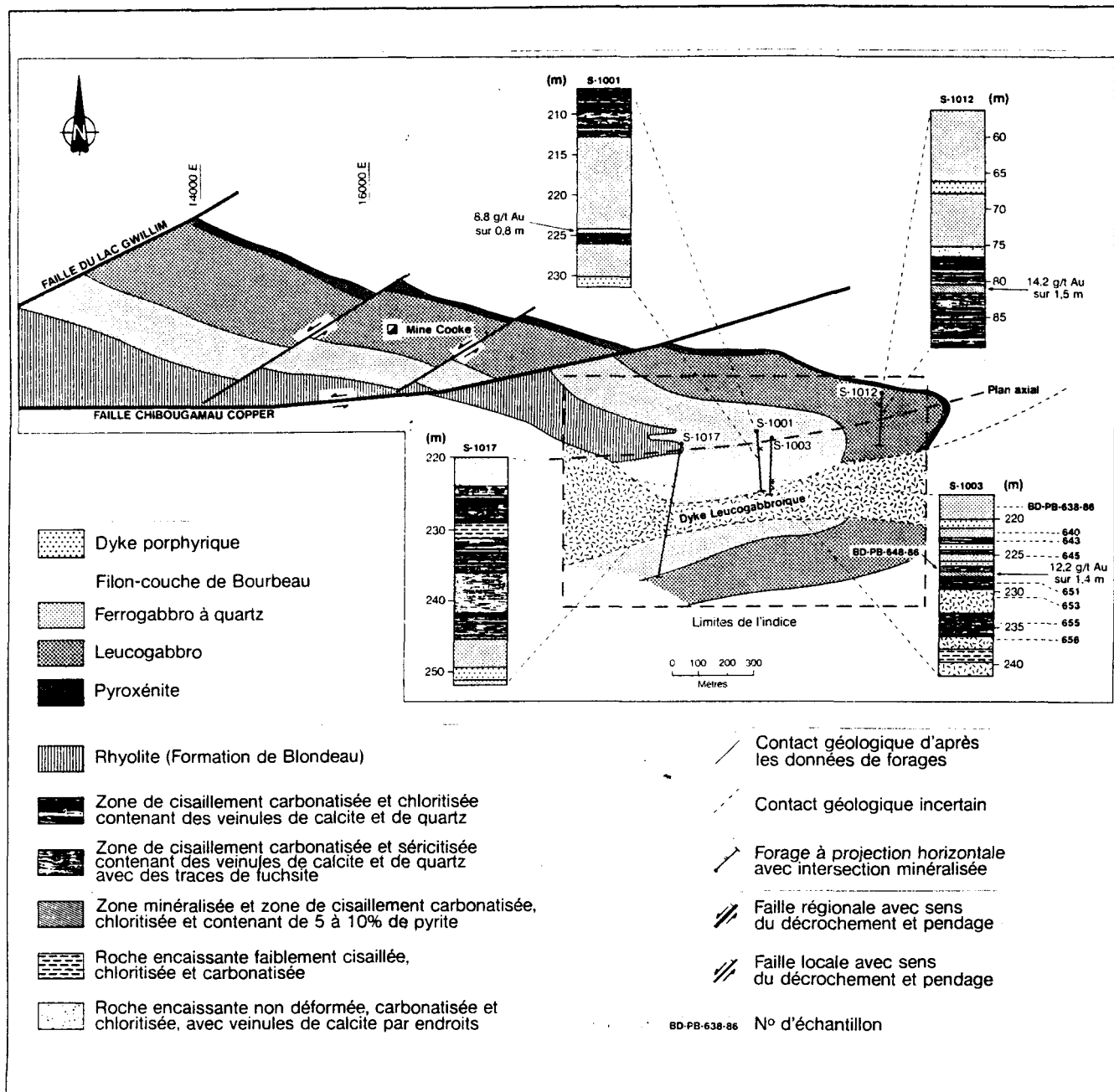


Figure 8: Géologie simplifiée du secteur de l'indice Chibougamau-Copper. Tirée de Dubé et Guha, 1989. Modifiée d'après une compilation de Minnova inc.

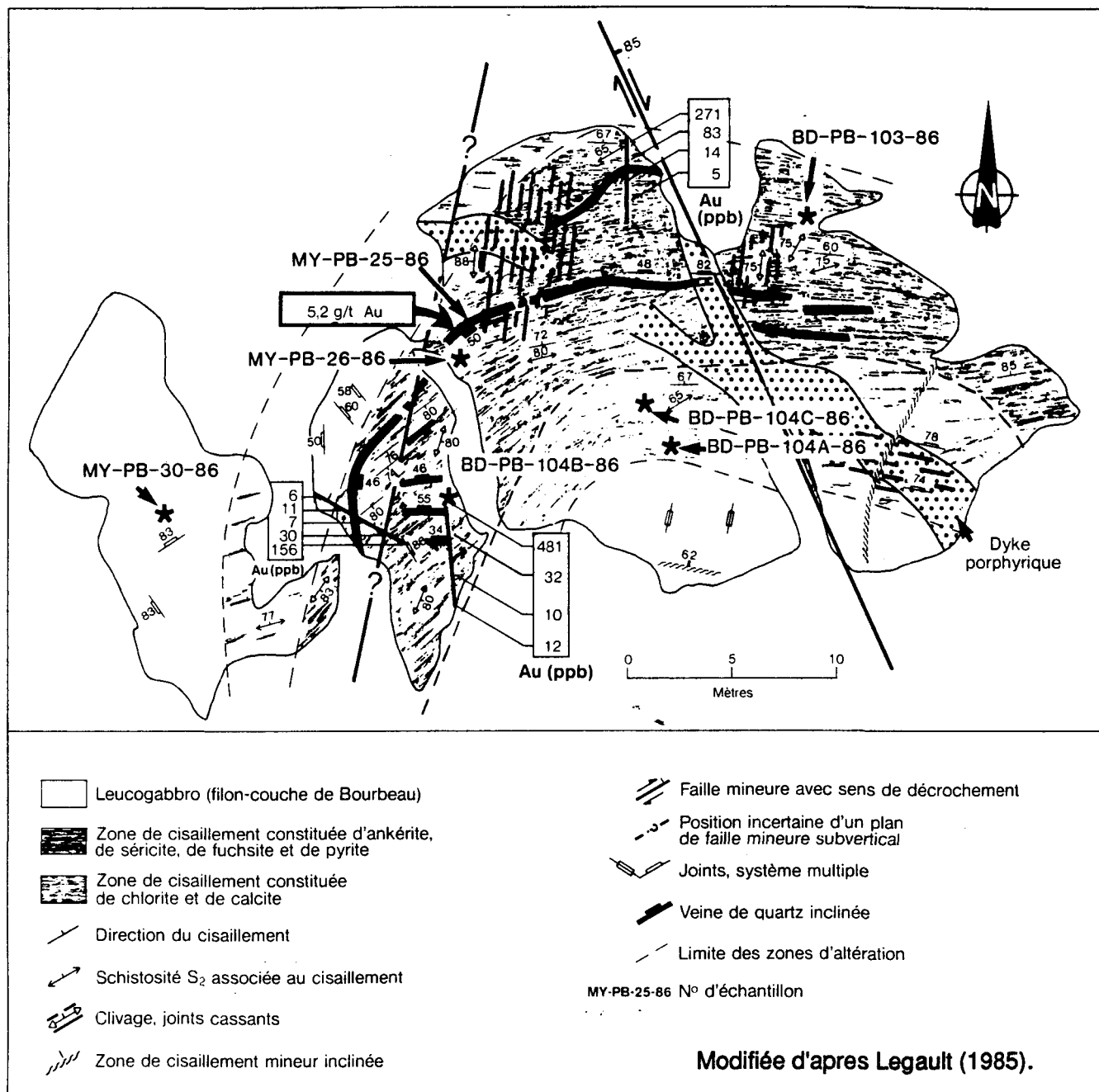


Figure 9: Plan géologique de l'indice "Bourbeau West 1". Tirée de Dubé et Guha, 1989.

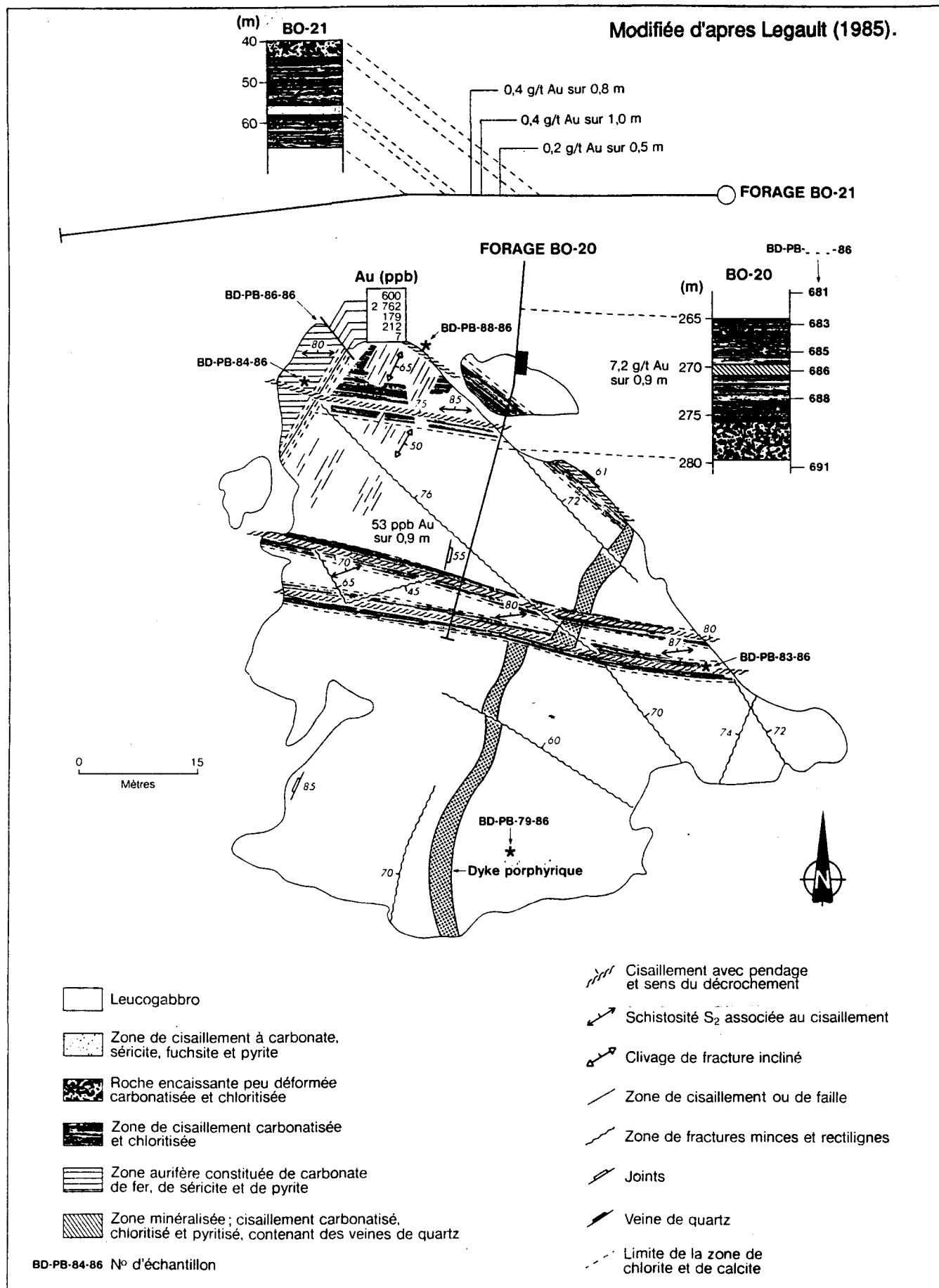
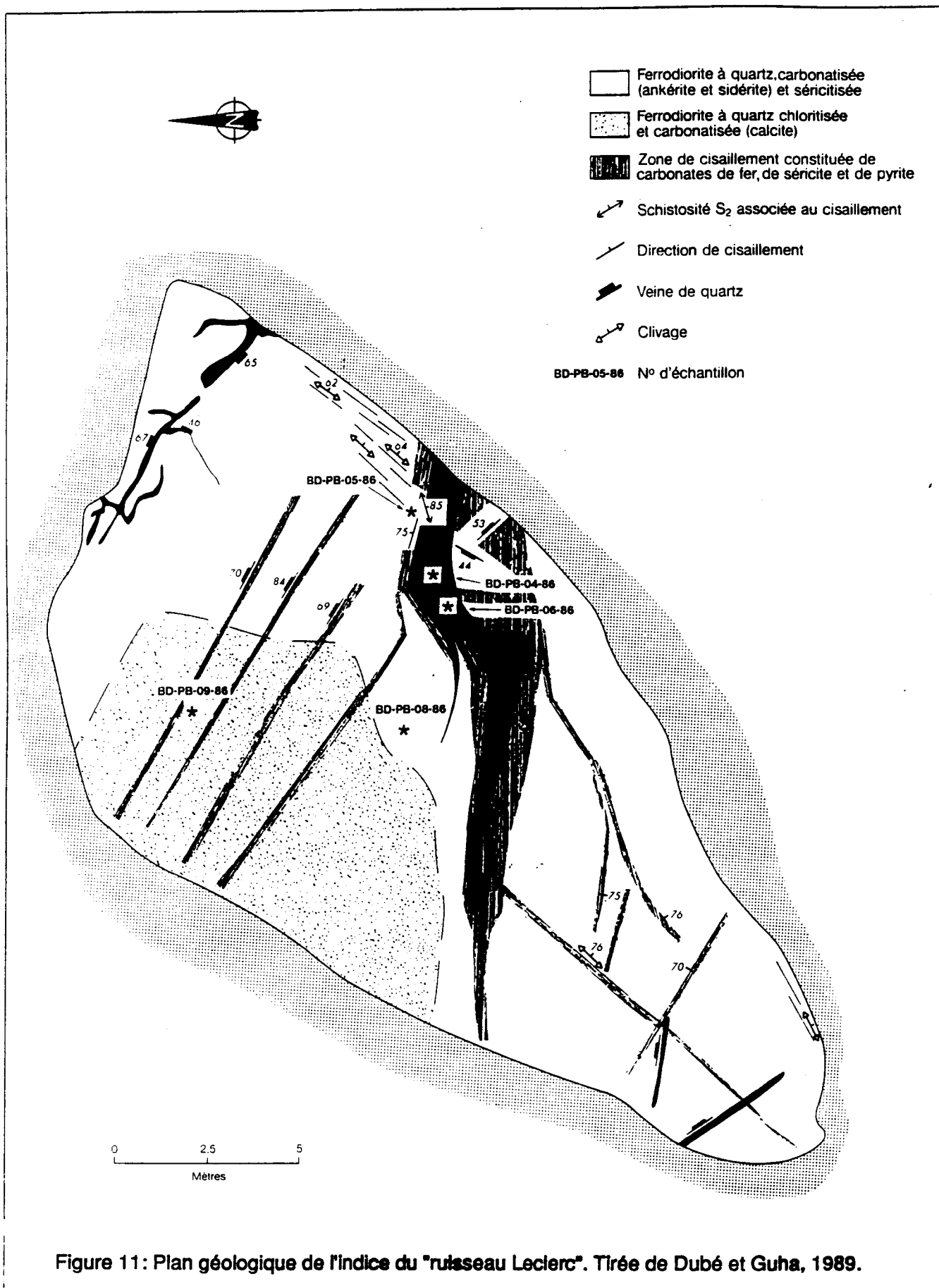


Figure 10: Plan géologique de l'indice "Bourbeau West 2". Tirée de Dubé et Guha, 1989.



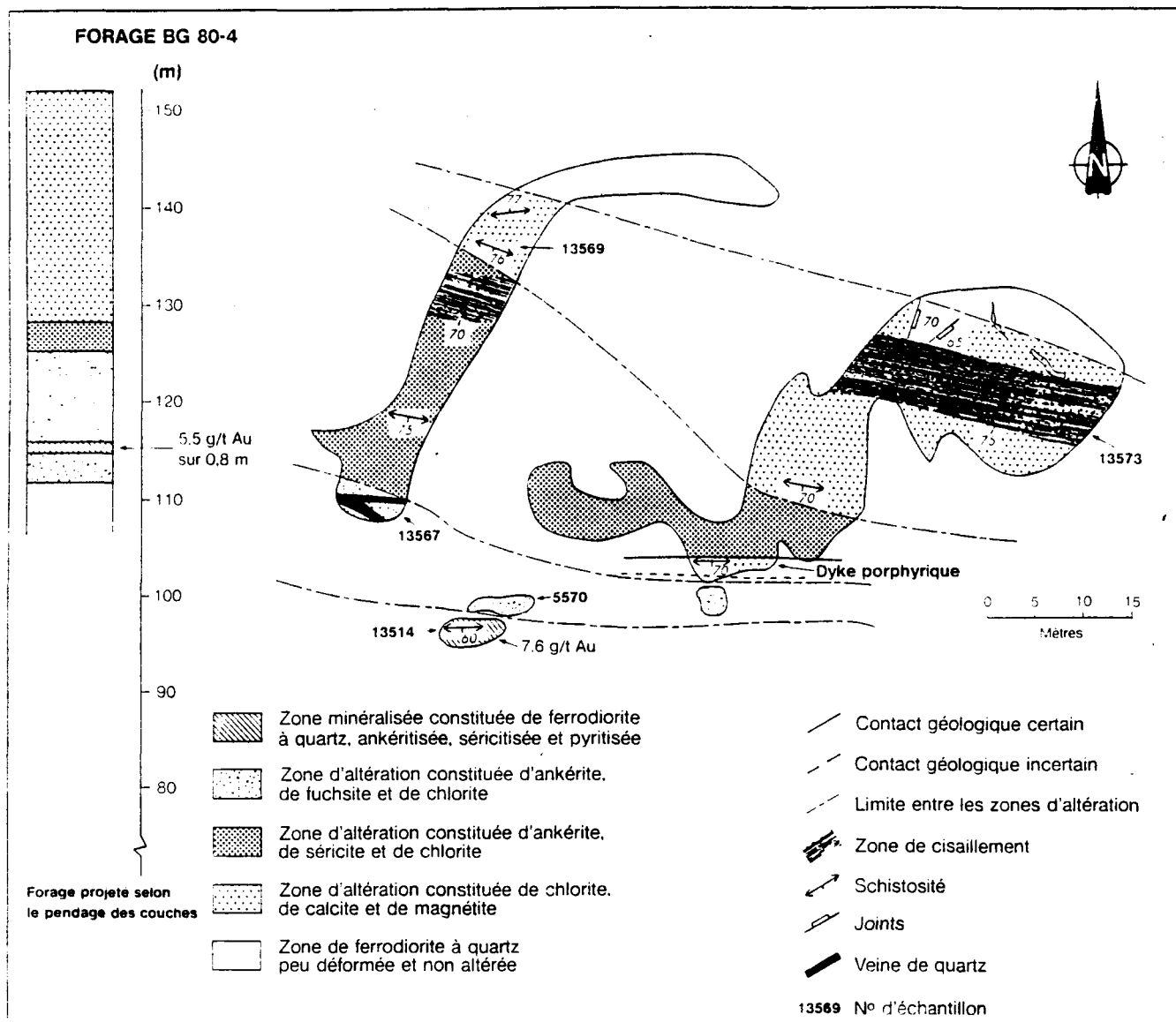


Figure 12: Plan géologique de l'indice "TADD. Tirée de Dubé et Guha, 1989.

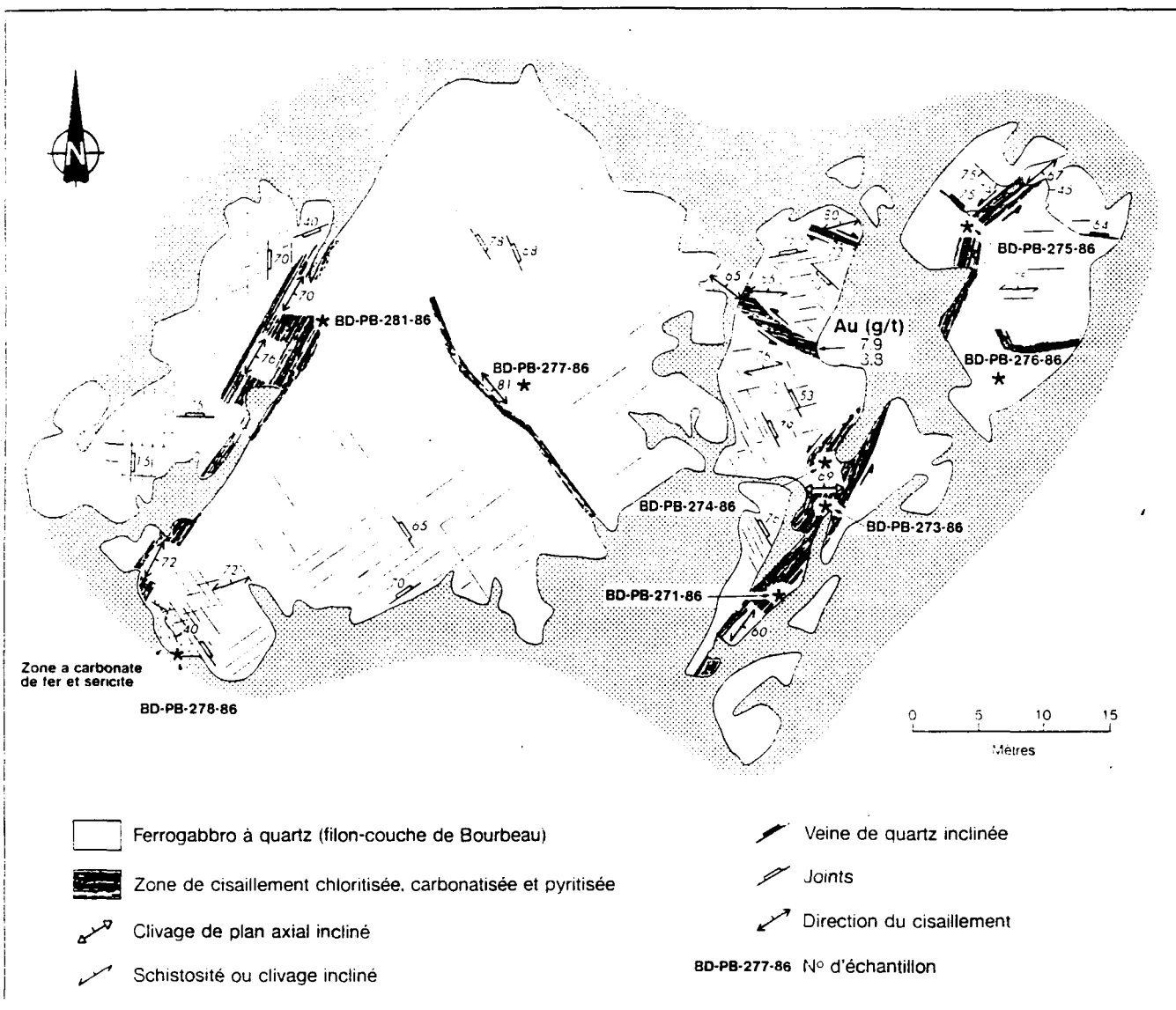


Figure 13: Plan géologique de l'indice "Springer". Tirée de Dubé et Guha, 1989.

Les principales caractéristiques locales des indices aurifères étudiés sont présentées au tableau 2. On constate alors qu'exception faite de l'indice "Springer", tous les indices sont associés à des zones de cisaillement E-W et localement NW-SE. Il s'agit donc de cisaillements orientés, en tout ou en partie, subparallèlement aux plans axiaux des plis régionaux et aux unités stratigraphiques. L'altération hydrothermale est, dans tous les cas, contrôlée par la présence de ces zones de cisaillement. Cette altération se caractérise partout par la présence de carbonates (ankérite et calcite) soit en remplacement des constituants des plagioclases et des amphiboles, soit sous forme de veinules subparallèles au cisaillement. On observe également fréquemment de la chlorite et plus localement de la séricite et/ou de la fuchsite. La pyrite ($\leq 15\%$) constitue la seule phase métallique observée chez tous ces indices sauf chez l'indice Tadd où de l'arsénopyrite est également présente (1-2%). La pyrite se localise principalement dans l'éponte accolé aux veines de quartz plutôt qu'à l'intérieur même des veines de quartz. Les indices "Chibougamau Copper", Bourbeau West-1 et Bourbeau West-2 sont localisés en tout ou en partie dans le leucogabbro alors que les autres indices se localisent dans le ferrogabbro à quartz et la ferrodiorite à quartz. Tous ces indices sont donc épigénétiques. La minéralisation et l'altération présentent un lien spatial et génétique avec les zones de cisaillement.

TABEAU 2 — Résumé des principales caractéristiques des mines et des indices étudiés

	Mine Cooke	Mine Norbeau	Indice Chibougama Copper (forage)	Indice Bourbeau west-1 (composite)
Minéralisation	1,7 X 10 ⁶ t 5,2 g/t Au	419 029 t 13,4 g/t Au	14,2 g/t Au sur 1,5 m 12,2 g/t Au sur 1,4 m	5,2 g/t Au
Type de minéralisation	Veines de quartz, calcite et sulfures	Veines de quartz enfumé	Veines de quartz, calcite et pyrite	Veines de quartz
Contrôles				
- stratigraphique	Leucogabbro et ferrogabbro à quartz	Ferrodiorite, ferrogabbro et ± leucogabbro	Ferrogabbro et leucogabbro	Leucogabbro
- structural (zones de cisaillement)	E-W et NW	E-W et NNE	E-W et NW	E-W
- proximité d'une structure régionale	Faïlles du lac Gwillim (NE) et Kapunapotagen (E-W)	Faïlle du lac Antoinette (E-W)	Faïlle Kapunapotagen (E-W)	
Altération	Chlorite, carbonates et séricite	Carbonates, chlorite, séricite et tourmaline	Carbonates et chlorite	Ankérite, calcite, séricite et fuchsite
Phases métalliques				
- pyrite	5%	3 à 5%	≤10%	≤5%
- arsénopyrite	5 à 10%	1 à 2%	-	-
- chalcopryrite	30 à 40%	Traces	-	-
- pyrrhotite	10%	Traces	-	-

TABEAU — Résumé des principales caractéristiques des mines et des indices étudiés (suite)

	Indice Bourbeau west-2 (forage)	Indice du ruisseau Leclerc (forage)	Indice Tadd (forage)	Indice Springer (composite)
Minéralisation	7,2 g/t Au sur 0,9 m	0,7 g/t Au sur 0,9 m	5,5 g/t Au sur 0,8 m	7,9 g/t Au 3,8 g/t Au
Type de minéralisation	Veines de quartz et pyrites	Ferrodiorite ankéritisée, séricitisée et pyritisée	Ferrodiorite à ankérite, séricite et pyrite	Ferrogabbro à quartz chlo- ritisé carbonatisé et pyritisé
Contrôles				
- stratigraphique	Leucogabbro	Ferrogabbro et ferrodiorite à quartz	Ferrodiorite à quartz	Ferrogabbro à quartz
- structural (zones de cisaillement)	E-W et NW	E-W	E-W	NE et NW
- proximité d'une structure régionale	-	-	Faïlle Faribault (E-W)	Faïlle du lac Gwillim (NE)
Altération	Ankérite, calcite et chlorite	Ankérite, séricite et chlorite	Ankérite, séricite, fuchsite, chlorite et calcite	Chlorite, calcite et séricite
Phases métalliques				
- pyrite	≤10%	≤15%	≤15%	≤15%
- arsénopyrite	-	-	1 à 2%	-
- chalcopryrite	-	-	-	-
- pyrrhotite	-	-	-	-

CHAPITRE III

PÉTROGRAPHIE ET PÉTROCHIMIE DU FILON-COUCHE DE BOURBEAU

3.1- Étude régionale du filon-couche de Bourbeau

3.1.1 Introduction

Les travaux que nous avons réalisés dans le cadre de ce projet concernent uniquement les roches du filon-couche de Bourbeau (Duquette, 1970) (figure 3). Il est localisé au sommet du complexe mafique-ultramafique de Cummings, constitué de trois filons-couches (Roberge, Ventures et Bourbeau) mis en place dans la Formation de Blondeau (Groupe de Roy) avant la déformation régionale. Leur épaisseur moyenne est de 400 à 500m et leur extension latérale est de l'ordre de plus de 100 km, du front du Grenville jusque dans le canton de Dolomieu à l'ouest de Chapais. Ces filons-couches sont pré-tectoniques. Le filon-couche de Bourbeau a été daté par la méthode U-Pb sur des zircons à 2717 +/- 1 Ma (Mortensen, communication personnelle). Les filons-couches du Complexe de Cummings constituent une des caractéristiques stratigraphiques typiques à la région de Chibougamau-Chapais.

Comme décrit par Bradley (1965) et Hughes (1982), l'intrusion de filon-couche est un processus purement gravitationnel. Selon Hughes (1982), la formation des filons-couches basiques se produit lorsque la densité moyenne des roches sus-jacentes est moins élevée que la densité du magma basique à la température du liquidus (densité de 2,65 gr/cm³ pour le magma et d'environ 2,3 gr/cm³ pour les sédiments). Cette différence de densité force le magma à s'infiltrer le long d'horizons sédimentaires poreux recouverts de sédiments non-perméables, soulevant ainsi les strates sus-jacentes, plutôt que de s'écouler à la surface sous forme de lave. La mise en place de ce filon-couche augmente alors la densité de la colonne de roche et les intrusions subséquentes vont se localiser à des niveaux supérieurs dans la colonne de roche (Hughes, 1982). Ce processus permettrait d'expliquer, du moins en partie, la superposition des filons-couches de Roberge, Ventures et de Bourbeau du Complexe de Cummings à Chibougamau (figure 2).

La stratigraphie interne régionale du filon-couche de Bourbeau a été résumée par Allard et Gobeil (1984) à partir de leurs travaux et de ceux de Duquette (1976), Boudreault (1977) et Poitras (1984). Le filon-couche est constitué, de la base au sommet, d'une zone de trempe de composition gabbroïque, d'une unité de pyroxénite-péridotite, d'une unité de leucogabbro, d'une unité de ferrodiorite à quartz et finalement, au sommet, d'une unité de granophyre sodique.

Dans le cadre de cette thèse, des sections stratigraphiques ont été réalisées dans des secteurs éloignés des sites minéralisés afin de préciser, aux échelles régionale et locale, les caractéristiques pétrologiques, pétrographiques et lithogéochimiques primaires du filon-couche de Bourbeau. De plus, nous avons effectué une étude semblable aux mines Cooke et Norbeau. Cette dernière étape sera très importante lorsque nous étudierons les transformations minéralogiques et chimiques subies par le filon-couche de Bourbeau lorsqu'il a été soumis au métasomatisme associé à la minéralisation aurifère. Ce travail permettra de synthétiser, à l'échelle régionale, l'ensemble des données acquises sur ce filon-couche et d'uniformiser la nomenclature. Nous présentons maintenant, dans l'ordre, la pétrographie et la pétrochimie de chacun des faciès du filon-couche de Bourbeau telles qu'observées régionalement et nous enchaînerons avec l'étude ponctuelle effectuée dans les mines. Les phases minéralogiques ont été identifiées au microscope de plus, la nature des minéraux ayant été pseudomorphosés a été identifiée en prenant en considération la forme du pseudomorphe et sa composition minéralogique.

3.1.2 Pétrographie

L'étude pétrographique réalisée est basée sur les sections stratigraphiques effectuées dans les cantons de Roy (figure 3, section 1), de Richardson (figure 3, section 2), de Cuvier (figure 3, section 3) et de McKenzie (figure 3, section 4). Nous avons également utilisé certains échantillons ayant servi à la préparation du mémoire de maîtrise de Poitras (1984) portant sur le secteur de Cuvier-Barlow (figure 3, section 5). La figure 14 présente, à l'aide de colonnes stratigraphiques, la succession et l'épaisseur des différents faciès. L'épaisseur de ces faciès varie d'un secteur à l'autre en fonction de conditions primaires (paléotopographie, niveau et conditions de fractionnement) et secondaires (plissements). Toutefois, selon les sections stratigraphiques présentées à la figure 14, le faciès pyroxénitique mesurerait environ 20

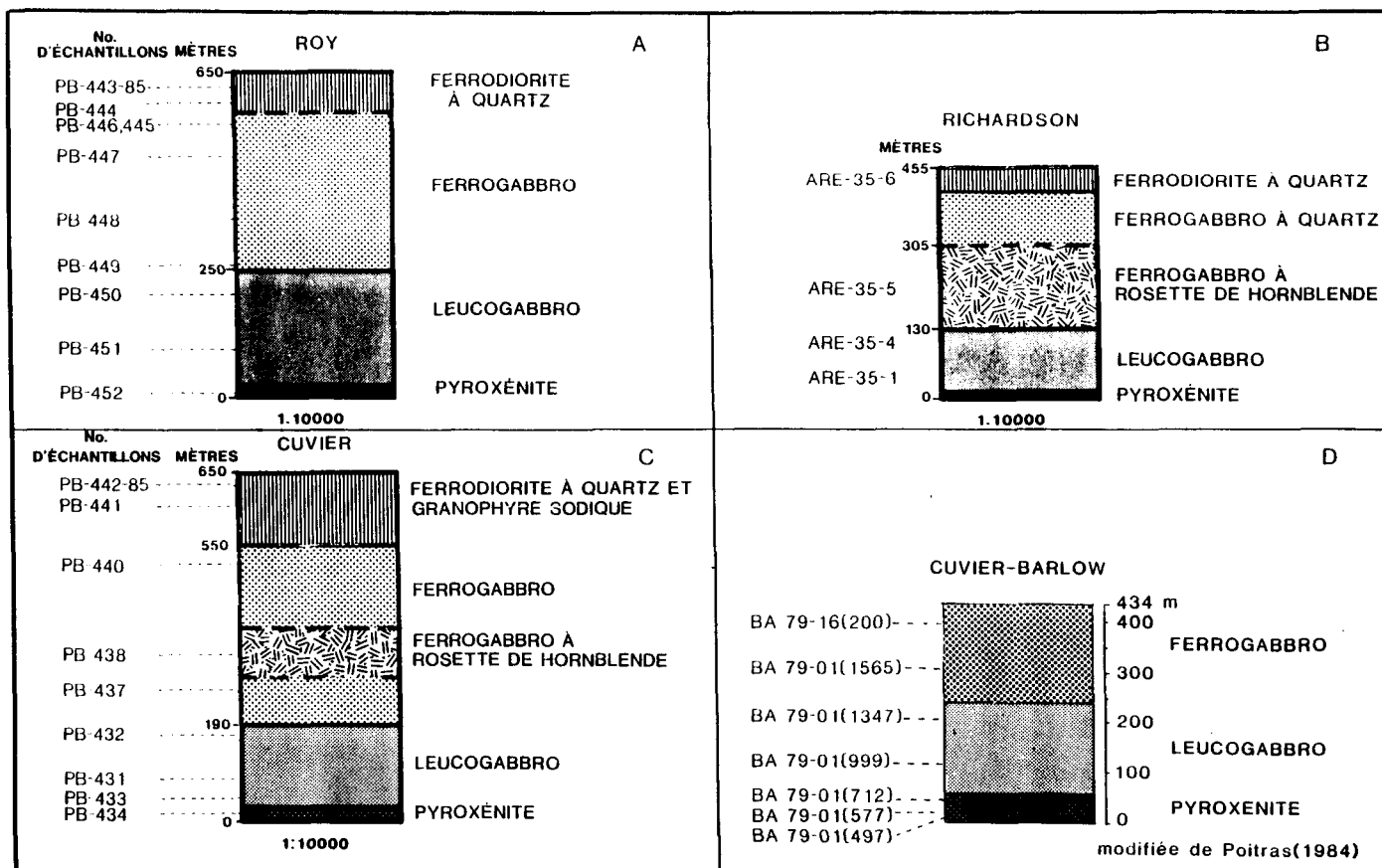


Figure 14: Stratigraphie du filon-couche de Bourbeau dans les différents secteurs étudiés.

mètres, l'épaisseur du leucogabbro serait d'environ 175 m, celle du ferrogabbro à quartz (incluant les lentilles de ferrogabbro à rosettes de hornblende) serait d'environ 240 m et enfin, la puissance du faciès ferrodioritique serait de l'ordre de 100 m là où cette unité est présente. Le faciès granophyrique n'a pas été observé dans les secteurs étudiés. Ainsi, l'épaisseur moyenne du filon-couche de Bourbeau est de l'ordre de 400 à 500m.

Les roches étudiées ont, de façon générale, subi peu de déformation interne et sont affectées par un métamorphisme régional de type schistes verts qui a principalement engendré une saussuritisation des plagioclases et une ouralitisaiton des pyroxènes. Le lecteur voudra bien noter que la nomenclature lithologique utilisée dans ce travail est basée sur des critères mégascopiques (couleur, composition) et texturaux (ophitique, rosettes, etc) des échantillons. Les termes leucogabbro, ferrogabbro à quartz et ferrodiorite à quartz ne correspondent donc pas de façon sensu stricto à la nomenclature de Streckeisen (1976). Toutefois, nous croyons que ces appellations traduisent très bien l'aspect mégascopique de l'ensemble des roches des différents faciès et rend plus facile la cartographie du filon-couche. Ces appellations réfèrent donc à des termes de terrain dont l'usage est très répandu.

Nous présentons maintenant le sommaire des observations pétrographiques réalisées à partir de 31 lames minces étudiées.

3.1.2.1 Pyroxénite (péridotite)

La pyroxénite est une roche de patine brun-noir à rouille et de cassure verte à noire. Elle est massive, homogène et non magnétique. Sa texture est panidiomorphique ou mésocumulus dans le secteur de Cuvier-Barlow. La pyroxénite est constituée (annexe 1, tableau 1) de 65 à 94% d'augite, de 2 à 20% d'orthopyroxène, de 0 à 13% de plagioclase et de 0 à 7% d'oxyde de fer. Selon la classification de Streckeisen *et al.* (1976), cette pyroxénite correspond à une webstérite.

Les clinopyroxènes se présentent en cristaux idiomorphes de 1 à 3 mm, partiellement remplacés (Cuvier) ou, plus souvent, totalement remplacés par la hornblende verte et la trémolite-actinote. Les orthopyroxènes (enstatite-bronzite) se présentent en cristaux de 1,5 à 4 mm (Roy et Cuvier-Barlow) ou en phénocristaux de 3 à 8 mm (Cuvier). Selon les observations microscopiques, il s'agit généralement de pseudomorphes constitués de bastite (variété

de serpentine) et de chlorite. Des plagioclases sont présents dans la pyroxénite du canton de Cuvier et au sommet du faciès pyroxénitique de la section Cuvier-Barlow. Ils forment des cristaux de 0,5 à 1 mm, totalement saussuritisés. Enfin, les oxydes de fer se présentent en grains d'environ 0,3 mm, partiellement (Cuvier et Cuvier-Barlow) ou totalement remplacés par le leucoxène.

Dans la section Cuvier-Barlow, nous avons également constaté la présence d'une zone de péridotite (wehrlite) à environ 30 m de la base (BA 79-01(577)), son extension demeure inconnue. La péridotite possède une texture mésocumulus. Elle est constituée de 80% d'olivine idiomorphe, d'environ 1mm de diamètre. La péridotite contient également 7% de clinopyroxène ouralitisé et 2% d'oxydes de fer. Les autres constituants sont la chlorite, l'amphibole et la serpentine.

3.1.2.2 Leucogabbro

Le leucogabbro est une roche de patine et de cassure blanche tachetée de vert. Il possède une texture subophitique et localement porphyrique (Richardson et Cuvier). Le leucogabbro est principalement constitué (annexe 1, tableau 2) de 20 à 62% de clinopyroxène augite, de 0 à 15% d'orthopyroxène (sauf dans Richardson) et de 31 à 65% de plagioclase. Ces variations s'expliquent du fait qu'à la base de ce faciès la proportion de plagioclase est d'environ 30% et celle des pyroxènes d'environ 60%, alors qu'au sommet elle est respectivement de 65% et 30%. Le leucogabbro contient également des oxydes de fer (2%) et une faible proportion de quartz est observée localement dans les échantillons du sommet du faciès. De façon globale, le leucogabbro possède une composition minéralogique équivalente à celle d'une gabbro norite ou d'un gabbro selon qu'il y a présence ou non d'orthopyroxène (Streckeisen, 1976).

L'augite forme des cristaux de 1 à 2 mm de diamètre partiellement (Cuvier) ou totalement remplacés par de la hornblende verte et de la trémolite-actinote. Les orthopyroxènes se présentent en phénocristaux de 2 à 8 mm. Il s'agit de pseudomorphes constitués de bastite, de chlorite magnésienne et de rutilé disséminés. Les plagioclases forment des cristaux idiomorphes de 0,5 à 1mm de longueur, totalement saussuritisés. Les oxydes de fer se présentent en cristaux pouvant atteindre 0,5 mm de diamètre et sont partiellement ou totalement remplacés par le leucoxène.

3.1.2.3 Ferrogabbro à quartz

Le ferrogabbro à quartz est une roche de patine et de cassure vertes. Il est massif et non magnétique. Il possède une texture panidiomorphique ou subophitique (Cuvier-Barlow). Toutefois, il possède localement une texture en rosettes constituée de phénocristaux aciculaires dendritiques de hornblende. Cette texture a été observée dans les cantons de Richardson, de Cuvier, de McKenzie (Dubé et Guha, 1986a) et de Barlow (Dubé, 1985). Le ferrogabbro à quartz est constitué (annexe 1, tableau 3) de 5 à 50% de clinopyroxène augite, de 40 à 73% de plagioclase, de 2 à 10% de titanomagnétite, de 1 à 10% de quartz et, localement, d'une faible proportion d'intercroissances granophyriques. De la base au sommet (annexe 1, tableau 3), la proportion d'augite diminue tandis que celle du plagioclase augmente. De plus, près du sommet, on observe localement (canton de Roy) des zones lenticulaires (métriques) de gabbro pegmatitique, principalement constituées de plagioclase et de quartz (PB-446-85). Dans l'ensemble, sa composition minéralogique correspond à celle d'un gabbro (Streckeisen, 1976).

Les clinopyroxènes ont en moyenne 1 à 2 mm de diamètre. Toutefois, ils peuvent atteindre 1 cm lorsqu'ils forment des rosettes. Les clinopyroxènes sont partiellement (Cuvier) ou totalement remplacés par de la hornblende verte et de la chlorite (localement). Des reliquats d'augite ont été observées à l'intérieur des cristaux aciculaires de hornblende et indiquent que les rosettes sont formées par des pyroxènes ouralitisés en hornblende. Les plagioclases (bâtonnets idiomorphes de 0,5 à 2 mm de diamètre) ne sont généralement que partiellement saussuritisés. Les titanomagnétites forment des grains de 0,5 à 1 mm contenant des lamelles d'exsolution d'ilménite. Elles sont partiellement ou totalement remplacées par des leucoxènes.

3.1.2.4 Ferrodiorite à quartz - ferrodiorite granophyrique

La ferrodiorite est une roche de patine blanchâtre et de cassure gris-vert. Sa texture est hypidiomorphique. Elle est constituée (annexe 1, tableau 4) de 43 à 63% d'albite-oligoclase, de 0 à 35% de pyroxène-amphibole, de 7 à 12% de titanomagnétite, de 8 à 15% de quartz et de 3 à 5% d'intercroissances granophyriques (figure 15). Sa composition minéralogique est approximativement équivalente à celle d'une diorite à quartz (Streckeisen, 1976).

Les albites-oligoclases se présentent en cristaux de 1 à 3 mm, non saussuritisés mais plutôt partiellement remplacés par de la chlorite, de la calcite, de la damourite et de l'épidote.

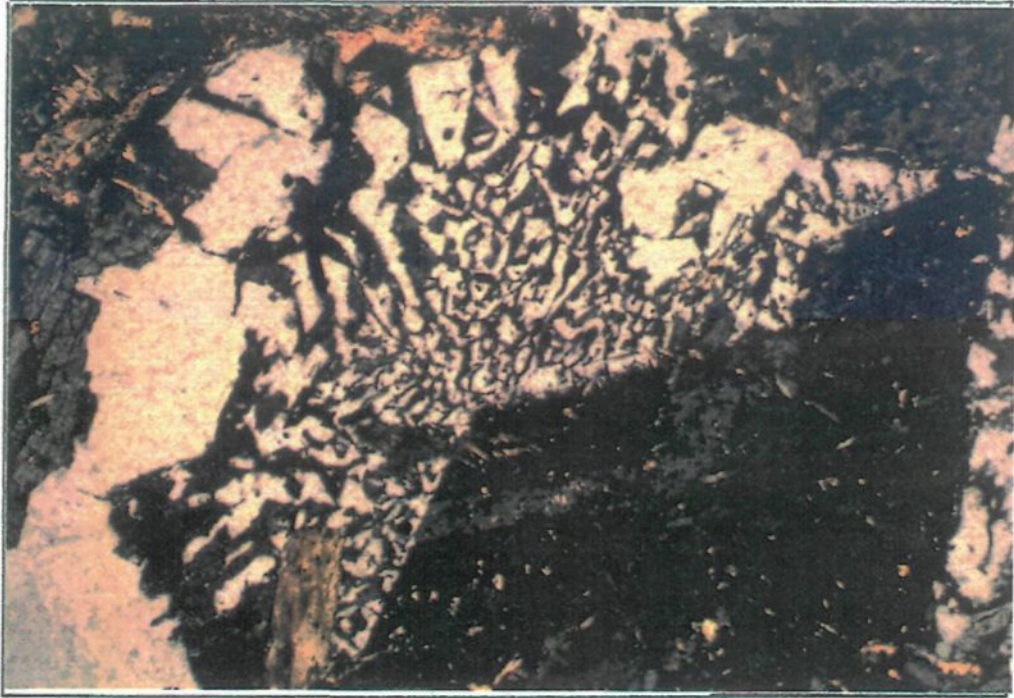


Figure 15: Photomicrographie d'une intercroissance granophyrique observée dans le faciès ferrodioritique, canton Cuvier.

Les pyroxènes-amphiboles (cristaux de 1 mm de diamètre) sont totalement pseudomorphosés par de la hornblende verte. L'absence de reliquats du minéral primaire nous empêche de déterminer avec certitude s'il s'agit d'un pyroxène ou d'une amphibole. Les grains de titanomagnétite (0,5 mm) contiennent des lamelles d'exsolution d'ilménite et sont partiellement remplacés par du leucoxène. Le quartz et les intercroissances granophyriques forment des grains allotriomorphes de 0,5 à 1 mm.

3.1.2.5 Sommaire de l'étude pétrographique

L'étude pétrographique régionale réalisée sur le filon-couche de Bourbeau nous a permis de constater la présence, dans la pyroxénite et le leucogabbro, de deux types de pyroxène: un clinopyroxène (augite) et un orthopyroxène (enstatite-bronzite). L'orthopyroxène est peu abondant (5 à 20%) et il a été pseudomorphosé en bastite et parfois en trémolite-actinote et chlorite, ce qui rend impossible la détermination exacte de sa composition. Dans le leucogabbro, les phénocristaux d'orthopyroxènes entourent partiellement ou totalement les bâtonnets de plagioclases, produisant ainsi une texture ophitique bien développée. À noter que les transformations minéralogiques affectant les pyroxènes et plagioclases ont, de toute évidence, été produites par le métamorphisme régionale. Les produits secondaires sont en effet tout à fait typique des assemblages minéralogiques de faciès schiste vert (Winkler, 1979).

Enfin, on peut résumer les principales caractéristiques pétrographiques en rappelant que dans tous les secteurs, l'apparition, à partir de la base, du plagioclase calcique marque le début du faciès leucogabbroïque, tandis que la présence d'environ 7% de titanomagnétite, de quartz et parfois de grands cristaux de hornblende disposés en rosettes (Cuvier, Richardson, McKenzie et Barlow) caractérise le faciès ferrogabbroïque. Enfin, le faciès ferrodioritique est caractérisé par l'abondance de quartz (11%) et la présence d'intercroissances granophyriques (5%).

3.1.3 Pétrochimie régionale

3.1.3.1 Introduction

L'évolution pétrochimique du filon-couche de Bourbeau a été étudiée ponctuellement par différents auteurs, notamment Duquette (1976 et 1982), Boudreault (1977), Bélanger (1979), Poitras (1984) et Dubé (1985). Nous avons voulu réaliser une étude pétrochimique régionale en utilisant les données lithogéochimiques provenant de ces secteurs non minéralisés.

À ces données, nous avons ajouté des résultats non publiés obtenus par la compagnie Explo-
rations Noranda ltée dans les cantons de Cuvier et de Richardson. Par cette démarche, nous
voulons comparer les différents secteurs et établir les caractéristiques pétrochimiques
primaires du filon-couche de Bourbeau à l'échelle régionale. Nous présentons donc les
diagrammes binaires montrant l'évolution chimique du filon-couche pour les roches provenant
des cantons de Roy, Richardson, Cuvier et Cuvier-Barlow. Nous terminons cette section par une
classification chimique à l'aide de diagrammes ternaires.

3.1.3.2 Diagrammes binaires

Dans les diagrammes binaires nous avons choisi d'utiliser le magnésium (MgO) comme
indice de différenciation tel qu'il est recommandé par Wright (1974), puisque cet oxyde majeur
présente un grand intervalle de variation dans la séquence basaltique. Nous avons choisi de
présenter uniquement les diagrammes SiO_2 vs MgO et $(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ vs MgO car nous croyons
qu'ils sont les plus appropriés pour représenter l'évolution du filon-couche.

Les diagrammes des figures 16 A et 16 B montrent que les données provenant des
différents cantons sont comparables. La silice (SiO_2) (figure 16 A) montre un enrichissement
relativement constant à mesure que la proportion de MgO diminue. Toutefois, vers la fin du
processus de différenciation, on observe un redressement de pente qui traduit une augmentation
abrupte de la quantité de silice pour une faible diminution de proportion du magnésium. Ce
phénomène coïncide avec la formation des ferrodiorites et explique la présence du quartz et des
intercroissances granophyriques observés dans ce faciès. La figure 16 B illustre l'évolution du
fer en fonction du magnésium. On constate d'abord une diminution du contenu en fer de la
pyroxénite-péridotite évoluant vers le leucogabbro. Par la suite, une forte augmentation du
contenu en fer coïncide avec la formation du ferrogabbro à quartz et de la ferrodiorite à quartz.
Cet enrichissement témoigne de la cristallisation des titanomagnétites observées principalement
dans ces deux faciès. Le comportement du fer dans cette évolution magmatique est caractéris-
tique des séries tholéitiques. En effet, un enrichissement important en fer (Fenner trend) dans
les termes intermédiaires est considéré comme une particularité de la série tholéitique.

3.1.3.3 Classification chimique

Portées sur le diagramme AFM (figure 17A), les données lithogéochimiques montrent que

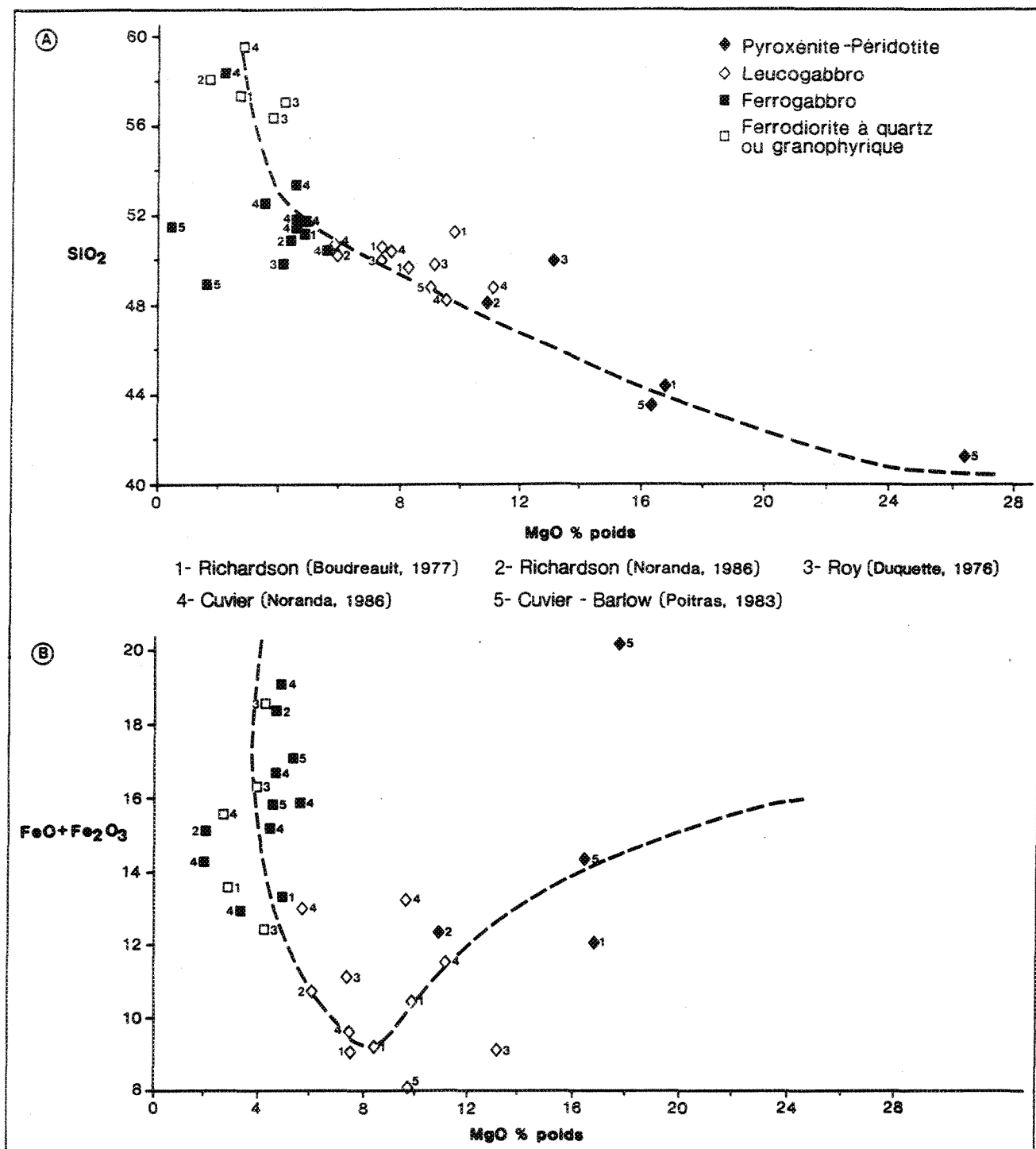


Figure 16: Diagrammes binaires utilisant SiO_2/MgO (A) et $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)/\text{MgO}$ (B) comme indice de différenciation montrant l'évolution chimique régionale du filon-couche de Bourbeau.

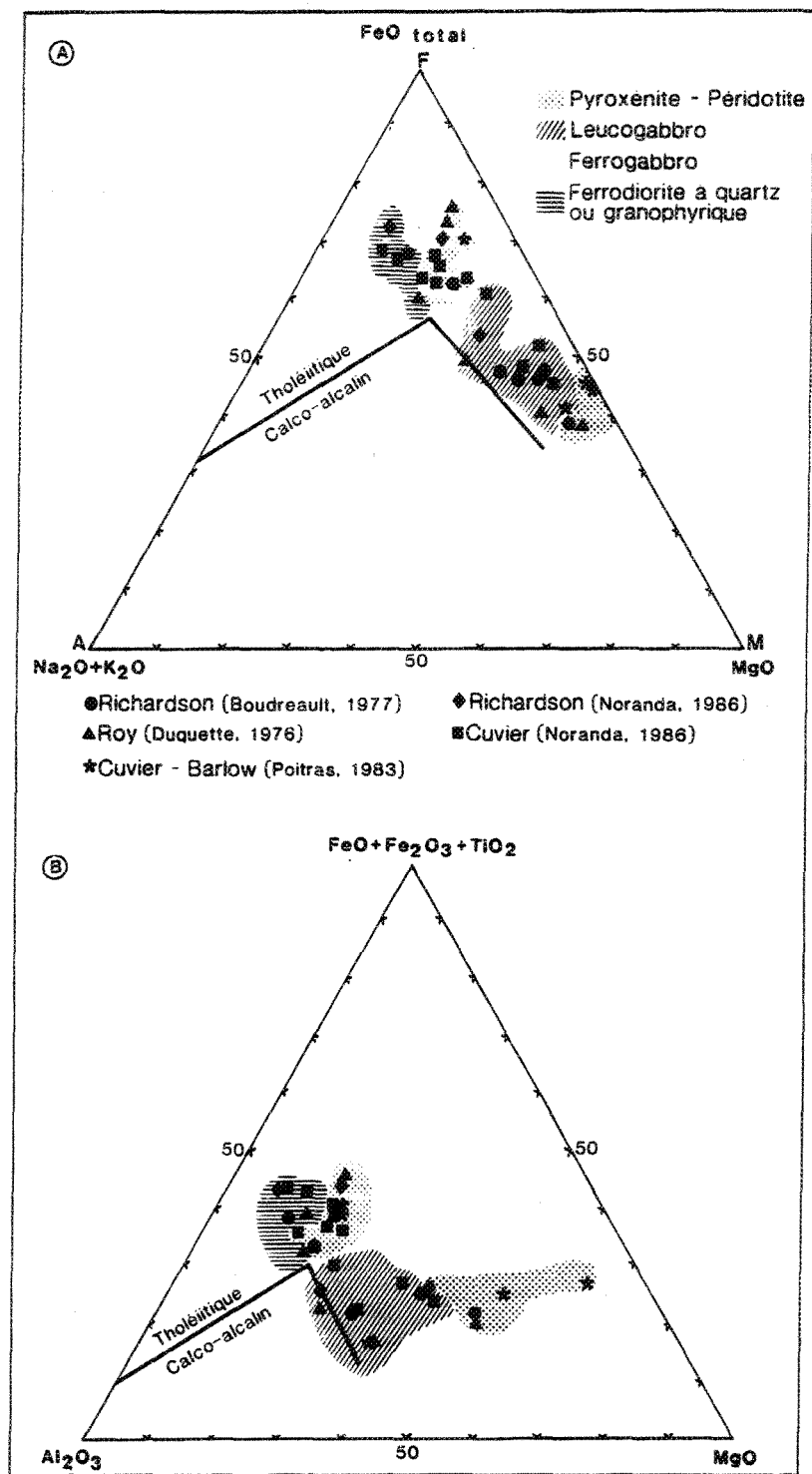


Figure 17: Diagrammes AFM (A) et de Jensen (B) montrant l'évolution chimique régionale du filon-couche de Bourbeau. La courbe du diagramme AFM est tiré d'Irvine et Baragar (1971).

chaque faciès est représenté par un champs distinct, montrant une évolution chimique caractérisée par un enrichissement en fer typique des séries tholéitiques. Dans le but de préciser ce caractère tholéitique, nous avons aussi utilisé le diagramme de Jensen (1976) (figure 17B). On observe de nouveau, à l'aide de ce diagramme, la présence de champs bien distincts pour chacun des faciès et une évolution chimique typique des magmas tholéitiques. De plus, le diagramme de Jensen (1976) permet de bien distinguer pétrochimiquement les différents faciès observés mégascopiquement et pétrographiquement. En effet, le contenu en magnésium permet de distinguer facilement les pyroxénites, tandis que le leucogabbro diffère du ferrogabbro et de la ferrodiorite par son contenu en fer nettement plus faible. Il est toutefois difficile de différencier à l'aide de ce diagramme le ferrogabbro de la ferrodiorite. Pour ce faire, le diagramme binaire de la silice en fonction du magnésium semble plus adéquat.

3.1.4 Sommaire de l'étude régionale

L'étude régionale que nous avons réalisée permet d'uniformiser la nomenclature du filon-couche et d'utiliser dans sa description les faciès suivants, de la base au sommet: une pyroxénite-péridotite, un leucogabbro, un ferrogabbro à quartz contenant régulièrement des zones de ferrogabbro à rosettes de hornblende et, au sommet, une ferrodiorite à quartz et intercroissances granophyriques. Localement, toutefois, une unité de granophyre sodique, reconnue par Allard et Gobeil (1984) et Dubé (1985) et caractérisée par l'abondance d'intercroissances granophyriques, peut être observée comme résultat ultime de la différenciation magmatique. L'étude pétrochimique du filon-couche de Bourbeau effectuée à l'échelle régionale montre que chaque faciès est défini par un champ distinct et que tous les échantillons étudiés sont comagmatiques et appartiennent à la série tholéitique. De plus, cette évolution pétrochimique traduit parfaitement les différents faciès pétrologiques précédemment décrits et justifie leur dénomination de terrain.

3.2-Étude du filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke

3.2.1 Introduction

Afin de préciser les caractéristiques pétrographiques et l'évolution pétrochimiques des différents faciès du filon-couche de Bourbeau dans le secteur de la mine Cooke, nous avons réalisé une étude pétrographique et lithogéochimique à partir du trou de forage S-589 (figure 18) et des forages U-13106 et U-13166 (figure 19). Ces derniers recoupent totalement le

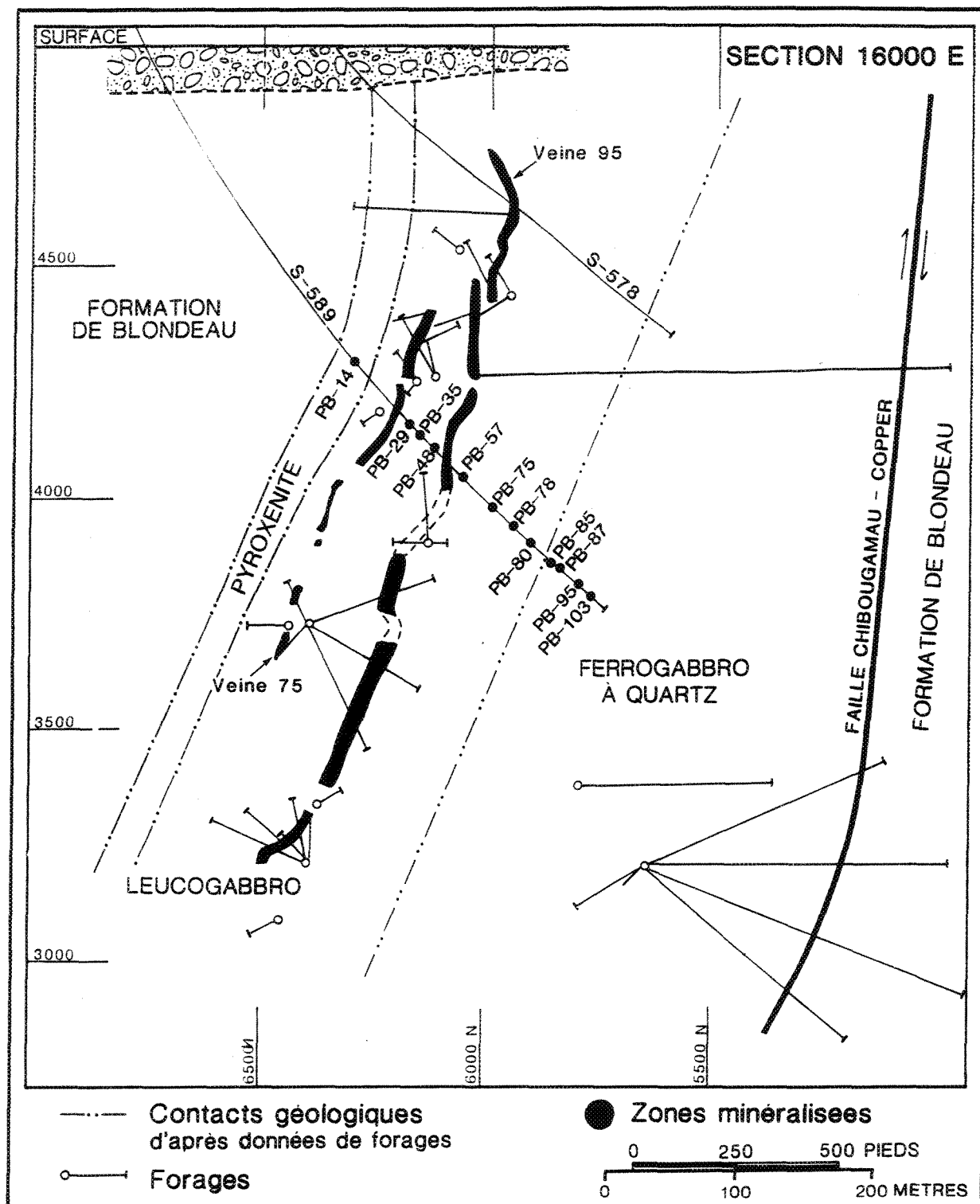


Figure 18: Localisation géographique et géologique du forage S-589 et position des échantillons étudiés.

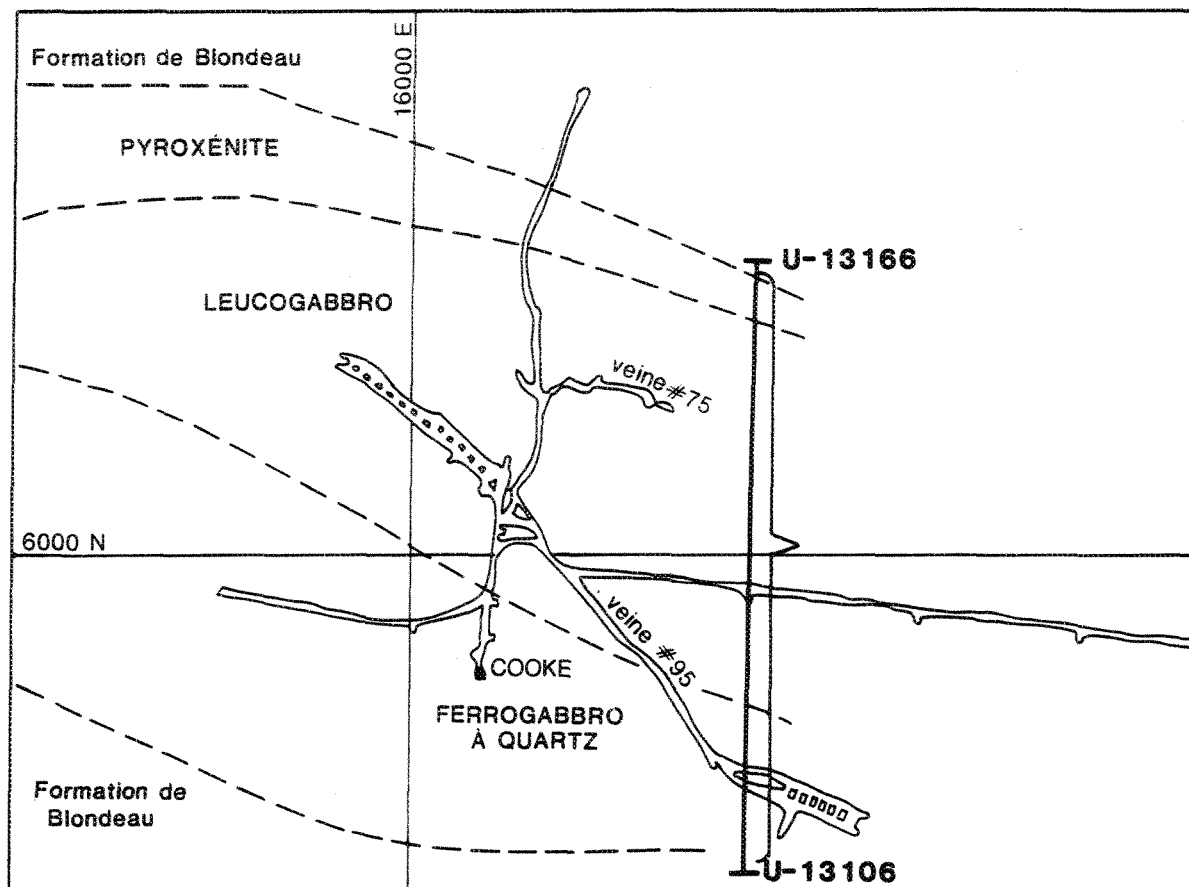


Figure 19: Localisation des forages U-13166 et U-13106 à la mine Cooke.

filon-couche et nous permettent d'étudier l'ensemble des différents faciès produit par la différenciation magmatique.

Nous présentons maintenant dans l'ordre les résultats de nos études pétrographique et lithogéochimique.

3.2.2 Pétrographie des faciès du filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke

3.2.2.1 Introduction

Le forage S-589 (figure 18) recoupe totalement les faciès pyroxénitique et leucogabbroïque et une partie du faciès ferrogabbroïque et les forages U-13106 et 13166 (figure 19) recoupent totalement le filon-couche. Nous avons étudié 26 échantillons parmi les moins déformés et les moins altérés et nous présentons ici un sommaire de nos observations.

3.2.2.2 Pyroxénite

La pyroxénite à la base du filon-couche possède une couleur vert foncé à noire en cassure fraîche. Elle est massive, non magnétique et sa texture est panidiomorphique. La pyroxénite est constituée (tableau 3) de 92% de clinopyroxène (augite), pseudomorphosé par de la hornblende basaltique et de la trémolite-actinote, de 1% d'oxydes de fer et titane partiellement remplacés (20 à 30%) par le leucoxène et de 7% de minéraux secondaires en particulier de la chlorite magnésienne. Aucun phénocristal d'orthopyroxène n'est présent, toutefois, Bélanger (1979) rapporte des pseudomorphes d'orthopyroxène (1%) transformé en bastite.

3.2.2.3 Leucogabbro

Le leucogabbro (épidiorite) constitue un faciès volumineux, sa puissance étant d'environ 200 à 225 mètres. Il s'agit d'une roche très homogène de couleur blanche tachetée de vert. Nous avons étudié sept échantillons dans le forage S-589 (figure 18), et 6 échantillons dans le forage U-13166.

Le leucogabbro possède une texture sub-ophitique. Il est constitué (tableau 3) de pyroxène et de plagioclase dont les proportions varient, de la base au sommet de 64 à 35% pour le pyroxène et de 35 à 62% pour le plagioclase. On y observe également la présence d'en moyenne 2 % d'oxydes de fer et de titane. Les pyroxènes se présentent principalement en

Tableau 3 : Variation d'assemblage minéralogique en fonction des faciès
pétrologiques observés dans le forage S-589 de la mine Cooke

# Echantillon	Profondeur de pieds	Faciès pétrologique	Pyroxènes ouralitisés	Plagioclases saussuritisés	Oxydes de fer	Quartz	Intercroissance granophyrique	Autres (chlorites, épidotes)
PB-14-85	789	Pyroxénite	92%	-	1%	-	-	7%
PB-29-85	964.6	Leucogabbro	64%	35%	1%	-	-	-
PB-35-85	1015	"	55	43	2	-	-	-
PB-48-85	1103	"	35	64	2	-	-	-
PB-57-85	1173	"	48	50	2	-	-	-
PB-75-85	1268	"	40	58	2	-	-	-
PB-78-85	1326	"	35	62	3	-	-	-
PB-80-85	1365	"	35	62	3	-	-	-
PB-85-85	1434	Ferrogabbro	30%	64%	5%	1	-	-
PB-87-85	1444.9	"	30	64	5	1	-	-
PB-95-85	1505	"	35	54	7	2	2	-
PB-103-85	1543	"	35	50	8	6	1	-

cristaux idiomorphes de 1 à 3 mm; ce sont des augites partiellement ou plus souvent totalement ouralitisés par de la hornblende et de la trémolite-actinote. Vers le centre du faciès, on observe des phénocristaux (4-5%) d'orthopyroxène (3 à 8 mm) englobant des plagioclases et pseudo-morphosés par l'actinote et/ou de la bastite. Les plagioclases (bâtonnets idiomorphes d'environ 1 mm) sont fortement saussuritisés de la base jusque dans la partie centrale du filon-couche. Par la suite, la calcicité du plagioclase semble diminuer car la saussuritisation affecte principalement le coeur du cristal, alors que les bordures sont plutôt limpides et/ou damouritisées ($\leq 20\%$). Leur composition varie alors de l'albite à l'oligoclase. Cette variation d'altération reflète une zonation du plagioclase. Les oxydes de fer et titane sont imparfaitement cristallisés, présentent parfois des formes dendritiques variées, sont associés avec les minéraux ferromagnésiens et sont partiellement ou totalement remplacés par le sphène-leucoxène.

3.2.2.4 Ferrogabbro à quartz

Le ferrogabbro à quartz (localement appelé gabbro à quartz) est également un faciès imposant. Sa puissance moyenne est de l'ordre de 150-175 m. Mégascopiquement, il se distingue du leucogabbro par sa couleur noire tachetée de blanc, par la fréquence des yeux de quartz millimétriques et une plus grande abondance de leucoxène. Nous avons étudié, dans le forage S-589, quatre échantillons localisés dans la partie inférieure de ce faciès et 7 échantillons provenant du forage U-13106. Ce dernier recoupe l'ensemble du faciès et nous permet d'en avoir une image globale.

Le ferrogabbro à quartz possède une texture intergranulaire et très localement sub-ophitique. On y observe des cristaux aciculaires de plagioclase d'orientation diverses entre lesquels se situent des grains de pyroxènes. Mégascopiquement, l'aspect aciculaires des plagioclases et la texture intergranulaire du ferrogabbro à quartz semble particulier au secteur de la mine Cooke. Il est composé (tableau 3) de 20 à 32% de clinopyroxène, de 58 à 67% de plagioclase, de 6 à 10% de titanomagnétite, de 1 à 7% de quartz et, de 1 à 9% d'intercroissances granophyriques. Les clinopyroxènes forment des cristaux d'environ 1 à 3 mm, totalement ouralitisés par la hornblende verte et de la trémolite-actinote. L'échantillon PB-103-85 présente de plus des cristaux aciculaires de pyroxène ouralitisé pouvant atteindre 6 mm. Ces cristaux présentent beaucoup d'affinités avec ceux qui constituent la texture en rosettes observée régionalement. Les plagioclases forment des bâtonnets idiomorphes, aciculaires, de 1 à 3 mm de diamètre. Ces bâtonnets sont parfois alignés sub-parallèlement. La partie centrale de

plagioclases est saussuritisée tandis que les bordures sont plutôt limpides ou faiblement damouritisées ($\leq 5\%$). Leur composition varie alors de l'albite à l'oligoclase. Les titanomagnétites forment des grains hypidiomorphes de 0,5 à 2,5 mm. Ils sont en association symplectique avec les pyroxènes et sont partiellement remplacés par le leucoxène ($\leq 50\%$).

3.2.3 Pétrochimie du filon-couche de Bourbeau dans le secteur de la mine Cooke

3.2.3.1 Introduction

L'étude pétrochimique du filon-couche de Bourbeau réalisée à la mine Cooke est basée sur un levé lithogéochimique effectué par la compagnie Minnova (Boisvert, 1984). Il provient de deux sondages (U-13166 et U-13106), effectués au neuvième niveau de la mine et constituant une coupe continue à travers toute l'épaisseur du filon-couche (figure 19). Sur les 216 échantillons analysés pour le compte de la compagnie Minnova, nous en avons sélectionné 71. En effet, nous avons éliminé tous les échantillons associés aux zones aurifères et aux zones de cisaillement. Par la suite, nous avons choisi les échantillons en fonction de l'épaisseur du faciès de façon à obtenir une image représentative et une information valable. Ainsi, nous avons retenu 5 échantillons du faciès pyroxénitique, 29 du faciès leucogabbroïque et 37 du faciès ferrogabbroïque. L'espacement entre les échantillons de chacun des faciès est respectivement (1,5 m, 3 m et 3 à 12,2 m. Nous présentons maintenant, dans l'ordre, les diagrammes binaires et ternaires des éléments majeurs et mineurs.

La composition chimique moyenne des différents faciès du filon-couche de Bourbeau dans le secteur de la mine Cooke, calculée à partir des données lithogéochimiques, est présentée au tableau 4.

3.2.3.2 Diagrammes binaires des éléments majeurs et mineurs

Comme dans le cas de l'étude régionale, nous avons utilisé le magnésium (MgO) comme indice de différenciation et nous avons choisi de présenter les diagrammes SiO_2 vs MgO, Al_2O_3 vs MgO, CaO vs MgO, $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ vs MgO et TiO_2 vs MgO. Les diagrammes binaires de la figure 20 montrent un enrichissement marqué en SiO_2 , Al_2O_3 et en CaO dans le leucogabbro, comparativement à la pyroxénite. Cet enrichissement s'accorde bien avec l'abondance de

Tableau 4 Composition chimique moyenne des différents faciès pétrologiques observés dans le filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke. Réalisé à partir des données de Boisvert (1984).

Faciès pétrologique	Pyroxénite n=5	Leucogabbro n=29	Ferrogabbro n=36
<u>Analyses (en % poids)</u>			
SiO ₂	46.24	52.22	54.33
Al ₂ O ₃	9.82	15.30	13.21
Fe ₂ O ₃	2.31	2.34	3.43
FeO	14.28	7.68	10.30
CaO	7.12	9.32	5.52
MgO	15.94	8.98	3.63
Na ₂ O	0.63	3.15	4.36
K ₂ O	0.07	0.67	0.47
TiO ₂	0.81	0.83	1.93
MnO	0.25	0.23	0.40
P ₂ O ₅	----	----	----
S	0.42	0.11	0.90
CO ₂	1.64	0.81	1.01
Total	99.53	101.64	99.49
<u>Eléments Traces (ppm)</u>			
Rb	45	38	37
Cr	1039	122	24
Ag	1.1	0.36	0.50
Au(ppb)	11.1	17	5.79
As	121	13	3.58
Te	0.35	0.34	0.33
Sb	0.5	0.54	0.33
Zn	71.6	33	38
K ₂ O/Na ₂ O	0.11	0.21	0.11
SiO ₂ /CO ₂	28.20	64.46	53.79
SiO ₂ /(CO ₂ + S)	22.56	56.76	28.45

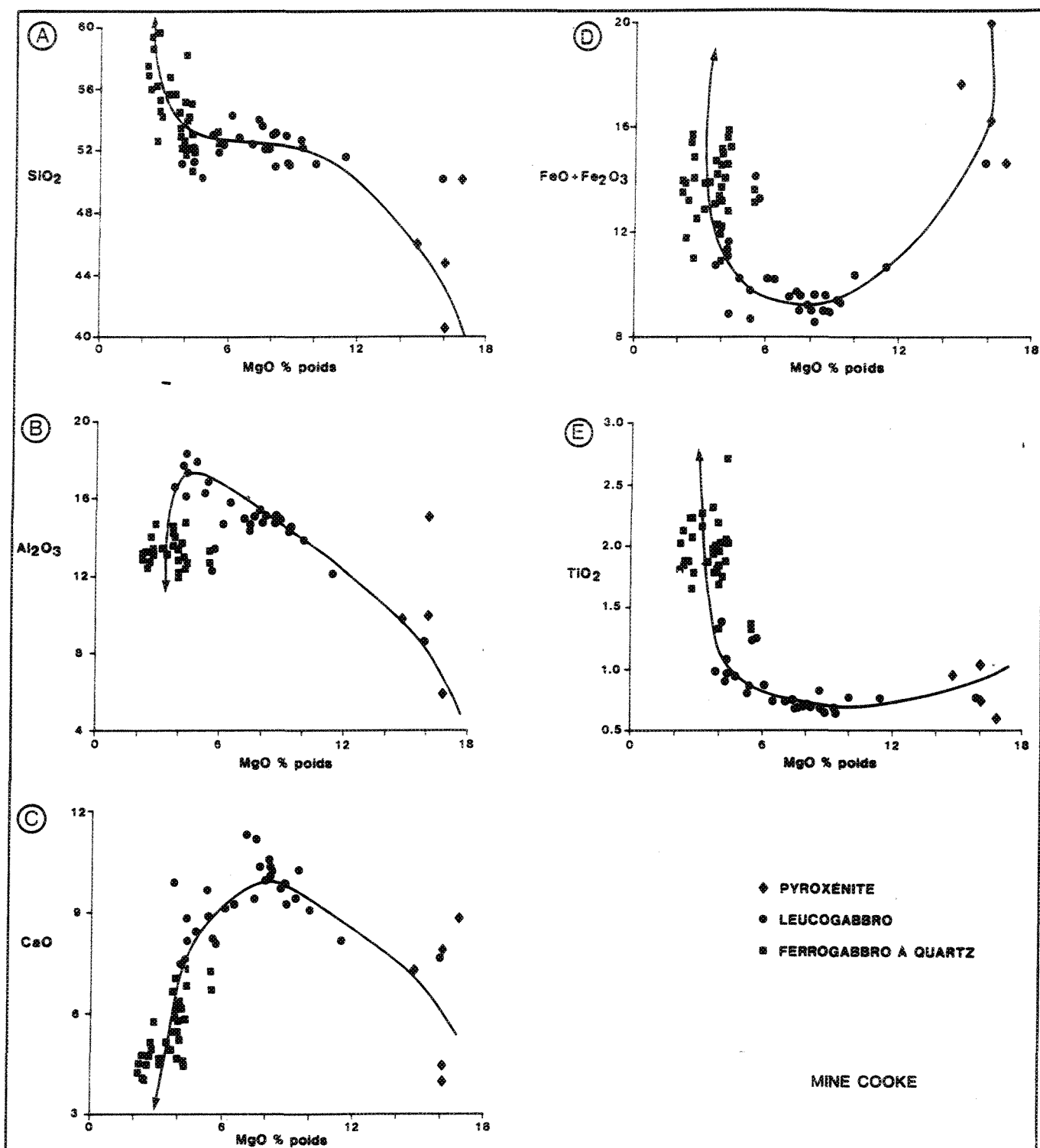


Figure 20: Diagrammes binaires montrant l'évolution chimique du filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke.

plagioclase calcique dans le faciès leucogabbroïque. $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ et TiO_2 ont un comportement quasi identique. Ils nous permettent de bien délimiter les différents faciès et confirment la cristallisation de la titanomagnétite observée pétrographiquement dans le ferrogabbro. De plus, le comportement du fer est tout à fait caractéristique des séries tholéitiques. Enfin, l'enrichissement marqué en SiO_2 , pour de faibles diminutions de MgO dans le ferrogabbro, caractérise également les séries tholéitiques et reflète la présence du quartz et des intercroissances granophyriques observées pétrographiquement. Ces résultats sont tout à fait comparables à ceux observés à l'échelle régionale (voir la section sur les diagrammes binaires du chapitre précédent).

3.2.3.3 Diagrammes binaires et ternaires: classification chimique

En termes de classification chimique, l'utilisation du diagramme binaire $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ (figure 21) indique une affinité sub alcaline pour les roches du filon-couche. Le diagramme AFM (figure 22 A) permet de constater un enrichissement en fer durant la cristallisation, semblable à celui des magmas tholéitiques. Le diagramme de Jensen (1976) (figure 22 B), qui utilise des éléments moins mobiles que le diagramme AFM, montre également l'affiliation tholéitique. Ce diagramme distingue également très bien les différents faciès entre eux.

3.3- Étude du filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau

3.3.1 Introduction

Afin de préciser les caractéristiques pétrographiques et l'évolution pétrochimiques des différents faciès du filon-couche de Bourbeau dans le secteur de la mine Norbeau, nous avons réalisé une étude pétrographique et lithogéochimique à partir de deux sections que nous avons réalisées dans la partie centrale et dans la partie orientale du secteur étudié (annexe 3) et sur différents échantillons non altérés provenant des trous de sondage ou de sites ponctuels.

Nous présentons maintenant dans l'ordre les résultats de nos études pétrographique et lithogéochimique.

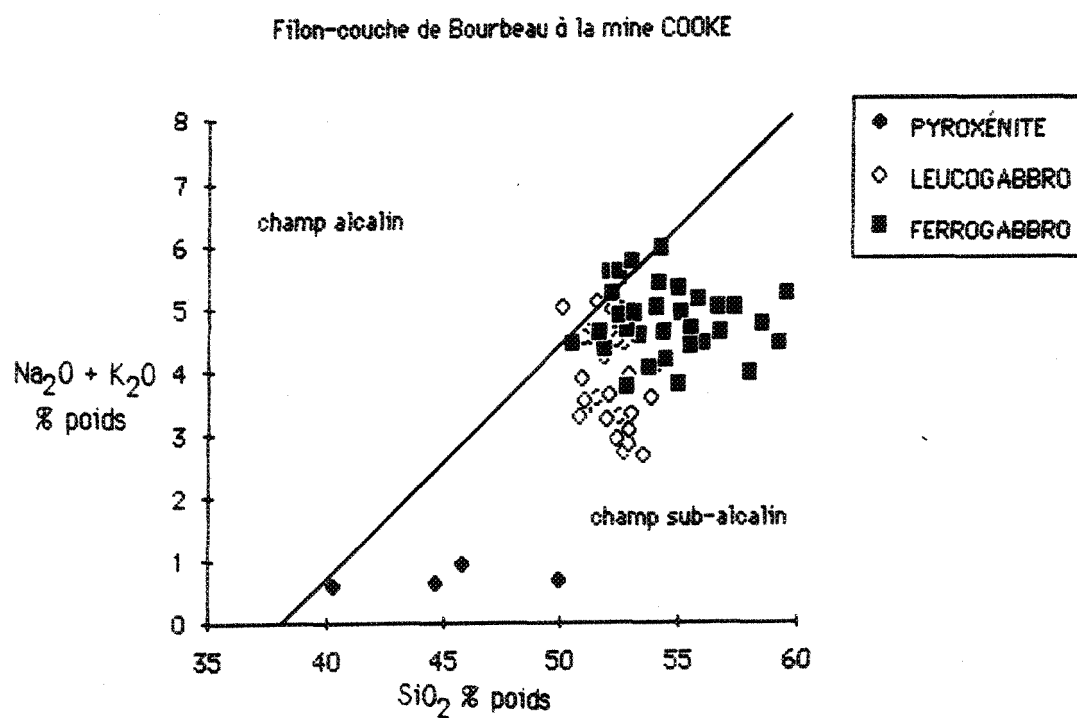


Figure 21: Diagramme de $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (MacDonald et Katsura, 1964)
du filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke.

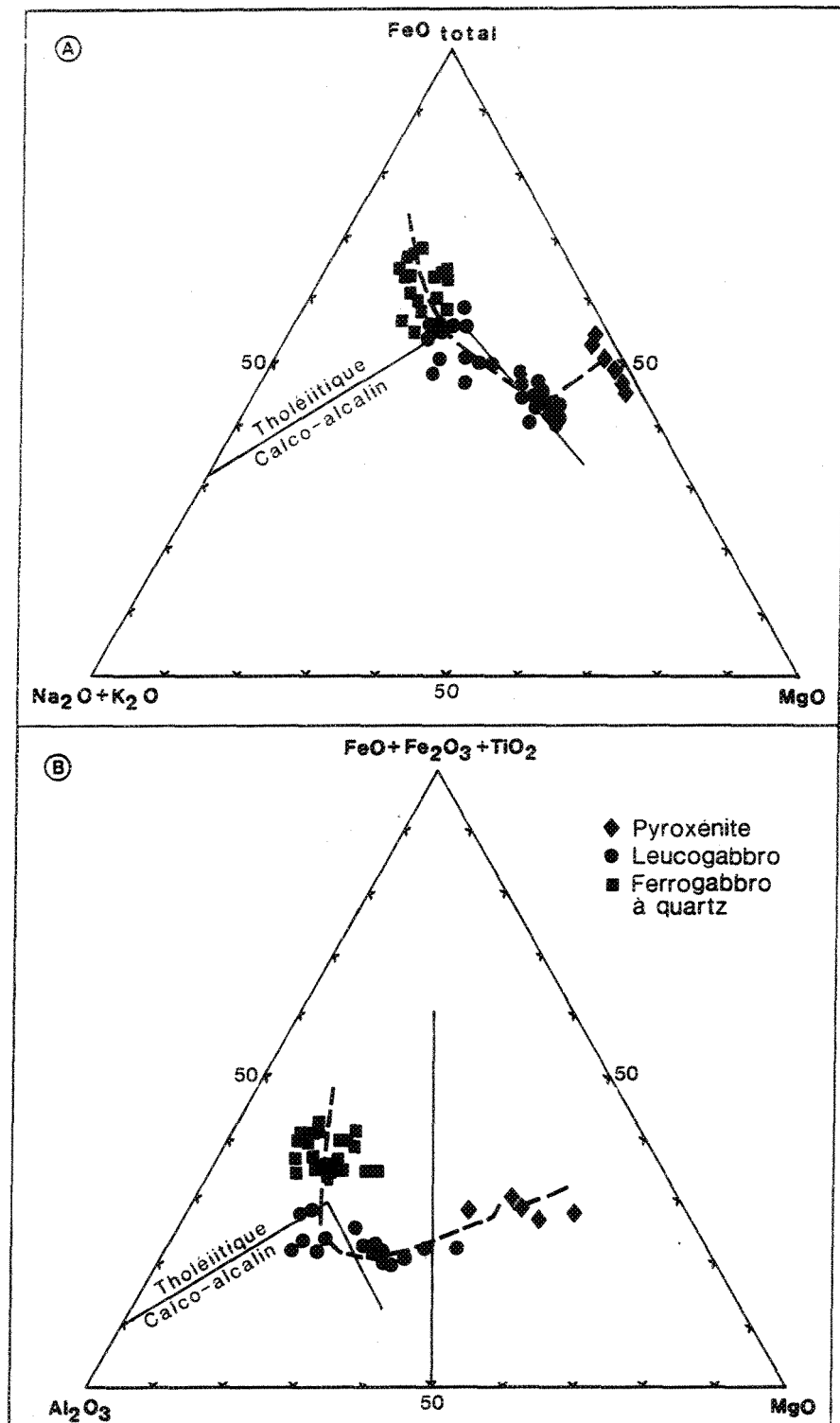


Figure 22: Diagrammes AFM (A) et de Jensen (B) montrant l'évolution chimique du filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke. La courbe du diagramme AFM est tiré d'Irvine et Baragar (1971).

3.3.2 Pétrographie des faciès du filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau

Le filon-couche de Bourbeau est particulièrement bien exposé dans le secteur de la mine Norbeau. La grande qualité d'affleurements en fait un site idéal pour la description des différents faciès qui y sont d'ailleurs tous très bien développée. Au moins quatre faciès pétrologiques sont présents soit, de la base au sommet, une péridotite, un leucogabbro, un ferrogabbro à quartz contenant des zones à rosettes de hornblende et au sommet une ferrodiorite à quartz et intercroissances granophyriques contenant localement des zones granophyriques. Plus localement, un ferrogabbro est observé au sommet du filon-couche. Nous les décrirons dans l'ordre.

3.3.2.1 Péridotite

La péridotite est observée à la base du filon-couche de Bourbeau. Son épaisseur moyenne est de 20 à 30 mètres. Il s'agit d'une roche de couleurs noire et rouille en surface altérée et noirâtre en cassure fraîche. Sa granulométrie est moyenne (1 à 3 mm). Elle est massive et magnétique. Elle possède une texture mésocumulus constituée de cumulats d'olivine altérée et d'intercumulats de clinopyroxène. La péridotite est formée (tableau 5) de 68% d'olivine, de 20% de clinopyroxène altéré, et de 2% de magnétite et de 10% de chlorite secondaire localisée entre les cristaux. Les olivines se présentent en cristaux idiomorphes de 1 mm, pseudomorphosés par de la serpentine (antigorite) avec migration de magnétite en bordure des cristaux. Les clinopyroxènes sont pseudomorphosés par la hornblende basaltique et par des oxydes de fer qui ont migré dans les plans de clivage. Il est à noter qu'il existe peut-être des zones plus riches en pyroxène (pyroxénites) à l'intérieur de ce faciès.

3.3.2.2 Leucogabbro

Le leucogabbro possède une puissance moyenne de 150 à 180 mètres. Il s'agit d'une roche de patine et cassure blanches tachetées de vert. Sa granulométrie est dans l'ensemble moyenne (1 à 3 mm). Le leucogabbro est massif et relativement homogène. Toutefois, à la base de ce faciès on observe un rubanement magmatique primaire marqué par des lits millimétriques à centimétriques constitués principalement de pyroxène (70%) alternant avec des lits plutôt riches en plagioclase (60%). Le leucogabbro possède une texture sub ophitique. Il est constitué

Tableau 5 : Variations d'assemblages minéralogiques observés dans les faciès pétrologiques du filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau

No échantillon	Faciès pétrologique	Olivine	Pyroxènes ortho clino	Plagioclases	Titanomagnétite et/ou leucogène	Quartz	Intercroissances granophyriques	Autres chlorite/calcite
BD-PD-128-86	Ferrogabbro sommital	-	- 20%	57%	15%	8%	-	-
BD-PB-495-85	Granophyre	-	- 8%	65%	5%	10%	12%	-
MY-PB-153-85	Ferrodiorite à quartz	-	- 15%	63%	8%	10%	3%	1%
MY-PB-152-85	Ferrodiorite à quartz	-	- 20%	55%	5%	12%	8%	-
BD-PB-175-86	Ferrogabbro à quartz	-	- 35%	42%	10%	5%	-	8%
MY-PB-149-86	Ferrogabbro à quartz	-	- 45%	45%	10%	trace	-	-
MY-PB-43-86	Ferrogabbro à quartz	-	- 50%	40%	10%	trace	-	-
MY-PB-147-86	Leucogabbro	-	8% 35%	49%	3%	5%	-	-
MY-PB-44-86	Leucogabbro	-	- 35%	59%	3%	3%	-	-
MY-PB-45-86	Leucogabbro	-	12% 35%	50%	2%	1%	-	-
MY-PB-145-86	Péridotite	68%	- 20%	-	2%	-	-	10%

en moyenne de 49% à 59% de plagioclase calcique, 35% d'augite, de proportions variables d'orthopyroxène (0 à 12%), de 3% de titanomagnétite, pseudomorphosée par le leucoxène, et de quartz dont la proportion varie, de la base au sommet, de 1 à 5% (tableau 5). Les plagioclases se présentent en cristaux idiomorphes de 0,5 à 1 mm totalement saussuritisés, témoignant ainsi de leur composition calcique primaire. Les augites sont en général partiellement ouralitisés par la hornblende verte et/ou la trémolite. L'orthopyroxène est observé principalement à la base de ce faciès. Il s'agit de phénocristaux d'hypersthène pouvant atteindre 6 mm. Ceux-ci sont fréquemment pseudomorphosés par de la serpentine (bastite).

3.3.2.3 Ferrogabbro à quartz

Le ferrogabbro à quartz se localise au sommet du faciès leucogabbroïque. Sa puissance moyenne est de l'ordre de 120 à 180 mètres. Mégascopiquement, il se distingue facilement du leucogabbro par sa couleur vert foncé et par l'abondance de titanomagnétite/leucoxène. Vers le sommet, on note des zones de ferrogabbro à quartz grossier contenant des rosettes de hornblende et une plus grande proportion de quartz. Ces zones semblent discontinues, lenticulaires et de faible épaisseur.

Le ferrogabbro à quartz possède dans l'ensemble une texture panidiomorphe. Il est relativement homogène et localement magnétique. Il se compose (tableau 5) d'augite dont la proportion varie, de la base au sommet, de 50 à 35%, de 40 à 45% de plagioclase calcique, de 10% de titanomagnétite partiellement altérée en leucoxène, et de quartz dont la proportion varie de traces à ≤5%. Les augites sont pseudomorphosées par la hornblende verte. Les plagioclases forment des cristaux idiomorphes de 1 à 3 mm fortement saussuritisés et parfois partiellement chloritisés.

Dans les zones de ferrogabbro à rosettes de hornblende la roche est grenue (1 mm à 1 cm). Elle possède une texture porphyrique à micropegmatitique. Elle est composée de plagioclase dont la proportion varie de 58 à 30%, de 25 à 57% de pyroxène, de 2 à 8% de titanomagnétite, de 5% de quartz et localement d'intercroissances granophyriques (0 à 10%). Ces zones semblent correspondre à des lentilles micropegmatitiques plus ou moins continues.

3.3.2.4 Ferrodiorite à quartz et intercroissances granophyriques

Vers le sommet du filon-couche, on note une ferrodiorite à quartz. Sa puissance est de

l'ordre de 90 à 120 mètres. Il s'agit d'une roche de couleur vert blanchâtre et de granulométrie moyenne (1 à 3 mm). Toutefois, on observe localement des zones plus grenues (5 à 6 mm). La ferrodiorite à quartz possède une texture panidiomorphe. Elle est constituée (tableau 5) d'environ 60% de plagioclase sodique, de 15 à 20% de clinopyroxène, de 5 à 8% de titanomagnétite, de 10 à 12% de quartz et de 3 à 8% d'intercroissances granophyriques. Les plagioclases forment des cristaux idiomorphes d'albite contenant des inclusions de stilpnomélane et/ou chlorite. Les clinopyroxènes ont d'abord été pseudomorphosés par la hornblende verte et par la suite légèrement altérés par la chlorite, la calcite et la biotite. Le quartz et les intercroissances granophyriques forment des grains allotriomorphes de 1 à 3 mm. Finalement, les titanomagnétites sont fortement remplacées par le leucoxène. La transition entre les faciès ferrogabbroïque et ferrodioritique n'est pas toujours facile à établir. En général, la patine de la ferrodiorite est plus pâle et son contenu en quartz est $\geq 10\%$.

Localement, des zones granophyriques sont observées (BD-PB-495-85 et BD-PB-534-85). La roche possède alors une patine blanche caractéristique. De granulométrie moyenne, elle est alors composée (tableau 5) d'environ 65% de plagioclase, de 12% d'intercroissances granophyriques, de 10% de quartz, de 5% de titanomagnétite et de 0 à 8% de hornblende. Il s'agit donc d'une roche très silicieuse représentant le résultat ultime du processus de différenciation magmatique.

3.3.2.5 Ferrogabbro sommital (de trempe)

On observe localement un ferrogabbro au sommet du filon-couche. De patine et cassure vertes et de granulométrie moyenne, cette roche contraste nettement avec la ferrodiorite à quartz sous-jacente. Le ferrogabbro sommital est composé (tableau 5) d'environ 57% de plagioclase saussuritisé, de 20% de hornblende verte, de 8% de quartz et de 15% de titanomagnétite partiellement transformée en leucoxène. Il s'agit d'une roche nettement moins différenciée qui résulte probablement d'un refroidissement plus rapide du magma et s'associe peut-être à une zone de trempe localisée au contact entre le filon-couche de Bourbeau et les sédiments de la Formation de Blondeau.

3.3.4 Pétrochimie du filon-couche de Bourbeau dans le secteur de la mine Norbeau.

3.3.4.1 Introduction

L'étude pétrochimique du filon-couche de Bourbeau réalisée à la mine Norbeau est basée sur deux levés lithogéochimiques que nous avons réalisés dans la partie centrale (annexe 3) et dans la partie orientale du secteur étudié et sur 12 échantillons non altérés provenant des trous de sondage (sondage SH-8-85, analyses BD-PB-57-86, BD-PB-58-86 et BD-PB-74-86 et sondage N-81-11, analyses BD-PB-469-86 et BD-PB-470-86) ou de sites ponctuels (BD-PB-495-85, BD-PB-560-85, BD-PB-562-85, BD-PB-563-85, BD-PB-571-85 et BD-PB-688-85). Au total, 32 échantillons ont été considérés. Les résultats d'analyses sont présentés à l'annexe 4 au tableau B-1.

La composition chimique moyenne de chacun des faciès du filon-couche dans le secteur de la mine Norbeau est présentée au tableau 6. Nous présentons maintenant, dans l'ordre, les diagrammes binaires et ternaires des éléments majeurs et mineurs.

3.3.4.2 Diagrammes binaires des éléments majeurs et mineurs.

Comme nous avons procédé pour la mine Cooke, nous avons utilisé le magnésium (MgO) comme indice de différenciation. Nous avons choisi de présenter les diagrammes SiO_2/MgO , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$, CaO/MgO , $(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})/\text{MgO}$ et TiO_2/MgO , car ce sont les diagrammes les plus aptes à présenter l'évolution chimique du filon-couche.

Les diagrammes binaires de la figure 23 présentent un enrichissement marqué en SiO_2 , Al_2O_3 et CaO dans le leucogabbro comparativement à la péridotite-pyroxénite. Cet enrichissement s'accorde avec l'abondance des plagioclases et la disparition des olivines. Le fer total ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$) et le TiO_2 ont un comportement semblable. Ils nous permettent de bien distinguer les différents faciès entre eux et témoignent de l'abondance des titanomagnétites observées pétrographiquement dans les faciès ferrogabbroïque et ferrodioritique. De plus, le comportement du fer et du titane est tout à fait caractéristique des magmas de la série tholéiitique.

TABEAU 6 : Composition chimique moyenne des différents faciès pétrologiques observés dans le filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau.

Faciès pétrologique Nombre d'échantillon	Péridotite 2	Leucogabbro 7	Ferrogabbro à quartz 11	Ferrodiorite à quartz 8	Granophyre 2	Ferrogabbro sommitale 2
Analyse en % poids						
SiO ₂	39.7	48.2	45.64	54.88	57.85	52.65
Al ₂ O ₃	5.00	15.35	11.68	12.54	11.40	12.3
TiO ₂ *	0.59	0.74	3.08	2.05	1.45	2.12
Fe ₂ O ₃ *	18.20	10.65	20.48	15.53	11.50	16.4
MnO	0.20	0.18	0.26	0.28	0.21	0.24
CaO	2.77	11.62	8.23	4.81	6.37	6.66
MgO	24.6	8.46	5.13	2.49	1.56	4.10
Na ₂ O	0.21	1.69	2.13	3.31	2.60	1.87
K ₂ O	0.09	0.17	0.26	0.47	0.64	0.92
P ₂ O ₅	0.08	0.11	0.16	0.37	0.54	0.30
CO ₂ +	.03	0.47	0.48	0.52	3.66	-
H ₂ O	7.53	2.72	2.62	3.06	1.23	-
S	0.00	0.01	0.14	.06	.07	-
Éléments traces (ppm)						
Cr	2990	117	36.6	19	<5	25
Rb	20	<13	<20	34	22	<25
Nb	<20	15	14	24	30	15
Y	<15	16	24	70	83	55
Zr	20	31	68	234	277	190
Ag	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	-
As	<2	<5	12	<11	11	-
Cu	9.5	102	95	36	35	-
Au (ppb)	1	<4	<2	<1	6	-
K ₂ O/Na ₂ O	.43	.10	.12	.14	.25	0.49
SiO ₂ /(CO ₂ +H ₂ O+S)	5.25	15.11	14.09	15.08	11.66	-

MINE NORBEAU

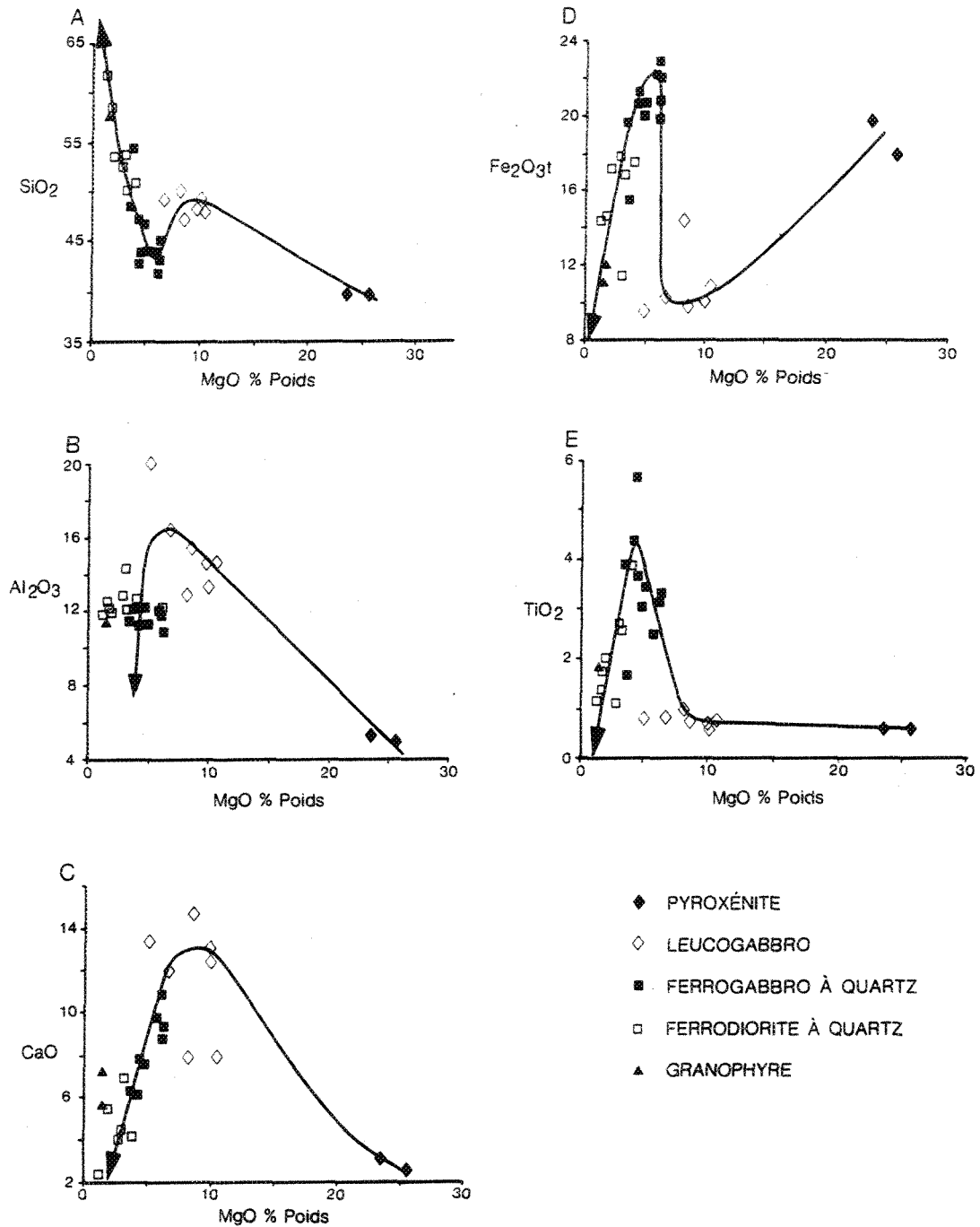


Figure 23: Diagrammes binaires montrant l'évolution pétrochimique du filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau.

Finalement, la silice (SiO_2) présente un comportement particulier. En effet, on note d'abord une augmentation marquée de la péridotite au leucogabbro et par la suite une diminution dans le faciès ferrogabbroïque. Puis, une augmentation marquée est observée dans le faciès ferrodioritique et granophyrique pour une faible diminution du MgO. Cette augmentation de la proportion de la silice témoigne de la cristallisation du quartz et des intercroissances granophyriques notée pétrographiquement. Ces diagrammes permettent de constater que les zones granophyriques ne se distinguent pas vraiment du faciès ferrodioritique. Si l'on excepte le diagramme ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$)/MgO, où l'on observe un contenu en fer légèrement plus faible dans le granophyre, les points représentant le faciès granophyrique se situent dans le même champ que ceux du faciès ferrodioritique.

3.3.4.3 Diagrammes binaires et ternaires : classification chimique

Le diagramme binaire ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)/ SiO_2 présenté à la figure 24 indique une affinité sub-alkaline pour les roches étudiées. Pour sa part le diagramme AFM (figure 25 a) montre clairement un enrichissement en fer durant la différenciation magmatique, suggérant ainsi une évolution semblable à celle des magmas tholéitiques. Le diagramme de Jensen (1976) (figure 25b) montre cette affiliation magmatique et permet de bien distinguer les différents faciès entre eux. Ces deux derniers diagrammes suggèrent également que les zones de granophyres sont comparables, en terme pétrochimique, aux ferrodiorites.

3.4- Comparaison avec l'étude régionale

Si l'on compare les résultats de l'étude pétrochimique du filon-couche de Bourbeau dans le secteur des mines Cooke et Norbeau avec ceux obtenus lors de l'étude régionale, on constate que les diagrammes binaires SiO_2 /MgO (figures 16 A, 20 A et 23 A) sont semblables, sauf pour ce qui est du faciès ferrogabbroïque de la mine Norbeau. Dans les trois environnements, la proportion maximale de SiO_2 atteinte est d'environ 60% pour 2 à 4% de MgO. Toutefois, à la mine Norbeau, la proportion de SiO_2 ($\approx 44\%$) obtenu dans le faciès ferrogabbroïque (figure 23 et tableau 6) est plus faible que celle du faciès leucogabbroïque, alors que dans l'étude régionale et à la mine Cooke (figures 16 et 20) la relation inverse est observée. Ce comportement semble tout à fait particulier et explique peut-être pourquoi le faciès ferrodioritique à quartz et granophyre est si bien développé à la mine Norbeau. La proportion de

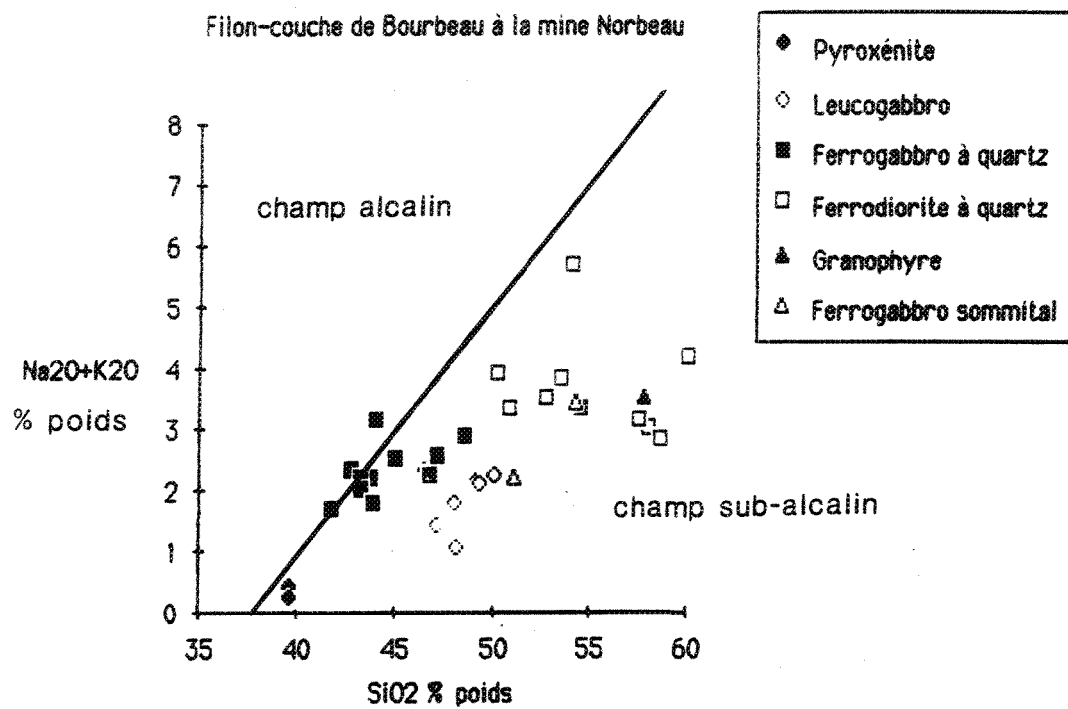


Figure 24: Diagramme de $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ (MacDonald et Katsura, 1964)
du filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau.

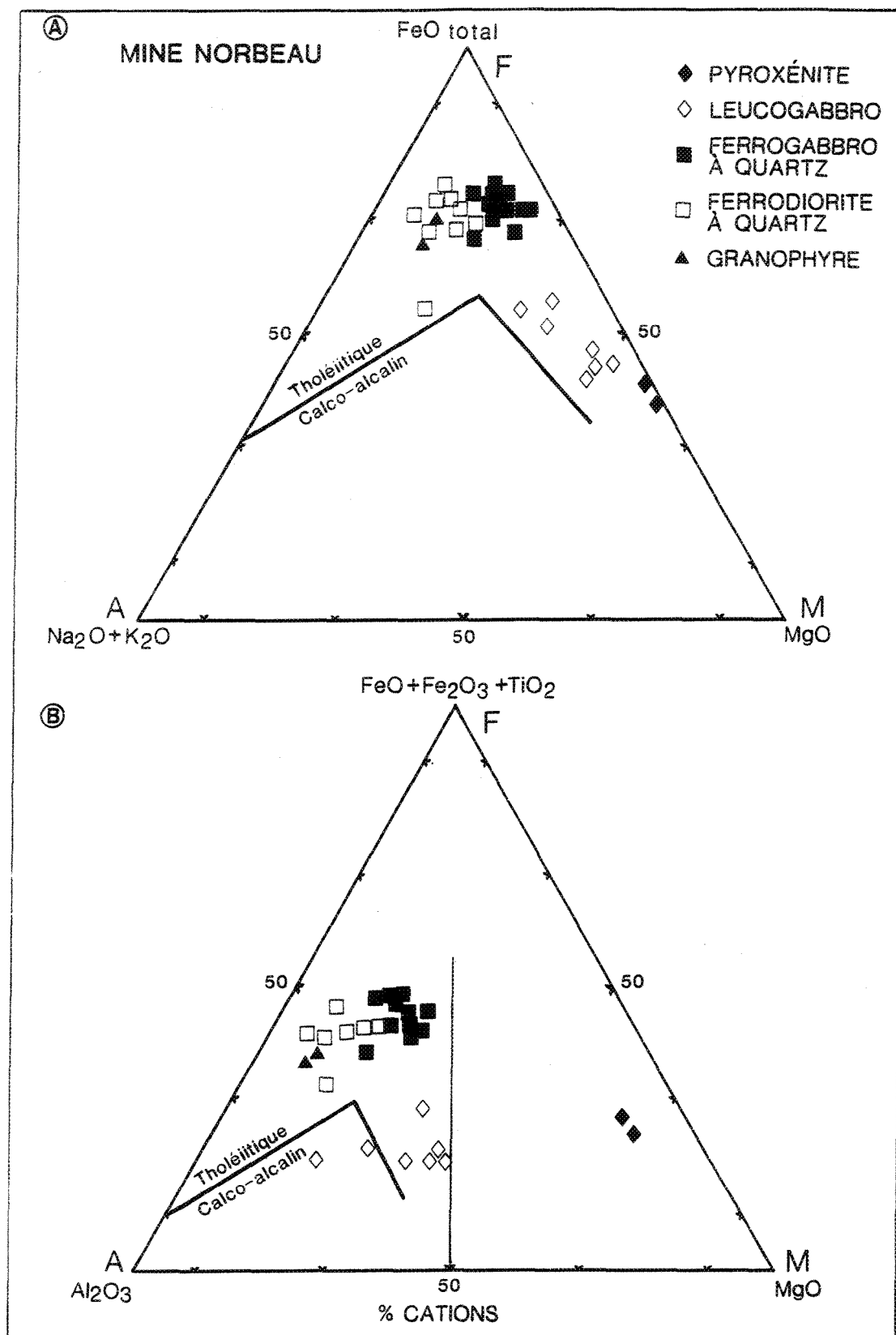


Figure 25: Diagrammes AFM (A) et de Jensen (B) montrant l'évolution chimique du filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau. La courbe du diagramme AFM est tiré d'Irvine et Baragar (1971).

SiO₂ dans le leucogabbro est semblable à peu près partout. Elle est en effet de 48-52 % de SiO₂ pour 8 à 10 % de MgO. En ce qui a trait à la pyroxénite, la proportion de SiO₂ et de MgO obtenue à la mine Cooke est semblable aux teneurs régionales soit : 44 à 46% de SiO₂ pour environ 16% de MgO. Toutefois, à la mine Norbeau la proportion de SiO₂ est beaucoup plus faible (40 %) alors que celle de MgO est à l'inverse beaucoup plus élevée (24-25%). Les diagrammes (FeO + Fe₂O₃)/MgO (figures 16B, 20B et 23 B) sont semblables, ils montrent une évolution magmatique identique mais le contenu en fer total, dans le secteur Cooke, est moins élevé (16%) que le maximum atteint régionalement (19%), alors que dans le secteur de Norbeau les teneurs maximales en fer sont à l'inverse plus élevées (≈ 22%) et on y constate de façon plus précise la diminution de la proportion de fer du ferrogabbro à quartz vers la ferrodiorite à quartz.

La comparaison du diagramme AFM obtenus de l'étude régionale avec celui de la mine Norbeau (figures 17 A et 25 A) montre une évolution magmatique semblable. Toutefois, dans le secteur de la mine Cooke, les faciès leucogabbroïques et ferrogabbroïques semblent relativement enrichis en Na₂O + K₂O comparativement à l'étude régionale (tableau 7). Afin de vérifier cet enrichissement, nous avons repris l'analyse chimique de 6 échantillons (2 de chacun des faciès) et leur localisation dans le diagramme AFM n'a pas changé. Cet enrichissement pourrait être associé au métasomatisme allochimique subi par le filon-couche dans l'environnement de la mine Cooke, reflétant ainsi la grande mobilité de ces deux oxydes.

Enfin, une comparaison des diagrammes de Jensen (1976)(figures 17 B et 25 B), moins sensibles aux modifications chimiques, permet de constater une coïncidence et une évolution chimique identique chez les trois environnements étudiés.

Ainsi, la position stratigraphique et la composition chimique du filon-couche hôte de la minéralisation aurifère à la mine Cooke sont tout a fait semblables avec celles du filon-couche de Bourbeau tel que défini par Duquette (1970) et tel que nous l'avons observé régionalement. Toutefois, contrairement aux autres secteurs étudiés, le filon-couche de Bourbeau dans le secteur de Chapais possède, malgré sa grande épaisseur (400-425 mètres) une granulométrie plus fine et ne présente pas dans le faciès ferrogabbroïque à quartz, exactement les mêmes

TABLEAU 7 : Comparaison entre la composition chimique moyenne des faciès pétrologiques du filon-couche de Bourbeau observés à l'échelle régionale et à la mine Cooke. (n = nombre d'échantillon)

Faciès pétrologiques	Pyroxénite		Leucogabbro		Ferrogabbro à quartz		Ferrodiorite à quartz	
Analyses (% poids)	Régionale n = 5	Cooke n = 5	Régionale n = 10	Cooke n = 29	Régionale n = 11	Cooke n = 36	Régionale n = 6	Cooke -
SiO ₂	45.36	46.24	49.78	52.22	52.03	54.33	56.51	
Al ₂ O ₃	9.67	9.82	14.56	15.30	13.08	13.21	13.18	
Fe ₂ O ₃	3.10	2.31	2.28	2.34	3.62	3.43	3.44	
FeO	10.21	14.28	7.62	7.68	11.21	10.30	11.41	
CaO	9.50	7.12	10.99	9.32	7.52	5.52	5.34	
MgO	16.73	15.94	8.45	8.98	4.41	3.63	3.24	
Na ₂ O	0.89	0.63	1.62	3.15	2.82	4.36	2.80	
K ₂ O	0.27	0.07	0.42	0.67	0.35	0.47	0.35	
TiO ₂	0.70	0.81	0.79	0.83	1.97	1.93	1.94	
MnO	0.21	0.25	0.17	0.23	0.22	0.40	0.29	
P ₂ O ₅	0.45	-	0.20	-	0.34	-	0.41	

textures pétrographiques. La texture intergranulaire constituée de bâtonnets allongés d'albite semble plutôt typique du secteur de Chapais. Ce faciès très volumineux semble pétrographiquement et pétrochimiquement plus homogène que ce que nous avons observé lors de notre étude régionale ou lors de nos travaux à la mine Norbeau. Toutefois, les assemblages minéralogiques sont identiques. La cause de ces variations texturales demeure inconnue. De plus, nous n'avons pu distinguer la présence d'un faciès ferrodioritique à quartz à la mine Cooke contrairement à ce que nous avons observé lors de notre étude régionale et plus particulièrement lors de nos travaux à la mine Norbeau. L'étude pétrochimique suggère qu'il existe fort probablement un faciès de ferrodiorite à quartz à la mine Cooke. Les teneurs en silice atteignent par le ferrogabbro à quartz de la mine Cooke, de même que le champs que ce faciès occupe dans le diagramme de Jensen (1976) sont à ce sujet très significatifs et suggèrent que le ferrogabbro à quartz comprend peut-être un ferrogabbro à quartz et une ferrodiorite à quartz. Toutefois, pétrographiquement, nous n'avons pas observé de variation notable dans le contenu en quartz et/ou en intercroissances granophyriques, de la base au sommet du faciès ferrogabbroïque à quartz. De plus, il n'existe pas d'augmentation systématique de la silice de la base au sommet de ce faciès. Des travaux pétrographiques et pétrochimiques plus détaillés sur l'ensemble du faciès ferrogabbroïque de la mine Cooke seraient nécessaires afin de confirmer ou d'infirmer la présence de ferrodiorite à quartz.

CHAPITRE 4

ANALYSE STRUCTURALE

4.1- Introduction

Le contrôle structurale est une des principales caractéristiques des gisements aurifères Archéens du type "lode gold" (Boyle, 1979, Hodgson et MacGeehan, 1982; Poulsen, 1986; Roberts, 1987, Colvine et al., 1988; Hodgson, 1989). Ce contrôle structural s'exerce à l'échelle régionale, comme en témoigne l'association de ce type de gisements avec des structures régionales telle la faille de Cadillac-Larder Lake ou celle de Destor-Porcupine en Abitibi. Il est également omniprésent à l'échelle locale. Les veines aurifères s'associent pour la plupart dans des zones de cisaillement dont la détermination des caractéristiques structurales, à l'aide d'indicateurs cinématiques devient de première importance dans le but de modéliser la mise en place de ces veines, de définir la chronologie des événements et la distribution en trois dimensions des zones minéralisées. Cette démarche permet également de déterminer à quel événement tectonique régionale les structures minéralisées s'associent et ainsi de formuler des guides possibles d'exploration.

Dans cette optique nous avons réalisé une étude structurale des différentes zones investiguées. Cette démarche nous permettra de déterminer l'ellipsoïde de déformation associée aux zones de cisaillement aurifères des mines Cooke et Norbeau et d'examiner la compatibilité des éléments structuraux caractérisant chacun des sites entre eux. À la mine Cooke, une attention toute particulière a été accordée à la définition des caractéristiques structurales des zones aurifères et aussi à l'étude des failles tardives contrôlant la distribution de cette minéralisation vers les limites latérales du gisement. Nous avons également étudié deux structures majeures d'importance régionale soit les failles Chibougamau-Copper et du Lac Gwillim. À la mine Norbeau, nous avons consacré nos efforts à déterminer la compatibilité structurale existant entre le système complexe de veines aurifères ayant été décapées. Ces veines sont localisées dans des zones de cisaillement d'orientation très diverses et ne sont pas compatibles avec le modèle classique de système conjugué (Anderson, 1951). Toutefois, une approche différente nous a permis de résoudre cette complexité. Chez les indices, nos efforts ont été plus restreints étant donné une information géologique beaucoup plus limitée. Nous avons tout de même tenté de

définir leurs principales caractéristiques structurales.

Nous avons choisi de présenter séparément les résultats des travaux effectués dans chacune des mines afin de présenter une image complète de chacun de ces gisements. Alors que chez les indices, nous avons regroupé l'information de façon à les décrire simultanément étant donné leur ressemblance. Nous croyons que cette démarche rend plus facile la compréhension et le suivi. Nous terminons ce chapitre par une comparaison et discussion des caractéristiques structurales des deux mines et des indices.

4.2- Analyse structurale de la mine Cooke

4.2.1 Introduction

Deux principales zones minéralisées sont exploitées à la mine Cooke. Ces zones sont connues sous le nom de veines nos 7 et 9 et elles sont confinées au leucogabbro et au ferrogabbro à quartz (figure 5). Durant l'année 1987, Minnova a découvert des zones de cisaillement aurifères dans la pyroxénite située au 7^e et 8^e niveaux, à l'extrémité ouest de la mine (Gérard Doiron, Minnova, communication personnelle). Ces zones de cisaillement se situent au contact ou très près du contact avec les roches felsiques de la Formation de Blondeau et la minéralisation est confinée à la pyroxénite. Certaines zones de cisaillement sont présentes dans la Formation de Blondeau; elles sont toutefois stériles. La minéralisation se situe dans des veines de quartz-chalcopyrite, dans des cisaillements orientés subparallèlement aux veines 7 et 9 (Gérard Doiron, communication personnelle). Les caractéristiques géologiques de ces zones minéralisées restent à définir de même que leur tonnage et teneur exacts. Comme ces veines ont été découvertes après la fin de nos travaux de terrain, nous ne disposons pas de données précises nous permettant de les décrire et de les caractériser. Toutefois, selon Doiron (communication personnelle), ces veines sont très semblables aux veines 7 et 9 dont nous présentons maintenant les caractéristiques structurales.

4.2.2- Veines minéralisées nos 7 et 9

Les veines 7 et 9 consistent en un ensemble de plusieurs zones de cisaillement, plus ou moins intenses, et de fractures minéralisées (parfois 4 ou 5) orientées sub-parallèlement aux zones de cisaillement. La largeur de chacune de ces zones varie de moins de 3 cm à plus de 13 mètres. Dans l'ensemble toutefois, la largeur des zones de cisaillement minéralisés exploités

varie de 2 à 3 mètres (Coulombe, 1984). Ces zones minéralisées sont généralement contenues dans des zones de cisaillement ductiles-cassantes à cassantes (Ramsay, 1980). Par endroits toutefois, la minéralisation se trouve dans des veines occupant des fractures sub-parallèles à l'orientation des zones de cisaillement, sans déformation importante de l'encaissant. Dans les zones de cisaillement, le gabbro est mylonitisé et de couleur noir lustré. Cette couleur noir lustré est due à une chloritisation. Ces cisaillements se manifestent par des zones schisteuses d'intensité variable, contenant de nombreuses veines et veinules de quartz \pm calcite orientées parallèlement aux murs de la zone de cisaillement ou parfois discordantes par rapport à ceux-ci. La largeur de ces veines peut atteindre jusqu'à 60 cm.

À l'extérieur des zones de cisaillements, le gabbro est peu ou pas déformé. Outre des fractures de tension remplies de calcite ou, plus localement, d'axinite, la roche ne semble affectée par aucune discontinuité structurale et la schistosité régionale (S_2) semble, à l'échelle mégascopique, pratiquement absente.

Une compilation basée sur des mesures de foliation et d'orientation des veines situées dans les zones de cisaillement et de fractures relevées sur les plans des 10 niveaux de la mine, de même que sur l'ensemble des foliations mesurées dans les zones de cisaillements et de fractures cartographiées aux niveaux 4 à 10 est présentée aux figures 26 A et B. On constate que l'attitude de ces zones varie de E-W à NW-SE. Cette variation est principalement évidente à la figure 26A où l'on constate la présence de trois orientations préférentielles, soit $272^\circ/82^\circ$, $286^\circ/80^\circ$ et $304^\circ/72^\circ$. Toutes les orientations comprises entre E-W et NW-SE sont possibles. Le pendage de ces zones est généralement vers le nord et de l'ordre de 70° à 80° toutefois, bon nombre de mesure de foliation et d'orientation de veines à pendage vers le sud sont également présentes. C'est le cas notamment aux niveaux 2, 5, 7, 9 et 10. De plus, notre compilation des données structurales de la mine indique qu'en profondeur (à partir du niveau 6 et exception faite du niveau 9), le pendage des zones de cisaillement et de fractures d'orientation NW-SE semble diminuer. Il est à noter que sur les plans de la mine, des zones minéralisées ont été localement rapportées dans des fractures ou des zones de cisaillement d'orientation NE-SW. Toutefois, ces zones sont relativement marginales, en terme de fréquence, d'intensité de déformation et d'importance économique, comparativement à l'orientation générale E-W à NW-SE des zones minéralisées. De plus, notre cartographie suggère que dans bon nombre des cas, il s'agit fort probablement de remobilisation le long de plan de faille N-NE tardifs.

MINE COOKE

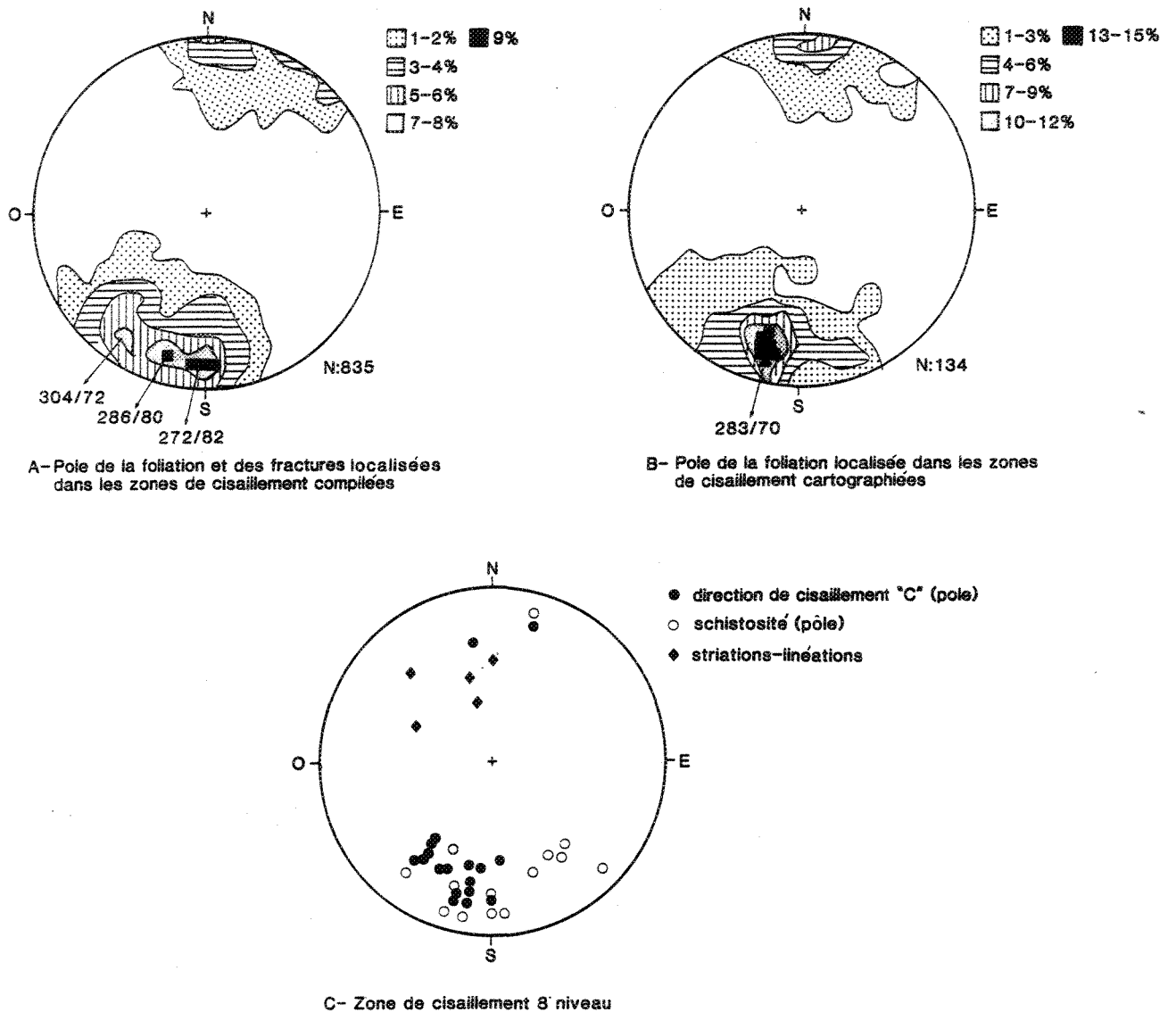


Figure 26: Stéréogramme équiaire des pôles de la foliation et des fractures à l'intérieur des zones de cisaillement compilées sur les plans de la mine (A) et cartographiées aux niveaux 4 à 10 (B). Stéréogramme équiangle des caractéristiques structurales de la zone de cisaillement majeure cartographiée au niveau 8 (C).

Des relations de recoupement observées en plan entre les zones de cisaillements E-W et NW-SE ont été localement cartographiées. Ces recoupements ont engendré des déplacements à composante horizontale dextre de quelques mètres. Une interprétation possible de ces recoupements de zones de cisaillement minéralisées ou non postule qu'il s'agit de cisaillements inverses dextres qui se sont propagés dans un mouvement de bifurcation en sens horaire, créant ainsi des intersections et des recoupements entre cisaillements issus d'un même système de contraintes, tel que proposé par Ramsay (1980) (figure 27). Ainsi, ce mode de propagation, par bifurcation en sens horaire, constitue une façon possible d'expliquer pourquoi l'orientation des zones de cisaillements varie en plan d'E-W à NW-SE, et également en pendage. Les zones de cisaillement ayant en effet une forte composante inverse, le mouvement de bifurcation est également présent selon la verticale et se manifeste par une variation de pendage.

La figure 28 présente une représentation schématique de la distribution des zones minéralisées et des failles aux niveaux 2, 4, 6, 8, et 10 de la mine Cooke. On y constate que, dans l'ensemble, les zones minéralisées sont subparallèles en direction et en pendage à l'orientation des unités stratigraphiques, comme suggéré par les contacts entre la Formation de Blondeau et les différents faciès du filon-couche de Bourbeau. L'enveloppe générale est vers le NW-SE et le pendage est nord. Toutefois, en profondeur (niveaux 8 et 10), cette relation n'est plus applicable. Les zones minéralisées sont plutôt discordantes par rapport aux unités stratigraphiques. Elles recoupent nettement le leucogabbro et le ferrogabbro à quartz. Cette observation demeure inexpliquée et des travaux supplémentaires seraient requis afin de trouver une explication satisfaisante.

En coupe, les contacts entre les limites de la zone de cisaillement et l'encaissant sont fréquemment abrupts. Localement, on constate que la schistosité est oblique en coupe à l'enveloppe de la zone de cisaillement. Nous présentons aux figures 29 et 30 deux exemples de zones de cisaillements observés en coupe. La zone de cisaillement de la figure 29(A) a été cartographiée au niveau 6 (veine no 7). On y observe un contact franc entre la zone de cisaillement et l'encaissant leucogabbroïque. Plusieurs discontinuités sont présentes à l'intérieur de cette zone de cisaillement. La figure 29(B) est une représentation schématique des éléments structuraux à considérer. La schistosité dominante a une attitude de $294^{\circ}/66^{\circ}$ alors que la limite de la zone de cisaillement est orientée à $309/45$. On note également la présence de plusieurs veines et veinules de quartz-calcite. Par analogie avec la figure 29 (C),

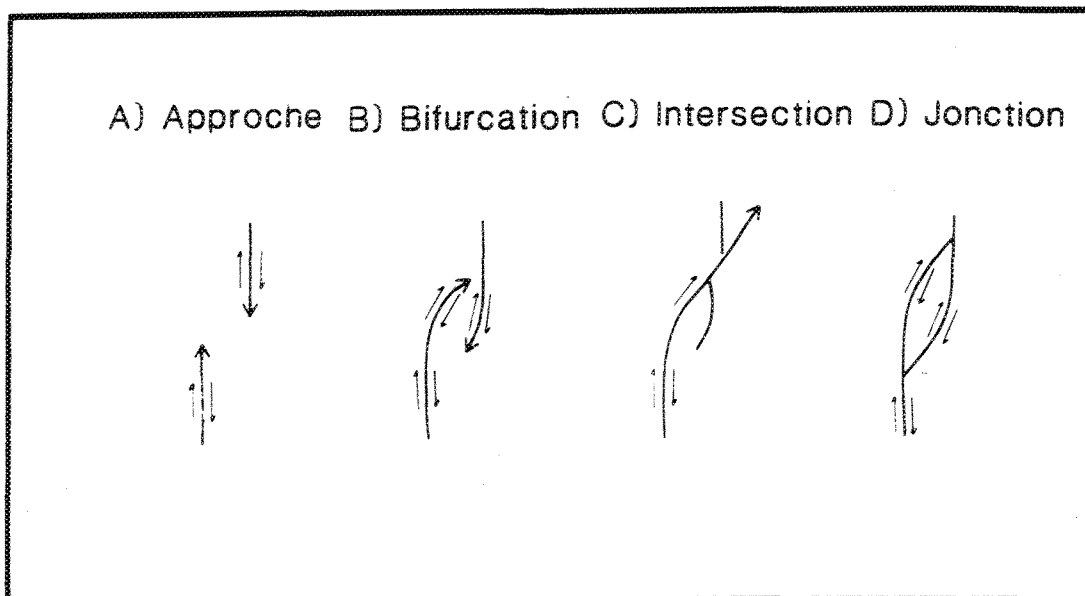


Figure 27: Modèle de propagation des zones de cisaillement dextres selon Ramsay (1980).

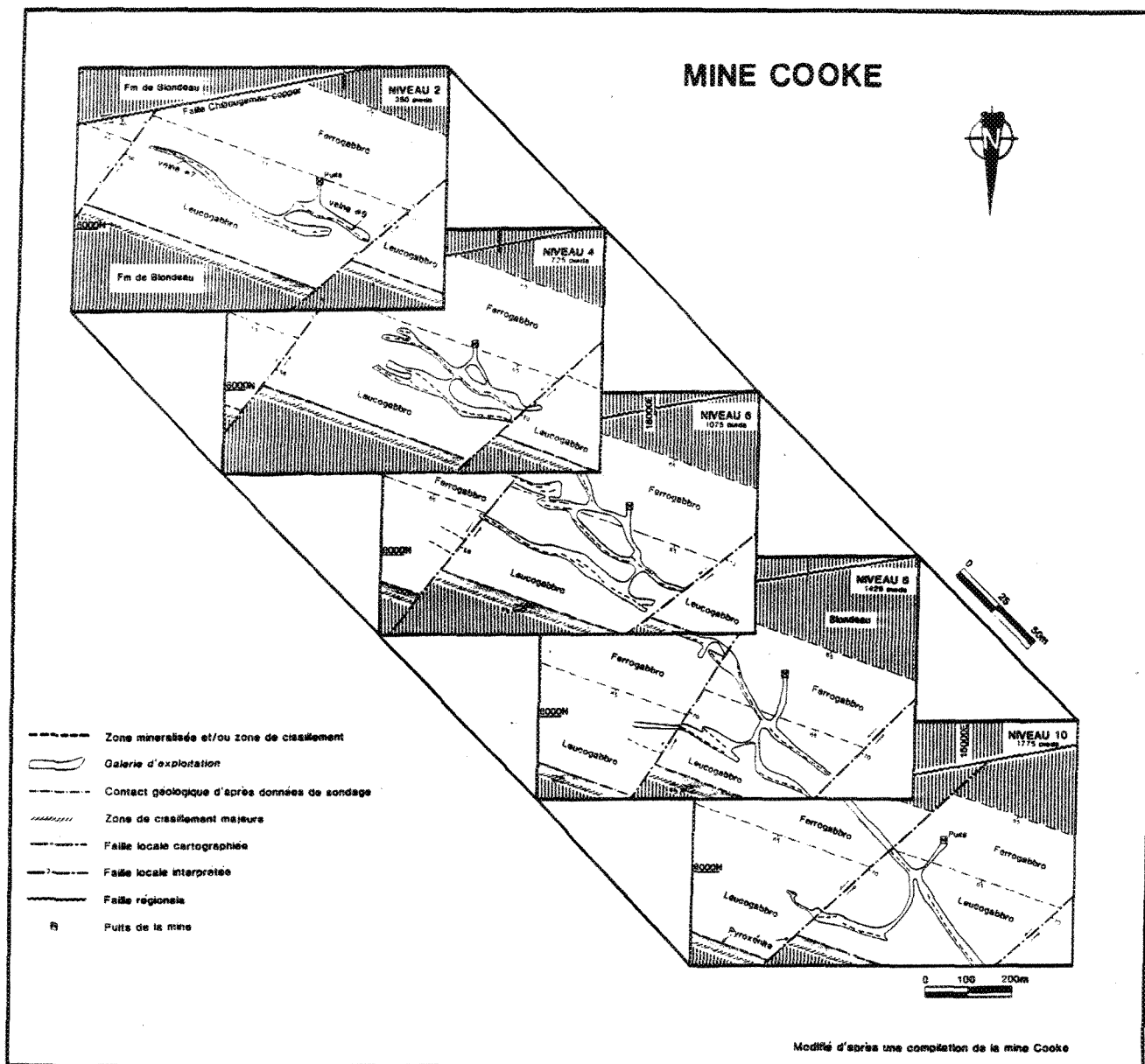
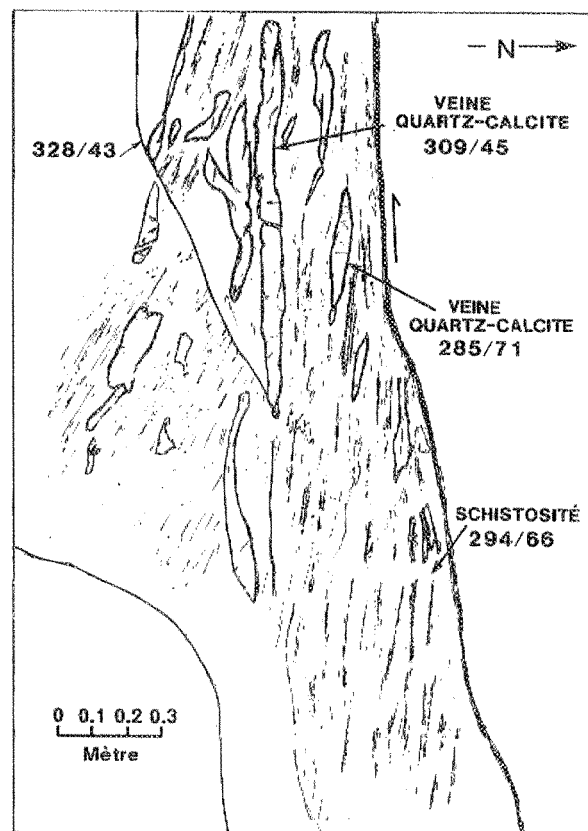


Figure 28: Représentation schématique de la distribution des zones minéralisées et des failles aux niveaux 2, 4, 6, 8 et 10 de la mine Cooke. (Modifiée d'après les plans de niveaux de la mine).

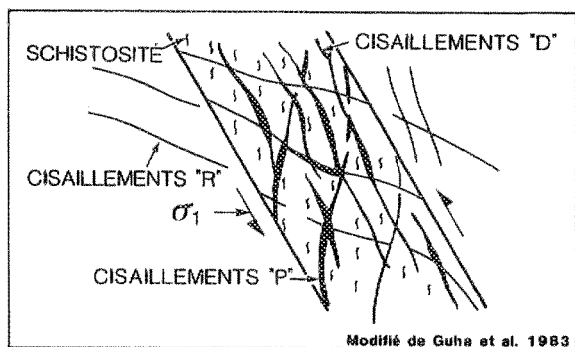
A



B



C



Modifié de Guha et al. 1983

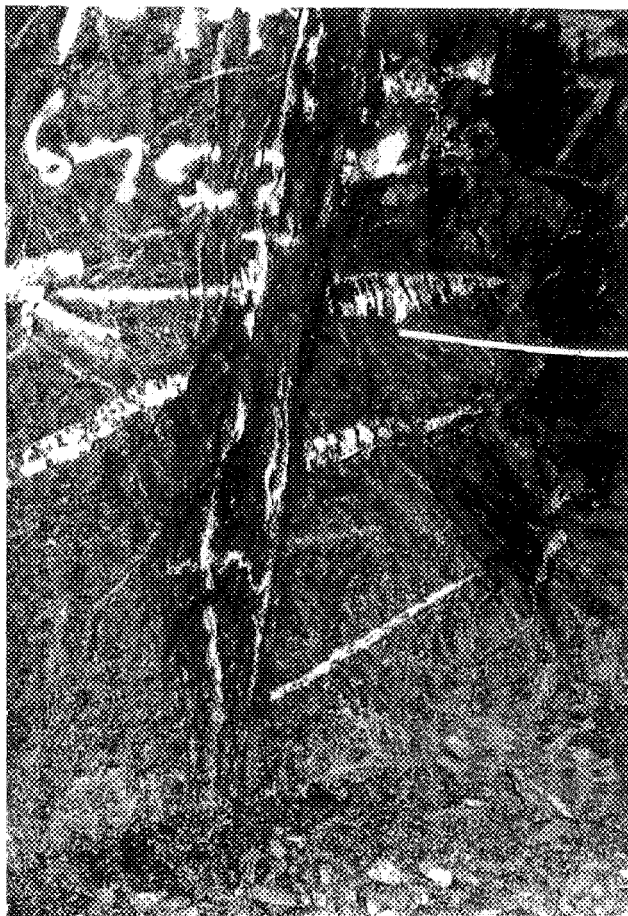
Figure 29: Photographie (A) et schéma (B) d'une zone de cisaillement cartographiée au niveau 6 (veine no 6-74-3) de la mine Cooke. Aspect théorique d'une zone de cisaillement (C) (modifié d'après Guha et al., 1983).

basée sur des modèles théoriques (Tchalenko, 1968; Lajtai, 1969 et Mandl *et al.*, 1977), il est possible, en considérant uniquement l'arrangement géométrique, que la veine de quartz+calcite orientée parallèlement au cisaillement soit située dans un cisaillement de Riedel de type "D" et que les veinules de calcite-quartz, dont l'attitude est de $285^{\circ}/71^{\circ}$ se soient mises en place dans des cisaillements de type "P".

La figure 30 présente un exemple de zone de cisaillement avec veines de quartz sub-horizontales. Cette zone a été cartographiée au niveau 6 et est associée à la veine no 9. On constate l'obliquité, en plan et en coupe, entre la schistosité ($265^{\circ}/87^{\circ}$ ou $097^{\circ}/87^{\circ}$) et l'orientation générale du cisaillement ($281^{\circ}/74^{\circ}$). De plus, les veines de quartz+calcite subhorizontales ($243^{\circ}/28^{\circ}$ et $258^{\circ}/34^{\circ}$), du type "tension gashes", et développées à l'extérieur de la zone de cisaillement, présentent une relation angulaire propre aux zones de cisaillement à rejet inverse. Enfin, par analogie avec les modèles théoriques, on constate la présence de fractures de type "R" et de veinules de quartz-calcite discontinues orientées subparallèlement au cisaillement et donc, mises en place dans des cisaillements de type "D". La géométrie de ces deux exemples montre que les zones de cisaillement cartographiées à la mine Cooke sont des cisaillements inverses dextres.

Le mouvement dextre déduit de la relation angulaire entre la schistosité et le cisaillement est confirmé par la présence de stries souvent très spectaculaires et de linéations minérales observées sur les plans de foliation. Le stéréogramme présenté à la figure 31 montre de plus que les linéations et stries mesurées se situent dans deux champs opposés. En effet, celles mesurées sur les plans de foliation à pendage vers le nord se situent dans le quatrième cadran tandis que celles mesurées sur les plans de foliation à pendage vers le sud se situent dans le deuxième cadran. Toutefois, ces stries ont dans l'ensemble une plongée variant de forte à modérée, considérant le pendage de la zone de cisaillement qui les contient, ce qui laisse supposer que le mouvement dominant est à rejet inverse avec une composante latérale dextre. Selon la classification de Ramsay (1980), ces zones de cisaillement correspondent à des cisaillements du type ductile-cassant, c'est-à-dire des zones de cisaillement où le déplacement des murs s'est d'abord accompli par écoulement ductile, comme le suggère le développement de la schistosité et des stries, puis ultérieurement par déformation cassante, comme le suggère la mise en place des veines de quartz-calcite à l'intérieur même des zones de cisaillement.

A



B

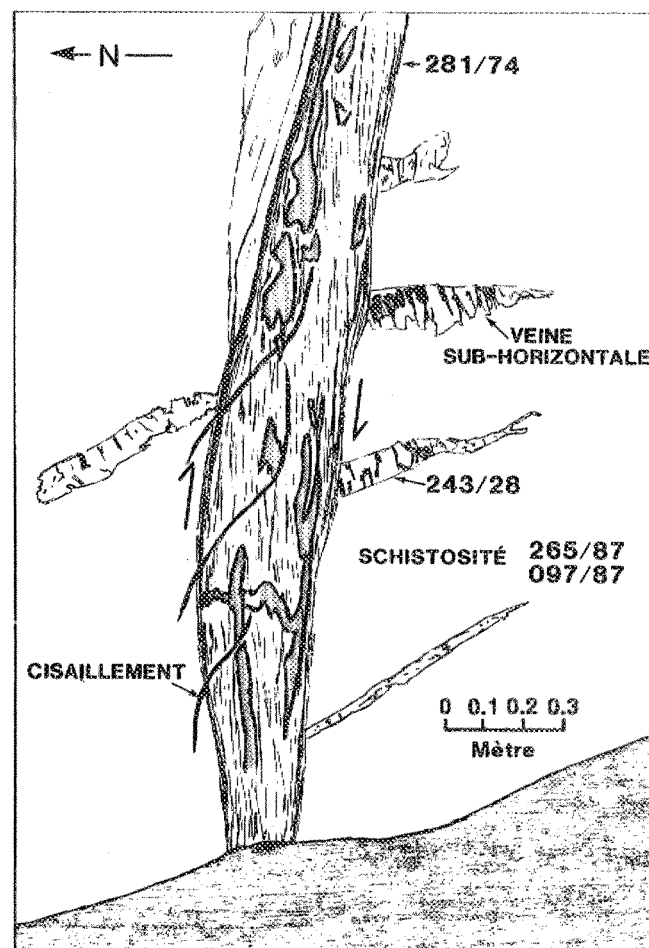


Figure 30: Photographie (A) et schéma (B) d'une zone de cisaillement cartographiée au niveau 6 (veine no 95) de la mine Cooke.

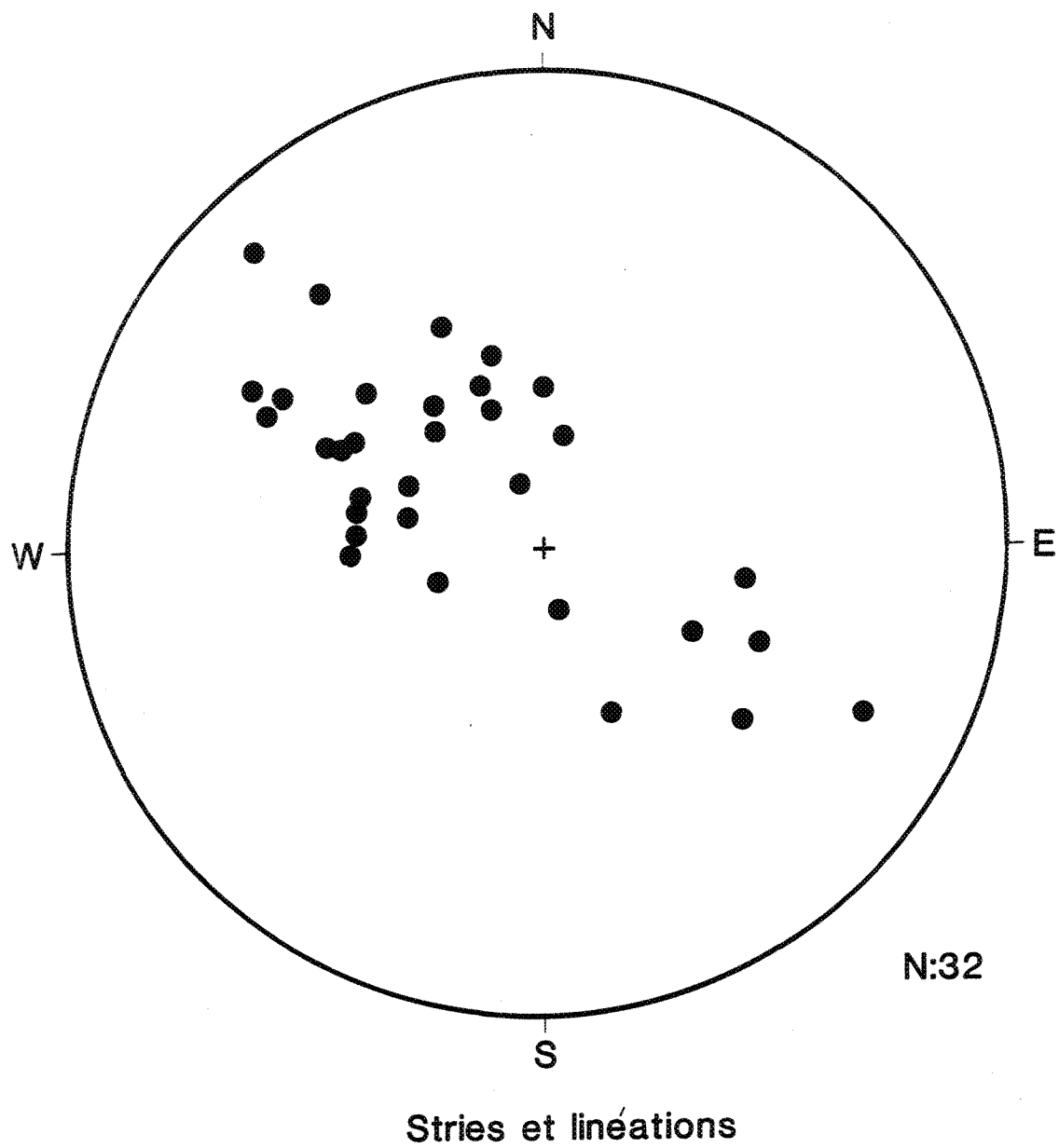


Figure 31: Stéréogramme équaire des stries et des linéations associées aux zones de cisaillement cartographiées à la mine Cooke.

Ainsi, les différents éléments structuraux présentés soit l'obliquité en pendage entre la schistosité et l'enveloppe des zones de cisaillement, la relation angulaire, en coupe, entre les veines sub-horizontales et la zone de cisaillement, de même que la plongée des stries et des linéations suggèrent que les zones de cisaillement E-W et NW-SE cartographiées se caractérisent par des mouvements inverses-obliques, dans lesquelles la composante verticale est dominante sur la composante latérale dextre.

4.2.3 Zones de cisaillement situées au contact Bourbeau-Blondeau

Une zone de cisaillement importante est observée au 8^e niveau de la mine. Cette zone, d'environ 30 mètres de largeur, est située à l'intérieur de la pyroxénite du filon-couche de Bourbeau et se trouve au contact entre ce filon-couche et la Formation de Blondeau (figure 28). La déformation y est très intense et on y observe en effet la présence de plans de glissement bien définis dont l'orientation moyenne est $294^{\circ}/60^{\circ}$ (figure 26 C) et qui sont espacés d'au plus 1 mètre. Entre ces plans de glissement, la schistosité est déformée en sigmoïde. Des stries mesurées sur les plans de glissement ont une plongée relativement forte, et sont presque perpendiculaire à l'intersection entre les plans de glissement et la schistosité. Cette relation angulaire combinée à la schistosité déformée en sigmoïde est caractéristique des fabriques "C-S" (Berthé et al., 1979) et suggère que les plans de glissement correspondent à des plans "C". Des veinules de quartz et (ou) calcite sont observées le long des plans de glissement et de schistosité.

La relation angulaire, en plan et en coupe, entre la schistosité et les plans de glissement "C" et l'orientation des stries suggèrent que le mouvement de ces zones de cisaillement est inverse-oblique avec une composante horizontale dextre (figure 26 C). Cette zone de cisaillement d'orientation moyenne NW-SE est structuralement et chronologiquement comparable aux zones de cisaillement aurifères. Elle représente une déformation majeure orientée subparallèlement aux strates. Elle ne contient pas de veines de quartz-chalcopryrite aurifère dans le secteur immédiat où nous avons effectué nos travaux de cartographie. Toutefois, il est fort probable qu'elle soit associée aux zones minéralisées découvertes plus à l'ouest dans la pyroxénite. Comme mentionné par Bélanger et al., (1985), cette zone de cisaillement majeure affecte également la zone de sulfures massifs volcanogènes (zone 8-0-55), présente au contact entre la Formation de Blondeau et le filon-couche de Bourbeau. En effet, nous avons observé que la zone 8-0-55 est, du moins par endroits, en contact de faille orienté à $293^{\circ}/55^{\circ}$ avec les roches encaissantes de la Formation de Blondeau (cherts et volcanoclastiques felsiques) et/ou la

pyroxénite du Bourbeau. Ces contacts de faille sont souvent caractérisés par la présence de veines de quartz-calcite lenticulaires contenant des sulfures, en particulier de la chalcopryrite, probablement issue de la remobilisation des sulfures présents dans la lentille de sulfures massifs par suite de leur déformation ultérieure.

4.2.4 Failles tardives

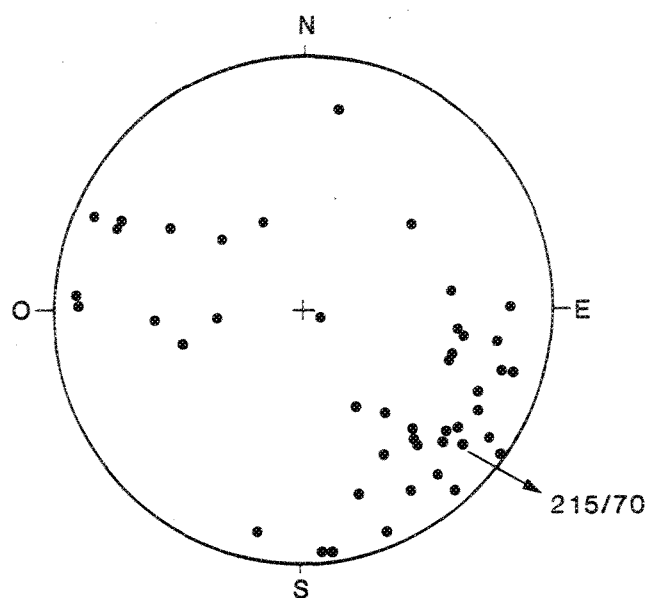
4.2.4.1 Introduction

Dans le secteur de la mine Cooke, plusieurs failles tardives cassantes à ductiles-cassantes sont observées. En effet, la mine Cooke est pratiquement délimitée à l'est et à l'ouest par des failles NE-SW senestres. De plus, comme mentionné précédemment, elle est située entre deux failles régionales, la faille du lac Gwillim et la faille Chibougamau Copper (figure 4). Nous présentons maintenant un sommaire des observations réalisées sur ces discontinuités et leurs interrelations possibles.

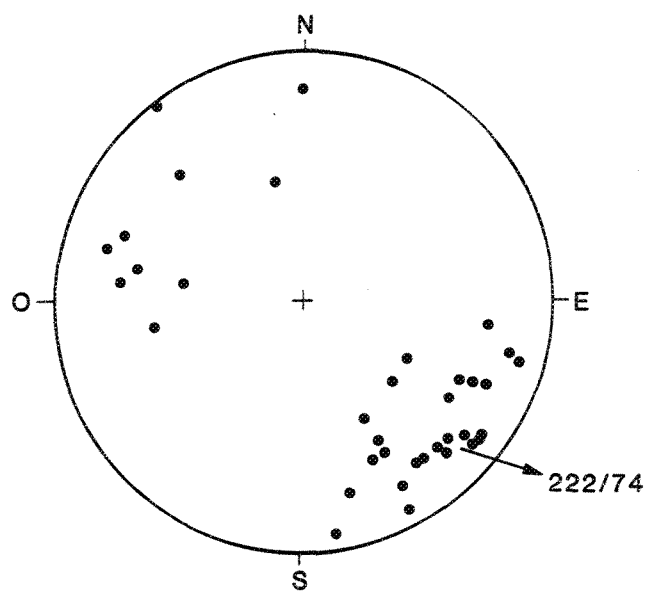
4.2.4.2 Failles NE-SW, N-S et E-NE

Les zones de cisaillement minéralisées (veines nos 7 et 9) précédemment décrites sont nettement entraînées et recoupées par des failles cassantes tardives dont l'orientation varie de NE à ENE localement et dont le pendage est généralement abrupte vers le N-W. Les stéréogrammes de la figure 32 présentent une compilation des plans de failles que nous avons cartographiés (figure 32 A) et des principaux autres plans de faille tels que compilés sur les plans de la mine (figure 32 B). On constate que ces failles ont une orientation qui varie de NE ($215^{\circ}/70^{\circ}$ à $222^{\circ}/74^{\circ}$) à N-S ($193^{\circ}/52^{\circ}$) et, localement, à E-NE et que leur pendage est généralement vers le nord. La largeur de ces failles est d'ordre millimétrique à centimétrique. Elles se caractérisent par un mince plan de discontinuité (miroir de faille) lisse et rectiligne, constitué de matériel aphanitique de couleur brunâtre résultant du broyage intense subi par la roche (gouge) (figures 33 A et B). Mégascopiquement, ce matériel semble constitué de roche broyée et recristallisée. L'examen pétrographique d'une de ces zones de gouge (PB-101-85) révèle que la roche a été transformée en une ultramylonite (Sibson, 1977) constituée d'une matrice brunâtre dont la composition est indéterminable optiquement parce que trop fine (figure 33 C). Cette matrice contient environ 5 % de porphyroclastes de 0,05 à 0,2 mm constitués d'axinite, de quartz et de plagioclase albite. De part et d'autre de la zone d'ultramylonite, la déformation diminue mais la roche correspond tout de même à une mylonite ou une protomy-

MINE COOKE



A- Pôle des failles cartographiées



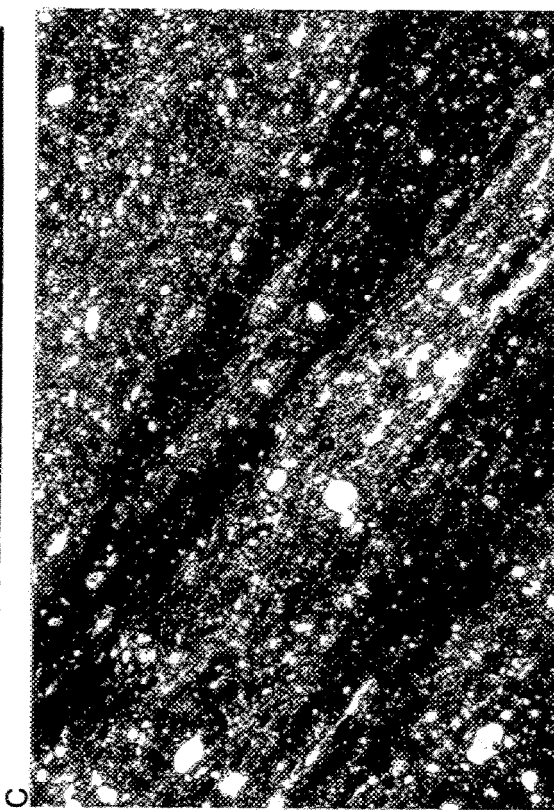
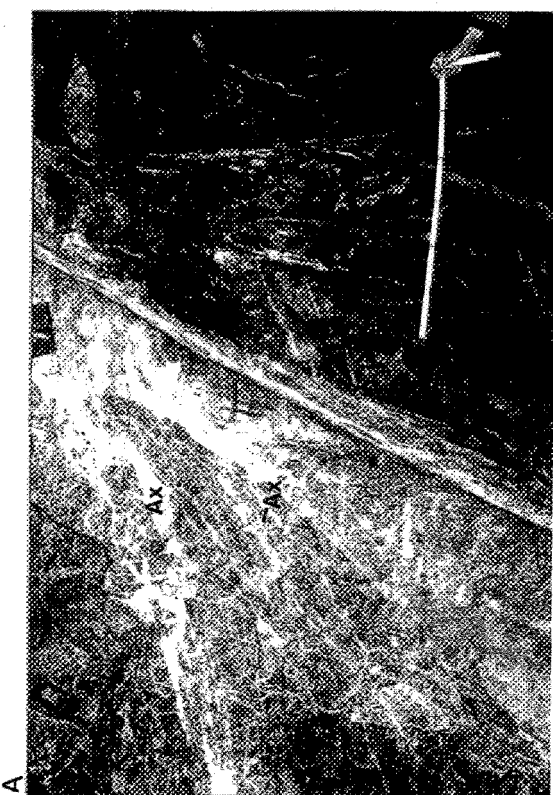
B- Pôle des failles compilées

Figure 32: Stéréogrammes équiaires illustrant une compilations des plans de failles cartographiés (A) et les principaux plans de failles compilés sur les plans de la mine (B).

Figure 33: A) Photographie d'une faille cassante typique. On observe un plan rectiligne très bien défini. Noter la présence de veinules d'axinite (Ax) associées. Mine Cooke, veine 7-74-3.

B) Photographie d'une faille cassante typique. On observe un plan de gouge (Go) rectiligne très bien défini, sans déformation importante de part et d'autre. Mine Cooke, veine 6-74-3. L'échelle mesure 1 mètre.

C) Photomicrographie illustrant la texture ultramylonite caractérisant la zone de gouge définissant le plan de faille cassant de la figure B. Lumière transmise, analysée et polarisée. Largeur de la photo : 2 mm.



lonite (Sibson, 1977). Les porphyroclastes sont alors souvent polyminéraliques et représentent jusqu'à 80 % de l'ensemble. Ils ont jusqu'à 1 cm et sont constitués de hornblende verte, de feldspath, de quartz, d'axinite et de traces de tourmaline.

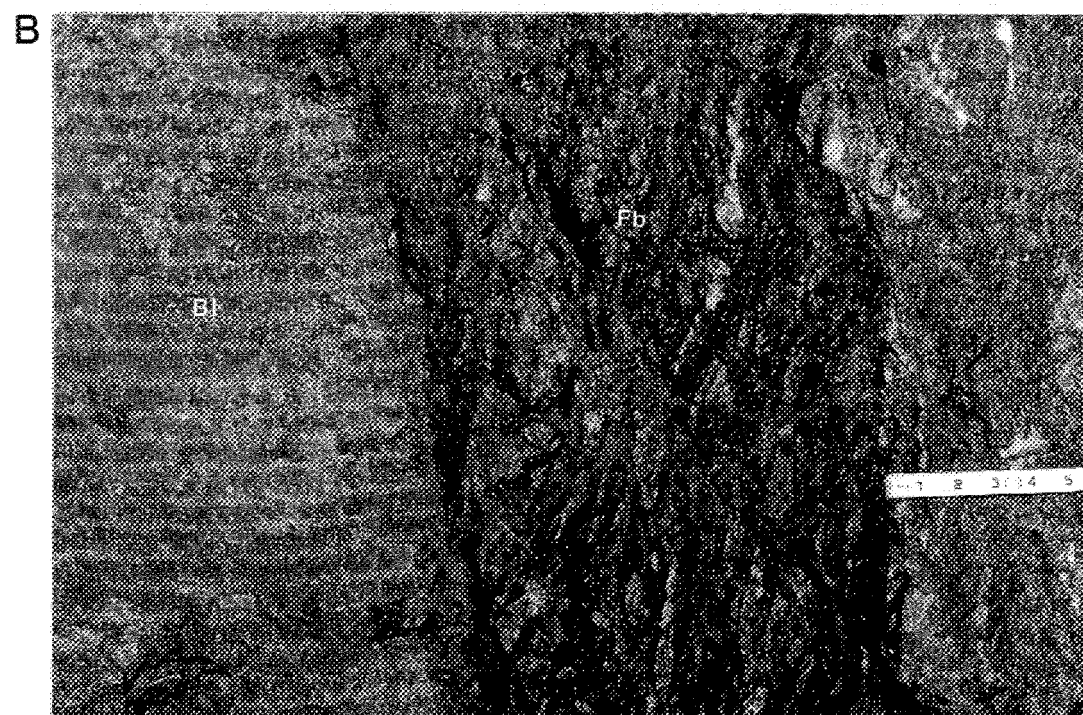
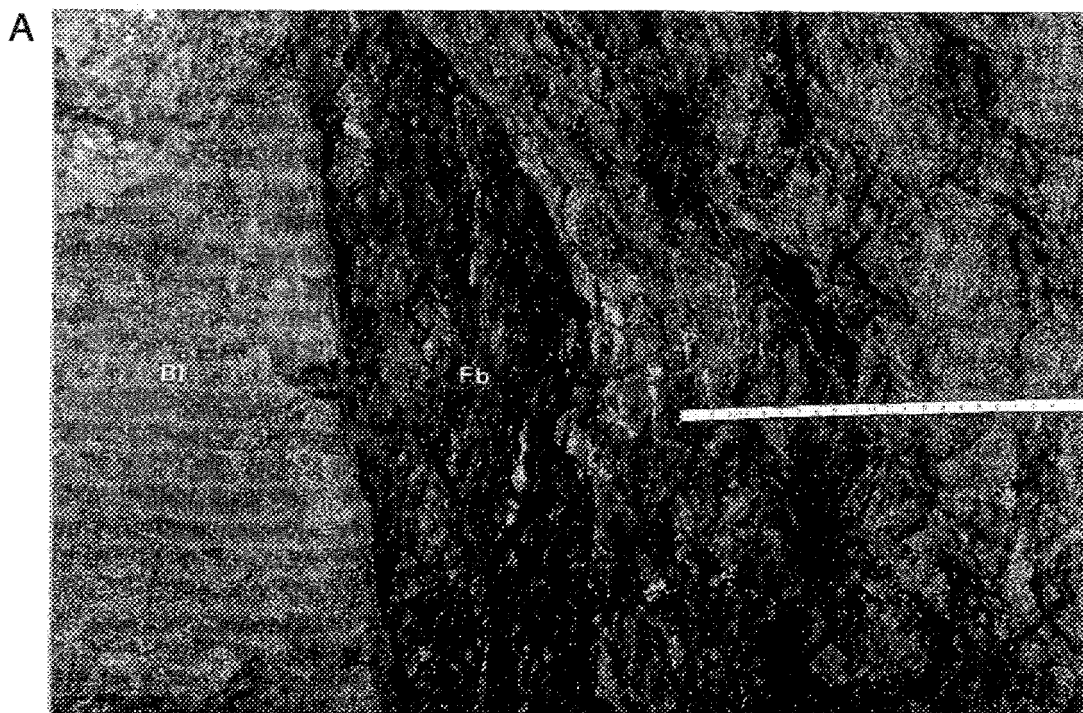
De part et d'autre de ces plans de faille, la roche est fortement chloritisée, parfois schisteuse et injectée de veinules de calcite. Fréquemment, la zone de faille est injectée d'axinite, ou l'on note à tout le moins la présence de veinules d'axinite à proximité du plan de faille (figure 33 A). L'effet de ces failles est particulièrement spectaculaire au 6^e niveau (veine no 7) (figure 5) où l'on observe que la zone de cisaillement qui contient la minéralisation est nettement recoupée à deux endroits par des failles à $241^{\circ}/56^{\circ}$ et $253^{\circ}/66^{\circ}$ dans un mouvement oblique senestre. Ce mouvement est suggéré par l'entraînement de la zone de cisaillement en bordure du plan de faille, par la mesure de stries ($048^{\circ}/34^{\circ}$) sur un de ces plans de discontinuité et, finalement, par les données de forage qui confirment, sans aucun doute, l'entraînement senestre. Le déplacement horizontal évalué d'après les forages est de l'ordre de 60 à 80 mètres (figure 5). Le mouvement senestre associé à ces failles concorde avec celui proposé par Gobeil et Racicot (1983) et par Explorations Falconbridge Copper. Il apparaît en effet sur la carte de compilation de la géologie de surface de la compagnie. Nous avons également observé localement la présence de failles N-S à mouvement oblique dextre. Toutefois, le déplacement des zones de cisaillement minéralisées, sous l'effet de ces failles, semble beaucoup plus faible, de l'ordre de un mètre à quelques mètres.

4.2.4.3 Faille Chibougamau Copper

La faille Chibougamau Copper (figure 4) a été observée au 10^e niveau de la mine Cooke. Il s'agit d'une zone de faille de 15 à 30 mètres de large qui met en contact des roches chertueuses de la Formation de Blondeau et des gabbros du filon-couche de Bourbeau (figure 34 A). Dans cette zone, on observe plusieurs plans de discontinuité (miroirs de faille) lisses et rectilignes constitués de matériel brunâtre à grain très fin (gouge). De part et d'autre de ces plans de failles, on note que la roche est extrêmement broyée et chloritisée. L'encaissant gabbroïque présente localement des plans de schistosité à $085^{\circ}/87^{\circ}$. Finalement, nous avons observé localement des veinules de calcite±quartz dans le gabbro mylonitisé. Toutefois, aucune minéralisation significative n'a été trouvée dans cette zone de failles. L'attitude moyenne des plans de faille est de $260^{\circ}/85^{\circ}$, mais le pendage varie de fortement nord à fortement sud. La relation, en coupe, entre la schistosité ($085^{\circ}/87^{\circ}$) accolée au plan de faille, mettant en contact

Figure 34: A) Photographie de la faille Chibougamau-Copper telle qu'observée au 10^e niveau de la mine Cooke. On y observe un plan de faille très bien défini, au contact entre les roches felsiques de la Formation de Blondeau et le ferrogabbro à quartz du filon-couche de Bourbeau.

B) Agrandissement de la figure 34 A montrant clairement le plan de faille et l'intense déformation présente dans le filon-couche de Bourbeau alors que les roches felsiques de la Formation de Blondeau sont à très peu déformées.



les roches de la Formation de Blondeau avec celles du filon-couche de Bourbeau, indique un mouvement à rejet pendage inverse. Des stries mesurées sur des plans de failles ont des plongements d'une trentaine de degrés et suggèrent un mouvement oblique senestre à composante verticale inverse. Ces éléments structuraux concordent avec le mouvement senestre proposé par Gobeil et Racicot (1983) de même qu'avec la carte de compilation de la géologie de surface de Minnova Inc. L'amplitude du déplacement latéral senestre proposée est de l'ordre de 300 mètres.

4.2.4.4 Faille du lac Gwillim

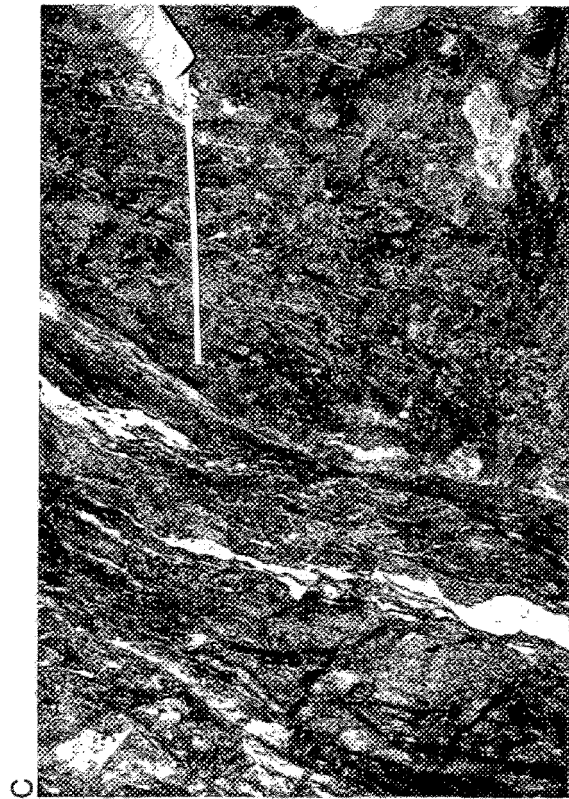
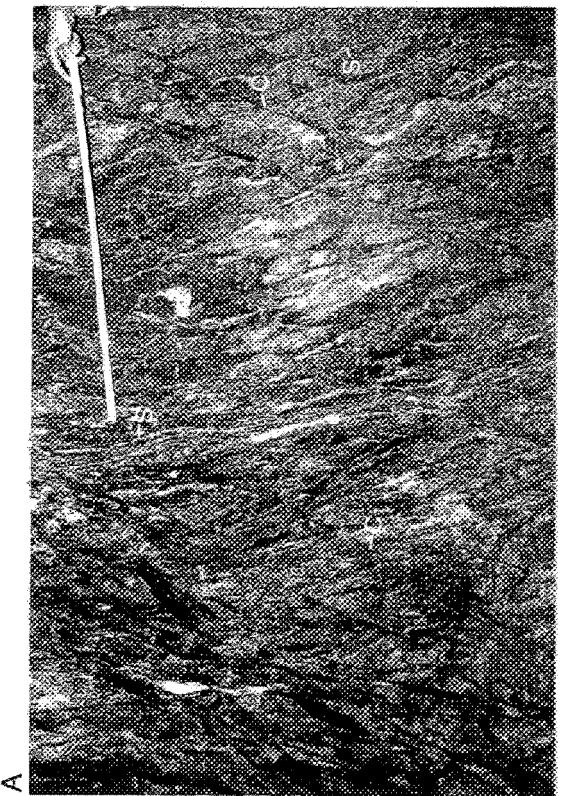
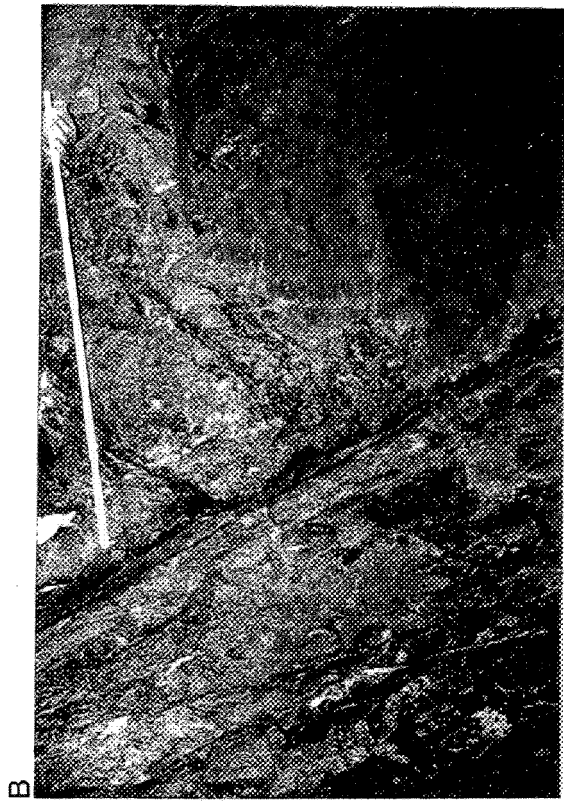
La zone de faille connue sous le nom de faille du lac Gwillim (Norman, 1948, Duquette, 1970; Allard *et al.*, 1979) est une des plus importantes failles d'orientation NE présentes dans la ceinture de roches vertes de Matagami-Chibougamau (figures 3 et 4). Il s'agit d'une fracture majeure dans la croûte qui s'étend sur plus de 100 km de longueur et un minimum de 400 mètres de profondeur, selon nos travaux à la mine Cooke. Cette faille a été reconnue par différents auteurs notamment Norman (1940, 1948), Derry et Folinsbee (1957), Graham (1957), Brown (1970), Lavoie (1972), Dimroth *et al.* (1984) et Wolhuter (1984). Les roches affectées par cette faille ont été déplacées par un mouvement oblique senestre important. Selon Dimroth *et al.*, (1984), les roches ont subi un déplacement vertical et horizontal de quelques kilomètres.

La faille du lac Gwillim est observée au 7^e niveau de la mine Cooke, dans la galerie joignant la mine Cooke à la mine Robitaille. Cette galerie permet de voir en coupe l'ensemble de la zone de faille. On y observe une zone d'au moins 120 mètres de largeur marquée par de nombreux plans de discontinuité (cisaillements ou clivages) dont la direction moyenne est de $050^{\circ} (\pm 20^{\circ})$ et le pendage, vers le sud (60°), ainsi que par d'autres plans subparallèles en plan, au premier, orientés à $240^{\circ} (\pm 15^{\circ})$ mais possédant un pendage de l'ordre de 60° vers le nord. De plus, on note des zones de déformation ductile montrant, en coupe, un clivage (C) espacé ayant une attitude moyenne de $069^{\circ}/63^{\circ}$ recoupant nettement des plans de schistosité (S) orientés en moyenne à $238^{\circ}/75^{\circ}$ et des veinules de quartz-calcite sub-parallèles à la schistosité (figure 35 A). Localement, la relation inverse a été observée c'est-à-dire que la schistosité possède un pendage vers l'est ($050^{\circ}/70^{\circ}$) alors que le clivage est orienté à $240^{\circ}/60^{\circ}$. Le déplacement des veinules de quartz par les plans de clivage de même que la forme sigmoïdale, localement observée, de la schistosité suggèrent un mouvement inverse-oblique de faible

Figure 35: A) Photographie illustrant la déformation ductile-cassante associée à la zone de faille du Lac Gwillim. On observe des plans de schistosité (S) bien définis, à pendage vers l'ouest, recoupés par un clivage (C) à pendage vers l'est. L'échelle mesure 1 mètre.

B) Photographie montrant le plan de faille principal cartographié dans la zone de faille du Lac Gwillim. Vue vers le sud. L'échelle mesure 1 mètre.

C) Photographie illustrant la zone schisteuse injectée de veinules de quartz -calcite et associée au plan de faille principal cartographié dans la zone de faille du lac Gwillim . Même plan de faille que sur la figure B mais vue vers le nord. L'échelle mesure 1 mètre.



amplitude (millimétrique à centimétrique). Toutefois, le plan de faille principal observé à l'intérieur de cette zone est de nature cassante. Il est lisse et rectiligne et est orienté à 243° avec un pendage vers le NW de 60° (figure 35 B et C). Associée à ce plan de faille, on observe une zone très schisteuse d'environ 1,5 mètres de largeur, injectée de quelques veinules de calcite+quartz subparallèles à l'orientation même de la faille (figure 35 C). Ce plan de faille correspond, d'après sa position géographique et les discontinuités stratigraphiques mises en évidence grâce à plusieurs trous de sondage, à la faille du lac Gwillim. Sa direction (240°) et son pendage, d'environ 60° vers le NW, ont également été vérifiés à l'aide de trous de forage et de sa position à différents niveaux de la mine. Aucune strie n'a été observée sur le plan de faille. Les relations stratigraphiques observées en surface, de part et d'autre de cette faille, impliquent un mouvement senestre de l'ordre de 3 à 5 km (Gobeil et Racicot, 1983). Les zones de cisaillement ductiles à rejet inverse-oblique montrant un clivage sub-parallèle à la direction de la faille du lac Gwillim mais un pendage de sens contraire ($069^\circ/63^\circ$) représentent alors possiblement des cisaillement conjugués en pendage à cette dernière.

Seion les données disponibles dans la littérature, le pendage de la faille du lac Gwillim, même s'il n'avait pas été prouvé, était considéré comme étant probablement, soit vers le sud (Derry et Folinsbee, 1957; Graham, 1957;), soit abrupt ($80-85^\circ$) et vers le nord ou le sud (Lavoie, 1972) soit vertical (Dimroth et al., 1984). De plus, il a été proposé par Norman (1948) que les roches situées au sud de la faille ont été soulevées, étant donné que les sédiments protérozoïques n'ont été préservés de l'érosion que du côté nord de celle-ci. Cette hypothèse a par la suite été entérinée par les travaux à caractère stratigraphique et structuraux effectués par Dimroth et al., (1984). Les résultats de nos travaux indiquent que le pendage de la faille du lac Gwillim, dans le secteur de Chapais, est vers le NW contrairement aux données disponibles dans la littérature. (Norman, 1940, 1948; Derry et Folinsbee, 1957; Graham, 1957; Brown, 1970, Lavoie, 1972; Dimroth et al., 1984; Wolhuter, 1984). Cette conclusion est également en accord avec l'interprétation d'un levé magnétique au sol rapporté par Brown (1970) et suggérant que la faille du lac Gwillim a un pendage vers le NW. En conclusion, la faille Gwillim a donc, dans le secteur de Chapais, un pendage vers le NW de l'ordre de $60^\circ (\pm 10^\circ)$. De plus, le plan de gouge mesuré sous-terre ($240/60$) représente définitivement ce plan de faille. Il marque une discontinuité stratigraphique assez nette et reflète une fracture majeure dans la croûte issue d'une déformation cassante qui est accompagnée par un stade de déformation ductile

telle que représentée par la zone de cisaillement avec fabric "C-S" observée à l'est du plan de faille principal.

4.2.5 Sommaire

Les veines 7 et 9 correspondent à un ensemble de plusieurs zones de cisaillement, plus ou moins intenses, et de fractures minéralisées (parfois 4 ou 5) de même orientation. La largeur de chacune de ces zones varie de moins de 3 cm à plus de 13 mètres. Ces zones minéralisées sont généralement contenues dans des zones de cisaillement ductiles-cassantes à cassantes (Ramsay, 1980). Par endroits toutefois, la minéralisation se trouve dans des veines mises en place dans des fractures de tension, sans déformation importante de l'encaissant. On constate que l'attitude de ces zones varie de E-W à NW-SE. Toutes les orientations comprises entre E-W et NW-SE sont possibles. Le pendage de ces zones est généralement vers le nord et de l'ordre de 70° à 80° toutefois, bon nombre de directions de foliation-cisaillements à pendage vers le sud sont également présentes. Une zone de cisaillement importante est présente au 8^e niveau de la mine. Cette zone, d'environ 30 mètres de largeur, est située à l'intérieur de la pyroxénite du filon-couche de Bourbeau et se trouve au contact entre ce filon-couche et la Formation de Blondeau (figure en trois D). Ces zones de cisaillements se caractérisent par des mouvements oblique-inverse comportant une composante latérale dextre. Dans l'ensemble, les zones minéralisées sont subparallèles en direction et en pendage à l'orientation des unités stratigraphiques, l'enveloppe générale est vers le NW-SE et le pendage est nord. Toutefois, en profondeur (niveaux 8 et 10), cette relation n'est plus applicable.

À l'extérieur des cisaillements, le gabbro est peu ou pas déformé. Outre des fractures de tension remplies de calcite ou, plus localement, d'axinite, la roche ne semble affectée par aucune discontinuité structurale et la schistosité régionale (S_2) semble, à l'échelle mégascopique, pratiquement absente.

Les zones de cisaillement minéralisées (veines nos 7 et 9) sont nettement entraînées et recoupées par des failles cassantes tardives dont l'orientation varie de NE-SW à ENE localement et dont le pendage est généralement vers le nord. Ces failles ont provoqué des déplacements obliques senestres pouvant atteindre jusqu'à 60 à 80 mètres. Localement, des failles N-S à mouvement oblique dextre, à déplacement plus restreints (quelques mètres) ont été observées.

La faille Chibougamau Copper correspond à une zone de faille de 15 à 30 mètres qui met en contact la Formation de Blondeau et le filon-couche de Bourbeau. L'attitude moyenne des plans de faille est de $260^{\circ}/85^{\circ}$, mais le pendage varie de fortement nord à fortement sud. Des stries mesurées sur des plans de failles ont des plongements d'une trentaine de degrés et suggèrent un mouvement oblique senestre. L'amplitude du déplacement latéral senestre proposée est de l'ordre de 300 mètres.

La faille du lac Gwillim se caractérise par une zone d'au moins 120 mètres de largeur marquée par de nombreux plans de discontinuité (cisaillements ou clivages) dont la direction moyenne est de $050^{\circ} (\pm 20^{\circ})$ et le pendage, vers le sud (60°), ainsi que par d'autres plans subparallèles en plan, au premier, orientés à $240^{\circ} (\pm 15^{\circ})$ mais possédant un pendage de l'ordre de 60° vers le nord. Cette zone est associée à une déformation ductile-cassante. Toutefois, le plan de faille principal observé à l'intérieur de cette zone est de nature cassante. Il est lisse et rectiligne et est orienté à 243° avec un pendage vers le NW de 60° (figure 26C).

Aucune strie n'a été observée sur le plan de faille. Les résultats de nos travaux indiquent que le pendage de la faille du lac Gwillim, dans le secteur de Chapais, est vers le NW contrairement aux données disponibles dans la littérature (Norman, 1940, 1948; Derry et Folinsbee, 1957; Graham, 1957; Brown, 1970, Lavoie, 1972; Dimroth et al., 1984; Wolhuter, 1984).

4.3- Mine Norbeau

4.3.1 Introduction

L'environnement structural de la mine Norbeau a été étudié par différents auteurs dont les principaux sont : Geisterfer (1960), Prochnau (1971) et Duquette (1976 et 1982). Ceux-ci ont discuté sommairement des différents éléments structuraux dans l'environnement de la mine. Dans le but de définir les caractéristiques structurales des discontinuités, d'établir une chronologie et, peut-être, de mieux comprendre les mécanismes de mise en place

de la minéralisation à la mine Norbeau, nous avons réalisé une étude structurale détaillée. Pour ce faire, nous avons cartographié à l'échelle de 1 pouce = 200 pieds (1: 2400) l'ensemble de la propriété (voir carte détaillée en annexe) et nous avons cartographié à la planchette (échelle 1 pouce = 20 pieds, 1: 240) les veines E-W (voir en annexe les cartes détaillées des veines New Vein et Sharpe) et la veine no 1 telle qu'observée en surface. Nous avons mis en évidence plusieurs types de discontinuités résultant d'au moins deux épisodes de déformation. Il s'agit: de la stratification S_0 , de la schistosité et des cisaillements S_2 (conformément à la nomenclature utilisée dans la région de Chibougamau par Daigneault et Allard (1984)), du clivage et des failles D_3 et des joints et fractures d'orientations diverses. Nous les décrirons dans l'ordre.

4.3.2 Stratification S_0

La direction de la stratification est principalement mise en évidence par les contacts entre les différents types de sédiments présents dans la Formation de Blondeau. Les contacts entre les unités stratigraphiques, les différents faciès formés à l'intérieur des filons-couches et le litage magmatique présent dans le leucogabbro ont également été localement cartographiés. Le stéréogramme équiaire présenté à la figure 36 A réunit l'ensemble des données que nous avons recueillies. Ainsi, l'attitude moyenne de la stratification se situe entre $254^\circ/70^\circ$ et $265^\circ/70^\circ$. Les strates sont donc orientées E-W et ont un fort pendage vers le N.

Dans le secteur est, nous avons localement noté un fait intéressant. Le litage magmatique présent dans le leucogabbro du filon-couche de Bourbeau n'a pas la même orientation que la stratification S_0 observée dans les sédiments. Le litage magmatique est, en effet, localement orienté NNE. Toutefois, les contacts, observés au sud du leucogabbro du filon-couche de Bourbeau, entre la péridotite du Bourbeau, le gabbro Ventures et les sédiments de la Formation de Blondeau demeurent E-W. Nous croyons donc que la variation dans l'orientation du litage magmatique a peut-être été causée par des perturbations primaires locales (courants de convection?) lors de la cristallisation du filon-couche.

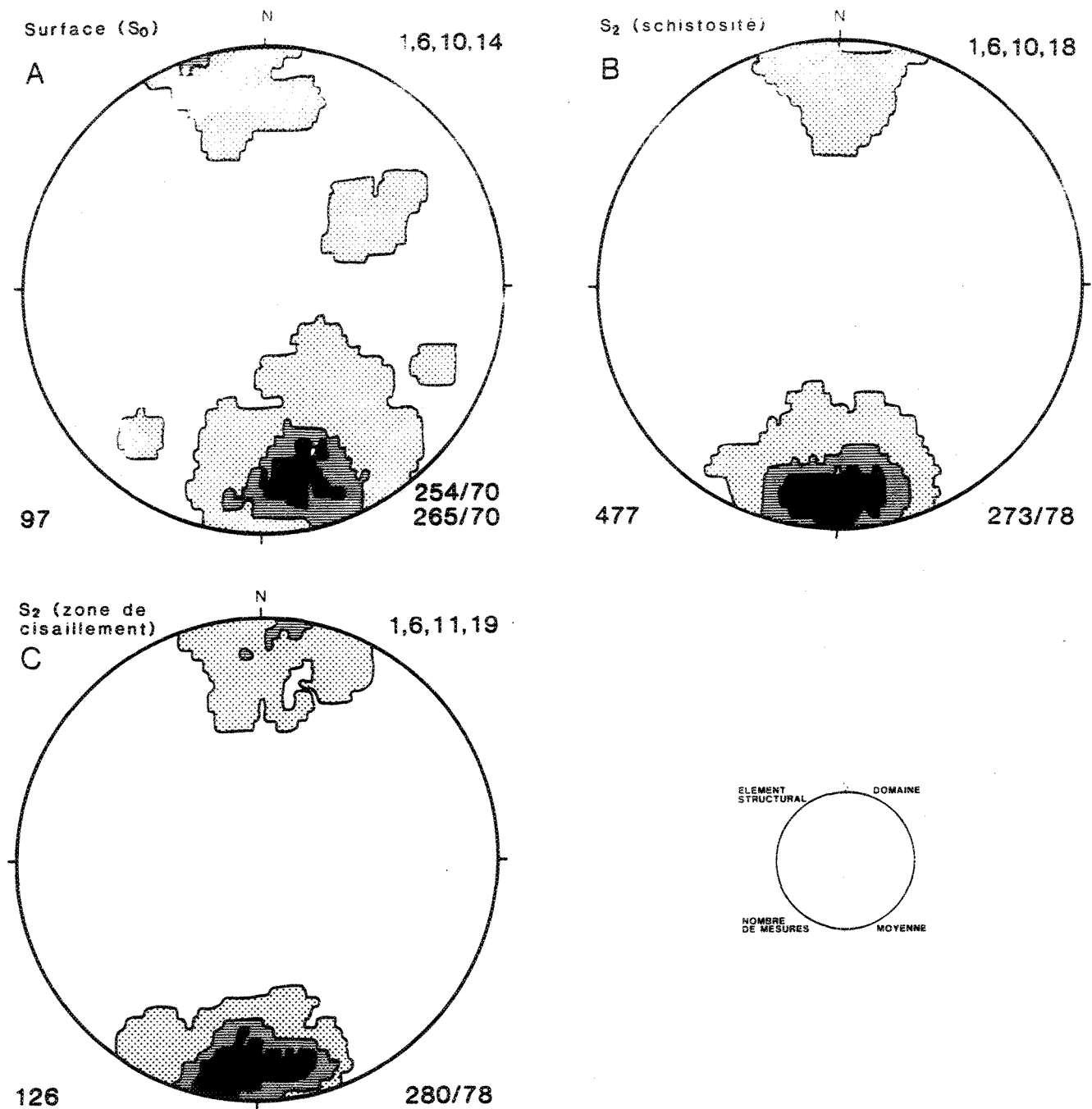


Figure 36: Stéréogrammes des pôles des plans S_0 (A), S_2 schistosité (B) et S_2 cisaillement (C) à la mine Norbeau.

4.3.3 Discontinuités D_2

4.3.3.1 Introduction

Les discontinuités structurales D_2 sont principalement mises en évidence par la schistosité et les zones de cisaillement E-W auxquelles s'associent les veines de quartz aurifère (New Vein, Sharpe, Mann et no 2) (figure 37, voir aussi carte en annexe). Nous avons également considéré dans cette catégorie, les zones de cisaillement ESE (veine no 5) (étant donné leur grande similarité avec les veines E-W) et les zones de cisaillement d'orientation E-W à NW-SE affectant le sommet du filon-couche de Roberge. Finalement, nous croyons que les caractéristiques structurales que nous avons définies pour les veines aurifères E-W nous permettent d'intégrer à ce système les veines de quartz aurifère no 1 et no 4 exploitées à la mine Norbeau. Nous les décrirons maintenant dans l'ordre.

4.3.3.2 Schistosité et clivage E-W

Dans la région de Chibougamau, la schistosité S_2 est une schistosité de plan axial associée aux plis régionaux d'orientation E-W (Daigneault et Allard, 1984). Dans la région étudiée, cette schistosité se manifeste principalement par une foliation minérale (chlorite, leucoxène) et une micro-fracturation d'orientation E-W. De plus, localement on observe qu'elle est mieux développée près des contacts entre les différentes unités stratigraphiques. Le stréréogramme équaire de la figure 36 B présente une compilation de l'ensemble de l'attitude de la schistosité S_2 que nous avons mesurée. L'attitude moyenne est $273^\circ/78^\circ$. La schistosité S_2 a donc une orientation E-W et un pendage abrupt vers le N, sub-parallèle à la stratification S_0 .

4.3.3.3 Failles longitudinales E-W/NW-SE

Dans la partie sud-ouest de la région étudiée nous avons observé une augmentation de l'intensité de la schistosité au contact entre les unités lithologiques impliquant le sommet du

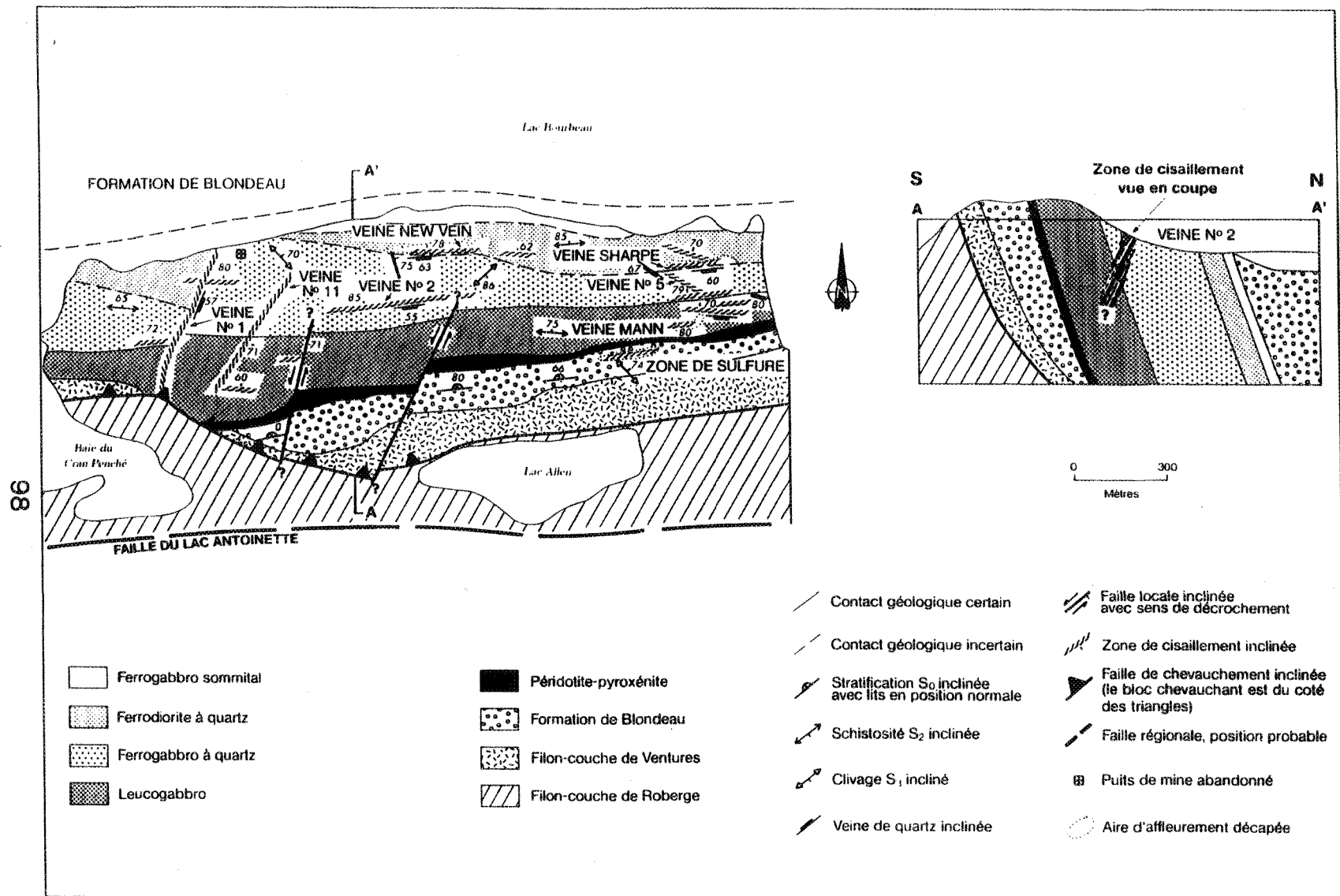


Figure 37: Géologie locale de la mine Norbeau. Tirée de Dubé et Guha, 1989.

filon-couche de Roberge. En effet, à certains endroits des zones très cisailées localisées dans le Roberge au contact avec le filon-couche de Ventures, de Bourbeau ou les sédiments de la Formation de Blondeau ont été observées. À ce propos nous avons noté, au sud-est de la veine no 1, une zone de mylonite à ultramylonite (Sibson, 1977) très intense de 0,9 à 1,5m de largeur localisée au contact entre le Roberge et le Bourbeau (figure 37, voir carte détaillée en annexe). Cette zone de faille a une orientation E-W à NW-SE et possède un pendage de 70 à 85° vers le N (figure 37, voir carte détaillée en annexe). La schistosité est toujours beaucoup mieux développée dans le Roberge étant donné la très grande ductilité de ce matériau ultramafique.

Ce type de faille a été reconnu dans les régions avoisinantes par différents auteurs dont Allard (1976), Duquette (1976 et 1979), Daigneault et Allard (1984, 1987) et Pilote et al. (1984) et Pilote (1986). Ces failles, appelées longitudinales, sont généralement subparallèles aux contacts entre les différentes unités stratigraphiques et la schistosité régionale. Selon Duquette (1979), Pilote et al. (1984) et Pilote (1986), elles sont, par endroits, légèrement discordantes, recoupant ainsi la stratigraphie. Par conséquent, nous croyons que la ou les failles d'orientation E-W à NW-SE délimitant en partie le contact entre le filon-couche de Roberge et les autres unités stratigraphiques dans la partie sud-ouest du secteur étudié s'associent aux failles longitudinales cartographiées régionalement et localement, comme par exemple la faille du Lac Antoinette ou celle du Lac Cummings (Duquette, 1979; Daigneault et Allard, 1984 et Pilote et al. (1984) et Pilote (1986). Dans le contexte géologique régionale ces failles sont interprétées par (Daigneault et Allard, 1984, 1987) comme étant contemporaines de la schistosité régionale S_2 .

4.3.3.4 Zones de cisaillement E-W

Les zones de cisaillement E-W constituent le type de structure le plus fréquent dans la région étudiée. Elles sont fréquentes au contact ou près du contact entre deux unités stratigraphiques ou entre deux faciès lithologiques différents. Toutefois, ces zones sont particulièrement bien développées dans les sédiments de la Formation de Blondeau (zone

décapée occupant la partie centre-est de la région étudiée (figure 37, voir carte détaillée en annexe) et surtout dans le filon-couche de Bourbeau, en particulier dans les faciès ferrogabbroïques et ferrodioritiques. Ces zones de cisaillement ont des dimensions variant de 2,5 cm à 12 ou 15 m de largeur (veines New Vein, Sharpe et no 2). Le stéréogramme équaire de la figure 36 C présente une compilation de l'ensemble des directions de schistosités dans les cisaillements E-W que nous avons cartographiés. Il n'inclut toutefois pas les zones contenant les veines aurifères E-W (ces dernières seront traitées séparément à la section suivante). L'attitude moyenne de la schistosité ainsi obtenue est de $280^{\circ}/78^{\circ}$. Il s'agit donc de zones où la schistosité est mieux développée, plus intense que la schistosité S_2 décrite précédemment mais de même attitude que celle-ci.

Ces zones de cisaillement contiennent les veines aurifères connues sous les noms de no 2, New Vein (Shécapio), Sharpe et Mann. Comme les trois dernières ont fait l'objet de décapage et de nettoyage intensif, des travaux de cartographie détaillés à la planchette (échelle 1" = 20', 1 : 240) ont été entrepris, à l'été 1985 (voir en annexe les cartes détaillées des veines New Vein et Sharpe). Ceux-ci ont permis de mieux définir le contexte structural de ces zones de cisaillement et notre interprétation structurale est essentiellement basée sur les observations faites sur ces trois veines. Nous résumerons, dans les pages qui suivent, l'essentiel de nos observations.

4.3.3.5 Caractéristiques structurales des zones de cisaillement contenant les veines aurifères E-W.

Du point de vue structural, les trois structures minéralisées de direction E-W que nous avons étudiées sont pratiquement identiques. Ces structures consistent en des zones de cisaillement ductiles-cassantes contenant une veine de quartz sub-v verticale localisée dans la partie centrale (figure 38 A) et des veines de quartz sub-horizontales principalement localisées dans le mur de la veine principale. L'attitude moyenne des veines sub-verticales New Vein (Shécapio), Sharpe et Mann est respectivement de $092^{\circ}/63^{\circ}$ S, $090^{\circ}/60^{\circ}$ S et $085^{\circ}/80^{\circ}$ S. Les veines New Vein et Sharpe ont une longueur d'environ 220 m, une largeur

d'environ 1-2 m et une extension en profondeur qui reste à préciser. La veine Mann possède une extension latérale connue d'une vingtaine de mètres et une largeur de 0,3 à 0,6 m. Il existe deux générations de veines de quartz sub-horizontales. Une première plissotée et associée à la minéralisation et l'altération hydrothermale (figure 38 B) et une deuxième constituée de quartz et tourmaline, plus tardive, non-déformée et stérile.

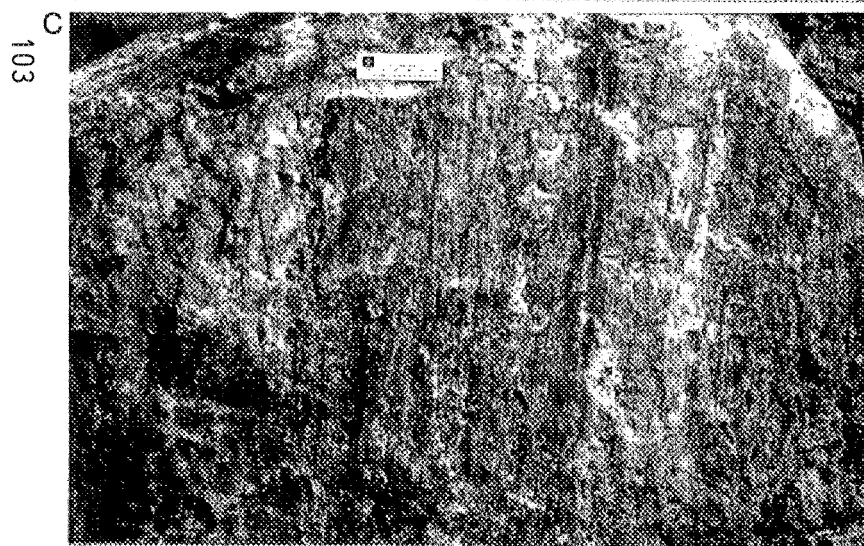
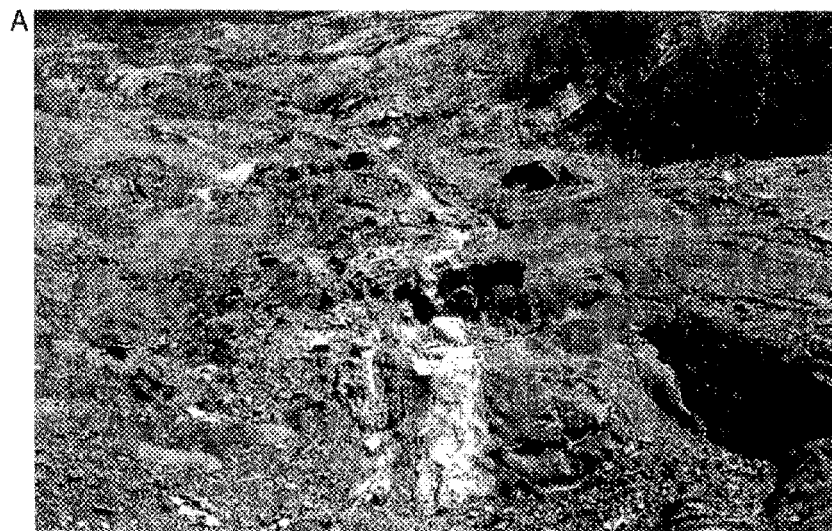
Les murs des veines sub-verticales de même que des plans de glissement plus locaux localisés à l'intérieur de celles-ci contiennent localement des stries (figures 38 C et D). Toutes ces veines de quartz se sont mises en place à l'intérieur de zones de cisaillement ductiles-cassantes (Ramsay, 1980) dont la largeur est de l'ordre de 12 à 15 m. En plan, la zone de cisaillement se manifeste par des zones très schisteuses et fortement altérées. La schistosité dominante est subparallèle en plan à la direction de la zone de cisaillement mais est oblique en pendage. En effet, alors que le pendage de la veine est S, celui de la schistosité dominante est N, ou moins fréquemment fortement sud. Les stéréogrammes équiaires présentés aux figures 39 A et B montrent que la schistosité dominante observée aux veines New Vein et Sharpe est, respectivement, $270^{\circ}/78^{\circ}$ et de $270^{\circ}/80^{\circ}$. Toutefois, nous croyons que les zones de cisaillement, possèdent tout comme la veine un pendage vers le S. La section de sondage, de la figure 40 montre bien que, même si la schistosité dominante possède un pendage vers le N, son enveloppe est à pendage vers le S. Les plans de schistosité contiennent régulièrement des linéations minérales et des stries. Nous avons également observé une deuxième "schistosité", moins bien développée. Son attitude moyenne est de $100^{\circ}/78^{\circ}$ à la New Vein et de $107^{\circ}/87^{\circ}$ à la veine Sharpe (figures 41 A et B). Il s'agit d'une "schistosité" ou d'un clivage de fracture orienté parallèlement à la première mais dont le pendage est abrupt vers le S. Cette deuxième "schistosité" recoupe à quelques endroits la première et nous croyons qu'il peut s'agir de plans de glissement. Cette hypothèse est fortement suggérée par une vue en coupe dans une tranchée localisée à l'extrémité est de la veine New Vein. À cet endroit, on observe des plans rectilignes orientés à $096^{\circ}/78^{\circ}$, et distants de 0,3 à 0,9 m, qui recoupent nettement une schistosité à $270^{\circ}/80^{\circ}$. Ces plans sont lisses et rectilignes et ils correspondent probablement à des plans de cisaillement et sont probablement sub-parallèle à l'enveloppe de la zone de cisaillement. Ils contiennent des stries à $205^{\circ}/62^{\circ}$ et des "steps", indiquant un mouvement principalement en

Figure 38: A) Vue d'ensemble d'une partie de la veine de quartz New Vein. Regard vers l'est.

B) Stries observées sur le mur de la veine Sharpe.

C) Stries observées sur le mur de la veine New Vein.

D) Veines sub-horizontales plissées observées dans le secteur de la veine Sharpe.



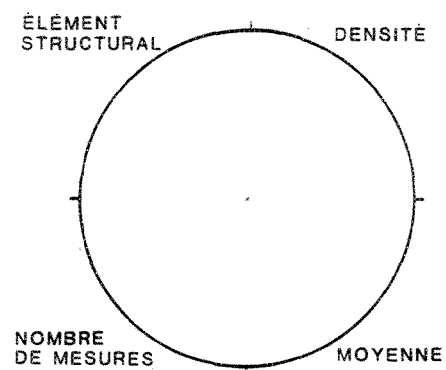
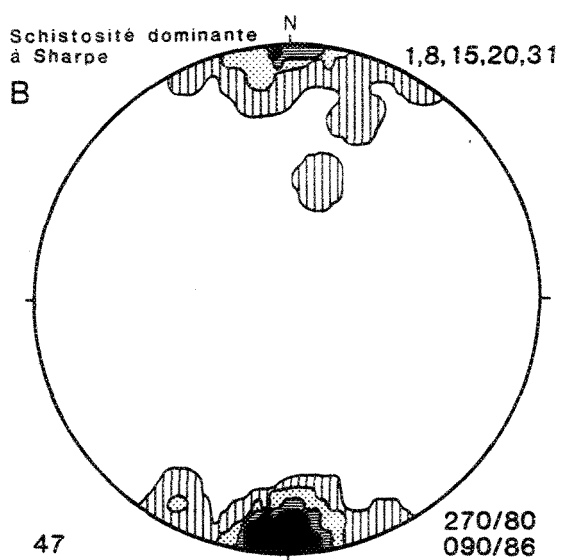
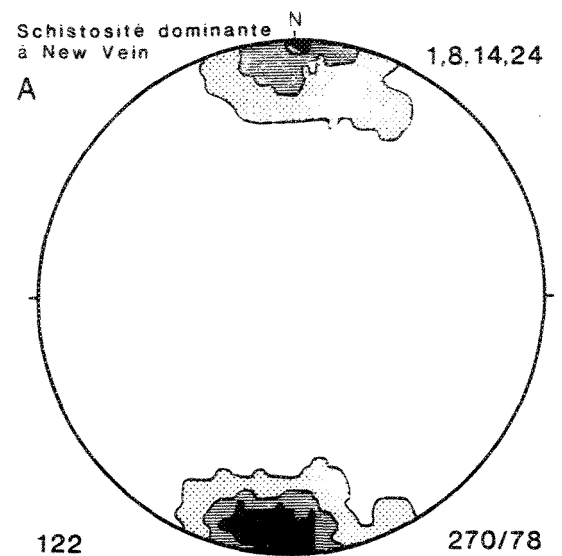


Figure 39: Stéréogrammes des pôles des plans de la schistosité dominante à la veine New Vein (A) et à la veine Sharpe (B).

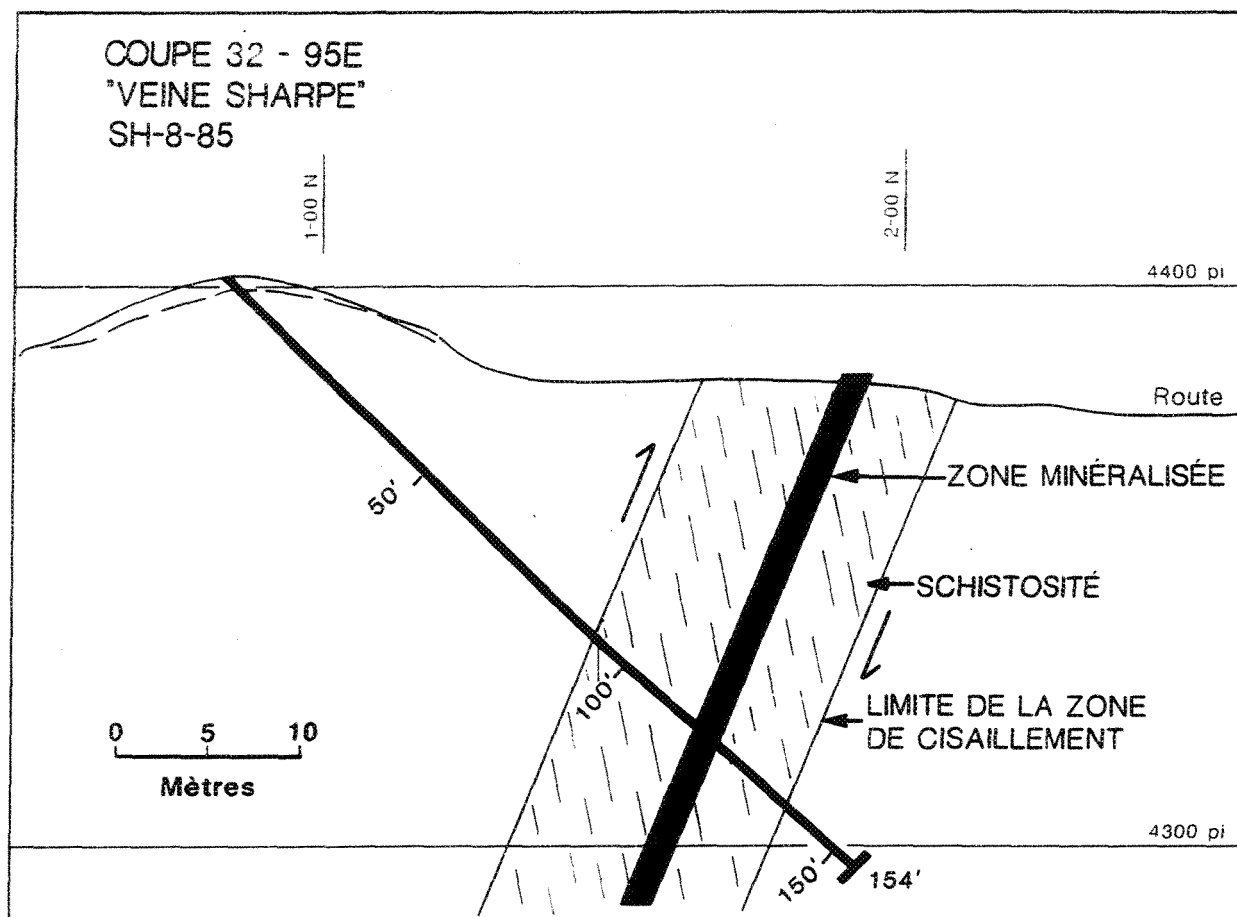


Figure 40: Section de sondage à la veine Sharpe montrant la relation angulaire entre la schistosité et la zone de cisaillement.

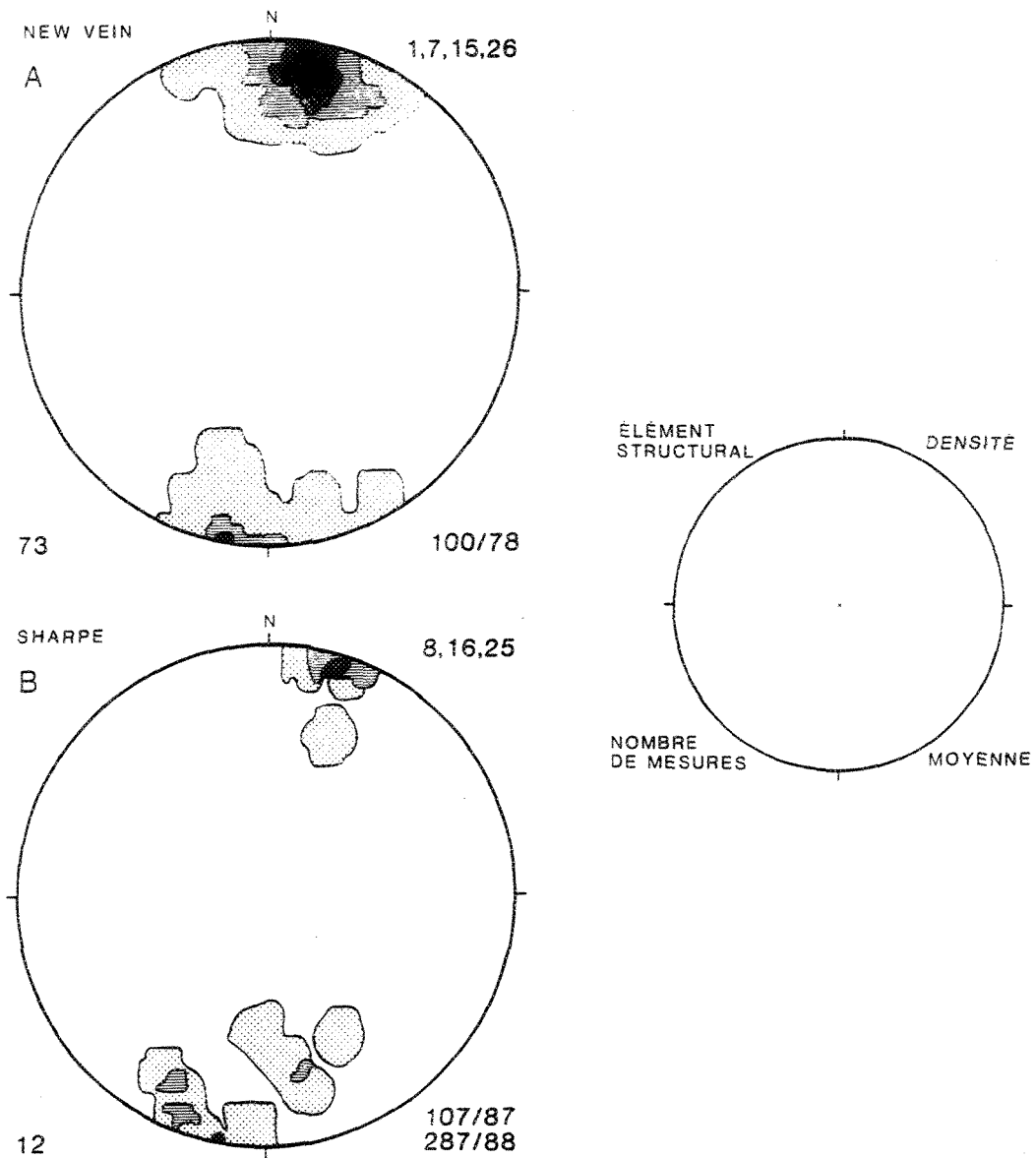


Figure 41: Stéréogrammes des pôles des plans de la deuxième "schistosité" à la veine New Vein (A) et à la veine Sharpe (B).

chevauchement avec faible composante latérale senestre. Il est également possible, que par endroits, il n'existe qu'une seule schistosité et qu'elle ait été entraînée parallèlement à l'enveloppe de la zone par la poursuite du mouvement inverse.

Le stéréogramme de la figure 42 présente une compilation des stries mesurées sur les murs et les plans de glissement des veines de quartz d'orientation E-W de même que les stries et linéations relevées sur les plans de schistosité et les plans de glissement (plans C ?). Les stries relevées sur les veines se localisent dans le troisième cadran alors que les linéations minérales mesurées sur les plan de schistosité à pendage vers le sud se situent dans le quatrième et le premier cadrans. Ces mesures indiquent que les stries et linéations possèdent une plongée relativement abrupte et que le mouvement dominant est à rejet pendage. A la veine Mann, nous avons observé à un endroit la présence de stries à faible plongée (20°) vers l'est. Elles pourraient être associées à un mouvement plutôt local.

Les stéréogrammes équiaires présentés aux figures 43 A et B montrent la distribution de l'attitude des veines de quartz subhorizontales plissées cartographiées aux veines New Vein et Sharpe. On constate à la veine Sharpe (figure 43 B) que les pôles de ces plans tombent sur un grand cercle orienté à $180^\circ/80^\circ$. De plus, nous avons mesuré à un endroit, la charnière d'un pli affectant une veine subhorizontale et son attitude ($098^\circ/03^\circ$) est semblable à celle de la charnière de pli calculée ($090^\circ/10^\circ$) selon l'orientation du grand cercle contenant les pôles des veines. Ainsi, l'ensemble des données présentées suggère que ces zones de cisaillement se caractérise par un mouvement inverse-oblique dans laquelle le mouvement dominant est inverse et est accompagné d'un mouvement latéral senestre. Cette interprétation est basée sur la présence d'une schistosité dominante oblique en pendage à la veine principale, des stries et linéations à forte plongée et des veines sub-horizontales. Le bloc diagramme présenté à la figure 44 illustre schématiquement ce mouvement en chevauchement du bloc sud sur le bloc nord. Les veines subhorizontales sont probablement relativement précoces dans le développement de la zone de cisaillement et elles ont donc été partiellement déformées par la poursuite du mouvement inverse. Ce chevauchement s'est poursuivi même après la mise en place des veines de quartz E-W subverticales, car les veines New Vein, Sharpe et Mann sont toutes trois cataclasées, fracturées et certaines contiennent des stries. Finalement, les veines de quartz-tourmaline non-plissées représentent, en terme chronologique, le dernier

STRIES ET LINÉATION SUR VEINES E-W

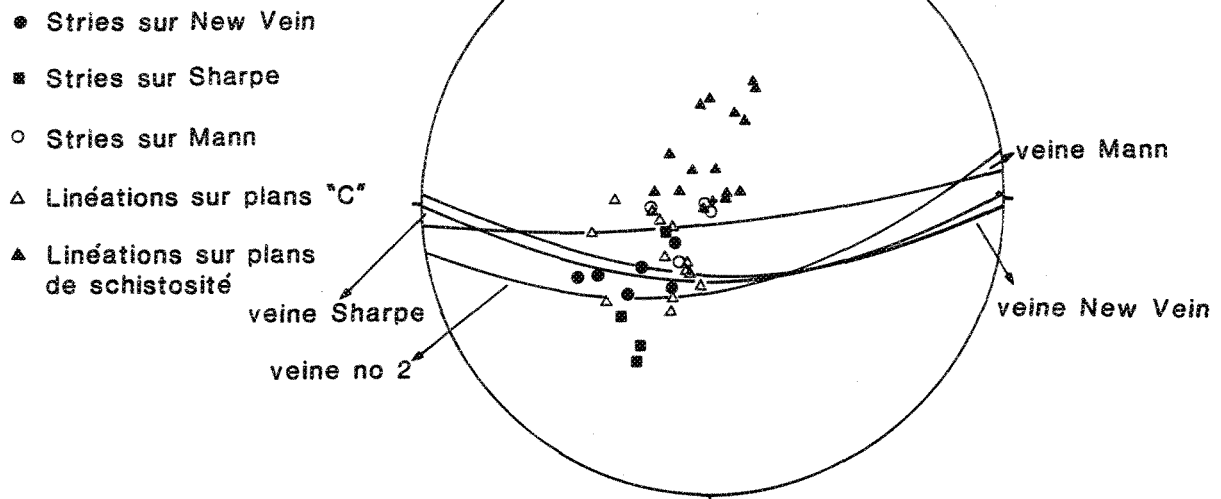


Figure 42: Stéréogrammes des linéations mesurées sur les veines E-W, mine Norbeau.

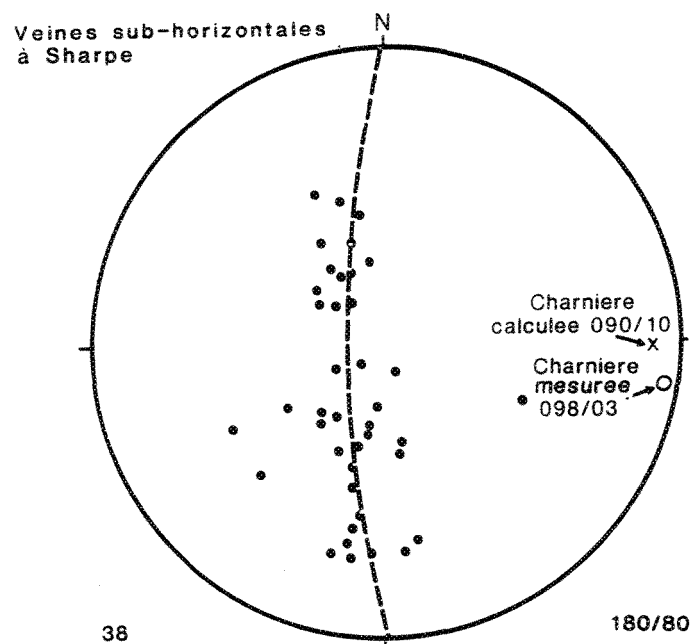
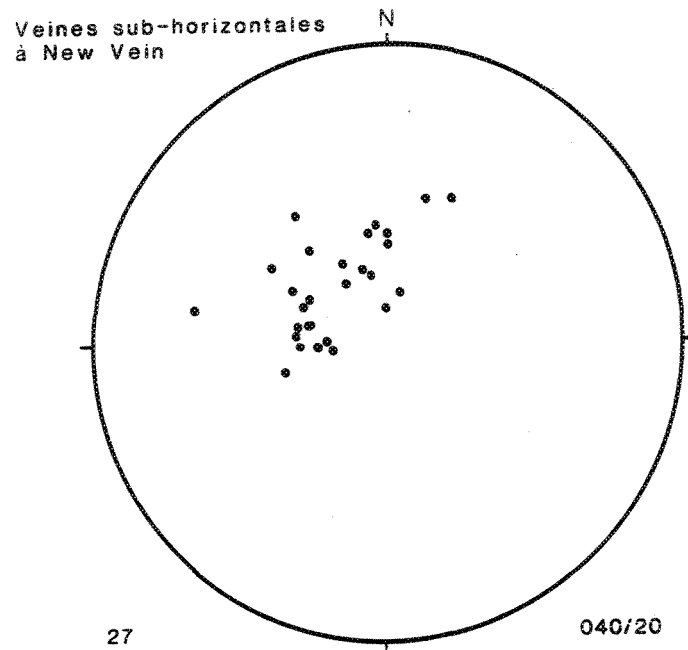


Figure 43: Stéréogramme équiaire montrant la distribution des veines de quartz subhorizontales cartographiées aux veines New Vein et Sharpe.

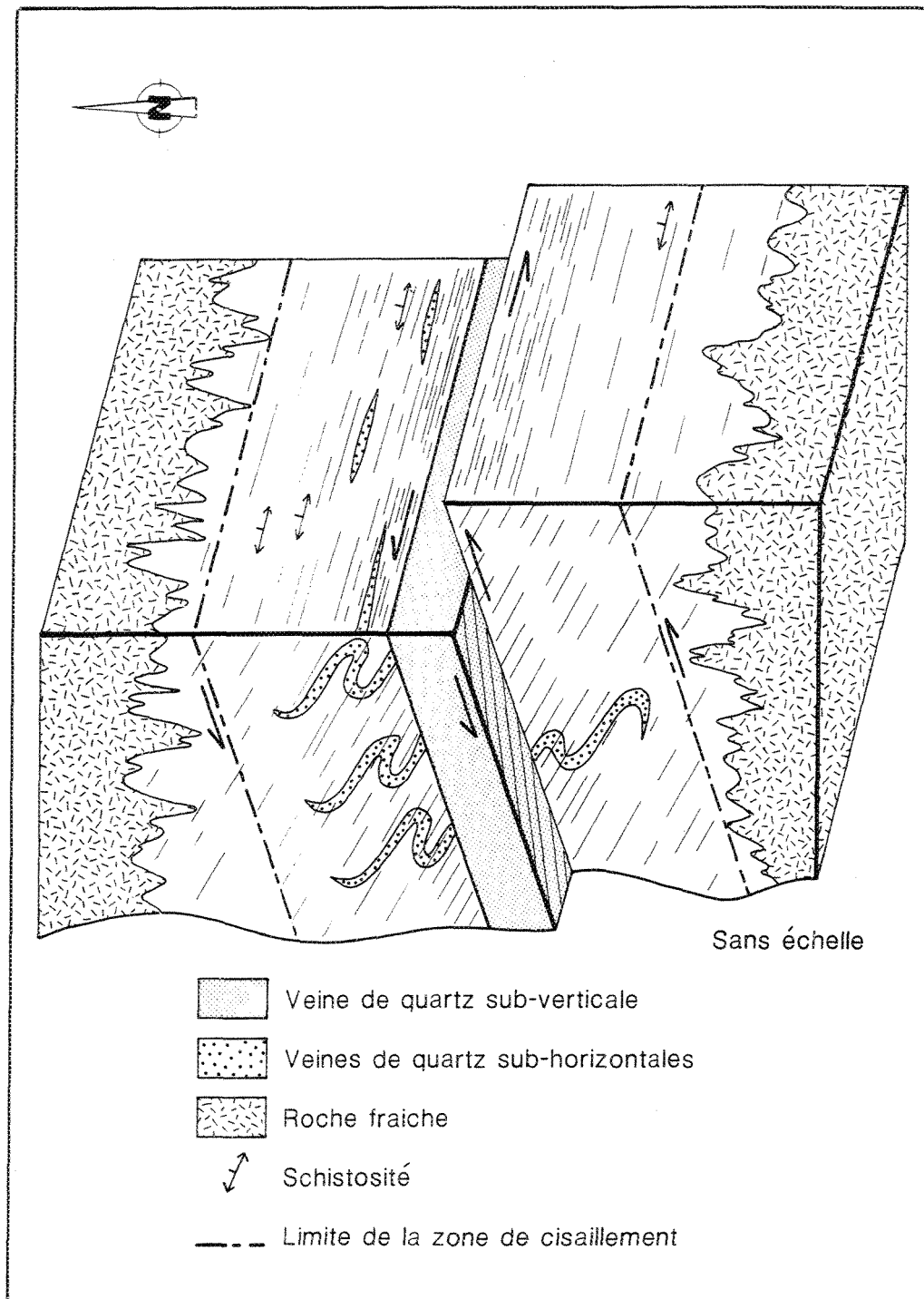


Figure 44: Bloc diagramme illustrant les relations structurales observées à l'intérieur des zones de cisaillement aurifères étudiée à la mine Norbeau. Les veines sub-horizontales apparaissent plus plissées qu'elles ne le sont en réalité.

événement survenu dans le développement des zones de cisaillement E-W . Elles constituent également le dernier événement hydrothermal.

Nous avons observé une occurrence de mouvement normal dans une zone de cisaillement non-aurifère localisée à l'est de la veine Mann. Le sens du mouvement y est suggéré par la relation en coupe entre la schistosité en sigmoïde (250/72) et le clivage sub-vertical (270/85). L'importance et la signification de ce cisaillement demeure inconnu et son intégration dans le modèle structural fondé sur les zones aurifères reste problématique. Toutefois, tout comme les autres zones de cisaillement décrites, le mouvement est essentiellement à rejet-pondage. De plus, il s'agirait d'une zone de cisaillement sub-parallèle au filon-couche.

4.3.3.6 Caractéristiques structurales des zones de cisaillement contenant les veines aurifères ESE

Il existe localement des zones de cisaillement orientées ESE . Ces zones de cisaillement sont principalement localisées dans le secteur est (figure 37, voir carte détaillée en annexe). L'une d'elles contient la veine de quartz aurifère no 5. Ces zones de cisaillement sont moins bien développées et semblent posséder une extension latérale plus faible. De plus, elles semblent rattachées aux cisaillements E-W . En effet, on note des cisaillement ESE à chacune des extrémités de la veine Sharpe .

Le stréréogramme de la figure 45 présente les données structurales caractérisant la veine No 5. L'attitude moyenne de la veine de quartz no 5 est 120°/67°. On constate que la schistosité a un pendage plus abrupt ou de sens contraire à celui de la veine. À titre d'exemple, une vue en coupe de la veine (figures 46 A et B) nous permet de constater que la veine (118°/67°) a un pendage vers le S alors que la schistosité (288°/70°) associée possède un pendage vers le N. Un fait particulier à mentionner est la présence de deux types de stries présentes sur les murs de la veine de quartz no 5. Nous y avons observé en effet, à un endroit, la présence de stries verticales à 262°/52° recoupées par des stries subhorizontales à 292°/13°. Cette observation suggère donc deux types de mouvement un premier qui est plutôt

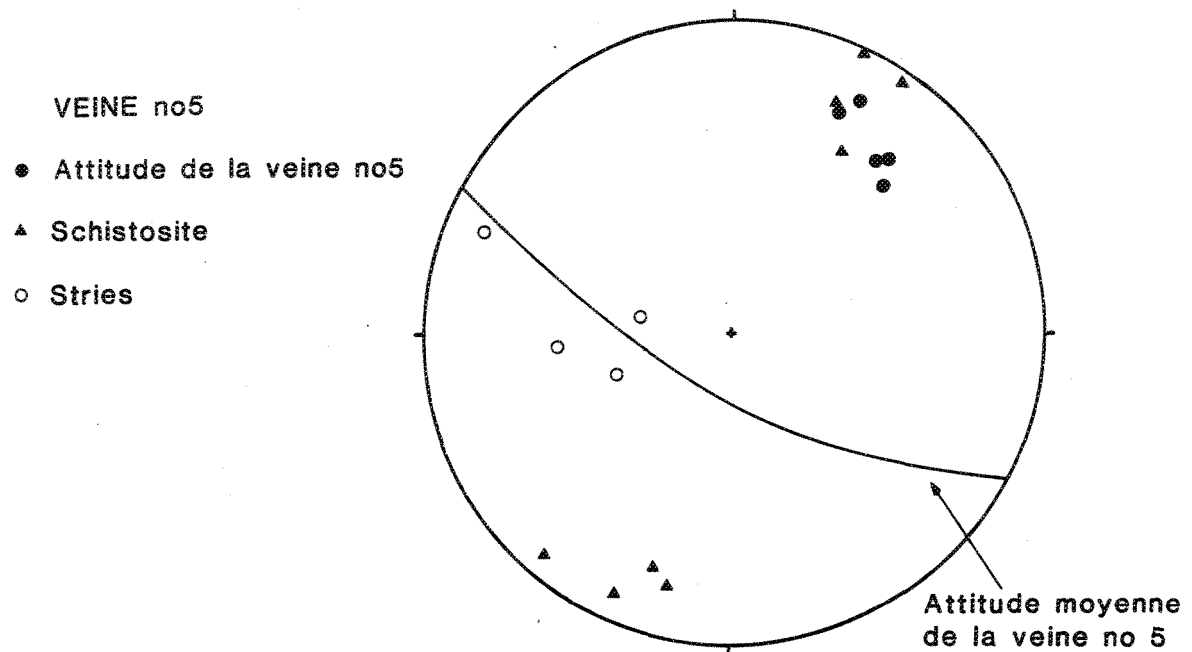


Figure 45: Stéréogramme équiaire présentant les données structurales caractérisant la veine no 5.

A



B

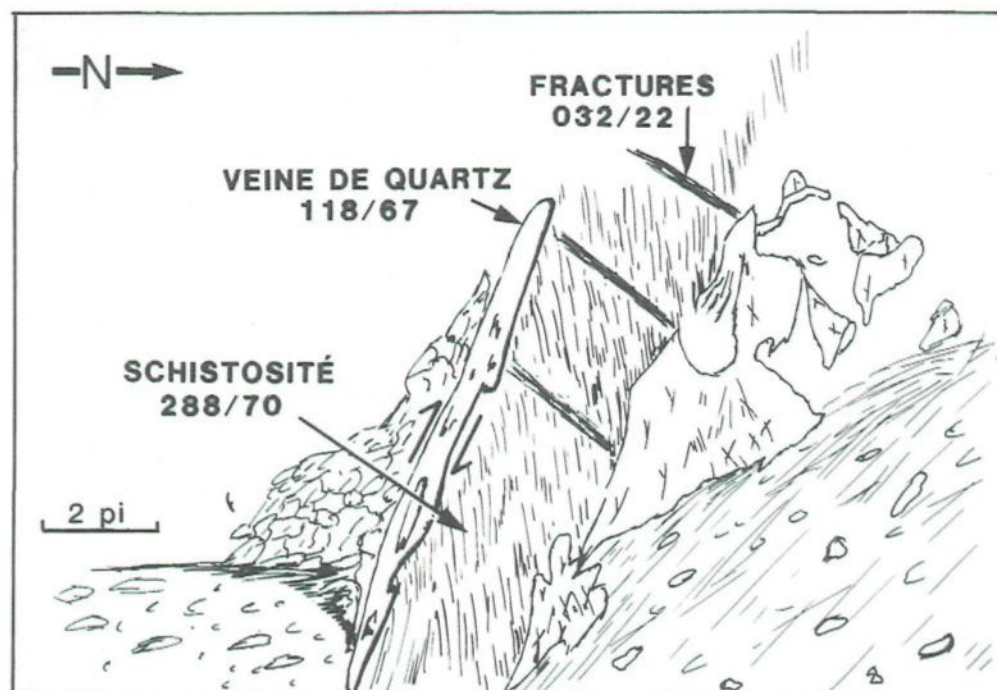


Figure 46: Photographie (A) et schéma (B) d'une vue en coupe de la veine #5.

vertical et qui semble dominant, selon l'attitude de la schistosité, et un second latéral dextre et probablement plus local.

Ainsi, ces caractéristiques structurales suggèrent que ces zones de cisaillement se caractérisent par un mouvement inverse-oblique dominé par la composante verticale. Nous croyons que ces zones de cisaillement ESE sont contemporaines des cisaillements E-W (voir plus loin la section 4.4.3).

4.3.3.7 Caractéristiques structurales des zones de cisaillement contenant les veines aurifères NE-SW et N-S (no 1 et no 4)

Les veines de quartz aurifère no 1 et no 4 représentent les deux structures aurifères les mieux développées et les plus importantes à la mine Norbeau. Elles ont en effet produit l'ensemble du minerai extrait de 1964 à 1969. Ces veines ont été étudiées par Prochnau (1971). Celui-ci mentionne que leur orientation varie. Ainsi, la veine no 1 a une attitude moyenne de $035^{\circ}/50$ mais elle dévie vers le N dans sa partie centrale et vers le NW à son extrémité Nord (figures 47 A et B). En surface, nous avons observé que l'attitude de la veine no 1 varie de $020^{\circ}/48^{\circ}$ (extrémité nord) à $052^{\circ}/55^{\circ}$ (extrémité sud). Sa largeur maximale est de 4,6 mètres, mais en moyenne elle est de 1,5 mètres (Prochnau, 1971). Pour sa part, la veine no 4 est N-S dans sa partie centrale, mais tourne vers le NW-SE, et son pendage diminue, à son extrémité nord alors qu'elle tourne vers le SW à son extrémité sud et son pendage devient alors plus abrupte (figure 47 A et B). Il est intéressant de noter que la veine no 4 n'affleure pas; elle apparaît seulement à partir du 1^{er} niveau de la mine et n'est économique qu'à partir du 3^e niveau (figure 47 A et B). Sa largeur maximale est de 3,4 m mais en moyenne elle est de 1 m (Prochnau, 1971). Ce dernier mentionne également que le toit de la veine no 1 est marqué par une faille représentée par une zone de gouge de 15 cm. La veine no 4 est similaire à la veine no 1, mais est plus irrégulière et déformée. La nature de la relation angulaire entre les veines no 1 et no 4 est inconnue. Toutefois, toujours selon Prochnau (1971) elles se rejoignent vers la surface (figure 47 C).

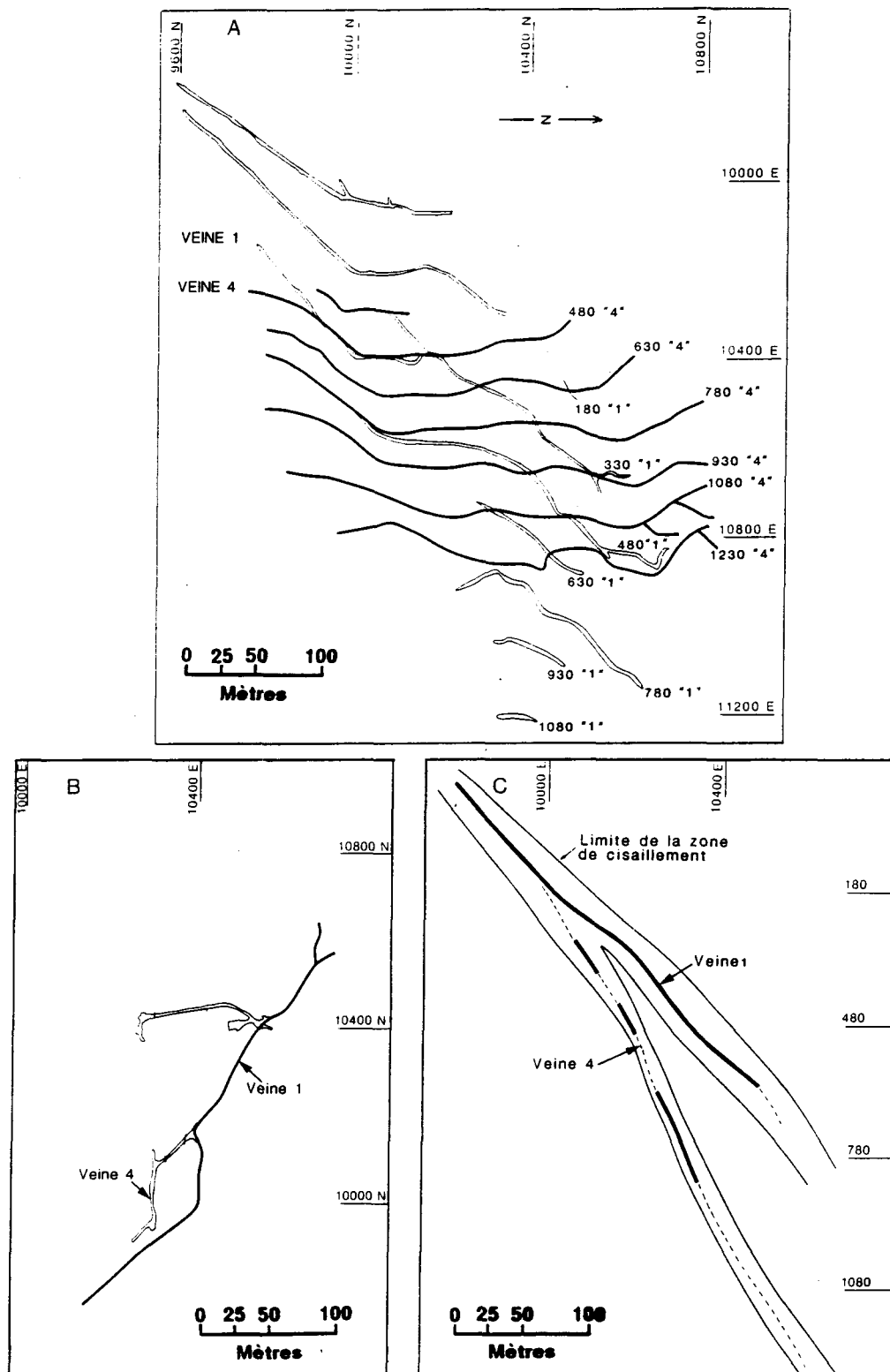


Figure 47: Vue en plan (A et B) et en coupe (C) des veines #1 et #4 à la mine Norbeau (selon Prochnau, 1971)

Notre étude structurale de ces veines fut limitée à la cartographie en surface de la veine no 1, étant donné que la mine est fermée depuis 1969. Malheureusement, la cessation des travaux d'exploitation rend la tâche difficile et ne permet, en surface, qu'une observation restreinte et discontinue de cette veine. Ainsi, afin de définir les caractéristiques structurales de ces veines nous présentons une synthèse basée sur les informations que nous avons recueillies, les données présentées par Prochnau (1971) de même que celles disponibles sur les plans de la mine.

Les veines nos 1 et 4 se situent à l'intérieur de zone de cisaillement intense. Nos observations de surface suggèrent qu'elles se caractérisent par une très forte schistosité orientée subparallèlement à la veine mais possédant un pendage soit plus abrupt que celui de la veine, ou soit de sens opposé à celui de la veine (vers le NW) (figure 48 A). Nous avons également observé que la déformation semble moins intense du côté du mur que du côté du toit. De plus, on note dans le mur la présence de veines de quartz subhorizontales. Les relations stratigraphiques suggèrent une composante de mouvement latéral senestre de part et d'autre de la veine no 1 (figure 37). Toutefois, ce mouvement latéral vers la gauche est apparent. En effet, nous avons noté, à divers endroits, des linéations d'étirement, mesurées sur les plans de foliation, d'attitude moyenne de $080^{\circ}/60^{\circ}$ suggérant ainsi que le mouvement principal est à rejet pendage avec une composante latérale dextre, ce qui est conforme aux observations faites sous-terre par Prochnau (1971). Le stéréogramme de la figure 48 B présente une compilation des mesures de stries relevées sur les plans géologiques de la mine pour les veines No 1 et No 4 et les mesures que nous avons relevé pour la veine No 1 lors de la cartographie de surface, de façon à obtenir une image globale. On constate alors que les stries possèdent une plongée vers l'est/nord-est. L'orientation moyenne des stries pour la veine No 1 est alors de 070° avec une plongée de 43° E, alors que pour la veine No 4, elle est d'environ 056° avec une plongée de 46° NE. Ainsi, l'obliquité en pendage entre la schistosité et la veine de quartz, la présence des veines sub-horizontales et l'orientation des stries et linéations minérales suggèrent donc un mouvement inverse-oblique où la composante verticale prédomine sur une composante latérale dextre. L'ensemble de ces caractéristiques suggèrent donc que la veine no 1 possède donc des caractéristiques structurales similaires à celles des veines E-W. Seule son

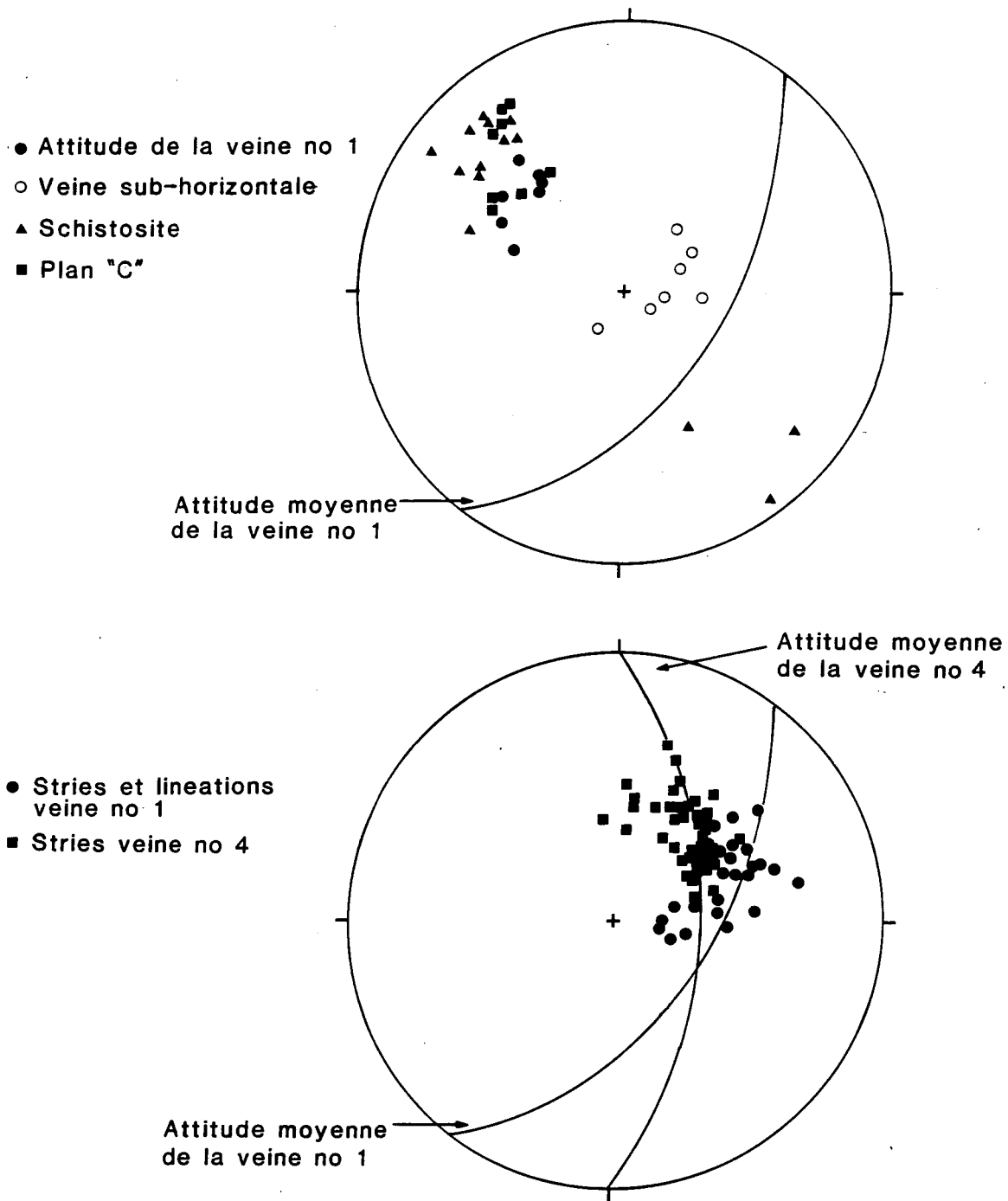


Figure 48: Stéréogrammes équiaires montrant les principaux éléments structuraux caractérisant la portion de la veine no 1 cartographiée (A) et la distribution des linéations et stries mesurées et compilées à partir des plans de la mine Norbeau (B).

attitude varie.

Lors de nos travaux de cartographie, nous avons constaté, par endroits, que la zone de cisaillement NNE associée à la veine no 1 recoupe la schistosité E-W régionale et la schistosité associée à des zones locales de cisaillement E-W. Toutefois, vers son extrémité nord, la veine no 1 semble affectée par une zone de cisaillement E-W. De plus, à son extrémité sud, le prolongement de la zone de cisaillement NNE ne semble pas recouper la faille longitudinale E-W /NW-SE située au sommet du Roberge. Cette constatation est également suggérée par un relevé magnétique au sol (Geisterfer, 1960) démontrant que le filon-couche de Roberge n'est pas déplacé par le cisaillement de la veine no 1. Finalement, Prochnau (1971) mentionne que de petites failles E-W recoupent fréquemment les veines nos 1 et 4. Comme les relations chronologiques entre la veine no 1 et les veines E-W ne sont pas claires, il est très probable que la zone de cisaillement NNE contenant la veine no 1 soit contemporaine des cisaillements E-W. Il en serait fort probablement de même pour la veine no 4.

La "veine no 11" est une structure subparallèle à la veine no 1 et localisée à l'est de celle-ci (figure 37). Elle a été délimitée par forages. Il s'agit d'une zone de cisaillement intense dans laquelle Norbeau Mines n'a décelé que des traces d'or. En surface, nous avons observé localement la manifestation de cette structure. Il s'agit d'une zone de cisaillement très intense dont l'attitude est de 053°/70° dans le secteur nord-est et de 028°/71° dans sa partie sud-ouest. L'encaissant y est très chloritisé et riche en calcite.

4.3.4 Discontinuités D₃

Dans la région étudiée, nous avons observé une déformation postérieure aux discontinuités S₀ et S₂. Il s'agit de plans de clivage de fracture et localement de failles orientés NW-SE et NE. Ces discontinuités ont été particulièrement mises en évidence dans les sédiments de la Formation de Blondeau localisés dans la zone de sulfure située dans la partie centre-est (figure 37). À cet endroit, de nombreux lits marqueurs ont permis d'observer plus facilement les déplacements et la chronologie des événements. Nous avons aussi noté un

clivage de fracture tardif $305^{\circ}/74^{\circ}$ qui recoupe très nettement la zone de cisaillement E-W affectant les sédiments. À quelques endroits, on note également des failles NW-SE dextres (figures 49 A et B) et des failles nord-est senestres. Ces failles possèdent, dans ce secteur, des déplacements mineurs d'au plus quelques mètres.

La déformation D_3 est présente sur l'ensemble de l'environnement de la mine Norbeau. À titre d'exemple, la veine Sharpe est recoupée par une faille NW-SE ($328^{\circ}/80^{\circ}$), ayant provoqué un déplacement dextre d'environ 3 mètres et, à l'extrémité ouest de la veine New Vein on note une faille à $175^{\circ}/75^{\circ}$ contenant des stries horizontales orientées à $168^{\circ}/12^{\circ}$. Le stéréogramme de la figure 50 A présente une compilation de l'ensemble des plans de clivage de fracture associés à cette déformation. L'attitude moyenne est de $310^{\circ}/74^{\circ}$ avec des concentrations notable à $237^{\circ}/76^{\circ}$ et $058^{\circ}/65^{\circ}$. Tandis que la compilation de l'ensemble des plans de faille ou de cisaillement mineurs associés à S_3 (figure 50 B) possède une attitude moyenne de $037^{\circ}/64^{\circ}$ avec des concentrations notables à $058^{\circ}/76^{\circ}$ et $316^{\circ}/74^{\circ}$. Dans la partie sud-ouest du secteur (figure 37), le déplacement des unités stratigraphiques, en particulier la péridotite-pyroxénite du filon-couche de Bourbeau, suggère la présence de failles NE-SW senestres. Le rejet apparent le long de ces failles est de l'ordre de 60 à 90 mètres. Toutefois, ces failles sont mises en évidence dans un secteur où les variations topographiques sont très marquées. De fait, après avoir effectué une correction tenant compte des variations topographiques on constate que le rejet net est alors d'une trentaine de mètres. Ces failles ont une attitude qui varie de $040^{\circ}/80^{\circ}$ à $020^{\circ}/70^{\circ}$. Il s'agit de failles cassantes de faible largeur auxquelles il ne semble pas y avoir d'altération hydrothermale et de minéralisation directement associées. Ce type de failles a également été observé immédiatement à l'ouest du secteur étudié (Pilote, 1986). L'extension latérale de ces failles est difficile à déterminer. Nous n'avons pas retracé leur continuité dans la partie supérieure du filon-couche de Bourbeau. Le manque d'horizons stratigraphiques bien définis et la faible largeur de ces failles rendent leur détection très difficile. Toutefois, il est peu probable que ces failles aient une influence marquée sur l'extension des zones de cisaillement E-W contenant les veines aurifères.

A



B



Figure 49: Photographies (A et B) des failles cassantes dextres d'orientation nord-ouest observées dans les sédiments de la Formation de Blondeau.

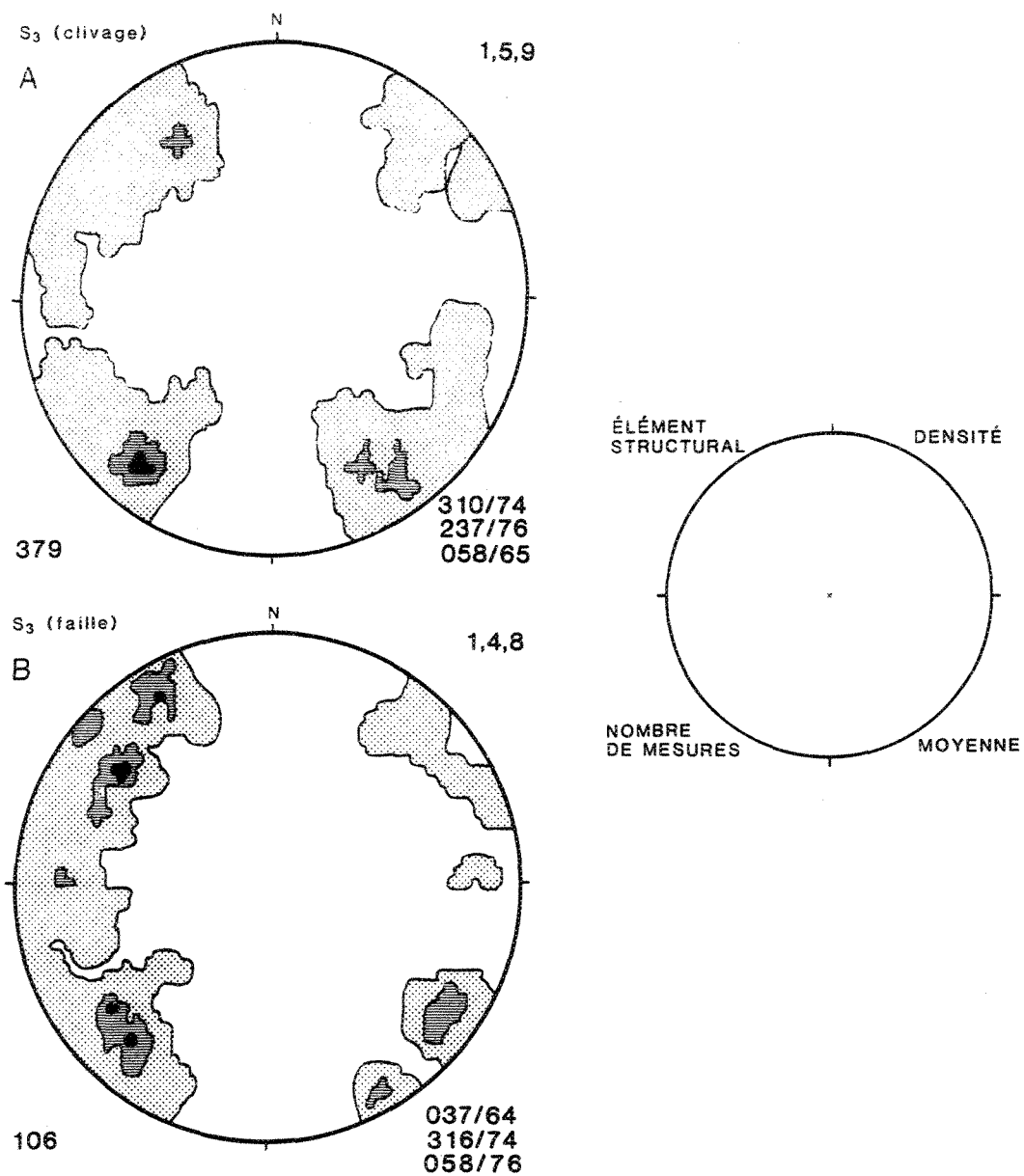


Figure 50: Stéréogrammes des pôles des plans de clivage S_3 (A) et des failles et cisaillements mineurs S_3 (B).

4.3.5 Sommaire

Selon nos travaux, l'attitude moyenne de la stratification se situe entre $254^{\circ}/70^{\circ}$ et $265^{\circ}/70^{\circ}$. Les strates sont donc orientées E-W et ont un fort pendage vers le N. La schistosité S_2 est également orientée E-W ($273^{\circ}/78^{\circ}$). Une zone de faille d'orientation E-W à NW-SE et à pendage de 70 à 85° vers le N (figure 37) est localement observée au contact entre le Roberge et le Bourbeau. Les veines aurifères se localisent dans des zones de cisaillement ductiles-cassantes dont l'orientation varie de NE-SW (veine no 1), à N-S (veine no 4), à E-W (veines New Vein, Sharpe, Mann, no 2) à ESE (veine no 5). En plan, ces zones de cisaillement se manifestent par des zones très schisteuses et fortement altérées. La schistosité dominante est oblique en pendage à la zone de cisaillement et à la veine principale. Combinée aux stries et aux linéations minéralogiques, cette information nous permet de déduire que le mouvement associé aux zones de cisaillement contenant les veines aurifères étudiées est dans l'ensemble inverse-oblique. Les zones de cisaillement contiennent deux générations de veines sub-horizontales, une première précoce et légèrement plissée et une deuxième tardive, non-déformée et stérile. Ces veines se localisent principalement dans le mur de la veine principale. En dépit de leur orientation différente, toutes ces zones de cisaillement sont interprétées comme étant contemporaines ou ayant été réactivées par le même champ de contrainte.

Finalement, nous avons observé une déformation postérieure aux discontinuités S_0 et S_2 . Il s'agit de plans de clivage de fracture et localement de failles orientés NW-SE et NE.

4.4 - Orientation des axes X-Y-Z de l'ellipsoïde de déformation enregistrée par le réseau de structures minéralisées.

4.4.1 Introduction

La détermination de la forme de l'ellipsoïde de déformation à l'intérieur des zones de cisaillement est importante. Combinée à la géométrie des veines, cette démarche permet de

mieux définir l'attitude en trois dimensions des zones minéralisées et de vérifier la compatibilité géométrique entre les zones de cisaillement d'orientation différentes. Dans l'analyse de réseaux de zones de cisaillement et de failles, l'approche d'Anderson (1951), est communément utilisée pour déterminer l'orientation et la forme de l'ellipsoïde de contrainte. On considère alors les zones de cisaillement comme des cisaillement conjugués et la ligne d'intersection entre au moins deux directions de zones de cisaillement est interprétée comme représentant la localisation de l'axe de contrainte intermédiaire (σ_2) (Guha *et al.*, 1983; Archambault *et al.*, 1984). Cette approche réduit une analyse en trois dimension à une analyse en deux dimensions étant donné que l'influence de la contrainte intermédiaire σ_2 est minimisée. Toutefois, cette méthode n'est pas toujours pleinement satisfaisante. C'est notamment le cas lorsqu'il y a développement de plusieurs zones de cisaillement ou de failles à mouvement inverse-oblique et d'orientation très diverses. Les zones de cisaillement de la mine Norbeau présentent ces caractéristiques et semblent théoriquement incompatibles entre elles. Nous avons donc fait appel à des techniques différentes et possiblement plus sophistiquées pour résoudre cette apparente incompatibilité structurale.

Ainsi, afin de déterminer l'orientation des axes de l'ellipsoïde de déformation et de contraintes enregistrée par le réseau de structures minéralisées, nous avons réalisé une étude basée sur la méthode de Arthaud (1969), d'Angelier (Angelier et Mechler, 1977) et de Wallace (1951). Comme nous l'avons décrit dans Dubé *et al.* (1989), les méthodes d'Arthaud et d'Angelier ont été établies pour l'analyse de failles cassantes possédant différentes orientation et directions de mouvement mais ayant été activées par un même champ de contraintes. Ces deux méthodes sont basées sur le principe établi par Wallace (1951) et entériné par Bott (1960) selon lequel la direction et le sens de glissement sur un plan de faille, qu'il soit nouvellement créé ou pré-existant, sont déterminés par l'orientation du plan de faille et la forme de l'ellipsoïde des contraintes. Ces méthodes d'analyse sont applicables dans la mesure où il n'y a pas eu de déformation ductile importante après le glissement sur les plans de faille dans quel cas il pourrait y avoir eu rotation subséquente de ces plans de failles les uns par rapport aux autres ce qui fausserait les résultats. Étant donné que les zones de cisaillement étudiées constituent des structures relativement peu étendues, étroites, largement

espacées et situées dans un milieu relativement peu déformé, on assume que les critères de base, restreignant l'utilisation de ces méthodes sont rencontrés et ce même si au sens strict, les zones de cisaillement étudiées ne sont pas parfaitement cassantes, notamment à la mine Norbeau.

Les zones de cisaillement observées à la mine Norbeau sont distribuées selon un patron beaucoup plus complexe que celui de la mine Cooke. Nous leur avons donc accordé une attention toute spéciale. Avant de présenter les résultats obtenus dans chacune des mines étudiées, nous discutons brièvement des différentes méthodes d'analyse utilisées.

Méthode d'Arthaud

La méthode d'Arthaud (1969) est une méthode graphique de détermination des directions de contraintes d'une population de failles cassantes et a été définie pour une déformation cassante et non-continue affectant un matériel anisotrope. Cette méthode est basée sur la notion de plan de mouvement ("M"). Ces plans sont définis comme étant perpendiculaires à la faille et contenant la strie mesurée. Ces plans de mouvement contiennent par définition au moins une direction principale de déformation et ils vont s'intersecter à une, deux ou trois points correspondant, selon la forme de l'ellipsoïde de déformation, à l'axe d'extension (X), à l'axe intermédiaire (Y) ou à l'axe de raccourcissement (Z) dans la mesure où la déformation est uniaxiale (Carey, 1979). Le pôle (B) de ce plan de mouvement est perpendiculaire à la direction de glissement dans le plan de faille. Dans le système conjugué ou quasi-conjugué, l'axe "B" de chacun des plans de faille sera parallèle à leur ligne d'intersection, alors que dans un système à glissement oblique, les axes "B" de chacun des plans de faille auront une orientation différente et ne seront pas parallèle à leur axe d'intersection.

Méthode d'Angelier

Nous avons également traité nos données à l'aide de la méthode d'Angelier (Angelier et Mechler, 1977). Cette méthode est d'application plus générale que celle d'Arthaud (1969) parce qu'elle ne se limite pas seulement au cas d'un ellipsoïde de révolution. Elle s'applique à tous les cas. Elle a été définie pour une population de failles formées par un champ de

contraintes homogène, appliqué sur un matériel nonhomogène, et dans lequel la direction de glissement se fait, le long du plan de faille, dans la même direction et le même sens que la contrainte de cisaillement maximum (Bott, 1959). Cette méthode est analogue à l'analyse des plans de faille reliés aux séismes. Selon Angelier et Mechler (1977), l'axe de contrainte maximum se trouve à l'intérieur du dièdre en compression (dièdre P, correspondant aussi à un dièdre en raccourcissement) tandis que l'axe de contrainte minimum se situe dans le dièdre en extension (dièdre T, correspondant aussi à un dièdre en extension). Les frontières entre ces dièdres sont le plan de faille lui-même et un plan auxiliaire qui est un plan perpendiculaire à la direction de glissement, et par le fait même au plan de faille. La détermination des dièdres en extension et en compression prend en considération le sens et la direction du glissement le long du plan de faille. Pour chaque mesure de glissement sur un plan de faille, il est possible de définir un dièdre en compression et un dièdre en extension (figure 54). En combinant les observations pour tous les plans de faille, les zones communes en compression et en extension peuvent être définies sur stéréogramme. Une courbe d'isofréquence maximum correspond à la direction d'extension et une courbe d'isofréquence minimum, à la direction de compression. Toute direction qui correspond à un point de courbe de 10 par exemple signifie que 10 % des failles jouent en extension et 90 % en compression. À noter que ces directions d'extension et de compression doivent se trouver dans les zones de maxima et de minima mais pas forcément au centre de celles-ci.

Méthode de Wallace

Dans son étude sur la géométrie des contraintes de cisaillement et sa relation avec le développement de failles, Wallace (1951) considère la différence de résistance à la déformation de roches nonhomogènes et il indique de quelle façon le plan de faille et la direction de glissement (strie) sont reliés au système de contrainte. Selon Wallace (1951), un plan d'orientation quelconque peut devenir une faille dans une roche nonhomogène, mais le regroupement des orientations de ces différents plans de faille va tendre à définir un patron en cône.

Ces méthodes d'analyse sont applicables dans la mesure où il n'y a pas eu de déformation ductile importante après le glissement sur les plans de faille de façon à éviter la rotation subséquente de ces plans de failles les uns par rapport aux autres. Par ailleurs, étant donné

que les structures cartographiées chez les mines Cooke et Norbeau comprennent une certaine composante de déformation ductile, il est peut-être plus approprié de traiter les résultats en termes de déformation, axes d'extension (X) et de raccourcissement (Z), plutôt qu'en termes de contraintes (σ_1 , σ_3). Nous présentons maintenant les résultats obtenus à l'aide de ces méthodes.

4.4.2 Mine Cooke

4.4.2.1 Introduction

Les zones de cisaillement à la mine Cooke sont des structures discontinues, étroites et espacées se trouvant dans un milieu par ailleurs très peu déformé, nous croyons que le critère voulant que ces méthodes d'analyse sont applicables dans la mesure où il n'y a pas eu de déformation ductile importante après le glissement sur les plans de faille est satisfait même si ces structures ne sont pas parfaitement cassantes.

4.4.2.2 Résultats

Le stéréogramme de la figure 51 A présente les résultats obtenus à l'aide de la méthode d'Arthaud. On constate que le pôle des différents plans "M" (axe B) semble principalement concentré dans la partie centre est du stéréogramme. On observe également une certaine concentration dans la partie centre ouest. Étant donné que les axes B ne sont pas distribués selon un grand cercle, l'ellipsoïde n'est pas de révolution et, comme démontré par Carey (1976), la méthode d'Arthaud ne peut alors être utilisée.

Les résultats obtenus à l'aide de la méthode d'Angelier sont très concluants. On note en effet un champ en extension bien défini (96 %) et un champ restreint en compression (3 %) (figure 51 B). Ces résultats nous permettent alors de définir l'axe d'extension (X ou contrainte σ_3) situé environ à $251^\circ/75^\circ$ et l'axe de compression (Z ou contrainte σ_1) situé à $0^\circ/04^\circ$. On en déduit alors l'axe intermédiaire Y (contrainte σ_2) à $090^\circ/24^\circ$. Il importe de noter que les résultats obtenus avec la méthode d'Angelier sont très semblables aux modèles présentés par Angelier et Mechler (1977) dans la cas où le système

MINE COOKE

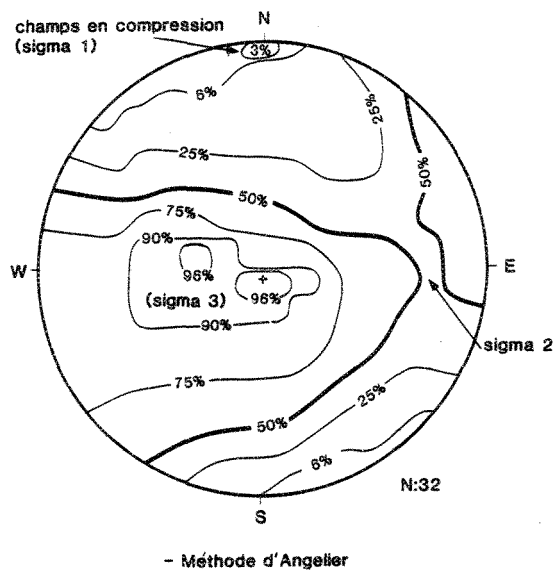
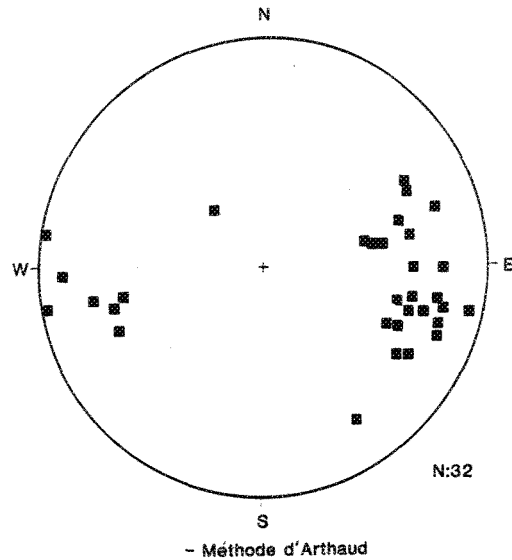


Figure 51: A) Méthode d'Arthaud (1969) présentant le pôle des différents plans de mouvement M (axe B) des foliations contenant des linéations et associées aux zones de cisaillement catographiées à la mine Cooke.
B) Méthode d'Angelier appliquée aux zones de cisaillement de la mine Cooke (voir texte). Stéréogrammes équiaires.

est conjugué. D'abord, l'axe sigma-2, tel que l'on peut le définir à l'aide de sigma-1 et sigma-3, se situe effectivement à l'intersection entre le champ en compression et celui en extension (valeur de 50 %). De plus, comme mentionné dans Angelier et Mechler (1977): "dans le cas des cisaillements conjugués, les mesures se répartissent en deux familles très homogènes: les zones de maxima et de minima demeurent vastes même pour un grand nombre de mesures et ont toutes une forme allongée parallèlement à l'axe sigma-2". Cette interprétation, selon laquelle il s'agit d'un système conjugué, est compatible avec les concentrations des axes B obtenus avec la méthode d'Arthaud (1969). En effet, dans le cas d'un système conjugué, les axes B auront tendance à être parallèles.

Ainsi, selon les résultats obtenus à l'aide de la méthode d'Angelier, la contrainte principale sigma-1 ayant produit les zones de cisaillement serait d'orientation N-S et subhorizontale.

4.4.3. Mine Norbeau

4.4.3.1 Introduction

Le patron de déformation observée à la mine Norbeau est beaucoup plus complexe que celui de la mine Cooke. Nous y avons donc accordé une attention toute spéciale. Ainsi, en dépit de leur orientation différente, nous croyons que les zones de cisaillement contenant les veines aurifères no 1, 4 et 5, New Vein, Sharpe et Mann pourraient être contemporaines ou avoir été réactivées par le même champs de contrainte. Toutes ces zones de cisaillement contiennent une veine de quartz sub-verticale et des veines subhorizontales. Nos observations structurales montrent que ces zones de déformation correspondent dans l'ensemble à des cisaillements inverses avec un mouvement oblique dont la composante prédominante est verticale. La contemporanéité structurale est fortement suggérée par les caractéristiques gîtologiques (voir les chapitres suivants). En effet, étant donné que les caractéristiques mégascopiques, pétrographiques et géochimiques de l'altération hydrothermale (Chapitre 6) ainsi que le type de minéralisation et les phases métalliques sont identiques (Chapitre 5), nous croyons, à partir de fondements structuraux et gîtologiques que l'ensemble des structures qui les

renferment s'est très probablement formé de façon contemporaine. Toutefois, théoriquement il reste possible que certaines zones soient issues d'une réactivation d'anciennes discontinuités.

Afin de vérifier cette contemporanéité nous avons réalisé une analyse structurale détaillée (Dubé et al., 1989). Le stéréogramme présenté à la figure 52 montre l'orientation des principales veines aurifères E-W et des veines nos 1, 4 et 5. On constate que les veines E-W, N-S et NE-SW s'intersectent très clairement dans le quadrans sud-est de la projection stéréographique. Toutefois, on note une dispersion non-négligeable lorsque l'on considère les veines Mann et no 5. Suivant l'approche classique d'Anderson (1951), qui considère que les failles sont issues de systèmes conjugués, une telle intersection serait interprétée comme correspondant à la contrainte intermédiaire sigma 2. Toutefois, la direction de mouvement des zones de cisaillement à Norbeau, telle que définie par les mesures de stries et de linéations minérales, n'est pas compatible avec celle prédite par le modèle d'Anderson (figure 52). Donc un modèle basé sur la théorie d'Anderson (1951) ne peut satisfaire pleinement les observations de terrain. Ainsi, afin d'expliquer l'origine des quatre différentes orientations de cisaillement en considérant leurs directions de stries et de linéations, nous avons réalisé une étude à l'aide de la méthode d'Arthaud (1969), Angelier (Angelier et Mechler, 1977) et Wallace (1951), dont nous présentons maintenant les résultats.

4.4.3.2 Résultats

La figure 53 présente les résultats obtenus à l'aide de la méthode d'Arthaud en considérant les mesures de stries et de linéations recueillies sur le terrain et compilées sur les plans de la mine. Les pôles des plans "M" (axe cinématique B) définissent un même grand cercle orienté à $078^{\circ}/36^{\circ}$. Le pôle de ce grand cercle définit, dans ce cas-ci, l'axe sigma 3 et est orienté à $346^{\circ}/54^{\circ}$. Ces résultats suggèrent que les différentes zones de cisaillement ont été produites par un champ de contraintes correspondant à un ellipsoïde de révolution. Il s'agit donc d'un cas où la méthode d'Arthaud est parfaitement applicable (Carey, 1976, 1979).

La figure 54 présente les résultats obtenus à l'aide de la méthode d'Angelier. La contrainte principale minimum est localisée dans un champ bien défini tandis que les

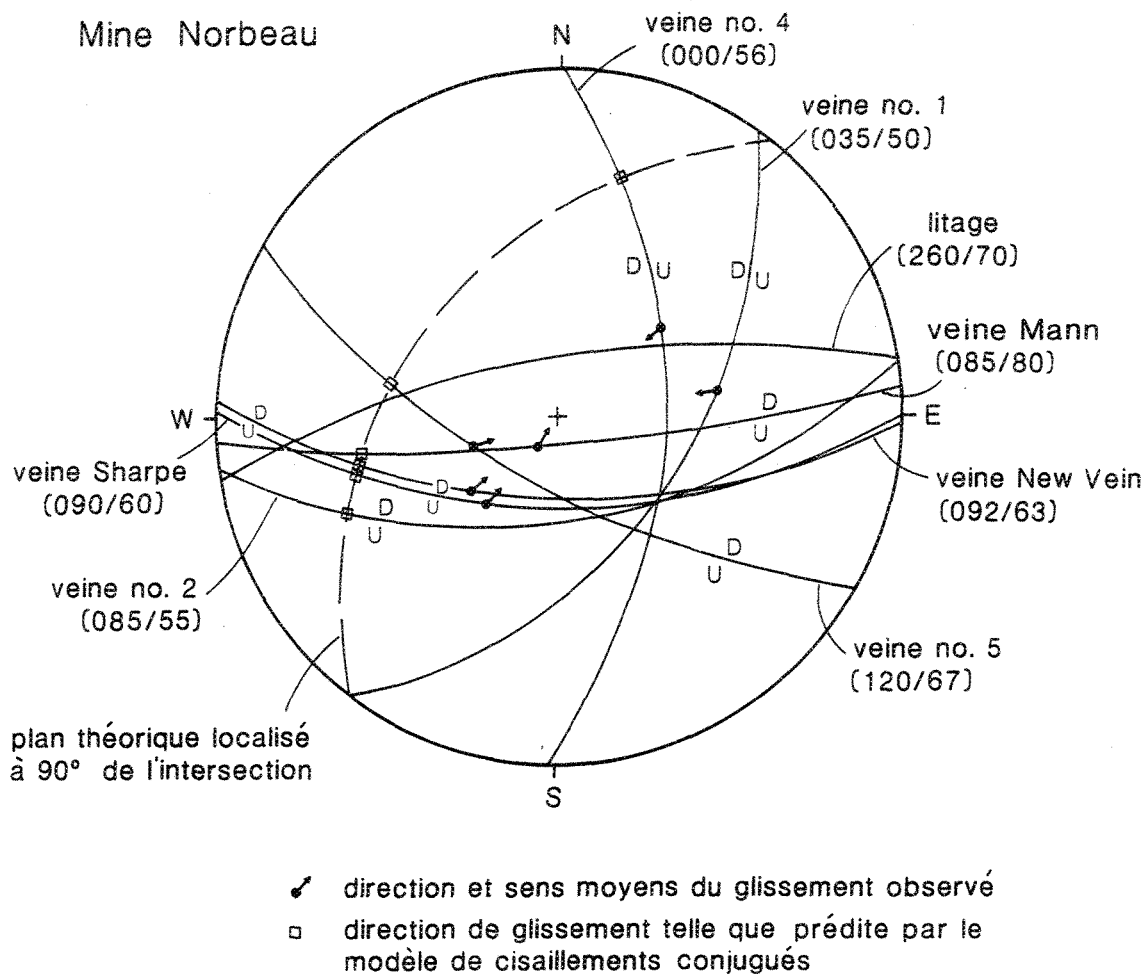
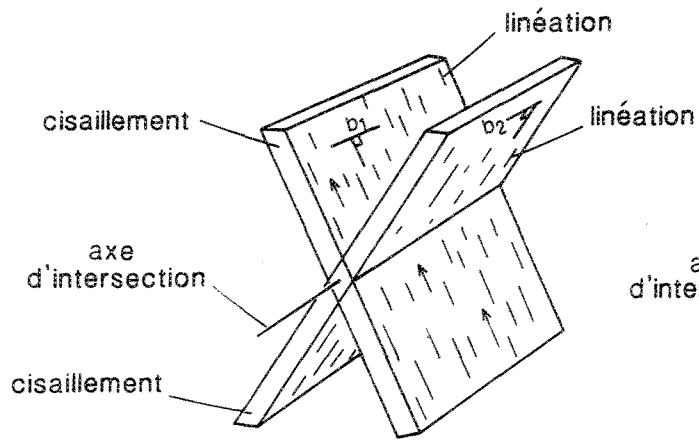


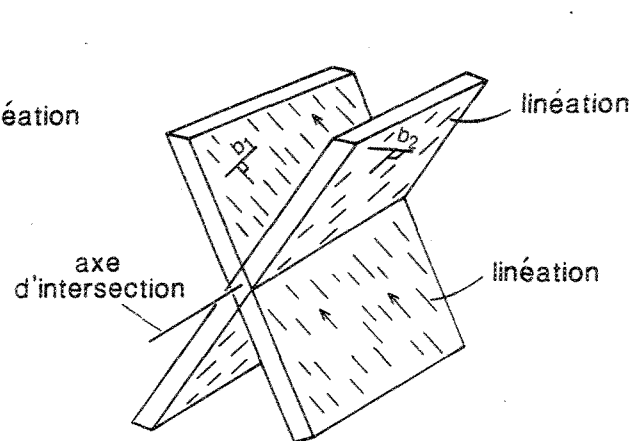
Figure 52: Stéréogramme équiangle montrant l'intersection dans le cadran sud-est des plans représentant l'orientation moyenne des veines de quartz aurifère à la mine Norbeau. Localisation du champ de distribution des linéations et des stries mesurées et compilées en comparaison avec la position théorique, telle que définie, selon la méthode d'Anderson (1951), par l'intersection des orientations moyennes des veines de quartz.

i) Système conjugué



$$b_1 = b_2 = \text{axe d'intersection}$$

ii) Système oblique



$$b_1 \neq b_2 \neq \text{axe d'intersection}$$

Méthode d'Arthaud

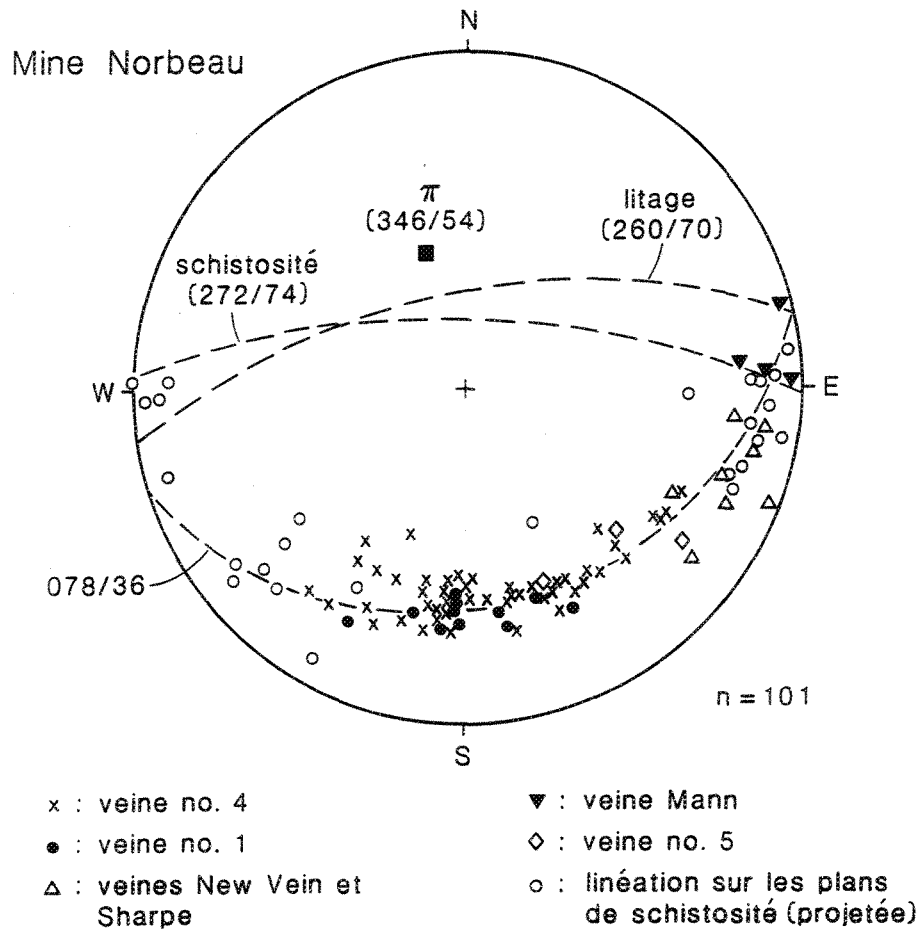


Figure 53: Résultats de la méthode d'Arthaud appliquée aux différentes zones de cisaillement de la mine Norbeau. Diagramme équaire. Tirée de Dubé *et al.*, 1989.

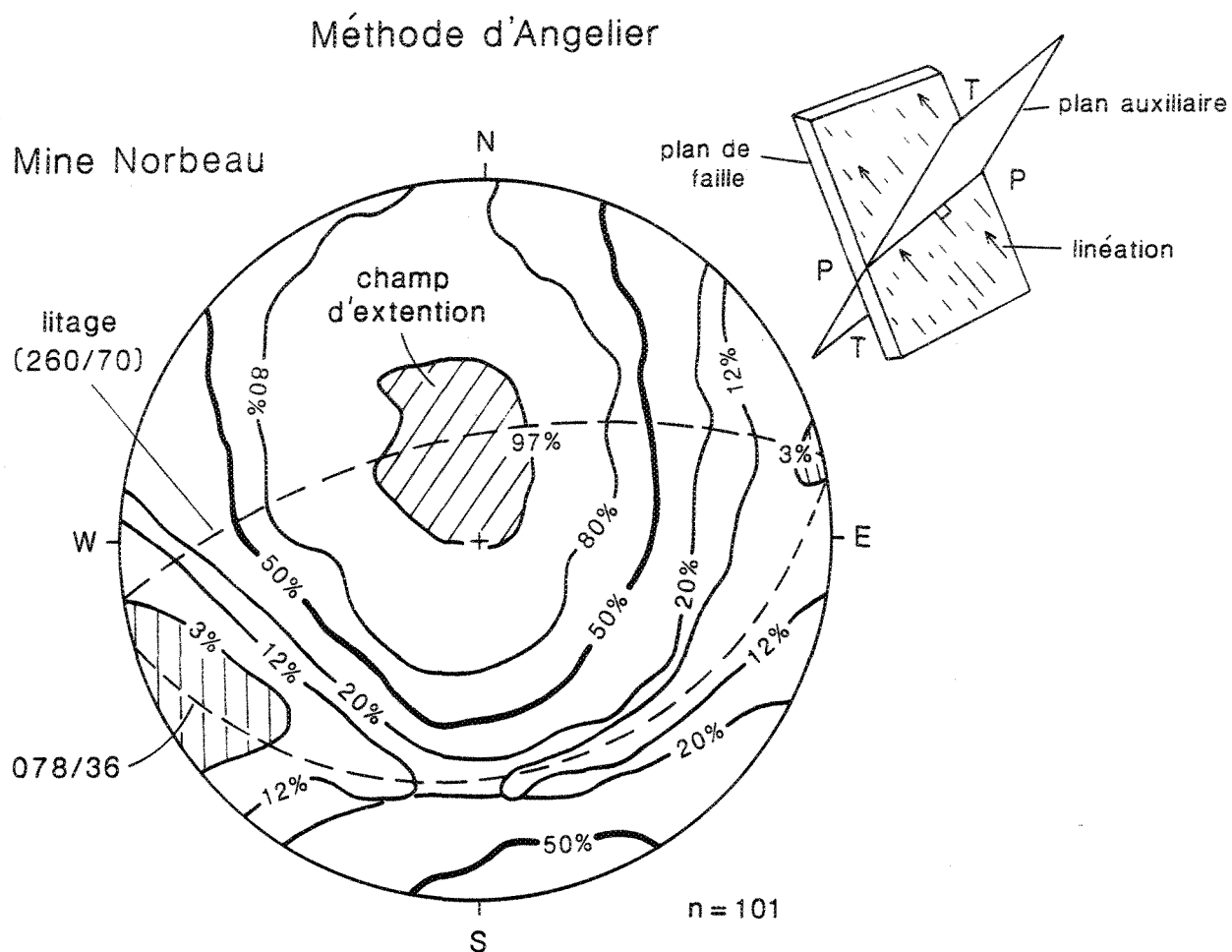


Figure 54: Résultats de l'application de la méthode d'Angelier sur les zones minéralisées de la mine Norbeau. Tirée de Dubé et al., 1989.

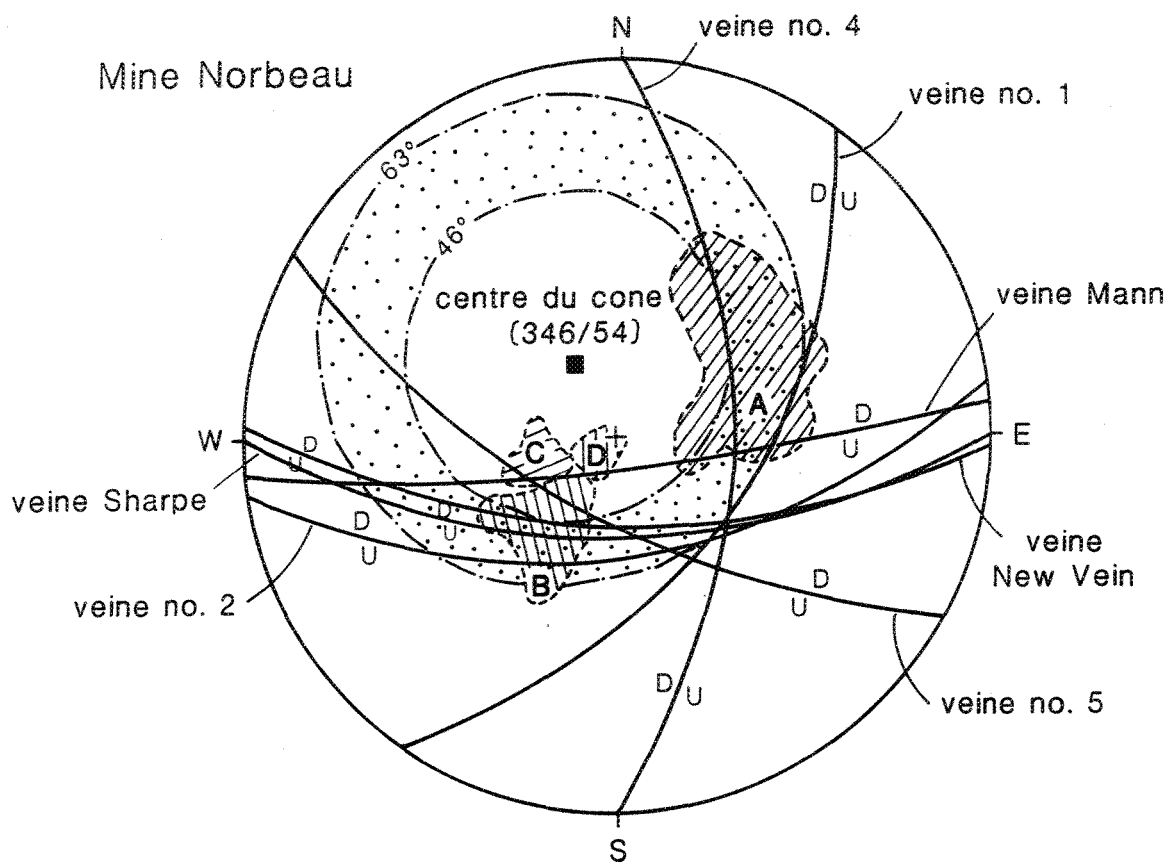
contraintes maximum et intermédiaire sont localisés dans deux champs qui peuvent être regroupés sur un grand cercle possédant la même orientation que celle définie à l'aide de la méthode d' Arthaud (1969).

La figure 55 présente une projection stéréographique des données de la mine Norbeau. traitées à l'aide de la méthode de Wallace (1951). On constate que l'ensemble des zones de cisaillement est grossièrement tangent à un cône dont le rayon varie de 42° à 52° . Comme ces cisaillements possèdent un mouvement inverse, et que le rayon moyen du cône est plus grand que 45° , le centre de ce cône est interprété comme étant la contrainte principale minimum (sigma 3) ayant produit les différentes zones de cisaillement étudiées. De plus, comme les stries et linéations se situent près du point de tangence entre les plans de cisaillement et le cône, on en déduit que la géométrie des zones de cisaillement a été produite par une déformation uniaxiale dont l'axe sigma 3 est orienté à $346^{\circ}/54^{\circ}$. Ce résultat est donc similaire à ceux obtenus à l'aide des méthodes d' Arthaud et d'Angelier.

4.4.3.3 Discussion

Les trois méthodes que nous avons utilisées présentent les mêmes résultats : la géométrie des cisaillements à la mine Norbeau a été produite par une compression uniaxiale; la contrainte principale minimum orientée à 346° et à plongée relativement abrupte a provoquée une extension sub-v verticale subparallèle au pendage du filon-couche de Bourbeau (Dubé et al., 1989). Les veines sub-horizontales observées en association avec les différentes zones de cisaillement sont parfaitement compatibles avec ce résultat. Les contraintes principales maximum et intermédiaire sont situées sur un grand cercle orienté à $078^{\circ}/36^{\circ}$ et ne sont pas clairement distinguables l'une de l'autre. Ainsi, par analogie avec la déformation dans le milieu homogène, l'ellipsoïde de la déformation n'est pas de type "plane strain" mais plutôt "prolate" ($\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$). Les résultats obtenus à l'aide de la méthode d'Angelier suggèrent qu'il y a possiblement eu un raccourcissement maximum parallèlement à la direction du filon-couche (figure 54). En effet, le champ minimum (3 %), représentant la contrainte maximum, se situe sur un axe sub-horiz ontal orienté est-ouest ($078^{\circ}/38^{\circ}$) et la contrainte intermédiaire est orientée à $144^{\circ}/33^{\circ}$. Toutefois, si la déformation est effectivement

Méthode de Wallace



Champ des stries :

- | | |
|-------------------------------|-----------------|
| A : veines no. 1 et no. 4 | C : veine no. 5 |
| B : veines New Vein et Sharpe | D : veine Mann |

Figure 55: Résultats de l'application de la méthode de Wallace sur les zones minéralisées de la mine Norbeau. Tirée de Dubé *et al.*, 1989.

uniaxiale (prolate), les contraintes sigma 1 et sigma 2 ne sont pas distinguables l'une de l'autre.

Les nombreuses zones de cisaillement à Norbeau ne se prêtent pas à l'analyse conventionnelle d'ensembles multiples de failles (Anderson, 1951) étant donné la diversité dans leur orientation et direction de mouvement. Elles ne semblent pas non plus s'intégrer facilement dans un même régime de contrainte. Toutefois, l'utilisation de méthodes d'analyse plus sophistiquées montre qu'en fait le réseau de zone de cisaillement s'est formé en réponse à une extension uniaxiale subverticale. Nous verrons plus loin que l'anisotropie primaire induite par les différents faciès pétrologiques issus de la différenciation magmatique, a joué un rôle fondamental dans le développement du patron complexe de déformation observé, en particulier, à la mine Norbeau.

4.5- Indices minéralisés

Nous présentons maintenant un sommaire des caractéristiques structurales des indices aurifères étudiés dans le filon-couche de Bourbeau (Dubé et Guha, 1989) (figures 8 à 13) afin de pouvoir comparer ces caractéristiques structurales à celles des mines Cooke et Norbeau. Nous présenterons d'abord des informations générales sur le contexte "régional" de ces différents indices et nous enchaînerons avec les caractéristiques structurales plus locales.

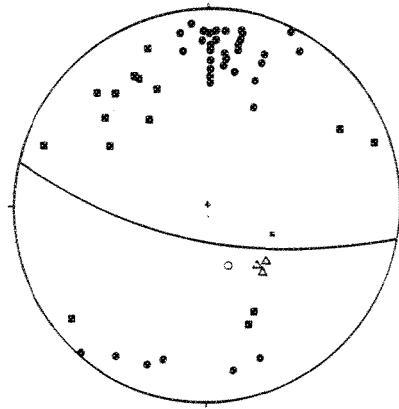
Au point de vue régionale, les contacts stratigraphiques chez les indices Bourbeau West-1 et Bourbeau West-2, sont orientés à 105° et ont un pendage abrupt vers le sud (carte de compilation de Minnova). Selon une carte de compilation de Minnova, l'indice Chibougamau Copper serait localisé près de la charnière d'un pli local dont les flancs ont une orientation vers le NW-SE, donc sub-parallèle aux contacts stratigraphiques dans le secteur de Cooke. L'indice du ruisseau Leclerc est situé à l'intérieur d'un anticlinal NNE possiblement repris par une phase de déformation E-W (carte de compilation géoscientifique de Gobeil, 1983). Ce pli NNE aurait une faible extension et serait limité vers l'est par une faille d'orientation NE-SW le séparant d'un pli régional d'orientation E-W (Gobeil et Racicot, 1983). L'orientation des unités lithologiques est donc variable dans ce secteur. Selon les travaux sommaires que nous

avons effectués, l'indice Tadd est situé sur le flanc sud d'un pli régional. Selon la carte de compilation de Lavoie (1972), l'indice Springer se situe sur le flanc est, près de la charnière, d'un pli synclinal antiforme d'orientation NE-SW. Dans le secteur immédiat de l'indice, les unités stratigraphiques sont donc orientées vers le NE-SW.

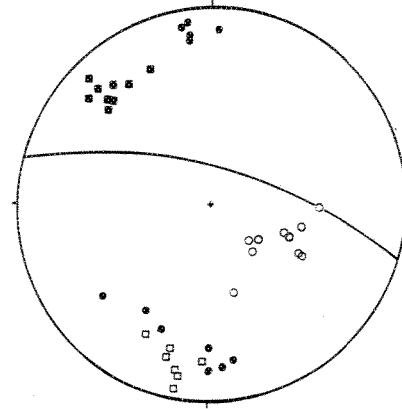
Il est à noter que nous ne disposons pas d'information précise sur les zones de cisaillement hôtes de la minéralisation de l'indice Chibougamau-Copper étant donné que cet indice a été défini uniquement par sondages. Ainsi, outre l'indice Springer, les indices sont associés à des zones de cisaillement E-W, c'est-à-dire des cisaillement orientés subparallèlement aux plans axiaux des plis régionaux et aux failles longitudinales. Les stéréogrammes présentés à la figure 56 montrent que la foliation produite par ces zones de cisaillement est d'orientation générale E-W et à pendage vers le nord ou le sud. Dans ces zones de cisaillement, on observe des veines de quartz subverticales et orientées subparallèle à la foliation. De plus, localement, indices Tadd et du ruisseau Leclerc, des veines de quartz subhorizontales sont observées. Leur orientation moyenne est de $230^{\circ}/25^{\circ}$. Localement (indices Tadd et Bourbeau West-1), nous avons observé des linéations minéralogiques orientées, en moyenne, à $133^{\circ}/57^{\circ}$. Celles-ci témoignent d'un étirement vertical, comportant une certaine composante latérale dextre, tout à fait compatible avec la présence des veines sub-horizontales. Pour la plupart des indices on constate également la présence d'un clivage, de joints et parfois de failles mineures tardifs d'orientation NE-SW ou NW-SE.

L'indice Springer possède des caractéristiques structurales différentes. En effet, il se caractérise par la présence de zones de cisaillement d'attitude NE-SW ($040^{\circ}/60^{\circ}$ et $035^{\circ}/72^{\circ}$). Ces cisaillements sont subparallèles à la trace du plan axial du synclinal antiforme situé dans le secteur de l'indice (Lavoie, 1972). Ces zones de cisaillement montrent des évidences de plissement en "S" et le développement d'un clivage de plan axial ($205^{\circ}/72^{\circ}$) associé dans les zones de charnières. Des fractures, joints et cisaillements mineurs d'orientation NW-SE à N-S à E-W sont également présents. La cause exacte du plissement des zones de cisaillement reste à élucider toutefois, il est possible qu'il soit relié à la faille du lac Gwillim.

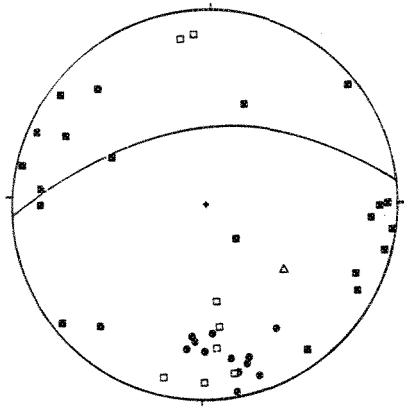
TADD



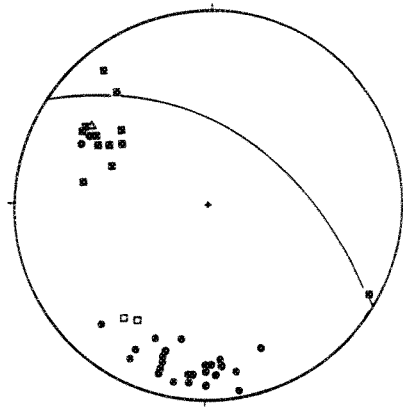
du RUISSEAU LECLERC



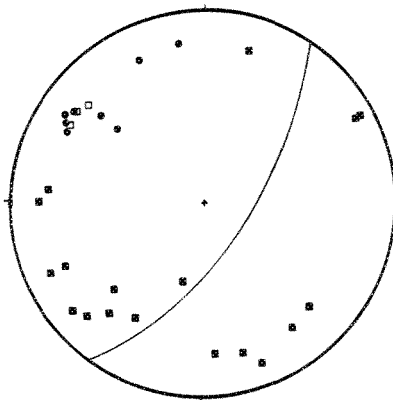
BOURBEAU WEST-1



BOURBEAU WEST-2



SPRINGER



- Foliations
- Veine de quartz sub-verticale
- Veine de quartz sub-horizontale
- Fractures, clivage, joints et failles
- △ Lineation associée à la foliation
- × Lineation sur plan de faille

Figure 56: Stéréogrammes équiaires présentant les principales caractéristiques structurales des indices aurifères cartographiés.

4.6- Comparaisons et discussions

L'analyse structurale réalisée aux mines Cooke et Norbeau et chez les indices aurifères nous permet maintenant de discuter des points communs et des divergences. La minéralisation se localise dans les deux cas à l'intérieur de veines localisées dans des zones de cisaillement. Toutefois, alors qu'à la mine Norbeau il s'agit de zones de cisaillement ductiles-cassantes typique des gisements du type "lode-gold" (Roberts, 1987), la minéralisation à la mine Cooke est contenue dans des zones de cisaillement ductiles-cassantes à cassantes plus ou moins intenses, et des fractures minéralisées de même orientation. Par endroits, la minéralisation se trouve dans des veines mises en place dans des fractures de tension subparallèle aux zones de cisaillement, sans déformation importante de l'encaissant, la déformation est alors confinée à l'intérieur de la veine minéralisée. L'orientation des zones de cisaillement est également partiellement différente. À la mine Cooke, les zones de cisaillements sont dans l'ensemble sub-parallèles à l'orientation des unités lithologiques (NW-SE à E-W) et une zone de cisaillement majeure a également été observée directement au contact entre la pyroxénite du filon-couche de Bourbeau et les volcanoclastites de la Formation de Blondeau. À la mine Norbeau, plusieurs zones de cisaillement présentent une direction sub-parallèle aux contacts entre les unités, toutefois, leur pendage est presque toujours de sens contraire. Les zones de cisaillement sont donc discordantes, dans la troisième dimension, aux unités. Elles se localisent dans certains cas directement au contact ou près du contact entre le ferrogabbro à quartz et la ferrodiorite à quartz du filon- couche. Toutefois, les deux zones de cisaillement les mieux développées et les plus importantes en terme de production aurifère, les veines no 1 et 4, sont totalement discordantes. Elles recoupent les unités lithologiques.

Les structures internes caractérisant ces différentes zones de cisaillement présentent des analogies intéressantes. Dans l'ensemble, les relations angulaires entre la schistosité et la direction du cisaillement, l'attitude des stries et des linéations de même que celle des veines sub-horizontales présentes à l'intérieur des zones de cisaillement indiquent un mouvement inverse-oblique où la composante verticale du mouvement est généralement dominante.

L'analyse structurale réalisée à l'aide des méthodes d'Anderson, d'Angelier et d'Arthaud suggèrent que les zones de cisaillement minéralisées à la mine Cooke sont compatibles avec un système de déformation ayant été produit par une contrainte principale subhorizontale d'orientation N-S, une contrainte intermédiaire sub-horizontale plongeant faiblement vers l'est et une contrainte minimum sub-verticale. À la mine Norbeau, la déformation est beaucoup plus complexe. L'analyse (Dubé *et al.*, 1989), à l'aide de ces mêmes méthodes, nous a amené à conclure que les zones de cisaillement ne sont pas compatibles avec un système conjugué mais enregistrent plutôt une déformation uniaxiale dont la contrainte principale minimum est pratiquement contenu dans le plan du filon-couche. Les autres axes de déformation se localisent sur un grand cercle orienté à $078^{\circ}/36^{\circ}$. Comme la déformation est uniaxiale les contraintes principales et intermédiaires ne sont pas réellement distinguables. Toutefois, la méthode d'Angelier suggère que la contrainte principale est orientée à environ $078^{\circ}/38^{\circ}$ et la contrainte intermédiaire à $144^{\circ}/33^{\circ}$. Les axes d'extension et de raccourcissement seraient donc confinés à l'intérieur du plan correspondant à l'attitude du filon-couche de Bourbeau. Ainsi à la mine Norbeau, l'ellipsoïde de déformation interne au filon-couche, telle que suggérée par la méthode d'Angelier, ne suggère pas une contrainte principale N-S contrairement à la mine Cooke.

Toutefois, comme nous l'avons souligné dans Dubé *et al.*, (1989), il est plus approprié de décrire les résultats obtenus comme représentant les axes de l'ellipsoïde de déformation des roches incluses dans le filon-couche de Bourbeau et non pas comme les axes de contraintes externes au filon-couche. Étant donné que les zones de cisaillement minéralisées que nous avons décrites précédemment sont confinées au filon-couche, l'extension uniaxiale interprétée reflète donc le type de déformation à l'intérieur du filon-couche et n'est pas nécessairement identique et de même orientation que la déformation régionale survenue à l'extérieur du filon-couche. Cette situation s'explique par le principe reconnu que les axes de déformations dans une unité de roche compétente sont déterminées par l'orientation de cette unité par rapport à l'orientation de l'ellipsoïde de déformation externe à cette dernière (Ramberg, 1959; Flinn, 1962; Lisle, 1986). À l'échelle régionale, on présume que l'axe de raccourcissement maximum est nord-sud (Daigneault et Allard, 1984) et se manifeste par la

schistosité régionale E-W localisée entre les zones de cisaillement et présente à l'intérieur et à l'extérieur du filon-couche. Cette schistosité correspond au plan XY de l'ellipsoïde de la déformation régionale. Même si on ne dispose pas d'information directe sur l'orientation de cette ellipsoïde, il est possible que cette déformation régionale ait engendré l'extension et le raccourcissement interprété (X' et Z') dans une unité de roche compétente qui est légèrement à angle par rapport au plan XY (figure 57)(Dubé et al., 1989). À noter que généralement les axes de déformation internes (X' et Y') ne correspondent pas aux directions principales de l'ellipsoïde de la déformation externe (Ramsay, 1967, p. 161). Pour que cette explication soit plausible, nous devons postuler que les axes X' et Y' ont subi une rotation dans le plan du filon-couche durant la déformation ayant produit l'état de déformation actuelle (Lisle, 1986).

Nous croyons que l'ellipsoïde de déformation interne au filon-couche, et responsable de la formation et de la distribution des zones de cisaillement aurifères, est tout de même associé à une ellipsoïde de déformation régionale dont l'axe de raccourcissement maximum est N-S. Les zones de cisaillement E-W seraient alors compatibles avec cette interprétation. Cet axe s'associe donc à une contrainte maximum N-S et serait alors compatible avec les résultats obtenus à la mine Cooke. Les zones de cisaillement à la mine Norbeau seraient donc produites par l'orogénie Kénorienne responsable de cette compression N-S. La minéralisation serait donc, tout comme à la mine Cooke, syn-tectonique. Cette interprétation structurale est compatible avec un âge modèle Pb/Pb de 2680 Ma pour la minéralisation à Norbeau (Thorpe et al., 1984). Pourquoi alors les zones de cisaillement discordantes par rapport à l'orientation du filon-couche présentes à la mine Norbeau, ne sont pas observées à la mine Cooke si l'unité lithologique est sensiblement la même et que la contrainte régionale était probablement de même orientation? Il est reconnu que l'anisotropie d'une roche (litage primaire ou foliation) aura un effet déterminant sur la géométrie de la déformation et de la fracturation de la roche, causant des complications qui ne sont pas observées dans les roches isotropes (Wallace, 1951; Ramberg, 1959 et 1960; Donath, 1961 et 1962; Flinn, 1962; Cobbold, 1976; Treagus, 1983; Arch et al., 1988; Dubé et al., 1989; Poulsen et Robert, 1989). La

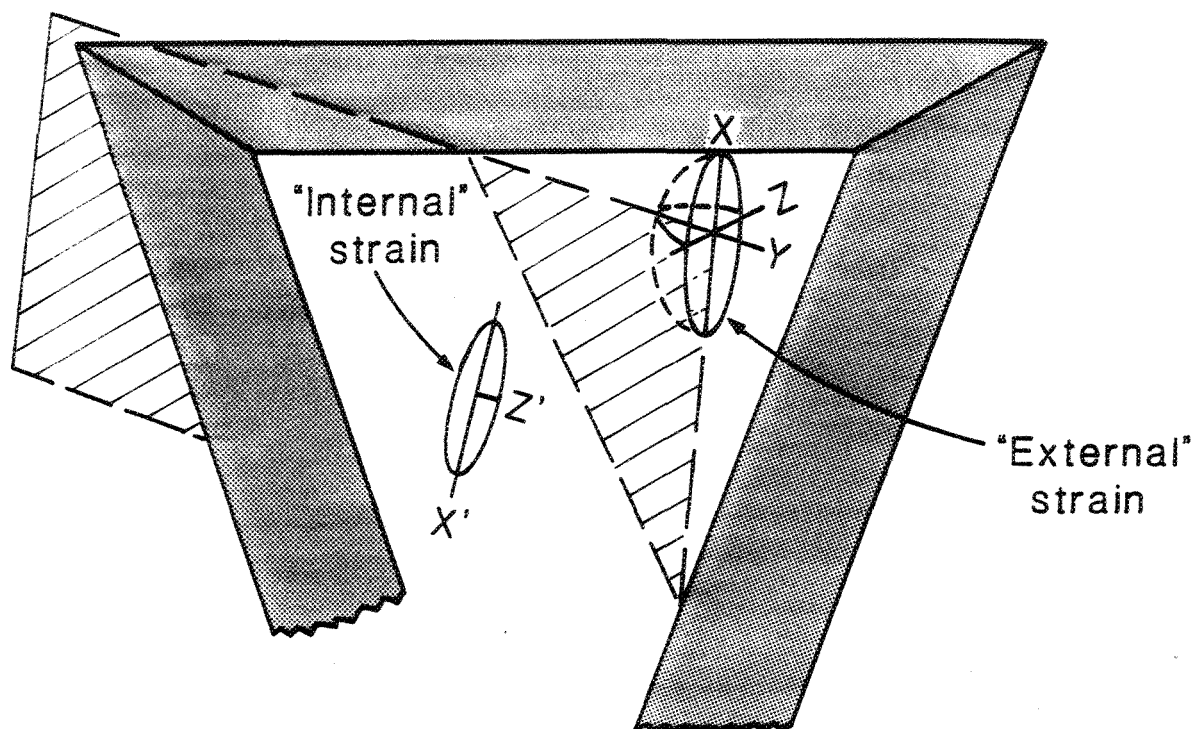


Figure 57: Représentation du concept de déformation à l'intérieur d'une unité compétente en comparaison avec l'ellipsoïde de déformation situé à l'extérieur de cette unité. Tirée de Dubé *et al.*, 1989.

déformation est inhomogène dans une roche anisotropique et de fortes variations d'orientation, de dimension et de forme de l'ellipsoïde de la déformation peuvent se produire.

Un premier point spécifique à considérer, concerne l'orientation des unités. Dans les roches anisotropiques, l'angle de fracturation (shear failure) varie considérablement, il dépend de l'orientation de l'anisotropie par rapport à l'orientation des contraintes principales (Donath, 1962). Selon cet auteur, l'intensité de la contrainte nécessaire pour produire une déformation parallèlement à l'orientation de l'anisotropie est fonction de l'orientation de cette dernière. Ainsi, selon Donath (1962), l'intensité nécessaire est relativement faible pour des angles entre 15° et 60° et minimum pour une anisotropie orientée à 30° par rapport à la direction de contrainte principale. Dans le cas qui nous concerne, l'orientation des unités lithologiques à la mine Cooke et à la mine Norbeau est partiellement différente. Dans le secteur de Cooke, les contacts entre unités sont orientés à environ $290^\circ/70^\circ$ alors que dans le secteur de Norbeau, ces contacts sont à environ $260^\circ/70^\circ$. Toutefois, ces orientations ne sont pas nécessairement celles qui prévalaient au moment où la contrainte principale maximum a été effective. En effet, l'orientation actuelle du filon-couche dans le secteur de la mine Cooke ($290^\circ/70^\circ$) est possiblement reliée à des mouvements (rotation) subséquents associés à la faille du lac Gwillim. Quoiqu'il en soit, à la mine Cooke, notre analyse suggère que l'angle entre la contrainte principale maximum et l'orientation du filon-couche est de 34° . Cet angle correspond à l'orientation pour laquelle un minimum de contrainte est nécessaire pour provoquer une déformation/fracturation parallèlement à l'orientation de l'anisotropie (Donath, 1962). La déformation parallèlement à l'anisotropie est non seulement possible pour cette orientation, mais est privilégiée par rapport à toute autre orientation étant donné la faible contrainte requise. À la mine Norbeau, notre analyse suggère que la déformation est uniaxiale quoique la méthode d'Angelier propose que la contrainte principale était orientée à $078^\circ/38^\circ$. Si tel est le cas, l'angle entre cette contrainte et le filon-couche serait alors de 74° . La déformation sub-parallèle à l'orientation de l'anisotropie, absente à Norbeau, aurait en effet été beaucoup moins favorisée qu'elle ne l'était à la mine Cooke.

Un second point fondamental à considérer concerne le type de déformation. À la mine Cooke, notre analyse suggère que la déformation est "plane strain" et compatible avec un système conjugué. Dans un tel système, l'influence de la contrainte principale intermédiaire est

considéré comme minimal réduisant ainsi probablement de beaucoup la complexité de la déformation. Selon Treagus (1988), dans un tel système la réfraction de la déformation d'un faciès à un autre se produira en 2 dimensions (cette réfraction implique un changement d'orientation et d'intensité de la déformation à travers une frontière planaire limitant deux matériaux différents). À Norbeau par contre, notre analyse suggère que la déformation n'est pas compatible avec un système de déformation conjugué, elle est plutôt uniaxiale. La contrainte principale intermédiaire a donc joué un rôle important, théoriquement aussi important que la contrainte principale maximum, provoquant ainsi une complexité structurale de beaucoup supérieure. Ainsi, dans le cas de système non-conjugué tel celui de Norbeau, il est fort probable, comme proposé par Poulsen et Robert (1989), que des directions multiples de zones de cisaillement ou de fractures soient nécessaire pour accommoder une déformation tri-dimensionnelle. De plus, selon Treagus (1988) dans un tel système la réfraction de la déformation entre les faciès pétrologiques, se fera en trois-dimensions et non pas en deux dimensions comme s'est le cas pour la déformation "plane strain" de Cooke. Il est également possible que les différentes zones de cisaillement présentes à la mine Norbeau se soient formées sous des régimes de contrainte/déformation différents et qu'ils aient été réactivés en même temps. Toutefois, comme mentionné précédemment, nous croyons que les caractéristiques gîtologiques et structurales de chacune des zones de cisaillement rendent cette possibilité peu probable. Ainsi, la variation dans la complexité du patron de fracturation- cisaillement observée entre les mines Cooke et Norbeau pourrait être reliée au type de déformation "plane strain" à Cooke et alors bi-dimensionnelle et uniaxiale à Norbeau et alors tri-dimensionnelle. Enfin, selon Donath (1962), l'anisotropie contrôle la géométrie de la déformation. À Norbeau, l'anisotropie est beaucoup mieux développée qu'à la mine Cooke. La stratigraphie interne du filon-couche de Bourbeau à la mine Cooke est légèrement différente de celle observée régionalement et à la mine Norbeau. Seul trois faciès pétrologiques ont pu être reconnu à la mine Cooke. Ils sont plus homogènes et le faciès de ferrodiorite à quartz semble en effet absent. Ce dernier est, à la mine Norbeau, un faciès particulièrement compétent étant donné qu'il est riche en quartz et intercroissances granophyriques. Il est donc probable que l'anisotropie interne du filon-couche ne soit pas aussi marquée que celle développée à la mine Norbeau. Son influence serait alors relativement plus faible.

CHAPITRE 5

MINÉRALOGIE ET PARAGÉNESE DES VEINES

5.1- Introduction

Dans ce chapitre, nous examinons la minéralogie ainsi que les textures et structures des veines cartographiées aux mines Cooke et Norbeau. Cette étude, en grande partie minéragraphique, a été réalisée afin de préciser la nature des phases métalliques, leur concentration, leur texture de même que leurs associations et interrelations avec les minéraux de gangue.

Mégascopiquement, la minéralisation de la mine Cooke se trouve dans des veines et veinules de quartz-calcite avec présence fréquente d'axinite et/ou de feldspath potassique mis en place dans des zones de cisaillement et de fracture. Ces veines ou veinules contiennent des proportions de sulfures qui varient de quelques traces à 90 % de l'ensemble des constituants (figure 58). Les sulfures sont principalement la chalcopyrite et, dans une proportion moindre, la pyrrhotite, l'arsénopyrite et la pyrite. Nous avons régulièrement observé la présence de veinules de couleur orangé à rouge, produites par hématisation et situées au contact entre les veines de sulfures et l'encaissant gabbroïque ou dans la zone de cisaillement minéralisée ou non. Elles sont également observées, plus sporadiquement, à l'extérieur des zones de cisaillement là où le gabbro est injecté de fines veinules. Cette hématisation s'associe à la présence de feldspath potassique contenant fréquemment une fine "poussière" de couleur rougeâtre correspondant à des cristaux sub-microscopiques d'hématite. L'hématisation du feldspath potassique est un processus reconnu dans la littérature (Rosenqvist, 1951; Moorhouse, 1959; Boone, 1969) et il en est de même pour son association avec l'or (Boyle, 1979; Morasse et al., 1986; Cameron et Hattori, 1987).

À la mine Norbeau, la minéralisation se présente dans des veines de quartz enfumé,



Figure 58: Photographie montrant un exemple typique de veine de quartz-chalcopyrite aurifère à la mine Cooke.

d'attitude subverticale et subhorizontale, et dans l'encaissant gabbroïque accolé à celles-ci. La largeur moyenne des veines de quartz subverticales est de 0,9 à 1,5 m. Les veines contiennent des proportions de sulfures qui varient de quelques traces à environ 5 % de l'ensemble des constituants. Les sulfures sont situés plutôt au contact ou près du contact entre la veine et l'encaissant gabbroïque. Les principaux sulfures sont la pyrite et l'arsénopyrite. Lors de nos travaux, des grains d'or visibles à l'oeil nu ont été observés à quelques reprises. Ceux-ci étaient alors libres dans le quartz déformé (veines New Vein, Sharpe et Mann) ou associés à des grains de pyrite en inclusion dans le quartz (veine Mann).

À la mine Cooke, l'étude a été effectuée sur les échantillons provenant de zones minéralisées de forages étudiés dans la section sur l'altération hydrothermale dans le chapitre 6. Nous avons également considéré d'autres échantillons provenant de 14 zones minéralisées différentes recueillis dans les galeries ou d'autres trous de forage (S-578, S-611, S-575, U-20173). Au total, nous avons étudié plus d'une quarantaine de lames minces polies, contenant de la minéralisation et réparties dans 22 zones minéralisées différentes.

À la mine Norbeau, nous avons examiné les échantillons provenant des zones minéralisées des forages et sections décrites dans le chapitre 6 traitant de l'altération hydrothermale associée aux zones aurifères. Au total, une trentaine de lames minces polies ont été décrites de façon détaillée. Nous présentons ici un sommaire des observations se rapportant à la texture des veines, à la gangue et aux phases métalliques. Nous débutons avec la mine Cooke et enchaînerons avec la mine Norbeau. Par la suite, nous présenterons une discussion sur la présence de textures du type "open space filling" observées dans les zones de cisaillement et sur les mécanismes de précipitation et de transport de la minéralisation.

5.2- Mine Cooke

5.2.1 Texture

La minéralisation se trouve à l'intérieur de veines de quartz-calcite, avec présence fréquente d'axinite et/ou de feldspath potassique, montrant généralement des signes de défor-

mation intense. Toutefois, on observe régulièrement des minéraux de gangue, notamment le quartz et/ou l'axinite et/ou le feldspath potassique, attachés aux bordures des veines et suggérant leur cristallisation dans un espace ouvert, sans contrainte (figure 59 A et B). La partie centrale des veines est constituée de quartz, de calcite et de sulfures avec présence fréquente de feldspath potassique et occurrences régulières d'axinite. Cette texture suggère que les minéraux se sont formés par remplissage de cavités ouvertes ("open-space filling"). Très fréquemment, l'ensemble des constituants a été par la suite fortement déformé. Le quartz a été déformé et polygonisé (figure 59 C), les sulfures cassants (pyrite et arsénopyrite) ont été cataclasés tandis que les sulfures plus mous (chalcopryrite et pyrrhotite) ont été déformés ductilement, possiblement recristallisés et assurément redistribués dans les fractures des autres minéraux et des zones cataclasées.

5.2.2 Minéralogie

5.2.2.1 Gangue

Les principaux minéraux de gangue observés sont le quartz, la calcite, l'axinite et le feldspath potassique. Tandis que le quartz et la calcite sont pratiquement toujours présents, l'axinite a été observée dans 12 des 22 différentes zones minéralisées étudiées et le feldspath potassique est présent dans 15 de ces 22 zones. Parmi ces 22 zones minéralisées, 14 montraient le contact entre la veine et l'encaissant. Le quartz est présent au contact veine-encaissant dans 9 de ces 14 cas, l'axinite dans 8 et le feldspath potassique dans 7. Ainsi, la minéralogie et la paragenèse des veines n'est pas toujours exactement la même. Toutefois, de façon générale, le contact entre l'encaissant et la veine est constitué de quartz et/ou d'axinite et de feldspath potassique. La partie centrale des veines est constituée de quartz, de calcite et de sulfures avec présence fréquente de feldspath potassique et occurrences régulières d'axinite. Nous décrivons maintenant ces minéraux et leur habitus.

Le quartz forme des grains pouvant atteindre jusqu'à 2 mm attachés aux parois des veines et également situés dans la partie centrale des veines. Le quartz a été fortement déformé. Cette déformation a engendré des extinctions ondulantes prononcées et une diminution de la

Figure 59: A) Feldspaths potassiques (Fk) au contact entre la veine de sulfure et l'encaissant gabbroïque. On note également la présence d'axinite (Ax) à l'intérieur de la veine minéralisée. Lumière transmise, analysée. Largeur de la photo : 2 mm.

B) Cristaux d'axinite (Ax) localisés au contact entre la veine minéralisée et l'encaissant gabbroïque. Lumière transmise et analysée. Largeur de la photo : 2 mm.

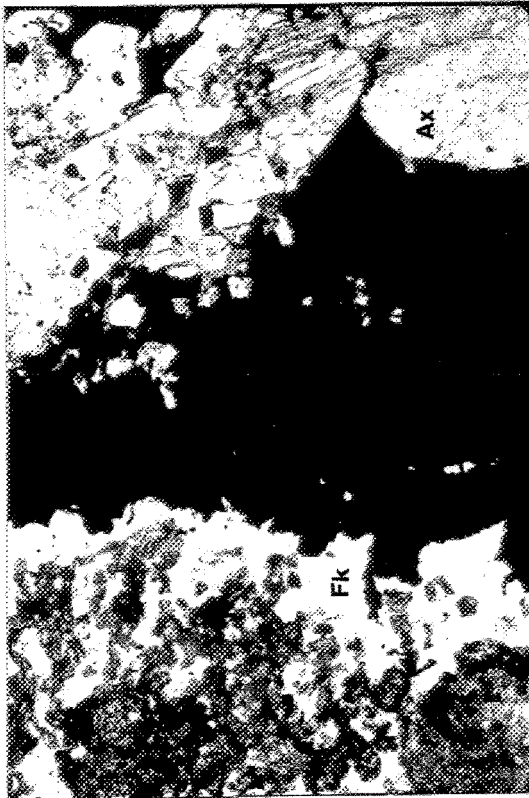
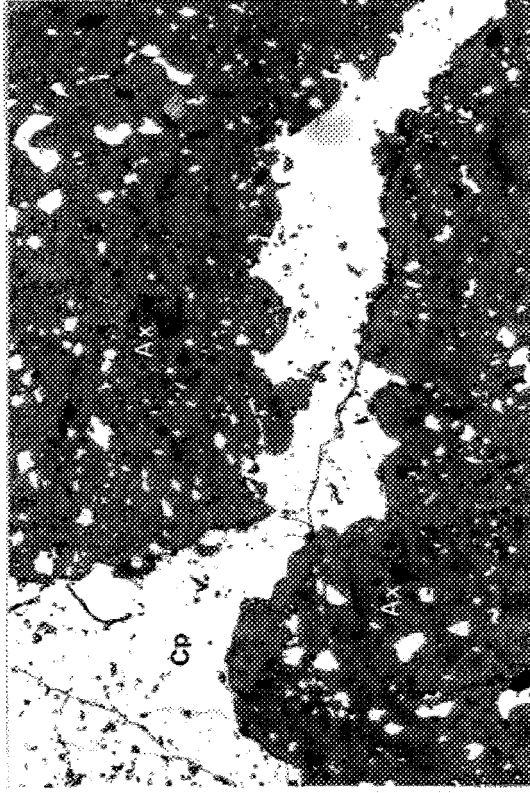
C) Grain de quartz cataclasé entouré d'une deuxième génération de quartz néominéralisé et limpide, auquel s'associe la présence de chalcopryrite (Cp). Lumière transmise, analysée et polarisée. Largeur de la photo : 5,5 mm.

D) Grain d'axinite (Ax) rempli et remplacé par de la chalcopryrite (Cp).

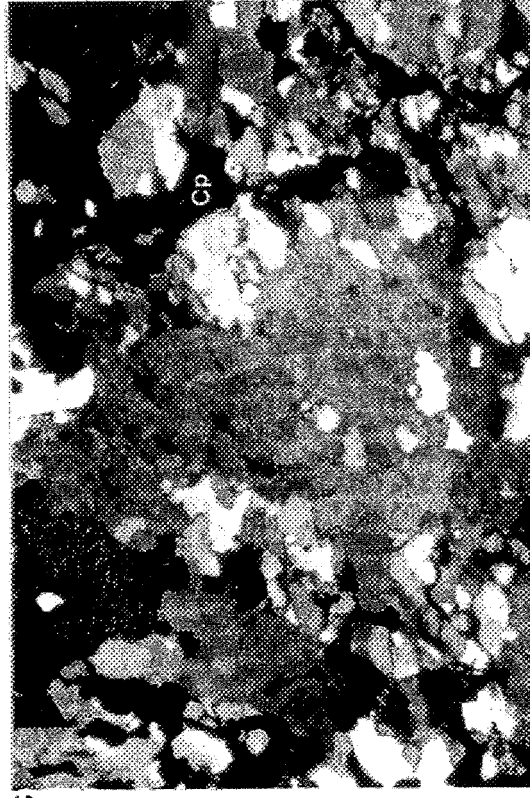
B



D



A



C

granulométrie associée à la néominéralisation de cristaux limpides de quartz polygonaux de plus petite dimension ($\leq 0,1 - 0,2$ mm) autour des grains cataclasés (figure 59 C). Ainsi, il existe au moins deux générations de quartz : une première cataclasée et une seconde néominéralisée, nondéformée, issue en tout ou en partie de la recristallisation de la première génération.

L'axinite observée dans les veines minéralisées est associée à la mise en place de la minéralisation. Elle forme des cristaux de 0,5 mm à 1 cm, souvent au contact entre la veine minéralisée et l'éponte et aussi dans la partie centrale de la veine minéralisée (figure 59 B). Dans plusieurs cas, elle constitue, avec le quartz et le feldspath potassique, le premier minéral à se former par réaction entre le fluide minéralisateur et l'encaissant gabbroïque. Elle présente alors des textures suggérant sa cristallisation libre dans un milieu ouvert, sans contrainte. Elle forme par endroits jusqu'à 30 % de l'ensemble des constituants. On observe très fréquemment de la chalcopryrite en inclusion ou en remplissage dans l'axinite, et aussi au contact entre les grains d'axinite. L'inverse est également noté c'est-à-dire qu'on observe aussi de l'axinite qui baigne dans une matrice de chalcopryrite. À plusieurs endroits, l'axinite est remplacée par les sulfures, notamment la chalcopryrite et la pyrrhotite (figure 59 D). De l'or a été localement observé en inclusion dans l'axinite (Buchan, 1976). Tout comme les autres constituants des veines minéralisées, l'axinite est fréquemment déformée (figure 73 D). Elle présente des extinctions ondulantes, elle est fracturée et recoupée par des veinules de calcite et parfois entourée de quartz néominéralisé. L'axinite constitue également des fragments sub-arrondis baignant dans une matrice de sulfures. Elle est localement remplacée par des amphiboles, de la calcite ou du quartz. Une discussion exhaustive sur l'axinite présente à la mine Cooke est présentée au chapitre 6 (section 6.2.3.4). La relation chronologique entre l'axinite et le feldspath potassique est difficile à établir. Toutefois, on constate très localement que l'axinite remplace partiellement des feldspaths potassiques ou qu'elle se moule sur un cristal de feldspath potassique attaché à l'éponte suggérant ainsi sa tardivité relative par rapport au feldspath potassique (figure 60 A).

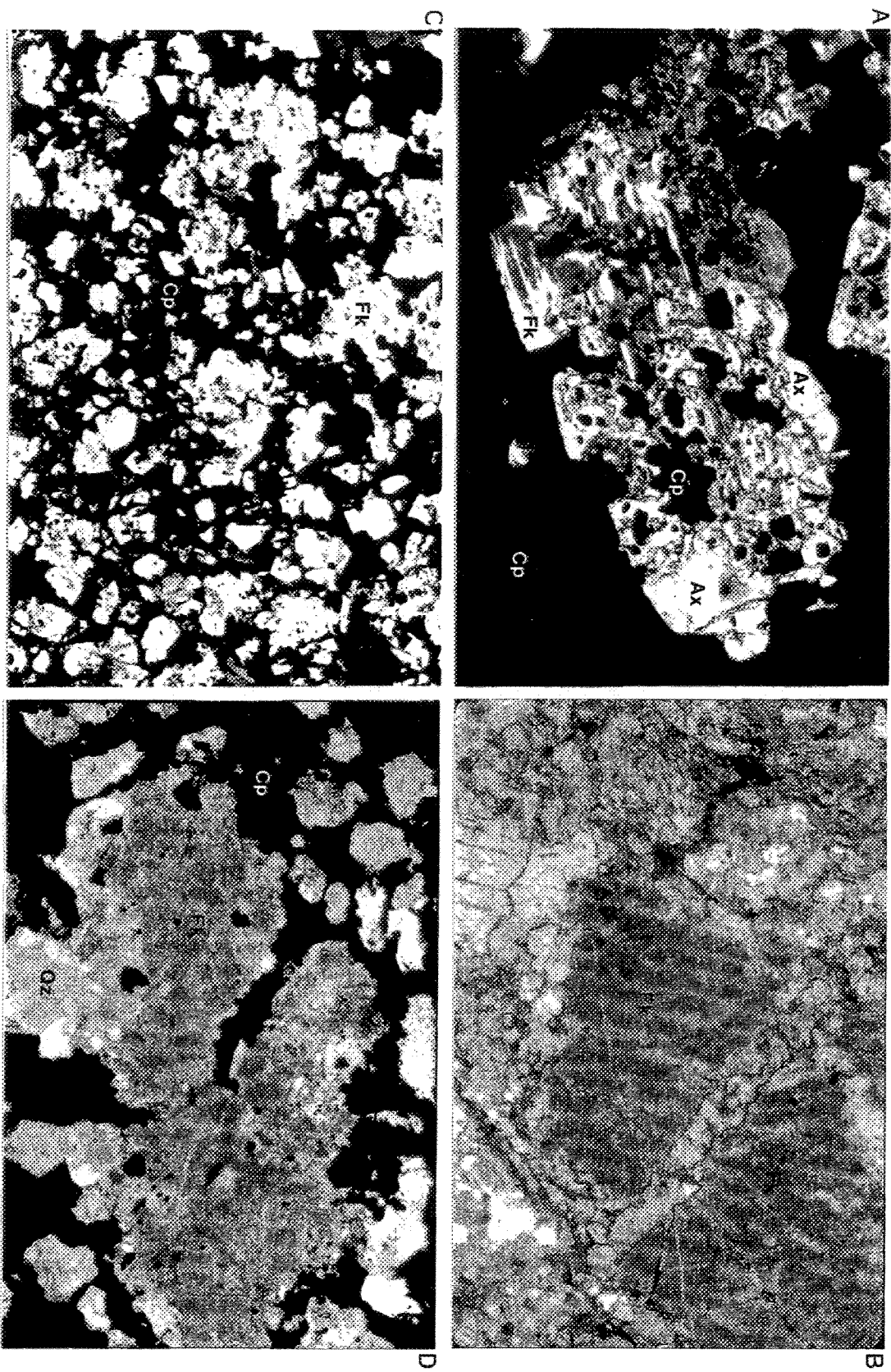
Le feldspath potassique a été observé au contact entre la veine et l'éponte dans 50 % des cas étudiés (figure 59 A). Tout comme l'axinite, la microcline a alors cristallisé dans un

Figure 60: A) Cristal de feldspath potassique (Fk) partiellement remplacé par de l'axinite (Ax). Le feldspath potassique et l'axinite sont entourés et partiellement remplacés par de la chalcoppyrite (Cp). Lumière transmise, analysée et polarisée. Largeur de la photo : 1 mm.

B) Cristal de feldspath potassique (Fk) fracturé et rempli de fines inclusions d'hématite. Lumière transmise, analysée et polarisée. Largeur de la photo : 2 mm.

C) Cristaux et agrégats de feldspath potassique (Fk) entourés et partiellement remplacés par de la chalcoppyrite. Lumière transmise et analysée. Largeur de la photo : 2 mm.

D) Grains de feldspath potassique (Fk) hématisés et entourés de quartz limpide, le tout remplacé par de la chalcoppyrite. Lumière transmise et analysée. Largeur de la photo : 1 mm.



milieu ouvert sans contrainte. Il forme des cristaux d'en moyenne 0,5 mm, mais pouvant atteindre jusqu'à 2 mm. Généralement, le feldspath potassique est partiellement remplacé par l'axinite, la chalcopryrite et la pyrrhotite. Toutefois, il est à noter que par endroits il semble à l'inverse légèrement postérieur à l'axinite. Il se trouve en effet à l'extrémité des cristaux d'axinite attachés aux contact entre la veine et l'éponte ou il se situe au centre de la veine alors que l'axinite est plutôt présente au contact avec l'éponte et dans la veine. Le feldspath potassique est également présent dans la partie centrale des veines où il forme de petits agrégats de cristaux ($\leq 0,4$ mm) en inclusion dans les plages de chalcopryrite ou de pyrrhotite. Ces agrégats constituent généralement ≤ 5 % de l'ensemble des constituants, mais exceptionnellement, ils peuvent être très abondant (50 %) (figure 60 C).

Des observations microscopiques et 23 analyses à la microsonde réparties sur 4 échantillons (PB-20-85, PB-113-86, PB-757-85, PB-304-85) (tableau 8) révèlent que l'hématisation observée mégascopiquement s'associe à la présence de feldspath potassique (orthose à $\geq 93\%$) contenant une fine "poussière" rougeâtre d'hématite, responsable de la coloration observée (figure 60 B). Il est difficile d'identifier avec certitude la variété de feldspath potassique dont il s'agit. Toutefois, nos observations microscopiques suggèrent la présence de microcline étant donné que nous avons observé par endroits le quadrillage chatoyant caractéristique de ce minéral (Roubeault, 1963). Il est également possible qu'il corresponde à de l'adulaire, variété de feldspath potassique communément associée à l'altération hydrothermale (Steiner, 1970). Plus rarement, des albites contiennent également une fine poussière d'hématite. Les feldspaths potassiques hématisés sont localement entourés de quartz limpide, de feldspath potassique limpide ou d'albite. De plus, les sulfures l'entourent et le remplacent partiellement (figure 60 D).

La calcite est la seule variété de carbonate présent dans les veines minéralisées. On l'observe généralement dans la partie centrale de ces veines. Elle forme alors des cristaux pouvant atteindre 1,5 mm de long. La calcite a également subi des déformations comme le suggèrent les macles mécaniques qu'elle contient. Elle s'observe également en remplissage de fractures dans le quartz cataclaté, l'axinite et le feldspath potassique.

Tableau 8 : Composition moyenne des feldspaths potassiques associés à la minéralisation aurifère à la mine Cooke. Déterminée par analyse à la microsonde.

Numéro d'échantillon	BD-PB-113-86b	BD-PB-641-85a	BD-PB-304-85
Nombre d'analyses	2	2	9
SiO ₂	63.63%	65.61%	65.37%
Al ₂ O ₃	17.90	18.18	18.26
Na ₂ O	0.00	0.00	0.23
CaO	0.09	0.15	0.15
K ₂ O	16.23	16.49	16.17
FeO	0.05	0.09	0.07
BaO	n.d	n.d	0.40
SrO ₂	<u>n.d</u>	<u>n.d</u>	<u>0.01</u>
total	97.90	100.52	100.66
<u>Formule sur la base de 32 Oxygènes</u>			
Si	12.020	12.057	12.017
Al	<u>3.986</u>	<u>3.940</u>	<u>3.956</u>
	16.006	15.997	15.973
Na	0.000	0.000	0.082
Ca	0.018	0.029	0.030
K	<u>3.910</u>	<u>3.868</u>	<u>3.792</u>
	3.928	3.897	3.904
Ba			0.026
Sr			0.001
<u>% molaire des "end members"</u>			
AB	0.00	0.00	2.10
AN	0.46	0.73	0.77
OR	99.54	99.27	97.13

n.d = non-déterminé

Localement elle remplace partiellement l'axinite. De plus, elle est associée au quartz de seconde génération et aux phases métalliques. Ainsi, la déformation a probablement provoqué une remobilisation et recristallisation partielles de la calcite dans les fractures des silicates et des sulfures, mais il est également probable qu'il y ait eu plus d'une génération de carbonate.

Enfin, les autres minéraux de gangue dans les zones minéralisées sont des agrégats principalement constitués de chlorite et contenant une faible proportion de leucoxène-rutile, issus du remplacement complet de fragments d'encaissant incorporés aux veines, et des quantités mineures ($\leq 5\%$) de tourmaline, stilpnomélane, chlorite, épidote, actinote, et séricite. Là où la proportion de sulfures est grande, ces minéraux de même que le quartz limpide et les carbonates, baignent dans une matrice de chalcoppyrite ou plus rarement de pyrrhotite.

5.2.2.2 Phases métalliques

Les phases métalliques observées dans les zones minéralisées sont principalement la chalcoppyrite et, dans une moindre mesure, la pyrrhotite, l'arsénopyrite et la pyrite. De plus, des traces de marcassite, de sphalérite, de cobaltite, de gersdorffite, de pentlandite, de nickéline et d'or natif ont également été notées.

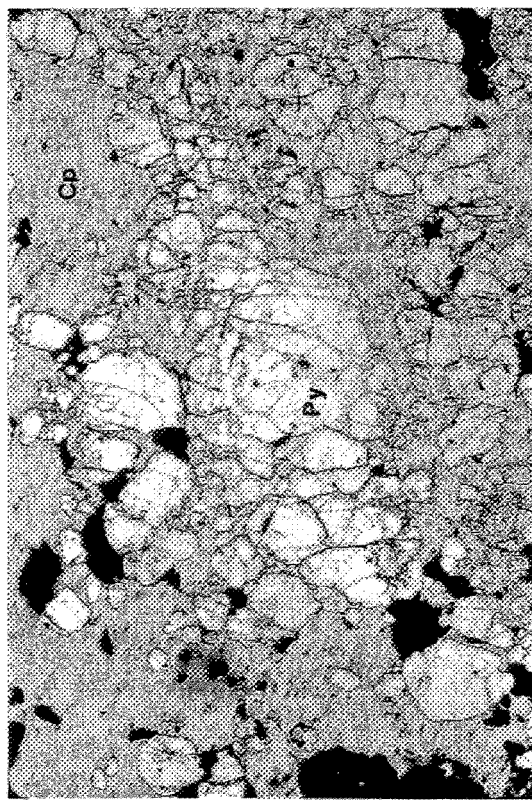
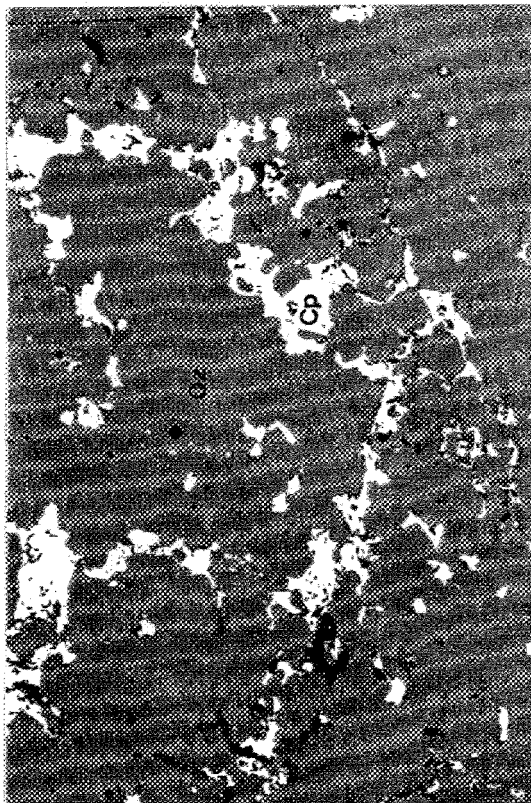
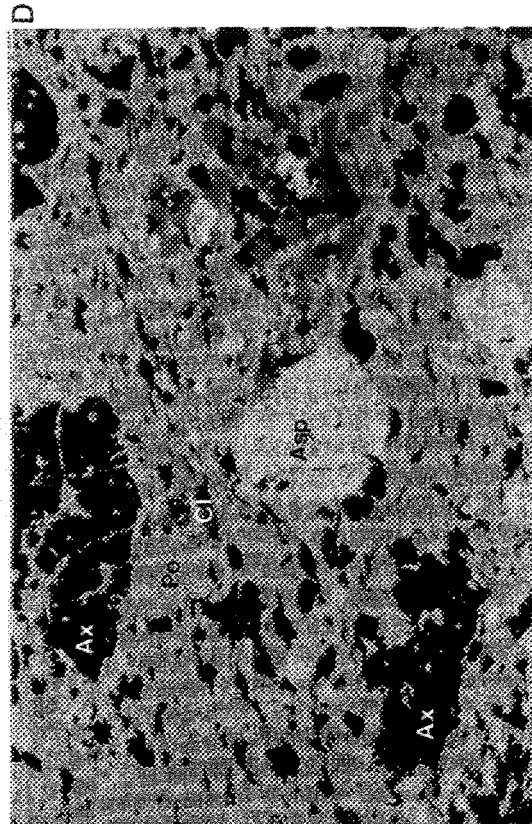
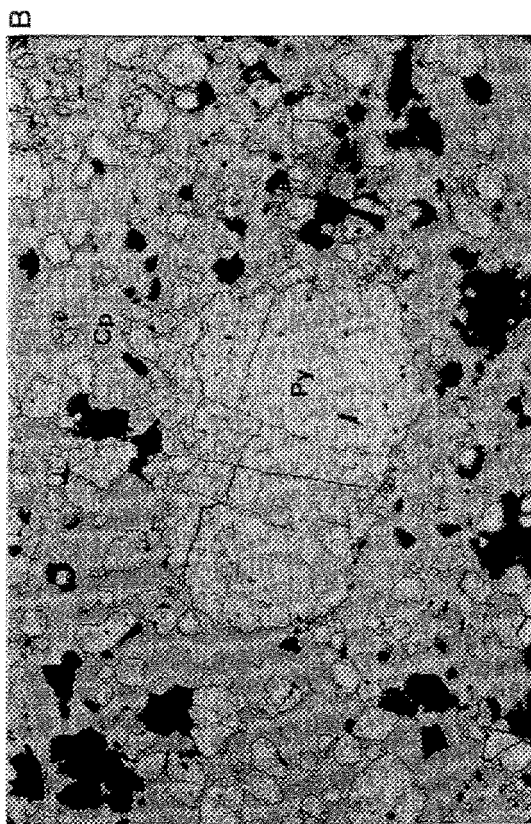
La chalcoppyrite constitue la principale phase métallique. Dans certains échantillons, elle représente jusqu'à 90 % de l'ensemble des constituants de la zone minéralisée. De façon générale, la chalcoppyrite se présente en plages et constitue une matrice dans laquelle baigne les autres phases métalliques et les minéraux de gangue. Elle enveloppe et remplit les fractures des grains d'arsénopyrite et de pyrite (figure 61 B). D'après sa texture, la chalcoppyrite semble postérieure au quartz cataclasé, elle est plutôt associée au quartz de seconde génération et à la calcite. Elle est alors en remplissage de fractures (figure 61 A). Elle est également observée en inclusions dans l'axinite, mais également autour et en remplissage de fractures à l'intérieur des cristaux d'axinite qu'elle remplace (figure 73 C). Localement, la chalcoppyrite contient des cristaux de marcassite, de cubanite, de gersdorffite, de cobaltite et de sphalérite. La

Figure 61: A) Photomicrographie d'une veine de quartz cataclasée montrant la fracturation du quartz (Qz) et la présence de chalcopyrite (Cp) en remplissage de fractures. Lumière réfléchie et analysée. Largeur de la photo : 2 mm.

B) Photomicrographie montrant un grain de pyrite (Py) cataclasé, fragmenté et sub-arrondi baignant dans une matrice de chalcopyrite (Cp). Lumière réfléchie et analysée. Largeur de la photo : 2 mm.

C) Photomicrographie montrant l'intense déformation subie par les grains de pyrite (Py), baignant dans une matrice de chalcopyrite (Cp). Lumière transmise, analysée. Largeur de la photo : 2 mm.

D) Photomicrographie illustrant la rotation d'un grain sub-arrondi d'arsénopyrite dans une matrice de pyrrhotite (Po) contenant également des grains de chlorite (Cl) et d'axinite (Ax) qui soulignent la foliation. Lumière réfléchie et analysée. Largeur de la photo : 2 mm.



chalcopryrite remplace partiellement tous les minéraux de gangue.

En lame mince, la chalcopryrite ne montre pas d'évidences nettes de déformation. Toutefois, des veinules de calcite cimentent localement des plages de chalcopryrite.

La pyrrhotite est, après la chalcopryrite, la phase métallique la plus abondante. Elle forme de 0 à 15 % des zones minéralisées. De façon générale, elle représente environ 10 % de l'ensemble des constituants. Tout comme la chalcopryrite, la pyrrhotite semble être en remplissage de fractures et s'associe au quartz de seconde génération et à la calcite. En fait, elle possède les mêmes caractéristiques texturales et structurales que la chalcopryrite. Localement, la pyrrhotite contient des lamelles d'exsolution (en flammes) de pentlandite.

La proportion d'arsénopyrite, dans les zones minéralisées étudiées, varie de 0 à 60 % de l'ensemble des constituants. Elle peut donc, exceptionnellement, constituer la principale phase métallique. Toutefois, de façon générale, la proportion d'arsénopyrite varie de 5 à 10 %.

L'arsénopyrite forme des cristaux de 0,1 à 0,2 mm ou des agrégats de cristaux. Elle est cataclasiée, la plupart des grains étant fracturés et fragmentés. Toutefois, les fragments ont généralement subi de très faibles déplacements, de l'ordre du millimètre. L'arsénopyrite a donc subi une bréchification sur place. L'espace entre les grains est rempli de quartz fibreux (2^e génération) ou de chlorite. De plus, on observe très fréquemment que les fractures contenues dans les cristaux d'arsénopyrite ou les espaces entre ceux-ci sont remplis de chalcopryrite ou, plus rarement, de pyrrhotite. Là où la chalcopryrite ou la pyrrhotite est abondante, elle forme une matrice dans laquelle baigne l'arsénopyrite.

On observe de la pyrite là où l'arsénopyrite est peu abondante ou absente. La pyrite représente alors 4 à 5 % de l'ensemble des constituants. Toutefois, elle peut localement représenter jusqu'à 65 % de l'ensemble des constituants (forage U-15331).

La pyrite forme des grains (≤ 3 mm) ou des agrégats et présente les mêmes caractéris-

tiques structurales et texturales que l'arsénopyrite. Elle est en effet pratiquement toujours cataclasée et cimentée par du quartz (2^e génération), de la calcite, de la chlorite ou de la chalcopryrite (figure 61 C). Par endroits, elle baigne dans une matrice de chalcopryrite. De plus, on observe très localement de la pyrite entre les lamelles des grains de marcassite.

Plus d'une centaine de plages d'or natif ont été observées lors de notre étude. Leur diamètre varie de 0,0025 à 0,1 mm. L'analyse à la microsonde électronique de 6 grains d'or réparties dans trois échantillons différents révèle qu'en moyenne ces grains sont constitués, en terme de concentration, de 81 % d'Au et de 17,9 % d'Ag (tableau 9). On constate également des traces de Fe, Te, Sb et Hg. Cette composition chimique correspond à celle de l'or argentifère (Boyle, 1979). Toutefois, la façon la plus adéquate de déterminer la composition de l'or est d'utiliser le rapport $Au/(Au + Ag) \times 1000$ connu sous le nom anglais de "fineness" (Fisher, 1945). À la mine Cooke, ce rapport est de 819 et selon Rose et Morisson (1988) il s'agit donc d'or natif.

L'or apparaît fréquemment dans la chalcopryrite qui cimente les grains d'arsénopyrite et de pyrite (figure 62 A); en inclusion et en remplissage des fractures de ces deux mêmes minéraux (figure 62 A); au contact entre l'arsénopyrite ou la pyrite et la chalcopryrite, au contact entre la gangue et la pyrite ou l'arsénopyrite (figure 62 B); et en inclusion dans les plages de chalcopryrite (figure 62 C). Plus rarement, de l'or a été observé dans la pyrrhotite ou la gersdorffite et, à un endroit, dans un grain de calcite et de séricite. Buchan (1976) rapporte également la présence d'or en inclusion dans l'axinite.

5.2.3 Paragenèse métallique

Les observations minéragraphiques que nous avons réalisées permettent de proposer une paragenèse métallique basée principalement sur les relations texturales observées. Les veines minéralisées étudiées à la mine Cooke se sont donc formées par remplissage d'une ouverture plutôt que par remplacement. Le quartz et/ou l'axinite et/ou le feldspath potassique sont fréquemment attachés aux bordures des veines et suggèrent leur cristallisation dans un espace ouvert, sans contrainte. Ils représentent donc généralement les premiers minéraux à se

Tableau 9 : Composition chimique moyenne de l'or à la mine Cooke telle que déterminée par analyse quantitative à la microsonde électronique.

Numéro d'échantillon	BP-PB-9-85	PB-385-85	PB-719b-85	Moyenne
Nombre d'analyses	2	2	2	
Au	85.29	81.63	79.24	82.05
Ag	14.90	18.45	20.39	17.91
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00
Hg	0.00	0.09	0.02	0.04
Te	0.07	0.08	0.02	0.06
Sb	0.05	0.05	0.00	0.03
Fe	<u>0.06</u>	<u>0.08</u>	<u>0.21</u>	0.12
Total	100.37	100.38	99.88	

Fineness $Au/(Au + Ag) \times 1000 = 819$

	<u>Composition chimique exprimée en terme de % atomique</u>			
Au	0.76	0.70	0.68	0.71
Ag	0.24	0.29	0.32	0.28
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00
Hg	0.00	0.00	0.00	0.00
Te	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	0.01	0.00

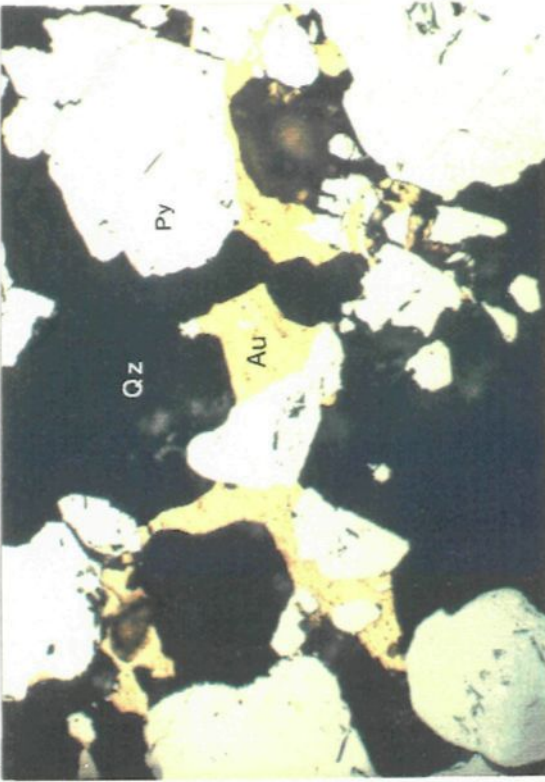
Figure 62: A) Photomicrographie montrant des plages d'or dans la chalcoppyrite en remplissage de fractures dans l'arsénopyrite et en remplissage de fractures dans l'arsénopyrite

B) Photomicrographie montrant des plages d'or (Au) au contact entre la gangue et l'arsénopyrite (Asp). Lumière réfléchie, nicol simple.

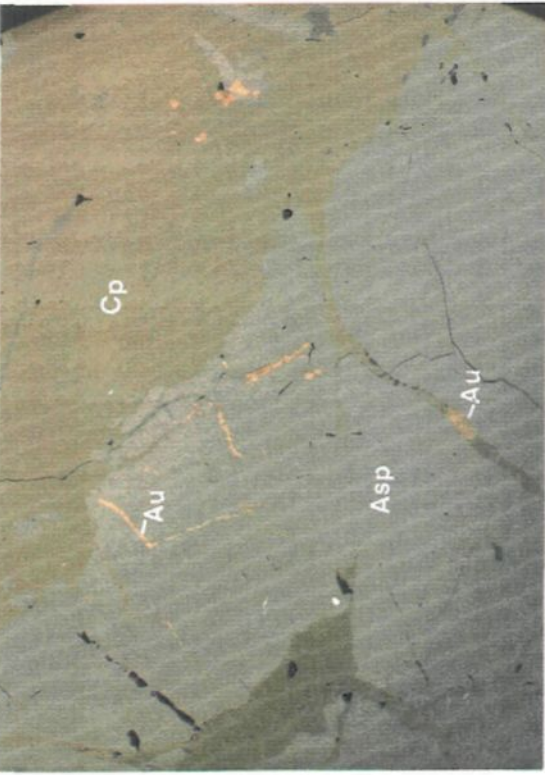
Largeur de la photo : 0,32 mm

C) Photomicrographie montrant des plages d'or en inclusion dans la chalcoppyrite.

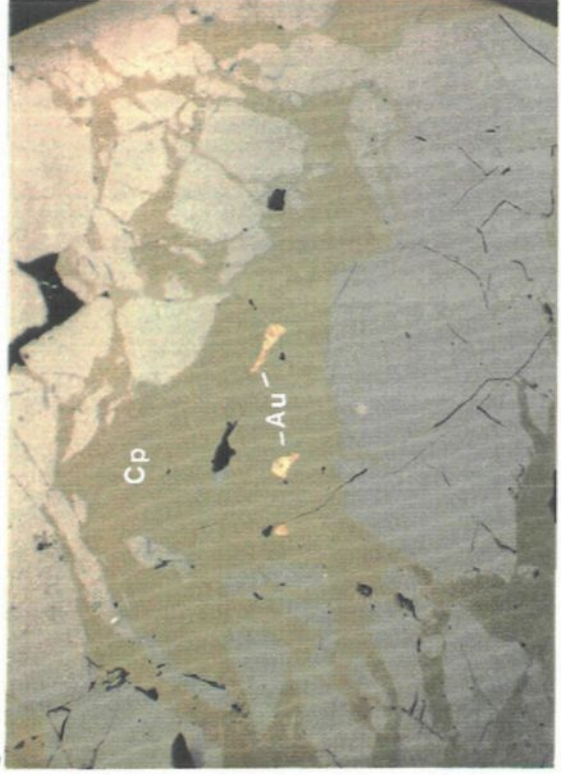
B



A



C



former. La partie centrale des veines est constituée de quartz, de calcite, de sulfures avec fréquemment présence de feldspath potassique et régulièrement d'axinite. Cette texture suggère que ces minéraux se sont formés par remplissage d'une ouverture dans un milieu en tension ("open-space filling"). Ces fractures se situent toutefois généralement dans des zones de cisaillement ductiles- cassantes plus ou moins bien développées. L'intense cataclase subséquente subie par ces veines et veinules aurait engendré une néominéralisation de petits grains de quartz (2^e génération) et créé des ouvertures permettant la mise en place et/ou la redistribution des sulfures et de l'or et possiblement, localement, d'une nouvelle injection de calcite. L'ordre de précipitation des sulfures serait donc le suivant: arsénopyrite et/ou pyrite, puis pyrrhotite et enfin chalcopyrite.

La précipitation de ces phases s'est produite, de toute évidence, dans un milieu dynamique (zone de cisaillement). Par endroit le remplissage ou la redistribution des sulfures se fait dans une zone de quartz et autres minéraux de gangue broyés alors qu'à d'autres il s'agit de remplissage de vides ne montrant pas de quartz broyé mais plutôt du quartz limpide. La zone de cisaillement contenant la minéralisation était probablement en mouvement lors de son remplissage. De plus, ces zones de cisaillement ont été recoupées par des failles tardives (voir la section sur les failles tardives), qui ont probablement engendré des mouvements tardifs dans ces veines minéralisées étant donné la ductilité de ce matériel relativement riche en sulfures. La déformation des zones minéralisées a engendré des textures et assemblages minéralogiques relativement complexes. Cette déformation a provoqué une redistribution des phases métalliques et localement une redissolution et reprécipitation des sulfures. Comme la réponse aux déformations des minéraux métalliques dépend principalement de leur dureté (Vokes, 1969; Craig et Vaughan, 1981 et Cox et Etheridge, 1984), les effets ont donc été très différents selon leur composition. Ainsi, l'arsénopyrite et la pyrite ont été fortement cataclasées étant donné leur comportement cassant. À l'inverse comme la chalcopyrite et la pyrrhotite sont des minéraux beaucoup plus mous, ils ont été déformés de façon plastique et ont migré dans les fractures de l'arsénopyrite et de la pyrite. Les évidences de la déformation de la chalcopyrite et de la pyrrhotite sont difficiles à observer car si ces minéraux se déforment facilement, ils recristallisent également très facilement (Craig et Vaughan, 1981). Par endroit, la

déformation des zones minéralisées a engendré la formation de texture *Durchbewegung* (Vokes, 1969). On observe en effet des masses de sulfures ductiles qui se sont déformées plastiquement et qui entourent, moulent des sulfures et des fragments d'encaissant plus cassants qui ont été plutôt fragmentés et qui ont subi des rotations suite au fluage de la matrice de chalcopryrite et pyrrhotite (figure 61 D). Les sulfures ductiles remplissent également les fractures des sulfures et minéraux de gangue plus cassants.

D'après nos observations pétrographiques, l'apparition de l'or coïncide avec celle des sulfures, en particulier celle de la chalcopryrite et de la pyrrhotite. La présence d'or en remplissage de fractures dans l'arsénopyrite et la pyrite est possiblement causée par sa redistribution suite à la déformation. En effet, si on accepte que la chalcopryrite et la pyrrhotite ont acquis leurs textures et sites actuels dans les veines suite à un fluage mécanique, il en est probablement de même pour l'or qui lui est associé.

5.3- Mine Norbeau

5.3.1 Texture

Les veines de quartz sub-horizontales, observées à la mine Norbeau, contiennent des cristaux de quartz attachés aux bordures des épontes et orientés perpendiculairement à celles-ci, suggérant ainsi leur cristallisation dans un espace ouvert, sans contrainte ("open space filling"). Par la suite ces cristaux ont été déformés. Les veines de quartz-tourmaline sub-horizontales et légèrement tardives, dans le développement de la zone de cisaillement (voir la section 4.6.3.5 sur les caractéristiques structurales des zones de cisaillement E-W), présentent des textures du type "crack-seal" (Ramsay, 1980b). Des cristaux de quartz, tourmaline et carbonates se sont développés perpendiculairement aux murs des épontes et des fragments d'épontes incorporés dans ces veines suggèrent des ouvertures multiples. Aucune déformation significative n'est observée dans les cristaux présents dans les veines de quartz-tourmaline. Dans les veines sub-verticales situées à l'intérieur des zones de cisaillement, la déformation du quartz est très intense. Ces déformations ont engendré des extinctions ondulantes et une diminution de la granulométrie des cristaux, associée à la

néominéralisation de cristaux limpides de plus petite dimension, rendant ainsi l'observation des textures primaires plus difficile. Toutefois, localement, on observe, notamment à la veine no 1, la présence de cristaux de quartz attachés aux parois des éponges et orientés sub-perpendiculairement au contact avec l'éponge, suggérant là aussi une cristallisation par remplissage de cavités ouvertes ("open space filling"). On constate également des évidences pouvant suggérer plus d'un épisode d'ouverture et de précipitation des minéraux. En effet, on observe fréquemment la présence de fragments d'encaissants incorporés aux veines et orientés sub-parallèlement aux contacts entre la veine et l'éponge. Ces fragments ont l'aspect de veinules de pyrite, toutefois, sous le microscope, la présence de minéraux de gangue, notamment le leucoxène, confirme qu'il s'agissait à l'origine de fragments d'éponge qui ont par la suite été déformés. Il s'agit donc d'une texture analogue à des "ribbons" (McKinstry et Ohle, 1949; Read et Meinert, 1986). La présence de ribbons a également été notée par Prochnau (1971) qui rapporte qu'il s'agit là d'une structure commune aux différentes veines aurifères présentes à la mine Norbeau et qu'ils sont particulièrement abondants à la veine no 4.

5.3.2 Minéralogie

5.3.2.1 Gangue

La minéralisation se trouve à l'intérieur de veines de quartz mises en place dans des zones de cisaillement. Ces veines présentent des preuves de déformation très intense. Le quartz, principal constituant des veines, a été cataclasé et polygonisé. Ces déformations ont engendré une diminution de la granulométrie et par endroits, une néominéralisation de cristaux de quartz de plus petite dimension (quartz saccharoïde) en bordures et à l'intérieur des grains cataclasés. Ainsi, il existe au moins deux générations de quartz. Une première génération cataclasée et une seconde néominéralisée, issue, en tout ou en partie, de la première. Outre les sulfures, les veines de quartz contiennent également de faibles proportions ($\leq 5\%$) de carbonates, séricite, leucoxène, tourmaline et chlorite. Ces minéraux proviennent régulièrement de l'altération de fragments d'encaissant incorporés dans les veines de quartz. Il s'agit, en effet, des mêmes phases d'altération que celles observées dans l'encaissant accolé aux veines. La présence de leucoxène issu du remplacement de la titanomagnétite primaire est à cet égard très significative.

Par endroits, on note également la présence de carbonates, de séricite et de tourmaline, associés ou non avec des sulfures, localisés dans des zones de quartz déformé et néominéralisée. Ces minéraux de gangue, ne semblent pas provenir de fragments d'encaissant étant donné l'absence de leucoxène, il s'agit de toute évidence de phases hydrothermales.

5.3.2.2 Phases métalliques

Les phases métalliques observées dans les zones minéralisées sont principalement la pyrite et l'arsénopyrite. De plus, des traces de pyrrhotite, d'or natif, de chalcoppyrite, de sphalérite et de galène ont également été notées. Nous les décrivons dans l'ordre.

La pyrite constitue avec l'arsénopyrite la principale phase métallique observée. Elle est en faible proportion (≤ 1 à 2%) dans les veines de quartz. Toutefois, elle forme localement (veine Mann) des agrégats grossiers de plusieurs centimètres et représente alors jusqu'à 5-10% de l'ensemble des constituants. La pyrite forme des cristaux idiomorphes de $\leq 3\text{mm}$ et des agrégats millimétriques disséminés. Relativement peu déformée, la pyrite est fracturée mais assez rarement cataclasée. Elle s'associe fréquemment à des minéraux de gangue, en particulier au leucoxène. Nous avons en effet très souvent observé des contacts entre la pyrite et le leucoxène (figure 63 A) et des inclusions de ce dernier dans la pyrite. La pyrite semble également, par endroit, en remplissage de fractures dans le quartz cataclasé de première génération et également en inclusion dans du quartz. La pyrite contient de nombreuses inclusions de gangue (carbonate, séricite, quartz et tourmaline) et également des inclusions de toutes les autres phases métalliques observées y compris l'arsénopyrite et l'or (figure 64 A). À la veine no 1 une certaine zonalité minéralogique impliquant la pyrite a été observée. En effet, on constate, au contact entre l'encaissant et la veine de quartz, de l'arsénopyrite puis de la pyrite et ensuite du quartz (figure 63 B). Le contact entre l'arsénopyrite et la pyrite est franc et net, sans remplacement, et on y observe fréquemment des plages d'or.

La proportion d'arsénopyrite, dans les veines de quartz étudiées, varie de 0 à 100% de l'ensemble des sulfures présents. Elle peut donc, par endroit, constituer la principale phase métallique. Elle est principalement observée dans la veine de quartz. On l'observe également

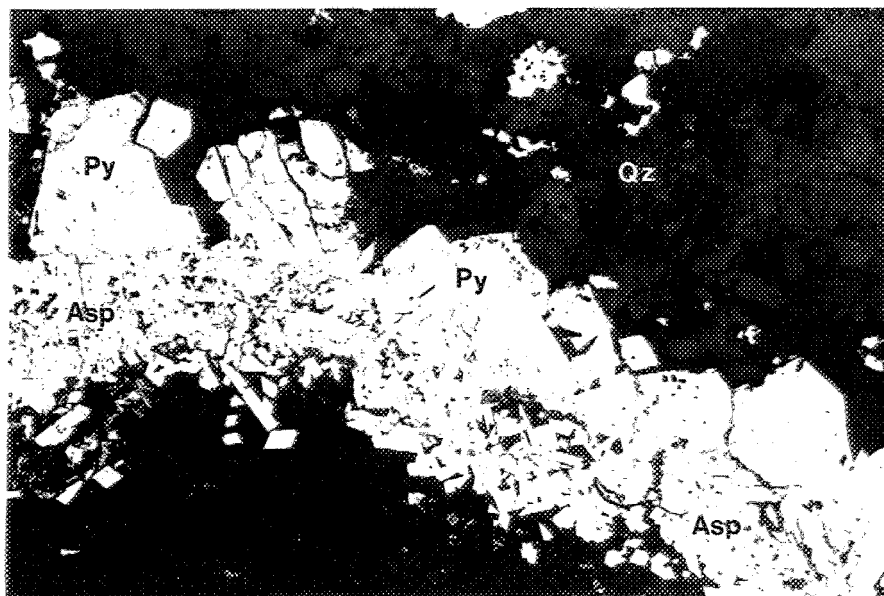
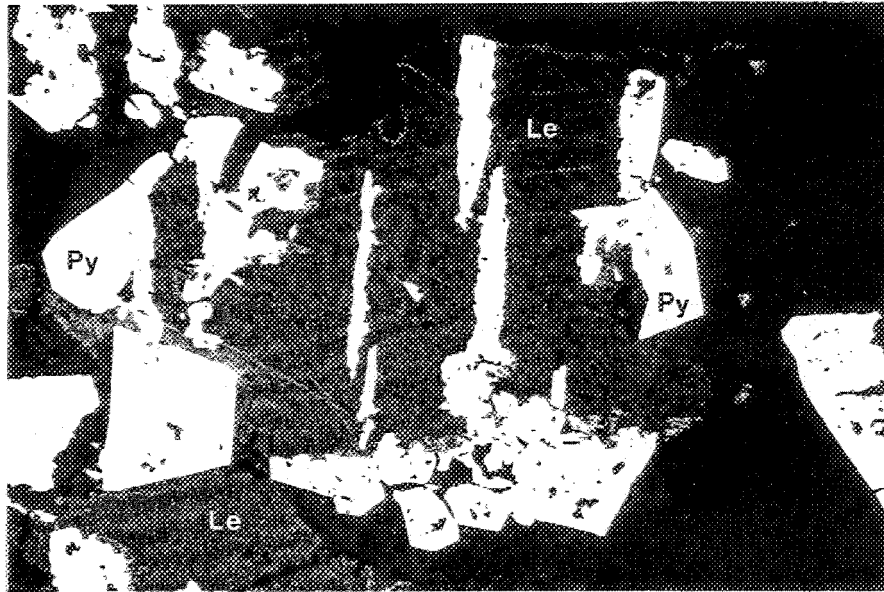


Figure 63: A) Photomicrographie montrant de la pyrite (Py) intimement associée à du leucoxène (Le) (veine Sharpe). Lumière réfléchie, nicol simple. Largeur de la photo : 0,65 mm.

B) Photomicrographie montrant la présence de pyrite au contact entre l'encaissante et la veine, et la formation postérieure d'arsénopyrite et de quartz.

Figure 64 : A) Photomicrographie illustrant la présence d'or (Au) en inclusion dans la pyrite (Py). Lumière réfléchie et analysée. Largeur de la photo : 0,32 mm.

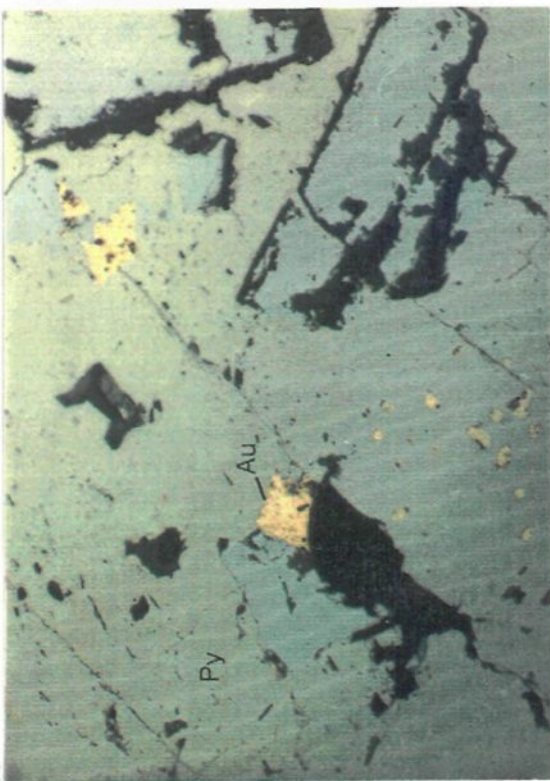
B) Photomicrographie montrant la présence d'or (Au) au contact entre le quartz (Qz) et l'arsénopyrite (Asp). Veine New Vein. Lumière réfléchie et analysée. Largeur de la photo : 0,32 mm.

C) Photomicrographie montrant la présence d'or (Au) en remplissage de fractures dans du quartz (Qz). Veine Mann. Lumière réfléchie et analysée. Largeur de la photo : 0,32 mm.

B



A



C



dans l'encaissant gabbroïque accolé à la veine. Toutefois, sa distribution dans l'encaissant semble plus restreinte que celle de la pyrite. Elle se localise, en effet, surtout à proximité du contact avec la veine de quartz. Dans les veines de quartz, l'arsénopyrite se présente en cristaux idiomorphes de 0,1 à 4 mm et en agrégats pouvant atteindre quelques centimètres. Dans l'ensemble, l'arsénopyrite est peu déformée. Elle est surtout fracturée et ces fractures sont cimentées par du carbonate, du quartz et/ou de la séricite. Elle est par endroit entourée de chlorite et/ou de tourmaline. Elle est parfois en inclusion dans du quartz et contrairement à la pyrite, elle contient peu d'inclusions de gangue. Toutefois, on observe localement, des inclusions de chalcopryrite, de pyrrhotite et d'or. Tout comme la pyrite, l'arsénopyrite est fréquemment associée à des grains de leucoxène.

La pyrrhotite est peu abondante. Nous l'avons observée principalement à la veine Mann et dans le forage N 81-11 (New Vein). À la veine Mann, la pyrrhotite est associée aux agrégats de pyrite. Elle forme alors, par endroit, une matrice dans laquelle baignent la pyrite, l'arsénopyrite, la chalcopryrite et la galène. Les contacts entre la pyrrhotite et les autres phases métalliques sont francs et nets. Dans le forage N 81-11 recoupant la veine New vein, la pyrrhotite représente la principale phase métallique formée dans l'encaissant gabbroïque accolé aux veines de quartz, mais elle est par contre absente dans les veines de quartz. La pyrrhotite, tout comme la pyrite, contient de nombreuses inclusions de gangue (séricite, chlorite et carbonates). Elle contient également, à l'occasion, des inclusions de chalcopryrite et de pyrite.

Nous avons observé plus de 200 plages d'or lors de notre étude pétrographique en lumière réfléchie. Leur diamètre varie de 0,0012 à 0,15 mm. Le diamètre moyen est toutefois de l'ordre de 0,01 à 0,05 mm. L'analyse à la microsonde de 6 grains d'or répartis dans trois échantillons différents révèle que ces grains sont constitués en moyenne, en terme de % de concentration, de 87 % d'Au et de 13 % d'Ag (tableau 10). On constate également des traces de Fe, Te, Sb et Hg. Cette composition chimique correspond à celle de l'or argentifère (Boyle, 1979). Le rapport "fineness" est de 867, selon la classification de Rose et Morrison (1988), il s'agit d'or natif. La majorité des plages ont été observées en inclusion dans la pyrite (figure 64 A) et l'arsénopyrite, au contact entre la pyrite et l'arsénopyrite et entre le quartz et la

Tableau 10 : Composition chimique moyenne de l'or à la mine Norbeau telle que déterminée par analyse quantitative à la microsonde électronique.

Numéro d'échantillon	PB-509-85	PB-420b-86	Mann-2	Moyenne
Nombre d'analyses	2	2	2	
Au	87.80	85.98	87.23	87.00
Ag	12.88	14.40	12.79	13.36
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00
Hg	0.39	0.05	0.17	0.20
Te	0.07	0.10	0.10	0.09
Sb	0.00	0.05	0.01	0.02
Fe	<u>0.16</u>	<u>0.29</u>	<u>0.06</u>	0.17
Total	101.30	100.87	100.36	

Fineness $Au/(Au + Ag) \times 1000 = 867$

	<u>Composition chimique exprimée en terme de % atomique</u>			
Au	0.78	0.76	0.78	0.77
Ag	0.21	0.23	0.21	0.22
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00
Hg	0.00	0.00	0.00	0.00
Te	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.01	0.01	0.00	0.01

pyrite ou l'arsénopyrite (figure 64 B) et localement (veine Mann) en remplissage de fractures dans le quartz (figure 64 C). Nous avons également noté de l'or au contact entre la pyrite et la chalcopryrite qui est elle-même en inclusion dans la pyrite (figure 65 A) et nous avons observé, à un endroit, de l'or en inclusion dans du leucoxène (figure 65 B). Dans l'ensemble, l'or ne semble pas être en remplissage de fractures. Toutefois, Prochnau (1971) mentionne, dans son étude minéragraphique à Norbeau, la présence d'or en veinules de plusieurs millimètres, en remplissage de fractures dans la pyrite. L'or est alors parfois associé à la chalcopryrite, la sphalérite ou la galène ou en inclusion dans ces derniers. Il rapporte également la présence d'or sous la forme de veinules ou particules irrégulières en remplissage dans le quartz.

Les autres phases métalliques observées ne représentent que des traces. Il s'agit, par ordre d'importance, de chalcopryrite, de sphalérite et de galène. La chalcopryrite forme parfois des plages libres dans le quartz. Toutefois, dans l'ensemble, ces phases sont plutôt observées en inclusion dans la pyrite et, sauf la galène, dans l'arsénopyrite.

5.3.3 Paragenèse métallique

Les observations minéragraphiques réalisées permettent de proposer une paragenèse métallique basée principalement sur les relations texturales observées. Ainsi, les sulfures présents dans les veines de quartz se sont formés, en grande partie, par réaction entre les fragments d'encaissants incorporés dans la veine et le fluide. Les sulfures sont en effet très fréquemment accolés aux grains de titanomagnétite primaire présents dans ces fragments d'épontes. Ces derniers sont fortement déformés. La déformation observée dans ces fragments et dans le quartz localisé en bordure, pourrait avoir été accentuée étant donné le contraste de compétence marqué existant entre ces deux types de matériel. De la même façon, les sulfures présents dans ces fragments ne sont pas fortement déformés, les minéraux de gangue ayant accaparés une bonne part de la déformation. Les sulfures se sont également formés, plus localement, par une précipitation contemporaine au quartz primaire. On observe en effet des cristaux de pyrite ou d'arsénopyrite en inclusions dans des cristaux de quartz déformés ou

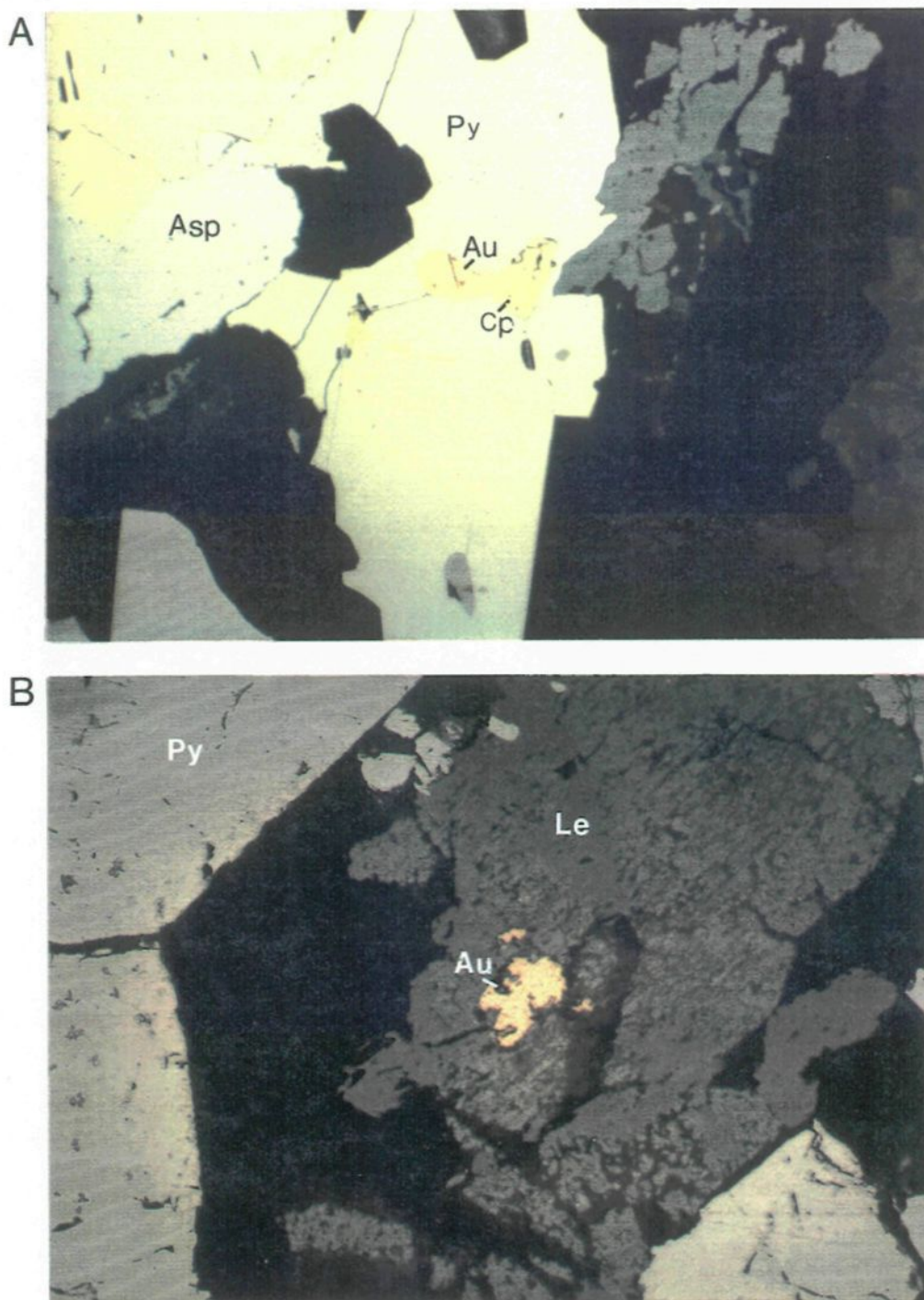


Figure 65 : A) Photomicrographie montrant la présence d'or (Au) au contact entre la pyrite (Py) et la chalcopyrite (Cp) qui est elle-même en inclusion dans la pyrite (Veine Sharpe). Lumière réfléchie, nicol simple. Largeur de la photo : 0,32 mm.

B) Photomicrographie montrant la présence d'or (Au) dans du leucoxène (Le) (veine #1) Lumière réfléchie, nicol simple. Largeur de la photo : 0,32 mm.

localisés au contact avec des grains de quartz cataclasés, suggérant ainsi que ces sulfures ne sont pas tardifs au quartz mais plutôt contemporain à celui-ci. Finalement on note la présence d'agrégats de pyrite-arsénopyrite et/ou de gangue en remplissage dans des zones de quartz fortement cataclaté. Les sulfures et les minéraux de gangue (carbonates ($\leq 1\%$) et des traces de séricite et tourmaline) sont clairement localisés dans des zones fortement déformées. Dans ces zones les grains de quartz sont de plus petites dimensions et possiblement recristallisés ou du moins polygonisés. Alors que de part et d'autre de ces zones, les grains de quartz sont beaucoup plus grossiers. Certains grains de pyrite ou d'arsénopyrite sont alors porphyroblastiques et relativement peu déformés en comparaison avec le quartz qui les entoure. Ces sulfures sont donc en remplissage suite à une redistribution provoquée par la déformation ou suite à une précipitation un peu tardive au quartz. À la veine Mann, des agrégats de pyrite grossiers sont localisés au contact avec du quartz très déformé et ils se situent dans des ouvertures du type "géode". Celles-ci contiennent, en plus des sulfures, des carbonates et du quartz idiomorphes et témoignent d'une mise en place par remplissage d'ouverture.

Ainsi, ces veines de quartz se sont mises en place dans un environnement dynamique (zones de cisaillement) qui a continué de se déformer même après la formation de celles-ci. L'intense cataclase subie par ces veines et veinules aurait donc créé des ouvertures permettant la redistribution et/ou la mise en place des sulfures, de l'or et de certains minéraux de gangue.

Selon les observations pétrographiques, la majorité des phases métalliques ont commencé à précipiter simultanément. Toutefois, comme la pyrite contient des inclusions de toutes les autres phases métalliques, elle semble avoir continué à se développer après la formation des autres phases métalliques qu'elle a incorporées tout comme de nombreux cristaux de gangue. La pyrite semble donc porphyroblastique. Il en est de même pour la pyrrhotite observée dans le secteur de la veine Mann et de la veine New vein.

Comme la plupart des sulfures sont soit : disséminés dans le quartz, localisés dans des fragments de roche encaissantes incorporés dans la veine de quartz, ou situés au contact entre la veine et l'encaissant ou très près de ce contact, il semble donc exister un lien spatial et

génétique entre la présence de la roche encaissante et la présence des sulfures. Ce lien est mis en évidence par la relation intime entre le leucoxène, issu du remplacement des titanomagnétites primaires, et les phases métalliques. Cette relation suggère donc que le Fe présent dans les sulfures est dérivé des épontes. Nous avons d'ailleurs observé des contacts de remplacement et des inclusions de leucoxène dans la pyrite, l'arsénopyrite et la pyrrhotite, qui démontrent que ces phases métalliques ont utilisé le fer des titanomagnétites primaires pour se former. Il s'agit là d'une observation que nous avons également noté ailleurs dans le filon-couche de Bourbeau (Dubé et al., 1987; Dubé et Guha, 1989). Finalement, les plages d'or sont, pour la plupart, en inclusion dans la pyrite et l'arsénopyrite ou au contact entre ces deux phases. Elles semblent en inclusion et rarement en remplissage de fractures.

5.4- Comparaisons entre les mines Cooke et Norbeau

Les mines Cooke et Norbeau présentent certaines analogies mais également des différences majeures. D'une part, on constate que les veines de quartz cartographiées dans ces deux mines présentent par endroit, des textures du type "open space filling" suggérant un remplissage de cavités ouvertes. Les déformations sont également importantes et les veines contiennent deux générations de quartz, une première fortement déformée et une deuxième néominéralisée et issue en tout ou en partie du quartz de première génération. Toutefois, la mine Cooke présente des différences très marquées par rapport à la mine Norbeau notamment en ce qui concerne les assemblages métalliques et les minéraux de gangue. En effet, la présence d'axinite et de feldspath potassique, fréquemment hématisé, est caractéristique de la mine Cooke. De plus, on observe, chez cette dernière, une plus grande abondance de calcite. Les assemblages métalliques sont également très différents. Alors qu'à la mine Cooke la proportion de sulfure est grande, elle ne dépasse pas 5 % à la mine Norbeau. À la mine Cooke, on note la présence de chalcopryrite, pyrrhotite, arsénopyrite et pyrite alors qu'à Norbeau, il s'agit principalement d'arsénopyrite et de pyrite. Les sulfures sont également plus intensément déformés à la mine Cooke qu'à la mine Norbeau. Par contre, l'or se présente fréquemment en inclusion dans les sulfures ou en remplissage de fractures de ces derniers dans les deux cas. La composition chimique de l'or présente certaines variations. Malgré le fait qu'il s'agit d'or natif chez les deux mines, le

contenu en Ag est nettement plus élevé, en terme de concentration, à la mine Cooke (17,9 %) qu'à la mine Norbeau (13,4%). Il est à noter toutefois que ces valeurs sont basées sur un nombre limité d'analyses et qu'il est possible que la variation de composition de l'or dans un des deux gisements étudiés excèdent cette différence. Le rapport "fineness" est également différent 819 à Cooke pour 867 à Norbeau. Ces valeurs se situent dans la fourchette de variation (780-1000) du rapport "fineness" chez les gisements aurifères Archéens (Rose et Morrison, 1988), toutefois ces rapports sont nettement moindres que la valeur moyenne (940) pour cette catégorie de gisement.

La mise en place des sulfures a eu lieu, chez les deux mines étudiées, dans un milieu dynamique (zones de cisaillement) qui a continué de se déformer même après la formation des veines. Ces mouvements ont engendré la déformation, la redistribution et possiblement, par endroit, la redissolution et reprécipitation des sulfures. À la mine Cooke, ce processus a généré des textures complexes étant donné l'abondance de sulfures ductiles (chalcopyrite et pyrrhotite). De plus, des mouvements ultérieurs provoqués par des failles tardives ont également possiblement joué un rôle non-négligeable dans la déformation observée.

Les sulfures présents dans les veines de quartz de la mine Norbeau présentent un lien spatial et génétique intimes avec la présence de leucoxène. Ce dernier est issu du remplacement des titanomagnétites primaires et témoigne de l'influence importante de la roche encaissante sur la précipitation des sulfures. À l'inverse, à la mine Cooke cette relation texturale et paragenétique est absente et l'influence directe de la roche encaissante sur la précipitation des sulfures n'est donc pas autant manifeste.

CHAPITRE 6

ALTÉRATION HYDROTHERMALE ASSOCIÉE AUX ZONES AURIFÈRES

6.1- Introduction

Mégascopiquement, l'altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine Cooke est peu développée. En effet, elle est pratiquement restreinte à la zone de cisaillement même. Elle se caractérise par la chloritisation et la carbonatation (calcite). Tandis que la chloritisation affecte l'ensemble des constituants de la roche, et s'avère parfois totale, la carbonatation se manifeste fréquemment sous forme de veinules de calcite mises en place dans le gabbro, à l'intérieur et à l'extérieur de la zone de cisaillement. À l'inverse, l'altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine Norbeau est très bien développée et s'avère typique des gisements du type "lode gold" (Roberts, 1987). Elle se caractérise mégascopiquement par une intense carbonatation (ankérite et calcite), une chloritisation, une séricitisation et une pyritisation de l'éponte. Cette altération est intimement associée à des zones de cisaillement contenant des veines de quartz aurifère. Comme souligné, par Rose et Burt (1979), l'altération hydrothermale est un type de métamorphisme impliquant la recristallisation, en tout ou en partie, d'une roche parente, en un nouvel assemblage minéralogique plus stable sous des conditions physico-chimiques différentes de celles présentes lors de sa formation. La déformation associée aux zones de cisaillement et l'ascension du fluide hydrothermal à travers ces zones de fractures ont eu pour effet de modifier la composition chimique des roches affectées. Ainsi, ces modifications minéralogiques et chimiques permettent d'obtenir de précieuses informations sur la nature du fluide minéralisateur qui a circulé à travers les roches encaissantes.

Afin d'étudier ces altérations hydrothermales de façon détaillée et de pouvoir identifier la nature et les proportions des différentes phases minéralogiques de même que les modifications chimiques des roches, nous avons réalisé une étude pétrographique et lithogéochimique des zones d'altération. Pour ce faire, nous avons choisi d'utiliser, à la mine Cooke, des échantillons de trous de sondage car ces derniers présentent des sections continues de part et d'autre des zones minéralisées et nous permettent de mieux sélectionner les zones d'intérêt. Dans les galeries, la largeur de la zone observable et le choix des échantillons étaient beaucoup plus restreints. Dans

cette optique, nous avons sélectionné les forages S-588, U-9399, U-9389, U-15331, S-611 et S-578. À la mine Norbeau, nous avons choisi d'utiliser des échantillons provenant de trous de sondage et de coupes réalisées à la surface: la veine New Vein a été étudiée à l'aide du forage N-81-11 et d'une section réalisée en surface (section New Vein); pour la veine Sharpe nous avons sélectionné le forage SH-8-85 accompagné d'une section en surface (section Sharpe), à la veine no 1, nous avons utilisé une section de surface et le forage N-87-2 et, finalement, à la veine Mann, nous avons utilisé une section réalisée dans la galerie d'accès et le forage Mann 1-85.

Notre étude pétrographique porte sur plus d'une centaine de lames minces pour chacune des deux mines. Une attention spéciale a été accordée aux transformations minéralogiques survenues et aux textures des différentes phases minérales. Plusieurs dizaines d'analyses à la microsonde ont également été effectuées afin de confirmer la nature de certains minéraux et de déterminer leur composition exacte. Par la suite, nous avons réalisé une étude lithogéochimique dans le but de définir les modifications chimiques subies par les roches soumises aux déformations et à l'altération hydrothermale. Cette démarche nous permettra de préciser le métasomatisme associé aux transformations minéralogiques présentées précédemment, de mieux comprendre les processus associés à la mise en place de la minéralisation et de fournir possiblement des outils d'exploration. Cette étude a été réalisée en trois étapes. Nous avons d'abord effectué une étude qualitative utilisant des rapports d'oxydes et d'éléments. Dans un second temps, nous avons réalisé une étude quantitative en tenant compte des modifications de volume et de compositions (Gresens, 1967) de façon à évaluer les gains et pertes subis par les roches métasomatisées, complétée d'une étude statistique sommaire de certains éléments indicateurs (Au, Cu, As, Ag, S, CO₂).

Comme l'altération hydrothermale développée à la mine Cooke et très différente de celle observée à la mine Norbeau, nous avons jugé préférable de présenter séparément les résultats de cette étude.

6.2- Altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine

Cooke

6.2.1 Introduction

Dans le cadre de l'analyse pétrographique des altérations hydrothermales, nous avons étudié en détail plus d'une centaine d'échantillons mégascopiques et de lames minces provenant des six trous de sondage (S-588 (figure 66), U-9399 (figure 67) , U-9389 (figure 68), U-15331 (figure 69), S-611 et S-578). Nous présentons d'abord une synthèse des observations minéralogiques. Nous enchaînerons par la suite avec le regroupement des minéraux sous forme de faciès d'altération. Finalement, nous discuterons de l'axinite, un minéral ayant un comportement plutôt particulier. Le lecteur doit bien prendre note que les minéraux sont présentés sous forme d'assemblage minéralogique et non pas en termes de paragenèse suggérant qu'un équilibre existe nécessairement entre eux.

Les forages S-588 et S-611 recoupent la veine no 7 et se trouvent dans le leucogabbro, tandis que les forages U-9399, U-9389 et S-578 sont situés dans la même roche encaissante mais recoupent la veine no 9. Le forage U-15331 se situe dans le ferrogabbro et intersecte la veine no 9. Les figures 66 à 69 présentent un sommaire de nos observations. On y trouve une représentation schématique des différentes unités lithologiques intersectées, les principaux minéraux d'altération présents dans les échantillons étudiés de même qu'une évaluation qualitative de l'intensité de la déformation basée sur l'intensité de la foliation et de la fracturation. La déformation maximum correspond au coeur de la zone de cisaillement, son intensité diminue graduellement de part et d'autre. Nous avons également considéré les forages S-578 et S-611.

6.2.2 Pétrographie des altérations

Dans chacun des forages étudiés, la minéralisation se présente à l'intérieur de zones de cisaillement et de fractures dont la largeur varie d'un centimètre (U-9399, figure 67) à environ 12 m (S-588, figure 66). Ces zones déformées contiennent des veines et veinules de quartz, calcite et sulfures contenant fréquemment de l'axinite et/ou de la microcline hématisée et sont entourées par une zone où l'encaissant gabbroïque est relativement peu déformé mais recoupé de veinules. Ces dernières sont généralement constituées, en bordure, de quartz et d'albite et, au coeur, de calcite. On constate que les zones de cisaillement se

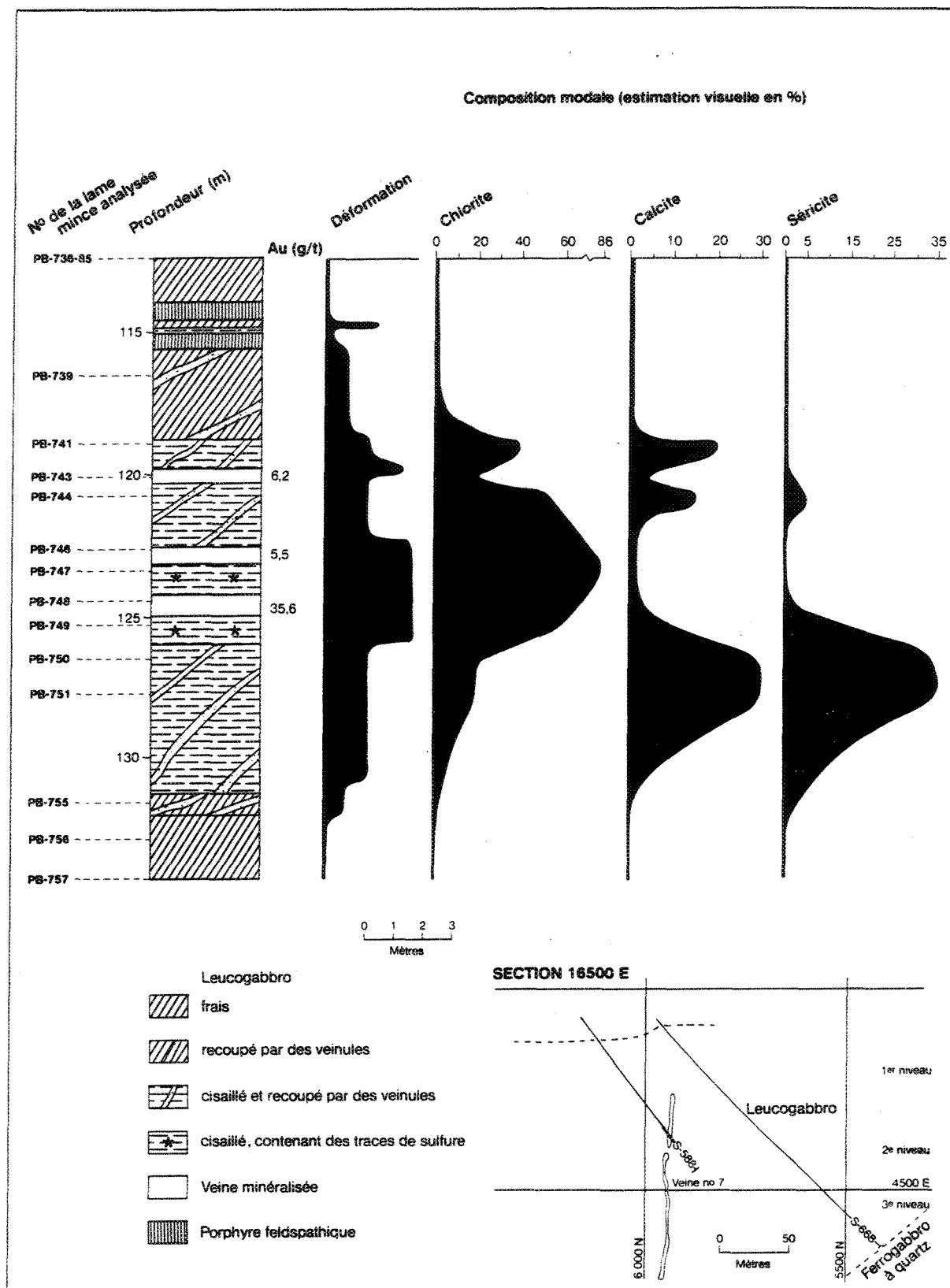


Figure 66: Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans le forage S-588, veine 7. Tirée de Dubé et Guha, 1989.

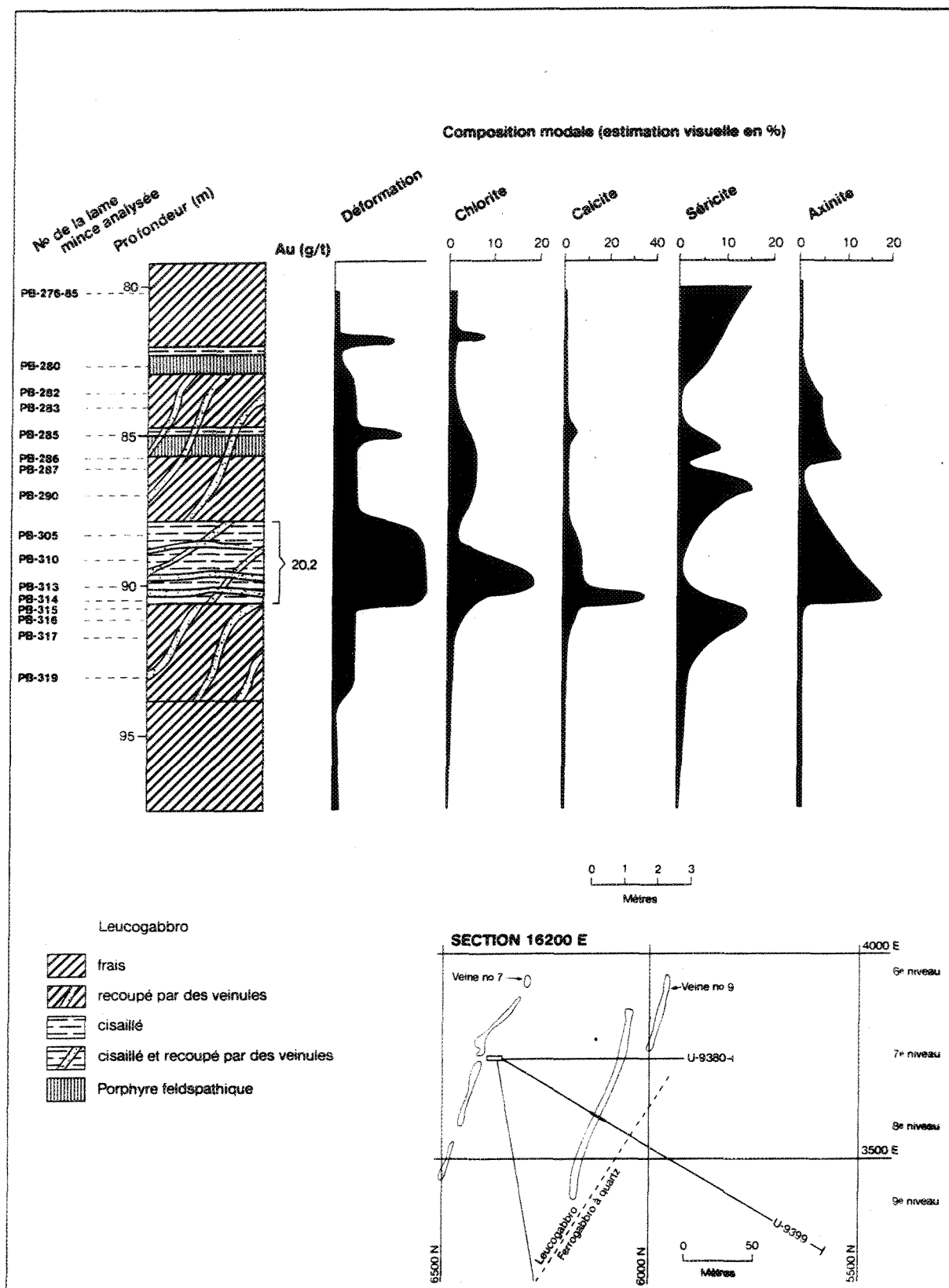


Figure 67: Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans le forage U-9399, veine 9. Tirée de Dubé et Guha, 1989.

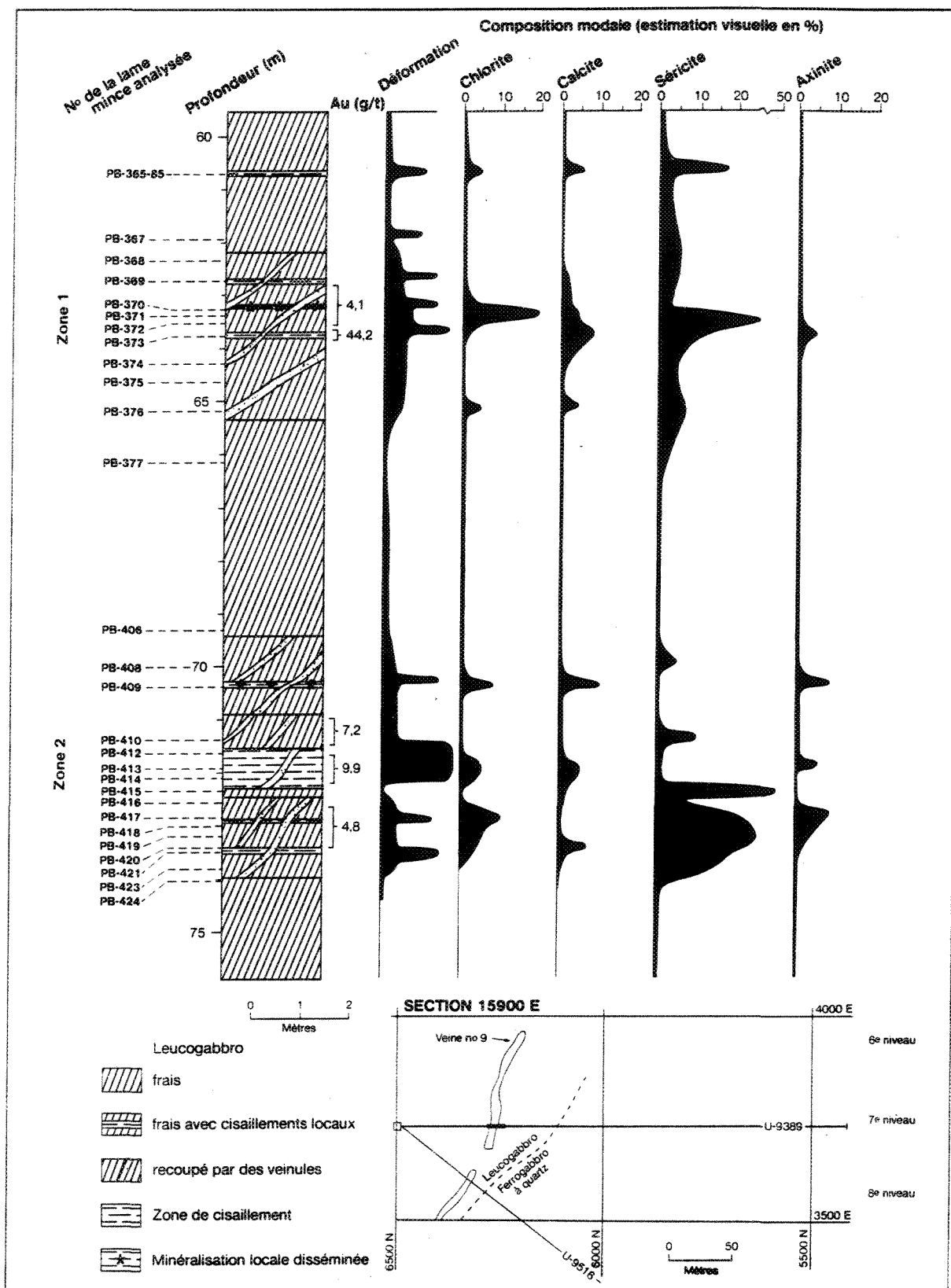


Figure 68: Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans le forage U-9389, veine 9. Tirée de Dubé et Guha, 1989.

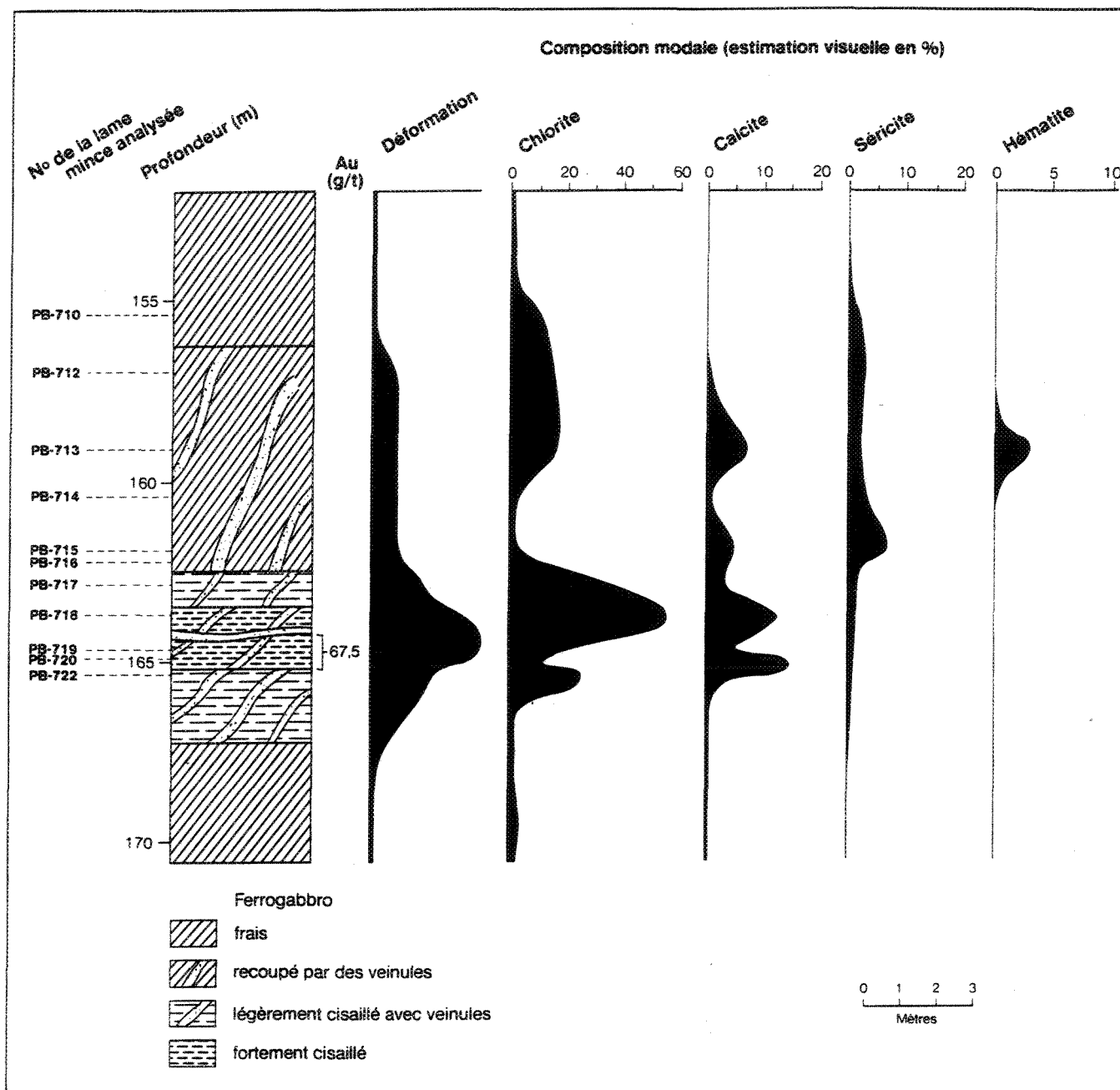


Figure 69: Profil pétrographique des altérations hydrothermales observées dans le forage U-15331, veine 9. Tirée de Dubé et Guha, 1989.

caractérisent par une chloritisation de l'encaissant. La quantité de chlorite varie de 5 % à 86 % de l'ensemble des constituants. La chlorite se forme en remplacement de la hornblende (annexe 2, tableau 1) et du plagioclase. Là où la chloritisation devient très intense (S-588, figure 66), la chlorite forme alors un genre de matrice orientée parallèlement à la schistosité ou au cisaillement. La chlorite se présente également en veinules associées ou non à du quartz ou de la calcite.

On note également une certaine carbonatation dans toutes les zones de cisaillement et également dans les zones peu déformées mais recoupées de veinules qui enveloppent la zone minéralisée (S-588 et U-15331, figures 66 et 69). L'abondance de carbonate varie de 3 % à près de 40 % de l'ensemble des constituants (U-9399, figure 67). Il s'agit principalement de calcite car la roche réagit très fortement à l'acide chlorhydrique à froid. Onze analyses à la microsonde électronique, réparties sur quatre échantillons provenant de forages différents (annexe 2 tableau 2) confirment notre identification. La calcite remplace la hornblende et le plagioclase. On l'observe également sous forme de veinules associées ou non à d'autres minéraux. La séricite caractérise l'altération observée dans l'enveloppe entourant les zones de cisaillement : son intensité varie de 1 à 50 % (U-9389, figure 67). La séricite se présente principalement en remplacement des plagioclases. Deux analyses à la microsonde présentées au tableau 11 confirment que ces micas blancs possèdent une composition chimique similaire à celle de la muscovite (Deer *et al.*, 1966). Comme ces micas blancs sont finement grenus, ils correspondent donc à de la séricite (Deer *et al.*, 1966). Cette séricitisation contraste fortement avec la saussuritisation observée régionalement et localement dans les plagioclases du faciès leucogabbroïque; ceux-ci ayant été uniquement affectés par le métamorphisme régional. La séricite forme également des veinules orientées parallèlement à la schistosité ou au cisaillement.

On constate également, dans les forages U-9399, U-9389, S-578 et S-611, la présence d'axinite dans la zone minéralisée et dans la zone qui la précède (U-9399). L'axinite est incluse dans les veines de quartz/feldspath/calcite/chalcoppyrite ou se trouve en bordure de celles-ci. Une discussion exhaustive du mode d'occurrence de l'axinite, sa composition et sa paragenèse est présentée à la fin de la présente section.

Finalement, dans les forage U-15331, S-578 et S-611, on note la présence d'une faible

Tableau 11: Composition chimique de la séricite à la mine Cooke telle que déterminée par analyse à la microsonde.

Numéro d'échantillon No d'analyse	BD-PB-751-85 1	BD-PB-751-85 2	Moyenne
SiO ₂	47.68%	48.93%	48.76%
Al ₂ O ₃	28.71	32.10	30.41
TiO ₂	0.19	0.07	0.13
Cr ₂ O ₃	0.19	0.07	0.13
FeO	3.12	2.90	3.01
MnO	0.05	0.00	0.03
MgO	2.39	1.73	2.06
CaO	0.13	0.09	0.11
Na ₂ O	0.05	0.00	0.03
K ₂ O	<u>10.36</u>	<u>10.45</u>	<u>10.41</u>
total	92.72	97.26	95.02

Formule sur la base de 22 Oxygènes

Si	6.578	6.510	6.544
Al	1.422	1.490	1.456
Ti	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>
	8.00	8.00	8.00
Al	3.247	3.453	3.350
Ti	0.020	0.007	0.014
Cr	0.004	0.009	0.007
Fe	0.360	0.317	0.339
Mn	0.006	0.000	0.003
Mg	<u>0.492</u>	<u>0.337</u>	<u>0.415</u>
	4.129	4.123	4.128
Ca	0.019	0.013	0.016
Na	0.014	0.000	0.007
K	<u>1.824</u>	<u>1.741</u>	<u>1.783</u>
	1.857	1.754	1.806

hématisation dans les zones peu déformées mais recoupées par des veinules. Cette hématisation se présente sous forme de très fines particules d'hématite en inclusion dans les cristaux feldspath potassique microcline présents à l'intérieur de veinules et fréquemment associés à des grains de quartz, de calcite et d'albite.

6.2.3 Faciès d'altération

Comme proposé par Meyer et Hemley (1967), il est possible, malgré l'intensité d'altération relativement faible, de regrouper les minéraux d'altération en au moins trois faciès relativement distincts : une zone à séricite \pm calcite \pm chlorite, une zone à chlorite + calcite \pm axinite et, finalement, une zone à chlorite massive (S-588) en s'approchant des zones minéralisées.

6.2.3.1 Faciès à séricite \pm calcite \pm chlorite

Le faciès à séricite \pm calcite \pm chlorite s'associe à une zone faiblement déformée. Il correspond à la zone d'altération observée dans l'enveloppe des zones de cisaillement. La roche est généralement fracturée mais généralement peu ou pas schisteuse et elle contient de nombreuses veinules. Malgré le degré de déformation généralement faible, la texture originale de la roche est, par endroits, masquée par l'altération, en particulier la séricitisation des plagioclases (S-578). La séricite est en effet la principale phase minéralogique caractérisant ce faciès. Sa proportion varie de 5 à 50 % (U-9389, figure 68), mais en moyenne elle représente environ 20 % des constituants (tableau 12). La séricite se présente principalement en remplacement pseudomorphique du plagioclase (figure 70 A). On l'observe également dans la mésostase ou à l'intérieur de veinules. La séricite forme également des veinules orientées parallèlement à la schistosité ou au cisaillement.

En général, la chlorite représente de 5 à 10 % de l'ensemble des constituants dans ce faciès. On l'observe en remplissage de fractures recoupant l'amphibole, dans des veinules et, localement, en fines inclusions dans le plagioclase. La composition chimique moyenne de la chlorite présente dans ce faciès d'altération a été déterminée par analyse à la microsonde de 17 grains répartis dans 4 échantillons différents (tableau 13). Porté sur le diagramme de Hey (1967) (figure 71), on constate qu'il s'agit de ripidolite. Le rapport $Fe/(Fe+Mg)$ de ces chlorites est de 0,56.

Tableau 12 Variation d'assemblages minéralogique en fonction des faciès d'altération observés à la mine Cooke. La largeur du trait représente l'abondance relative.

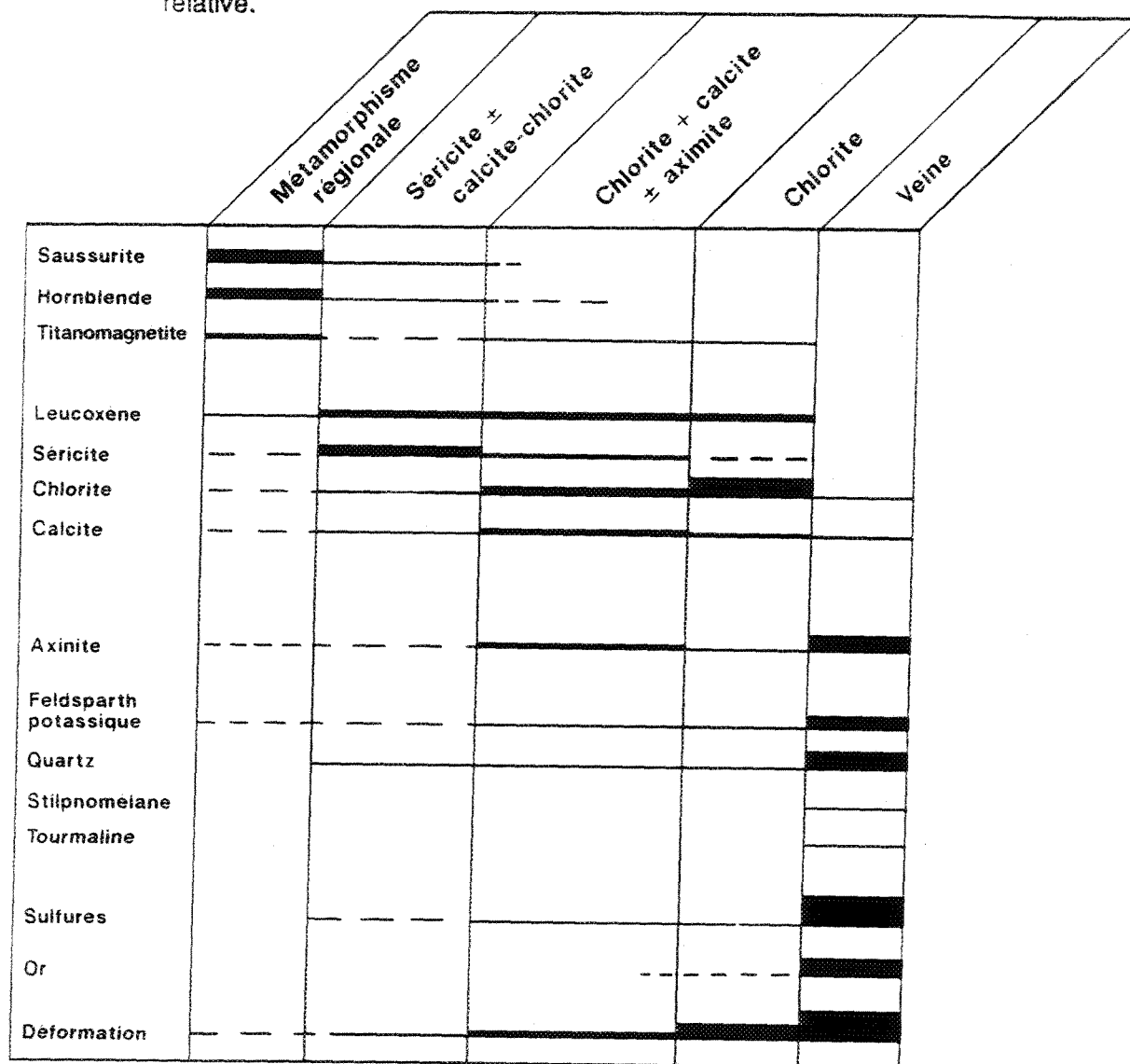


Figure 70: A) Photomicrographie montrant un cristal de plagioclase fortement séricitisé (Se) entouré de chlorite (Cl). Lumière transmise, analysée et polarisée. Largeur de la photo : 2 mm.

B) Photomicrographie d'un cristal de plagioclase séricitisé (Se) qui a ultérieurement été chloritisé (Cl) Lumière transmise, analysée et polarisée. Largeur de la photo : 1 mm.

C) Photomicrographie illustrant la chloritisation (Cl) massive subie par le gabbro. À noter également la présence de grains de leucoxène-rutile (Le). Lumière transmise, analysée et polarisée. Largeur de la photo : 2 mm.

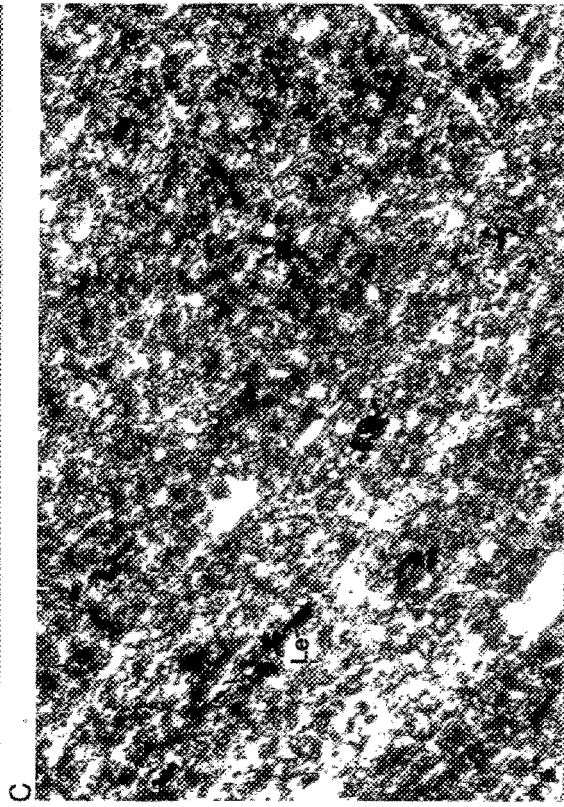
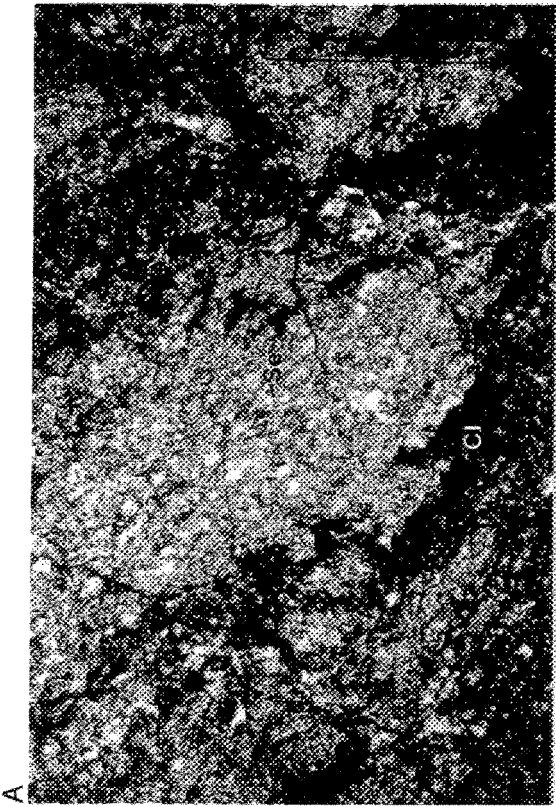
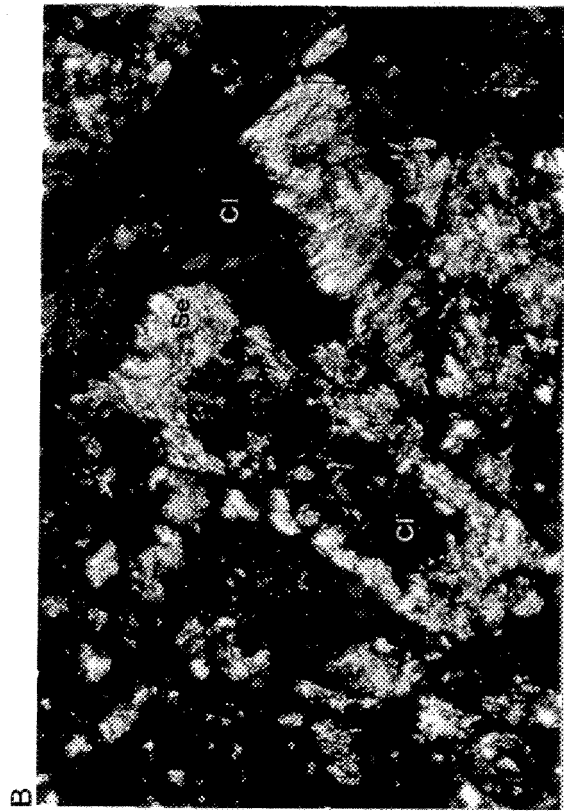


Tableau 13 : Composition moyenne de la chlorite en fonction du faciès d'altération.
Déterminée par analyse à la microsonde.

Faciès d'altération	Non-altérée	séricite/calcite chlorite	chlorite/calcite axinite	chlorite
Nombre d'échantillon	2	4	3	1
Nombre d'analyses	8	17	18	5
SiO ₂	25.88%	25.71%	26.11%	24.71%
Al ₂ O ₃	18.69	19.29	19.00	18.64
TiO ₂	0.09	0.06	0.07	0.06
FeO	27.36	29.90	28.95	33.97
MnO	0.34	0.34	0.31	0.31
MgO	14.92	13.15	13.73	9.66
CaO	0.20	0.17	0.04	0.03
Na ₂ O	0.08	0.08	0.02	0.03
K ₂ O	0.02	0.02	0.08	0.02
total	87.48	88.72	88.31	87.43

Formule sur la base de 28 Oxygènes

Si	5.55	5.50	5.58	5.51
Al	<u>2.45</u>	<u>2.50</u>	<u>2.42</u>	<u>2.49</u>
	8.00	8.00	8.00	8.00
Al	2.80	2.37	2.37	2.41
Ti	0.014	0.010	0.010	0.010
Fe	4.91	5.33	5.19	6.33
Mn	0.06	0.06	0.056	0.058
Mg	4.74	4.204	4.37	3.211
Ca	0.05	0.039	0.010	0.007
Na	0.03	0.031	0.006	0.014
K	0.006	0.007	0.021	0.006
Fe/(Fe+Mg)	0.51	0.56	0.54	0.66
Si	2.78	2.75	2.79	2.75

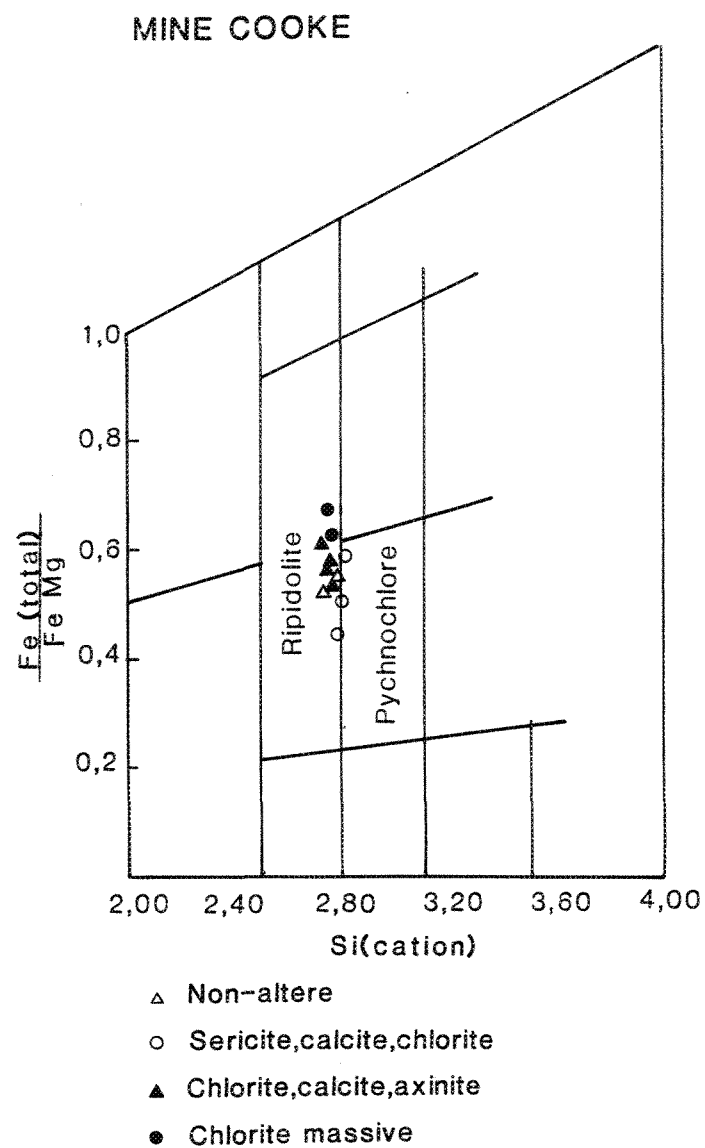


Figure 71: Diagramme de Hey (1967) montrant la différente composition chimique des chlorites en fonction du faciès d'altération. Mine Cooke.

La proportion de calcite varie de quelques traces à 30 %, mais en moyenne elle représente environ 5 % de l'ensemble des constituants. Elle est présente en remplacement des plagioclases et amphiboles (S-611). Les titanomagnétites primaires sont totalement ou partiellement remplacées par du leucoxène.

6.2.3.2 Faciès à chlorite, calcite \pm axinite

Le faciès à chlorite, calcite \pm axinite se trouve dans la zone de cisaillement contenant la minéralisation. Il s'associe donc à une zone relativement plus déformée que la zone à séricite \pm calcite \pm chlorite. Toutefois, cette déformation demeure relativement peu intense. La chlorite est la phase d'altération caractéristique. La proportion de chlorite varie de 7 à 50 % (moyenne 25 %) (tableau 12). Elle se forme en remplacement des amphiboles (hornblende et/ou actinote) et des plagioclases. Lorsque le remplacement des amphiboles est total, on note la présence de petits agrégats de rutile issus des résidus de titane présents originalement dans les amphiboles. La chlorite se présente également en veinules associées ou non à du quartz ou à de la calcite. La calcite est également présente dans ce faciès d'altération. La composition chimique moyenne des chlorites de ce faciès d'altération a été déterminée par l'analyse à la microsonde de 18 grains répartis dans 3 échantillons différents (tableau 13). Porté sur le diagramme de Hey (1967) (figure 71), on constate qu'il s'agit de ripidolite située à la frontière du champ des pycnochlorite. Le rapport $Fe/(Fe+Mg)$ de ces chlorites est de 0,54. Tout comme la chlorite, la calcite se forme principalement en remplacement des amphiboles et également des plagioclases. Sa proportion varie de 1 à 35 % (moyenne de 10 %).

On constate également, dans les forages U-9399, U-9389, S-578 et S-611, la présence d'axinite (≤ 18 %). L'axinite est incluse dans les veines de quartz/calcite \pm chalcopryrite ou se trouve en bordure de celles-ci. La section 6.2.3.4 traite spécifiquement de l'axinite. Les autres phases présentes dans ce faciès sont la séricite ($\leq 10\%$) et des traces d'épidote. Fait intéressant à souligner dans le forage S-588, on constate (PB-744-85) que les plagioclases séricitisés sont partiellement ou totalement chloritisés (figure 70 B). Ainsi, cette chloritisation associée à une déformation plus intense semble s'être formée, du moins localement, après la séricitisation qui elle, comme le suggère les observations faites dans la faciès d'altération précédent, est plutôt associée à une plus faible déformation et à la présence de veinules de quartz, d'albite, et de calcite. Des traces de quartz secondaire issu du remplacement intense des plagioclases sont également présentes. Localement, on note la

présence de veinules de feldspath potassique hématisé et de calcite, de quartz, de feldspath, de calcite et finalement de hornblende. Généralement, les veinules de quartz ou feldspath sont recoupées par des veinules de calcite.

6.2.3.3 Faciès à chlorite

Le faciès à chlorite est directement accolé aux veines minéralisées et se situe dans les zones fortement déformées comme c'est le cas dans le forage S-588 (figure 66). La présence de ce faciès est reliée à l'intensité de la déformation et sa largeur est généralement centimétrique à millimétrique. La roche se compose alors presque exclusivement de chlorite formant un genre de matrice orientée parallèlement à la schistosité ou au cisaillement (figure 70 C). La composition chimique moyenne des chlorites de ce faciès d'altération a été déterminée par analyse à la microsonde de 5 grains provenant d'un même échantillon (tableau 13). Porté sur le diagramme de Hey (1967) (figure 71), on constate qu'il s'agit de ripidolite. Le rapport $Fe/(Fe+Mg)$ de ces chlorites est de 0,66. Il est donc relativement plus élevé que celui déterminé chez les chlorites des faciès à séricite \pm calcite \pm chlorite et à chlorite, calcite \pm axinite.

On observe également dans ce faciès des grains de titanomagnétite ou d'ilménite, partiellement remplacés par du leucoxène (figure 70 C), des traces d'épidote et d'albite (5 %) et du quartz secondaire.

6.2.3.4 Minéral à comportement particulier: L'Axinite

Lors de notre cartographie à la mine Cooke, nous avons fréquemment observé la présence d'axinite. Il s'agit d'un calc-silicate de bore de couleur gris rosé ou violacé. Sa composition a été confirmée à l'aide d'une analyse par diffraction X et également par analyse à la microsonde (tableau 14). Selon Deer *et al.*, (1962), l'axinite est généralement présente dans les sédiments calcaires altérés et aussi dans les roches ignées basiques, particulièrement celles qui ont été carbonatisées (calcite) avant d'être métamorphisées. L'axinite peut également se former dans des veines associées à différents types de minéralisation (Heinrich, 1956). Enfin, selon Park et Mac Diarmid (1970), l'axinite peut se former à la place de la tourmaline dans des roches associées à la minéralisation et riches en alumine et en sodium.

Tableau 14: Composition* moyenne de l'axinite en fonction de son mode d'occurrence

	Avec sulfures	Dans veines de tension	Dans zone de faille
Nombre d'échantillon	3	4	1
Nombre d'analyses	15	18	10
SiO ₂	42.35%	42.99%	42.73%
TiO ₂	0.02	0.03	0.03
Al ₂ O ₃	16.96	17.16	16.99
FeO	8.41	8.09	8.13
MnO	1.38	2.07	1.30
MgO	2.49	1.58	2.10
CaO	20.14	20.46	20.35
Na ₂ O	0.03	0.01	0.00
K ₂ O	0.07	0.06	0.11
Total	91.85	92.45	91.74

Formule sur la base de 28 Oxygènes

Si	8.049	8.070	8.060
Ti	0.000	0.000	0.000
Al	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>
	8.049	8.070	8.060
Ti	0.003	0.004	0.004
Al	3.798	3.790	3.777
Fe	<u>0.199</u>	<u>0.206</u>	<u>0.219</u>
	4.000	4.000	4.000
Fe	1.138	1.064	1.064
Mn	0.222	0.340	0.207
Mg	0.524	.450	.589
Ca	<u>4.102</u>	<u>4.110</u>	<u>4.113</u>
	5.986	5.964	6.097
Na	0.010	0.000	0.000
K	<u>0.013</u>	<u>0.020</u>	<u>0.027</u>
	0.023	0.020	0.027

Mole % End members

Mn	3.83	6.46	3.70
Ca	72.51	71.85	73.41
Fe	23.66	22.20	22.89

* Les proportions cationiques sont calculées sur une base anhydre et ne contenant pas de bore, les proportions d'eau et de bore sont estimées comme étant stoéchiométriques (OH=2, B=2.0) conformément à Pringle et Kawachi (1980).

À la mine Cooke, l'axinite a été observée en remplissage de veines et veinules de tension (figure 72 A), constituées de calcite-quartz et \pm traces de chalcopryrite, à l'extérieur des zones de cisaillement. Elle est également présente comme constituant principal de la matrice de brèche hydrothermale dans le gabbro non déformé (figure 72 B). Par endroits, ces veines de tension sont recoupées par une zone de cisaillement associée à la minéralisation. L'axinite est également observée à l'intérieur de plans de faille ou à l'intérieur de veinules situées en bordure de ces plans de faille et elle est alors orientée sub-parallèlement ou à angle par rapport à ceux-ci (figure 72 C). Finalement, l'axinite a été observée au contact entre l'encaissant et les veines de quartz-chalcopryrite aurifères. Il s'avère donc difficile, à partir des observations mégascopiques, de définir avec précision la paragenèse de l'axinite par rapport aux zones minéralisées et par rapport aux failles, car elle est observée avec les deux types de structures. Il est important de définir cette relation afin de déterminer si le bore est associé à la minéralisation, comme c'est le cas dans plusieurs zones aurifères (Boyle, 1979, Robert et Brown, 1986). Afin de tenter d'élucider la relation chronologique de l'axinite par rapport à la minéralisation, une étude pétrographique de l'axinite a été réalisée dans les différents environnements précédemment décrits. Au total, 23 échantillons ont été étudiés. Nous présentons ci-dessous un sommaire de cette étude.

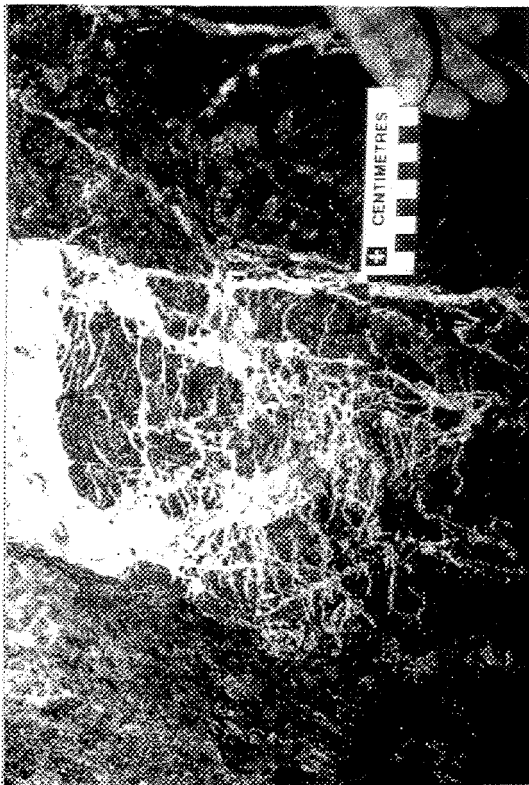
Pétrographie de l'axinite

Selon les relations texturales observées, l'axinite associée aux veines minéralisées (forages U-9389, U-9399, S-611, S-578) est contemporaine de cette minéralisation et associée à sa mise en place. Elle se présente en cristaux de 0,5 mm à 1 cm communément au contact entre la veine minéralisée et l'encaissant et aussi dans la partie centrale de la veine (figures 73 A et B). Elle semble alors le premier minéral, avec le feldspath potassique, à se former par réaction entre le fluide minéralisateur et l'encaissant gabbroïque. L'axinite forme des cristaux idiomorphes orientés sub-perpendiculairement aux contacts avec l'éponte, suggérant sa cristallisation libre dans un milieu ouvert et sans contrainte (figure 73 A). Elle forme par endroits jusqu'à 30 % de l'ensemble des constituants. On observe régulièrement la présence de chalcopryrite en inclusion ou en remplissage dans l'axinite, et aussi au contact entre les grains d'axinite. L'inverse est également noté, on observe de l'axinite qui baigne dans une matrice de chalcopryrite. De plus, l'axinite est fréquemment remplacée par la chalcopryrite (figure 73 C) et la pyrrhotite. Localement, de l'or a été observé en inclusion dans l'axinite (Buchan, 1976). Tout comme les autres constituants des veines minéralisées, l'axinite est

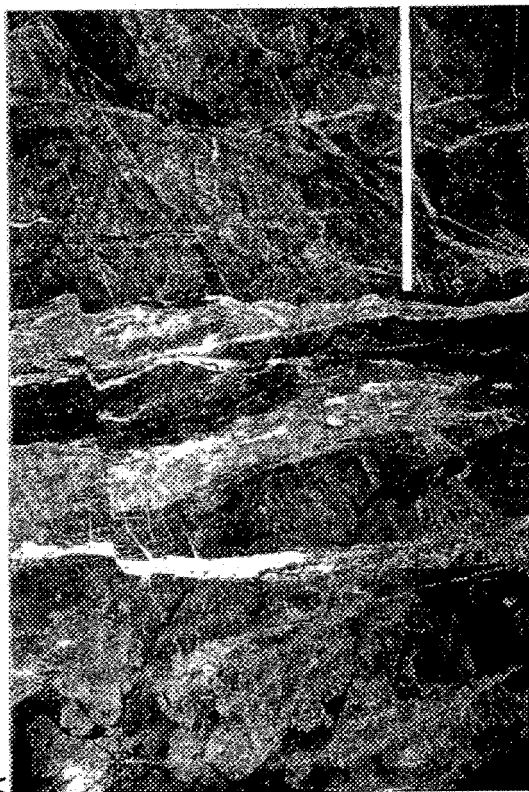
Figure 72: A) Photographie illustrant la présence de veines de tension remplies d'axinite. Mine Cooke, niveau 9, veine 95. L'échelle mesure 0,5 m.

B) Photographie illustrant la présence d'axinite sous forme de brèche hydrothermale. Mine Cooke, veine 6-74-3. L'échelle est en centimètre.

C) Photographie illustrant la présence de veinules d'axinite (Ax) associées à une faille cassante. L'échelle mesure 0,5 m.



B



A



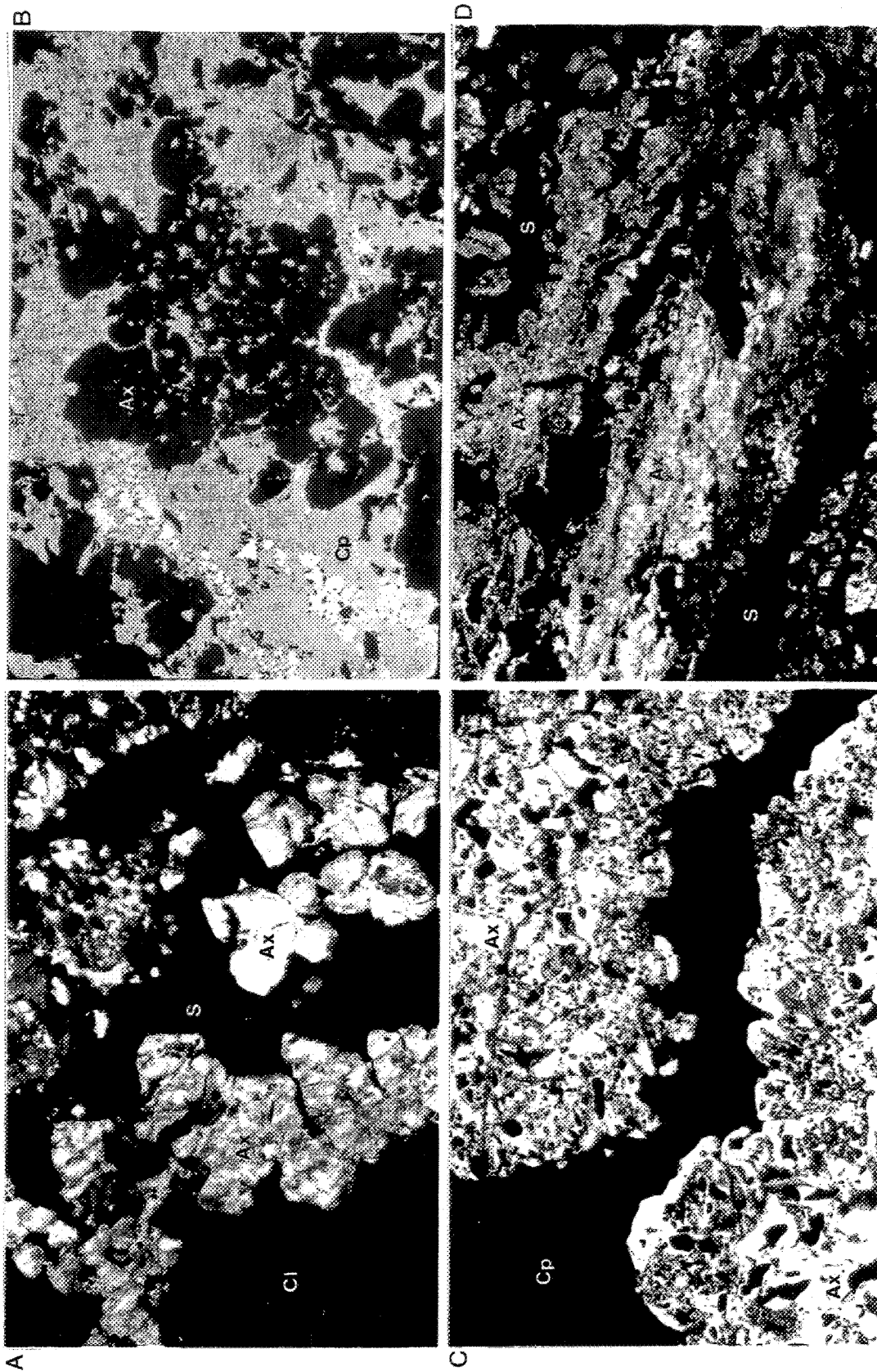
C

Figure 73 : A) Cristaux d'axinite (Ax) attachés aux bordures d'une veine de sulfures (S) et accolés à l'encaissant chloritisé (Cl), mine Cooke. Lumière transmise, analysée et polarisée. Largeur de la photo : 2 mm.

B) Cristaux d'axinite (Ax) situés dans la veine de chalcoppyrite (Cp). Lumière réfléchie et analysée. Largeur de la photo : 1 mm.

C) Cristal d'axinite (Ax) partiellement remplacé par la chalcoppyrite (Cp). À noter l'abondance d'inclusiona de chalcoppyrite. Lumière transmise, analysée et polarisée. Largeur de la photo : 2 mm.

D) Grains d'axinite (Ax) fortement déformés et remplacés par les sulfures (S). Lumière transmise, analysée et polarisée. Largeur de la photo : 2 mm.



déformée (figure 73 D). Elle présente des extinctions ondulantes et est parfois fracturée. Localement, l'axinite est remplacée par des amphiboles.

Dans les zones de faille tardives (gouge), l'axinite est très déformée. Elle est observée à l'intérieur de phénoclastes polyminéraliques constitués de feldspath, hornblende, quartz et axinite ou sous forme de petits fragments d'axinite qui baignent dans une matrice de tourmaline et d'actinote. L'axinite présente des extinctions ondulantes, elle est polygonisée et fracturée. Ainsi, il est possible que l'axinite ait été un constituant formé antérieurement qui aurait par la suite été déformé au même titre que les autres minéraux incorporés aux zones de faille comme telles. Il n'est donc pas évident que l'axinite soit tardive et associée à la faille. Toutefois, la pétrographie de l'axinite située dans les zones de faille est moins concluante car on peut facilement concevoir que même si l'axinite est contemporaine de la faille, il est possible qu'elle ait été déformée par celle-ci étant donné l'instabilité de ce milieu (mouvement répété de la faille).

Les relations texturales observées suggèrent donc que l'axinite est contemporaine de la minéralisation. Elle ne présente pas de textures pouvant suggérer un remplissage ou un remplacement tardif dans les zones minéralisées à la suite de leur réouverture par des mouvements tardifs reliés aux failles qui les recoupent. À l'image des veines minéralisées, l'axinite a été affectée par la déformation synchrone au développement des zones minéralisées de même que par la déformation associée aux failles tardives. Toutefois, la présence d'axinite située dans les veinules parallèles et accolées aux plans de failles demeure énigmatique. Dans ce cas, l'axinite provient-elle d'une remobilisation à partir de l'axinite des zones minéralisées recoupées par ces failles?

Composition chimique de l'axinite

Des analyses à la microsonde ont été réalisées afin de vérifier s'il existe une différence de composition entre les différents cristaux d'axinite observés dans les veines minéralisées, les veines de tension et les zones de failles. Au total, 43 analyses ont été effectuées. Les résultats sont présentés au tableau 14. Selon la classification de Sanero et Gottardi (1968) il s'agit de ferroaxinite car la proportion cationique en Ca dépasse 1,5 et le contenu en Fe est plus élevé que celui de Mn. Afin de classer les axinites nous avons utilisé le diagramme ternaire de Ozaki (1972). On constate à la figure 74 qu'il n'y a pratiquement pas de variation de composition

DIAGRAMME DE CLASSIFICATION DE L'AXINITE, OZAKI (1972)
MINE COOKE

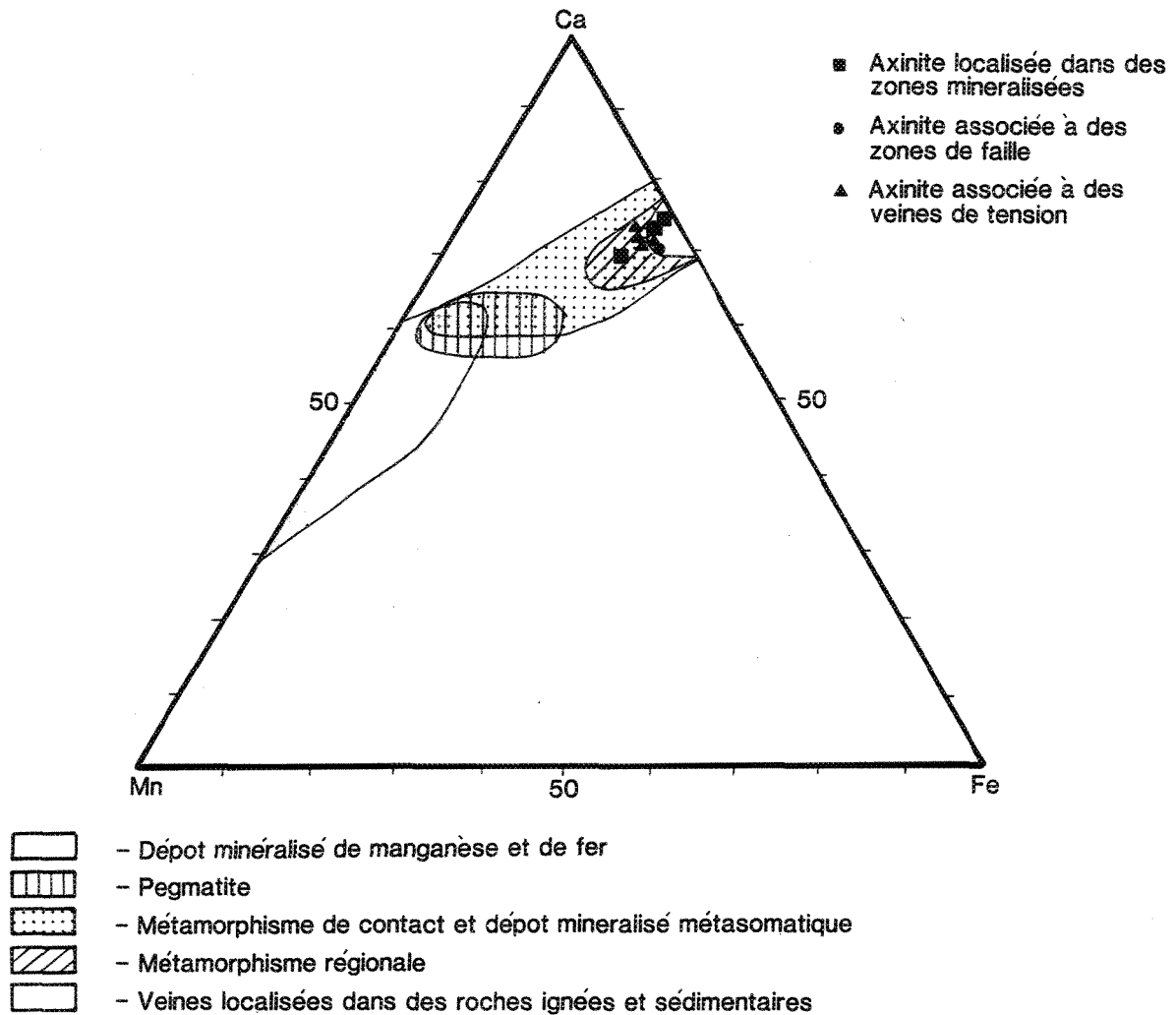


Figure 74 : Diagramme de classification de l'axinite selon Ozaki (1972)
en fonction de son mode d'occurrence. Ce diagramme montre qu'il
n'y a pratiquement pas de variation de composition entre les
axinites.

entre les axinites provenant de ces trois milieux différents. Elles se situent toutes dans le champ de composition des axinites dans les roches ignées et sédimentaires et dans le champ relié au métamorphisme régional (Ozaki, 1972). Il ne semble donc pas y avoir de variation marquée de composition des axinites de la mine Cooke, malgré le fait qu'on l'observe dans des environnements différents.

Interprétation

La présence d'axinite associée aux zones minéralisées et aux failles pourrait suggérer que les zones minéralisées et les failles tardives se sont formées dans un intervalle de temps rapproché tel que le suggère la relation structurale possible que nous avons évoqué entre l'effet probable de la déformation nord-est sur la dilatation dans les structures est-ouest (voir chapitre 7). Le métasomatisme en bore auquel est reliée la présence de l'axinite se serait manifesté dans les deux environnements. Toutefois, comme les textures observées dans les veines suggèrent que l'axinite est contemporaine de la minéralisation et comme l'observation mégascopique ne révèle pas d'axinite dans les zones de faille relativement "éloignées" des gisements (faille du Lac Gwillim et faille Chibougama-Copper), il est fort probable que la présence d'axinite dans les failles cassantes situées dans le gisement Cooke provienne d'une remobilisation en provenance des zones minéralisées. Il est également possible que l'axinite présente dans les zones de faille soit associée à une seconde génération, totalement indépendante de la première, étant donné que la remobilisation de l'axinite telle qu'invoquée dans la première hypothèse est relativement difficile (J. M. Franklin, communication personnelle).

Il est intéressant de mentionner qu'il existe très peu d'endroits où l'axinite a été observée en association avec l'or. Sauf à la mine Cooke, les seuls autres endroits connus sont des veines de quartz-axinite aurifères au Japon (Suzuki et Fujiwara, 1970), et les mines d'or situées dans la région de Timmins où Hurst (1935) et Fyon et al., (1981-1983) mentionnent la présence d'axinite.

6.2.4 Lithogéochimie des zones minéralisées

6.2.4.1 Introduction

Une étude lithogéochimique a été réalisée dans le but de définir les modifications chimiques subies par les roches soumises à la déformation et à l'altération hydrothermale associées aux zones aurifères de la mine Cooke. Cette étude nous permettra également de préciser le

métasomatisme associé aux transformations minéralogiques présentées précédemment, de mieux comprendre les processus associés à la mise en place de la minéralisation et de fournir peut-être des outils d'exploration. Elle a été réalisée en trois étapes. Nous avons d'abord effectué une étude qualitative utilisant des rapports d'oxydes ou d'éléments. Par la suite, nous avons réalisé une étude quantitative en tenant compte des modifications de volume et de composition (Gresens, 1967). Enfin, nous avons réalisé une étude statistique sommaire de certains éléments indicateurs (Au, Cu, As, Ag, S et CO_2).

6.2.4.2 Lithogéochimie qualitative

Nous avons étudié, dans un premier temps, la variation des éléments majeurs et mineurs dans les forages S-588 (veine no 7) et U-9399 (veine no 9) (voir les résultats d'analyses à l'annexe 4, tableaux A-2 et A-3). Pour ce faire, nous avons choisi d'étudier la variation du rapport de certains éléments à l'intérieur d'un même faciès pétrologique; en comparant qualitativement des rapports nous minimisons l'effet des changements de volume associés aux déformations. De plus, en choisissant des données obtenues à l'intérieur d'un même faciès pétrologique, nous minimisons l'effet de la différenciation magmatique survenue à l'intérieur du filon-couche de Bourbeau. Les rapports qui illustrent le mieux les modifications chimiques sont $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ et $\text{SiO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}^++\text{S})$. Selon Boyle (1979), ils peuvent être très utiles dans la prospection lithogéochimique de l'or. Nous présentons également des diagrammes montrant la relation spatiale entre les éléments traces Cu (ppm), As (ppm) et Au (ppb) car le cuivre et particulièrement l'arsenic, sont reconnus pour être de bons traceurs de la minéralisation aurifère (Boyle, 1979). Cette section a été traitée avec détail dans Dubé et Guha (1986b); nous ne présentons ici que le sommaire des résultats.

Les figures 75 et 76 présentent les résultats obtenus pour les forages S-588 et U-9399. En comparant les valeurs moyennes obtenues pour le faciès leucogabbroïque ($(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}) \times 100 = 21$) (tableau 4), on constate une augmentation très nette du rapport $(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}) \times 100$ sur une distance d'environ 12 mètres coïncidant avec la zone de cisaillement. Comparée aux profils minéralogiques (figure 66 et 67) on observe que cette augmentation du rapport $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ est en coincidence spatiale avec l'augmentation de la proportion de séricite. Le rapport $\text{SiO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}^++\text{S})$ est typique de celui observé dans des

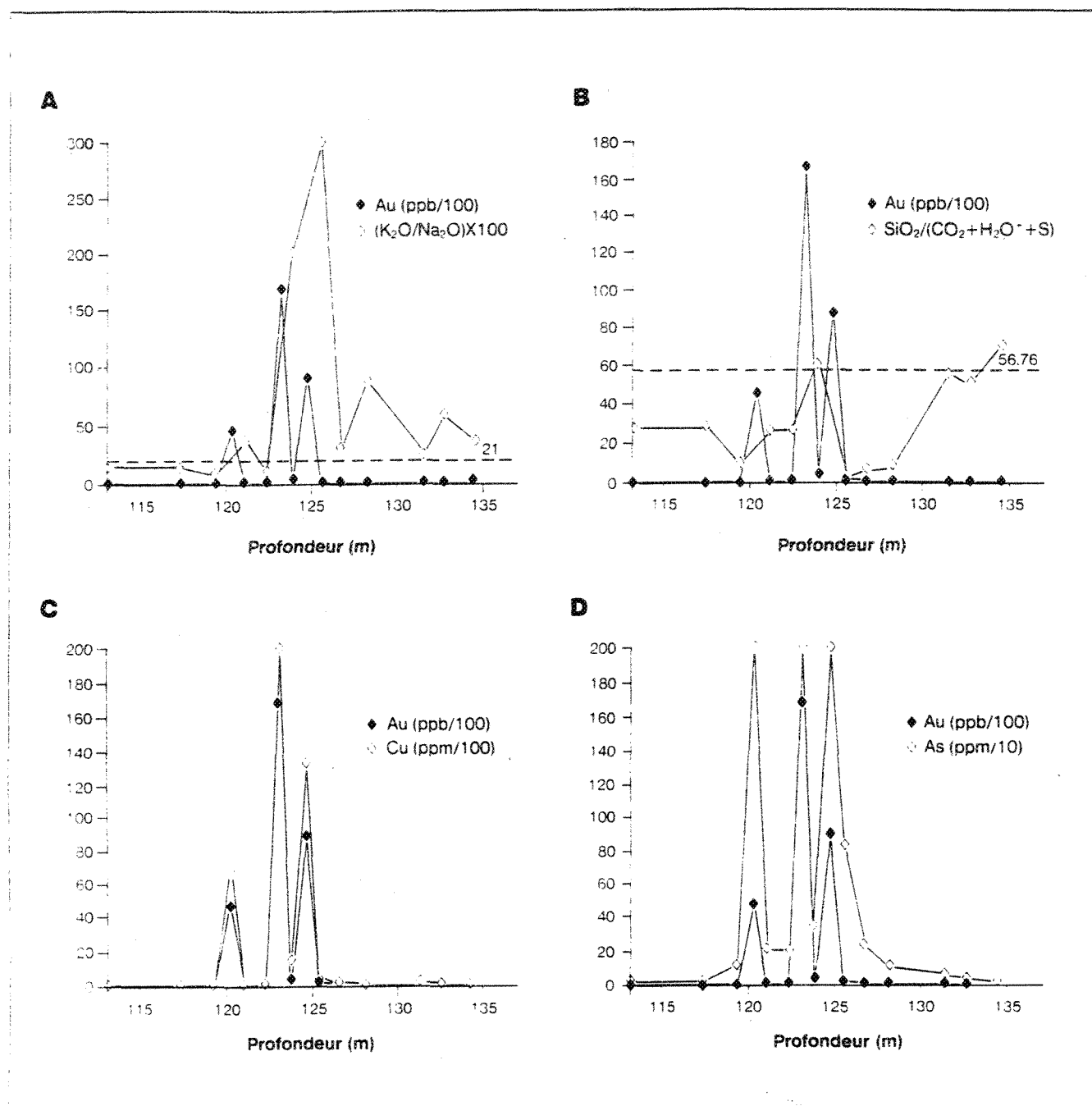


Figure 75 : Lithogéochimie qualitative du forage S-588 à la mine Cooke.

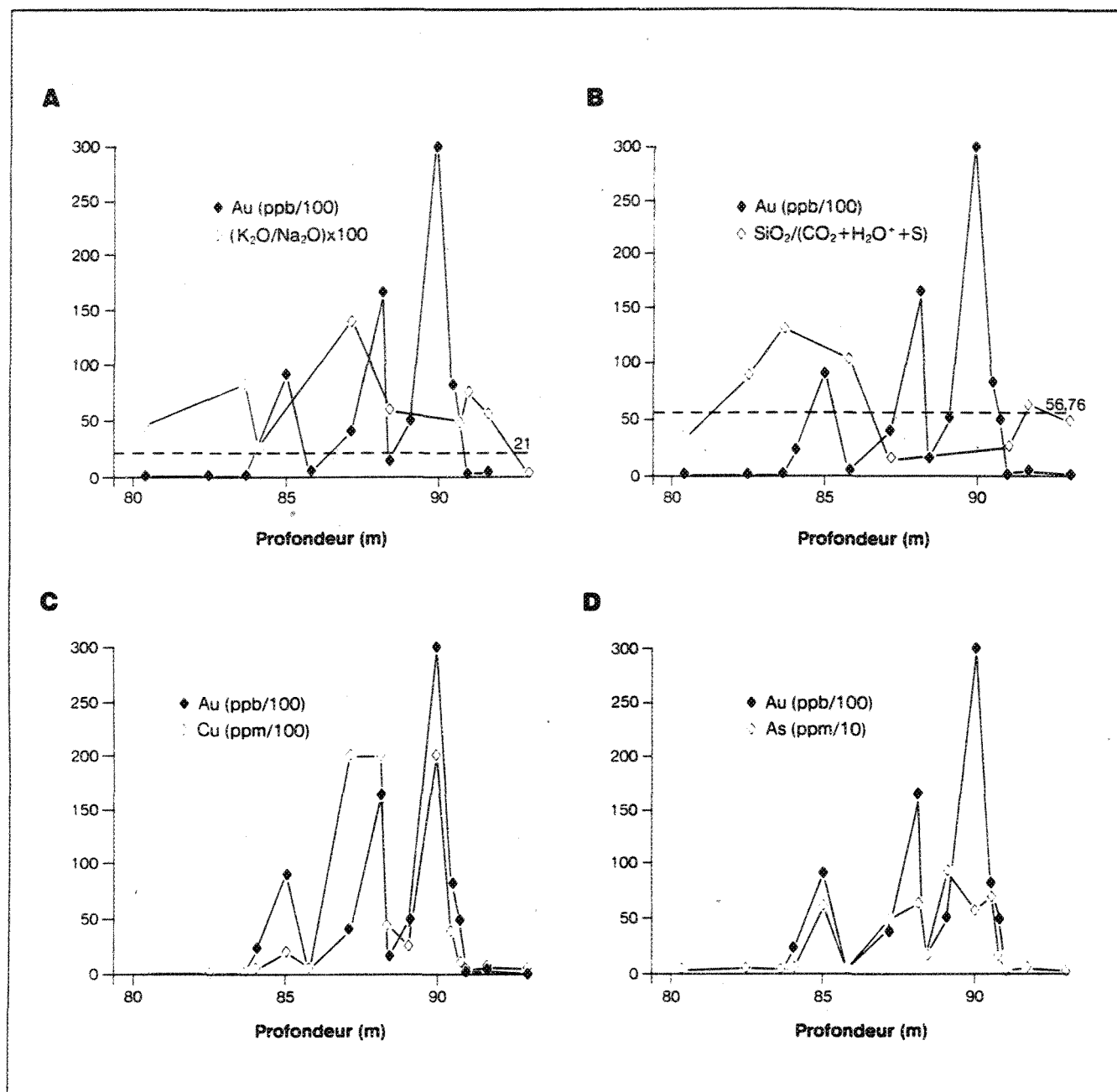


Figure 76: Lithogéochimie qualitative du forage U-9399 à la mine Cooke.

zones aurifères à l'intérieur de contextes semblables. En effet, selon Boyle (1979), en approchant de la zone aurifère, ce rapport diminue étant donné l'apport de CO_2 , de H_2O^+ et de soufre et le lessivage de la silice survenu par suite de l'altération des silicates. La diminution de ce rapport coïncide avec la formation des minéraux d'altération notée pétrographiquement. La faible valeur de ce rapport et la forte valeur de $(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}) \times 100$ observées dans le forage U-9399, à 85 mètres (PB-276), proviennent d'un échantillon situé à grande distance de la zone minéralisée, dans un leucogabbro anormalement riche en séricite (15 %, figure 67). Cette altération semble anormale par rapport à la zone minéralisée considérée et est peut-être reliée à l'influence d'une autre zone d'altération.

Les éléments traces As et Cu présentent des profils identiques à celui de l'or. Les valeurs sont très élevées : >1 000 ppm d'arsenic et de 6 680 à >20 000 ppm de cuivre.

6.2.4.3 Lithogéochimie quantitative

6.2.4.3.1 Introduction

Dans l'étude quantitative (gains et pertes) des modifications chimiques associées à l'altération hydrothermale, la comparaison directe des résultats d'analyses lithogéochimiques n'est pas suffisante pour décrire les changements survenus. Comme souligné par Kerrich et Watson (1984), les composants (oxydes majeurs et mineurs) sont astreints dans l'analyse chimique à une somme constante de 100 %, aucun composant individuel n'est donc indépendant des autres. Il existe alors un nombre infini de solutions possibles pouvant expliquer les changements survenus dans le ou les échantillons étudiés. De plus, cette procédure implique que le volume de la roche est demeuré constant ce qui s'avère très souvent une prémisse erronée en particulier dans les gisements aurifères archéens où le contrôle structural est une des principales caractéristiques (Hodgson et MacGeethan, 1982 et Roberts, 1987). En effet, la plupart des gisements aurifères d'âge archéen sont situés dans des zones de cisaillement dans lesquelles les changements de volume dans la roche sont fréquents (Ramsay, 1980b).

6.2.4.3.2 Théorie

Afin de résoudre ce problème, Gresens (1967) a suggéré d'utiliser les mesures de gravité spécifique (densité), de chacun des échantillons comparés, et d'incorporer ces données

dans des calculs de balance de masse à deux inconnues (masse-volume). Ainsi, en décidant de faire varier le volume ou en déterminant qu'un ou plusieurs éléments se sont avérés "immobiles" durant la transformation d'une roche fraîche (roche parente) en une roche altérée, on arrive à une solution unique qui nous permet de quantifier le métasomatisme. La méthode de Gresens (1967) est absolument nécessaire lorsque l'on étudie les modifications chimiques de roches altérées à l'intérieur de zones de cisaillement. Elle a pour principe de comparer des volumes de roche semblables. Nous croyons que tout résultat quantitatif obtenu à l'aide de matrices de corrélation ou de rapports d'éléments doit être considéré avec beaucoup de précaution. Afin de résoudre les équations de Gresens (1967), nous avons utilisé le programme informatique d'Appleyard et DeBeer (1983). Ces derniers ont développé un programme informatique en langage Fortran IV exécuté sur le CYBER-7600 du système CSIRONET qui permet de déterminer les changements de volume ainsi que les gains et pertes.

En général, les éléments régulièrement rapportés dans la littérature comme étant "immobiles" sont Al, Ti, Zr, Sc, Hf (Meyer et Hemley, 1967; Babcock, 1973; Davies et al., 1978; Kerrich et al., 1977, 1980; Appleyard et Woolley, 1979; Appleyard, 1980; Hynes, 1980; Appleyard et Williams, 1981; Kerrich et Fyfe, 1981; Costa et al., 1983; Kerrich et Watson, 1984; Sintra et al., 1986; Studemeister et Kilias, 1987). Toutefois, certains auteurs comme Finlow-Bates et Stumpfl (1981), Robert et Brown (1986) et surtout Ludden et al. (1984) remettent en question "l'immobilité" de ces éléments et leur utilisation dans l'étude des changements de volume-composition. Nous croyons pour notre part que chaque cas étudié est spécifique en soi et que la recherche des éléments "immobiles" doit être effectuée individuellement.

6.2.4.3.3 Résultats

La méthode de Gresens (1967) nous a permis de déterminer que les éléments qui se sont avérés les moins mobiles sont l'aluminium (Al_2O_3) et le scandium (Sc). Le scandium est un élément trace principalement concentré dans les pyroxènes et qui ne montre pas de corrélation bien définie avec aucun élément majeur ou ion contenus dans les roches ignées (Norman et Haskin, 1968). Par contre, selon Eby (1973) le scandium montre une corrélation négative avec Si et une corrélation positive avec Fe. Chose certaine, il n'y a pas de corrélation entre Al et Sc et nous avons utilisé ces éléments pour déterminer le "zero change volume factor" (F_v^0) c'est-à-dire le facteur volume correspondant à l'immobilité relative des éléments ou oxydes

choisis, tout en tenant compte de la différence de densité des roches comparées. Par la suite, nous avons appliqué ce facteur volume aux autres composants de la roche afin de déterminer les gains et pertes subis par ces derniers.

Le choix de la roche parente représentant le protolite des échantillons altérés est de toute première importance. C'est sur le choix de ce protolite que repose toute l'étude quantitative à l'aide de la méthode de Gresens (1967). Pour le forage S-588, la moyenne de la composition chimique des échantillons PB-736-85 et PB-739-85 a été choisie comme roche parente à partir de laquelle les déterminations de facteur volume et les pourcentages de gains et pertes ont été calculés. Ces échantillons se situent tous dans le même faciès pétrologique (leucogabbro) et approximativement à la même hauteur stratigraphique, ce qui minimise les variations de composition chimique primaire qui pourraient être induites par la différenciation magmatique subie par le filon-couche. De plus, les observations mégascopiques et pétrographiques de ces échantillons montrent qu'ils n'ont pas subi d'altération hydrothermale. Pour le forage U-9399, nous avons utilisé la moyenne de la composition chimique du faciès leucogabbroïque obtenue à l'aide des analyses chimiques effectuées dans le forage S-589 (annexe 4, tableau A-1) étant donné qu'aucun échantillon analysé dans le forage U-9399 ne semblait assez "frais" pour servir de protolite.

L'analyse chimique des échantillons PB-290-85 et PB-314-85 du forage U-9399 révèle une proportion anormalement élevée de bore (2300 et 2500 ppm) et de Cu (>20,000 et 3940 ppm). Comme ces composants se trouvent dans l'axinite et de la chalcopyrrite et que ces minéraux ont été observés principalement à l'intérieur de veinules, nous avons donc jugé préférable de soustraire ces composants, de même qu'une proportion correspondant aux autres composants inclus dans l'axinite (Al_2O_3 , SiO_2 , CaO) et la chalcopyrrite (Fe, S), avant de déterminer les gains et pertes subis par les roches altérées. Nous avons soustrait ces éléments même s'ils sont associés à l'altération hydrothermale car nous croyons ainsi être en mesure de mieux caractériser les changements chimiques affectant les constituants des roches et, pour ce faire, nous devons omettre les micro-veinules autant que faire se peut.

Dans le forage S-588, les facteurs volumes varient de 0,84 à 1,12; 80 % des facteurs volumes sont inférieurs à 1 et impliquent une réduction de volume variant de 2 à 16 %. Cette réduction de volume est compatible avec l'intense déformation observée dans les échantillons de

ce forage. À l'inverse, la déformation dans le forage U-9399 est beaucoup plus faible et les facteurs volumes révèlent dans 87 % des échantillons une augmentation de volume variant de 4 à 29 %. Cette augmentation de volume est possiblement associée à la présence de micro-veinules ou aux effets de l'altération hydrothermale.

Les calculs de balance de masse ont été effectués en comparant chaque roche altérée avec le protolite. Cette approche permet de déterminer l'effet total de l'altération pour chaque échantillon ou faciès d'altération étudié. Les résultats obtenus sont présentés aux figures 77 et 78. Pour être consistant avec notre étude minéralogique, nous avons regroupé les échantillons en termes de faciès d'altération. Ainsi, nous avons considéré une zone caractérisée par la présence de séricite avec une certaine quantité de calcite \pm chlorite, une zone à chlorite et calcite contenant de l'axinite dans le forage U-9399, une zone à chlorite presque massive observée dans le forage S-588 et, finalement, une zone peu altérée et peu déformée pouvant contenir des veinules très fines (≤ 1 mm) et représentant une composition relativement proche du protolite original. Ces assemblages sont présentés dans le profil pétrographique présenté au tableau 12. Ainsi, la zone à séricite \pm calcite et chlorite, se caractérise par des gains importants de K (figures 77 et 78), témoignant de la formation de la séricite, et de C associés à la présence de calcite. Les autres éléments qui montrent des gains sont S, Cu, As, Au et Rb. Le gain en Rb s'explique par la formation de la séricite, le Rb est en effet fortement compatible avec les micas (Cox *et al.*, 1979). Ces gains s'accompagnent du lessivage marqué du Ca, associé à la séricitisation des plagioclases et du Sr, étant donné la grande compatibilité de cet élément avec les plagioclases (Cox *et al.*, 1979). Cette variation systématique du Sr avec le Ca et du Rb avec le K a également été notée par Kerrich et Hodder (1982), Kerrich (1983), Kishida et Kerrich (1987) et Kerrich (1988). On note également un lessivage important du Cr et du Ni, reliés à l'altération des amphiboles et s'expliquant par la grande compatibilité qui existe entre ces deux éléments (Cox *et al.*, 1979). On constate enfin un lessivage moins intense du Ti (par suite de l'altération des titanomagnétites) et du Mg.

La zone d'altération caractérisée par la chlorite et la calcite, avec présence d'axinite dans le forage U-9399, présente des gains importants en Fe^{+2} , As, Au et Pb, associés à la présence de sulfures disséminés ou localisés dans des micro-veinules, et une augmentation assez faible du Ti (figure 78). Dans le forage U-9399, des introductions majeures de C, étant donné la présence de calcite, de S, de B (relié à la présence d'axinite), et de Cu sont notées. À l'inverse,

Mine Cooke

Veine no. 7
Forage S - 588

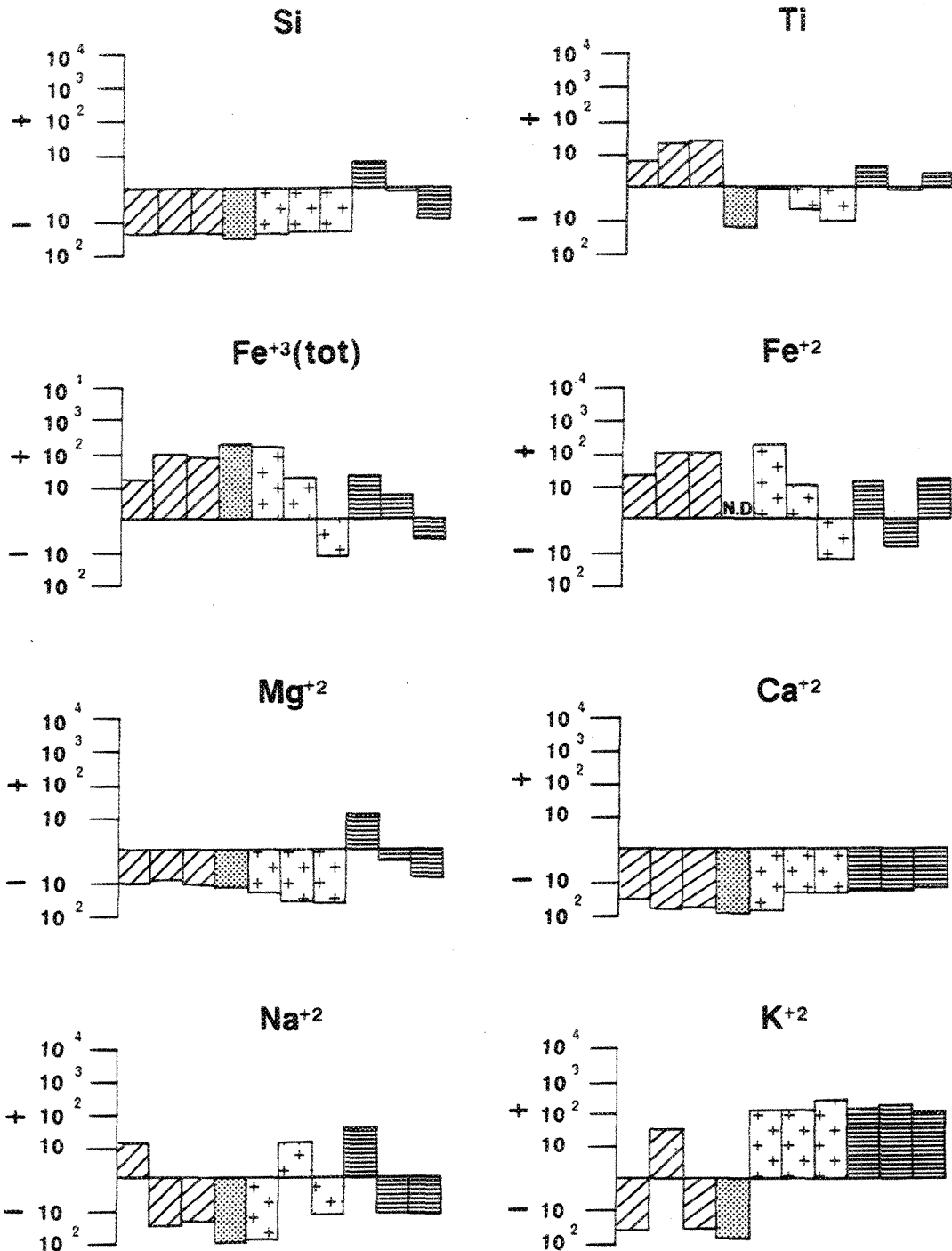


Figure 77: Profil lithogéochimique quantitatif des gains et pertes survenues dans les roches encaissantes de la veine no 7 tel qu'illustré par le forage S-588, Mine Cooke.

Figure 77 (suite)

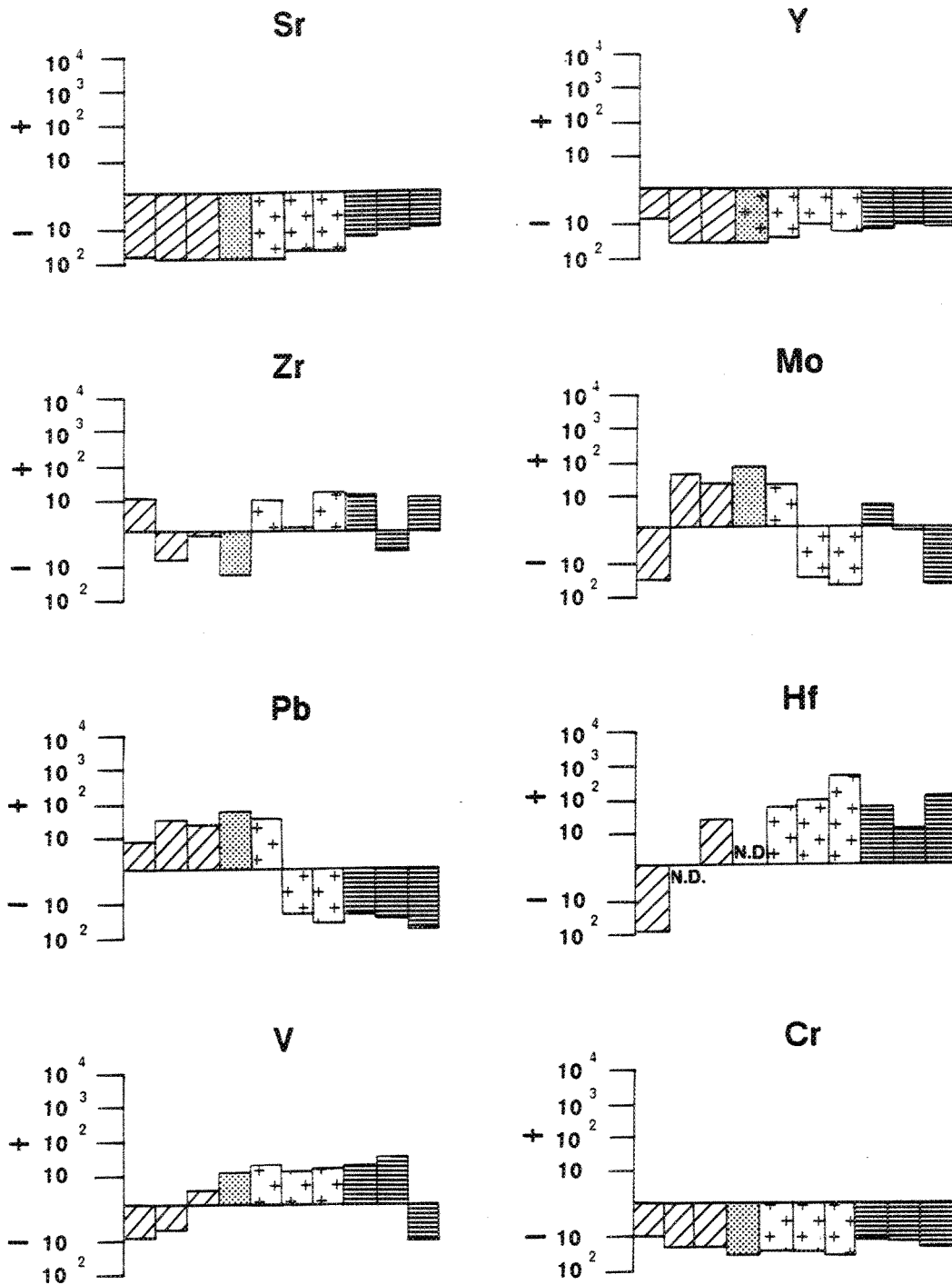


Figure 77 (suite)

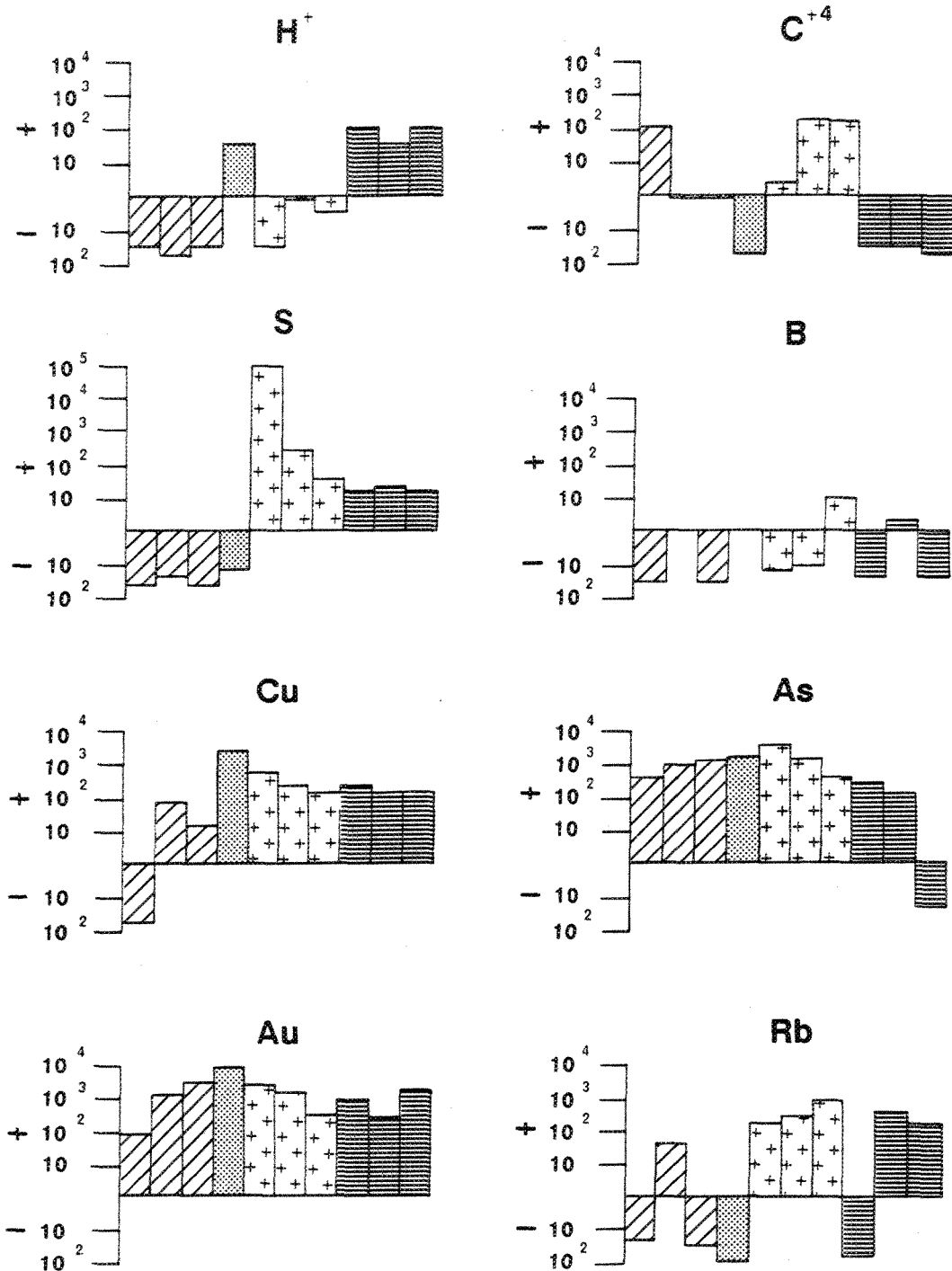
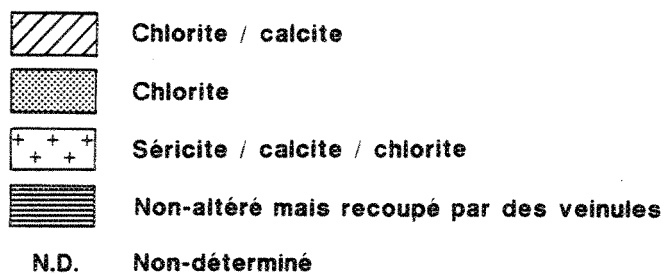
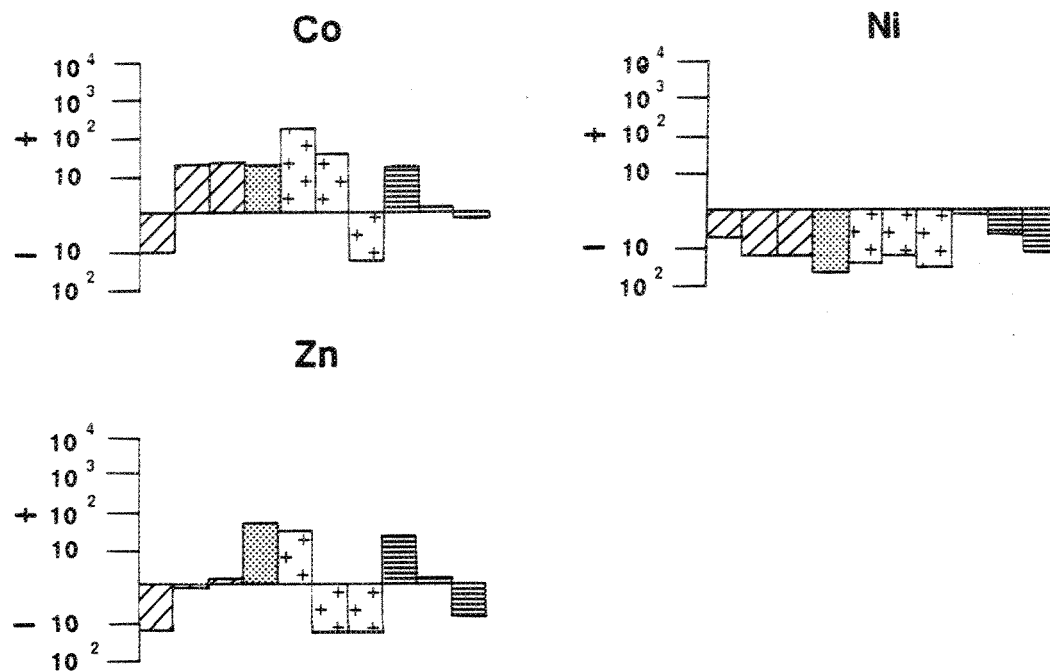


Figure 77 (suite)



Mine Cooke

Veine no. 9
Forage V - 9399

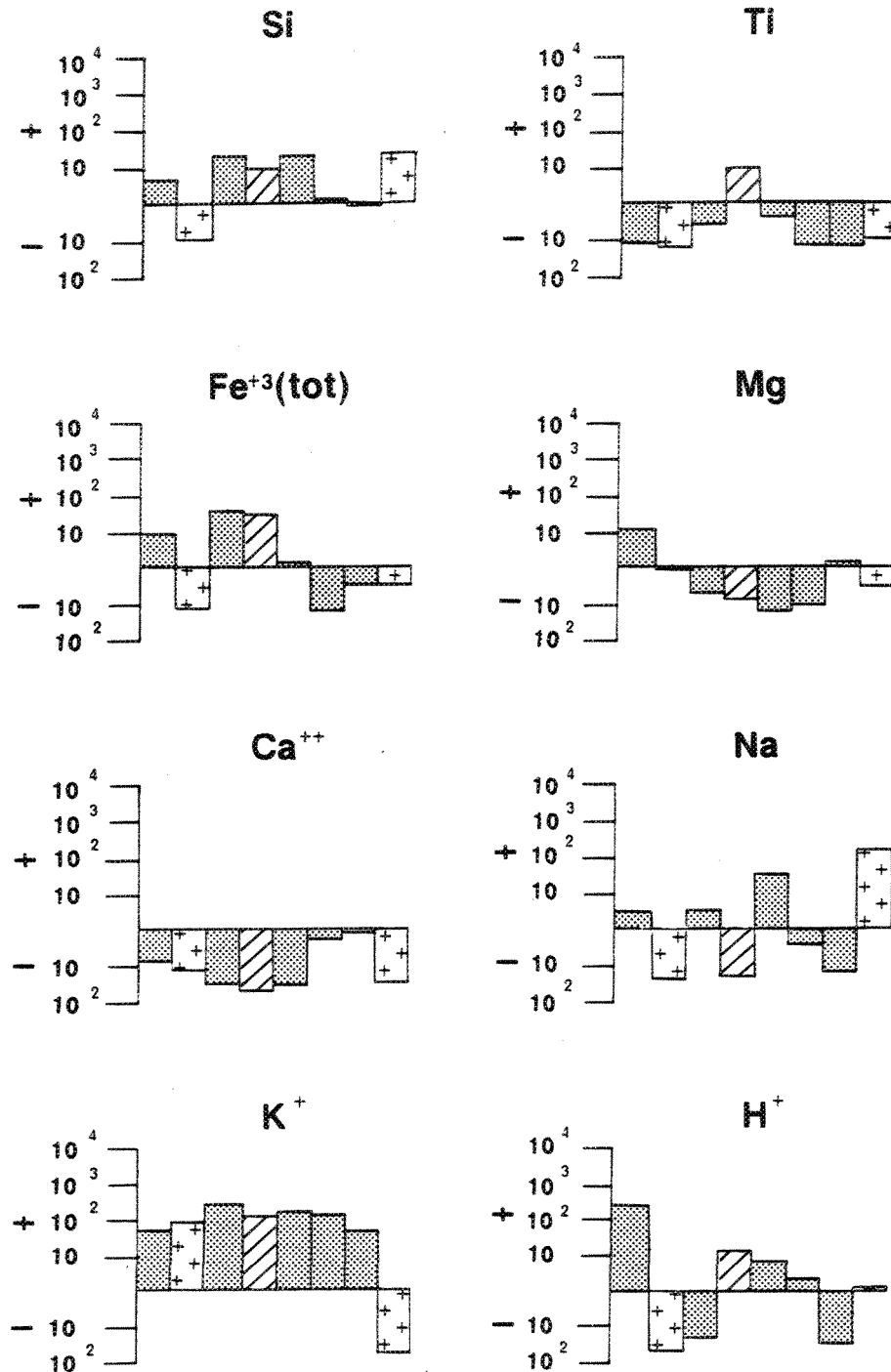


Figure 78: Profil lithogéochimique quantitatif des gains et pertes survenues dans les roches encaissantes de la veine no 9 tel qu'illustré par le forage U-9399, Mine Cooke.

Figure 78 (suite)

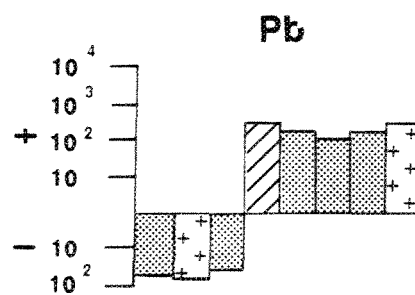
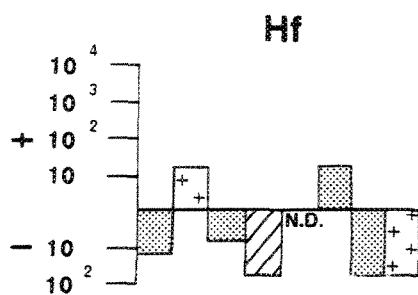
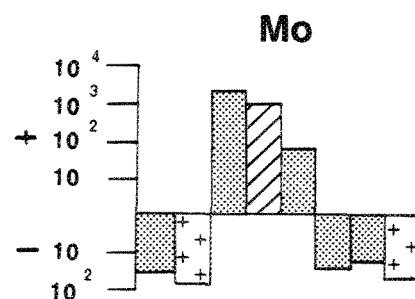
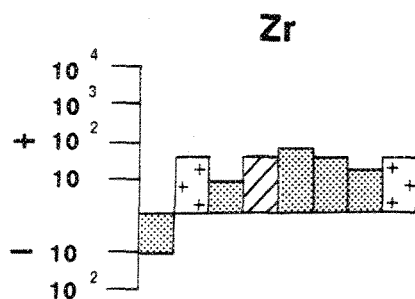
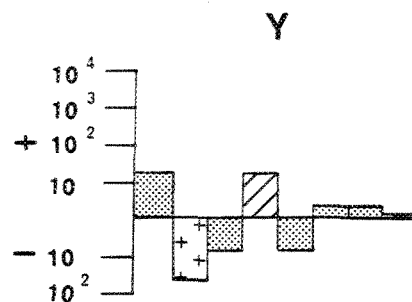
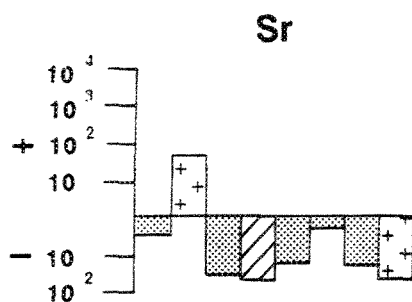
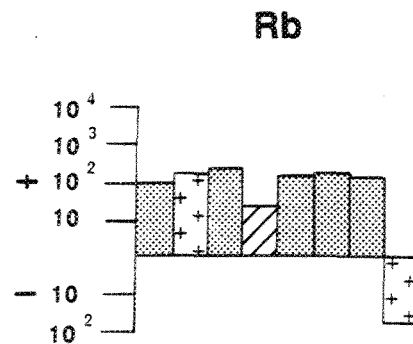
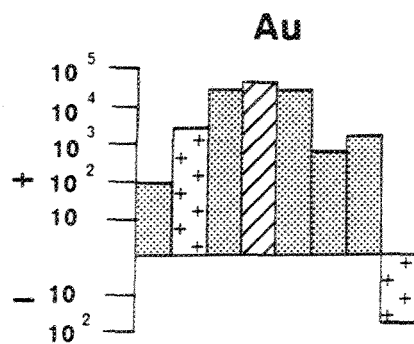


Figure 78 (suite)

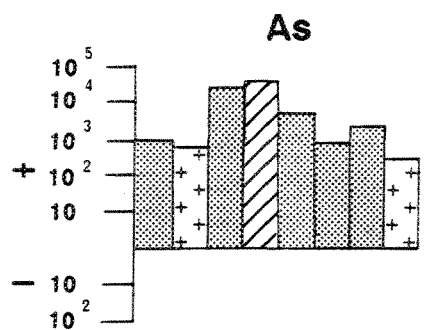
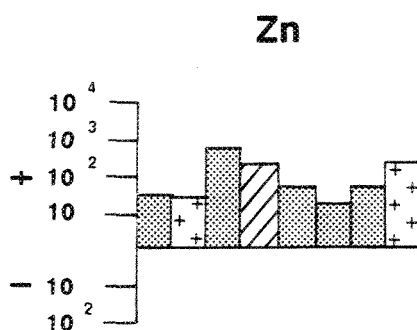
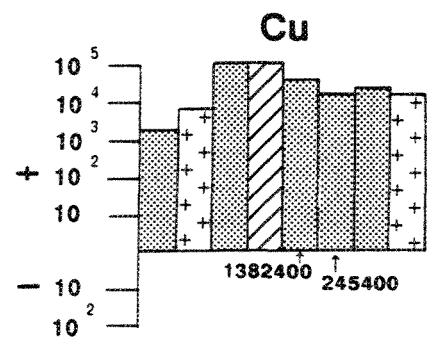
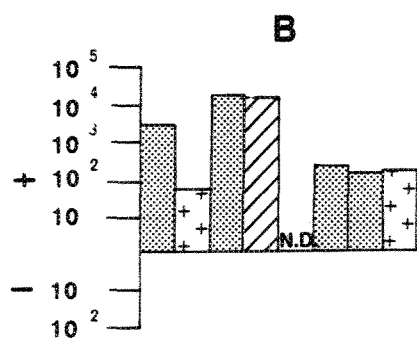
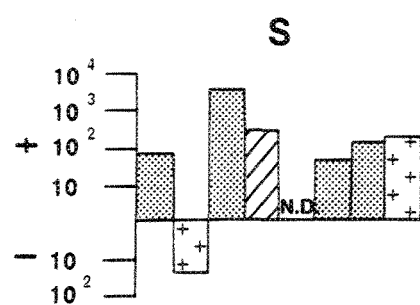
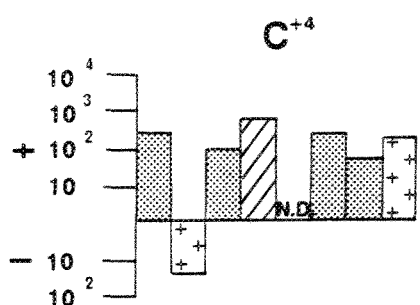
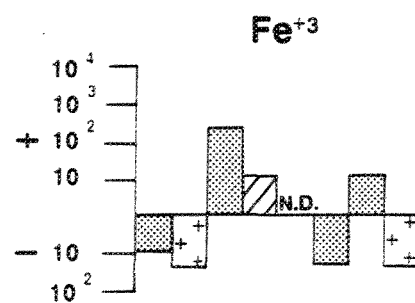
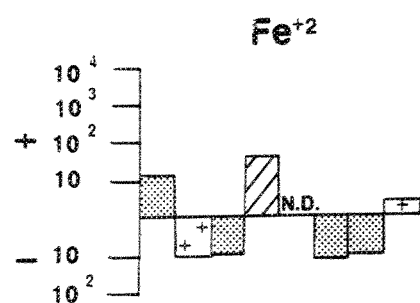
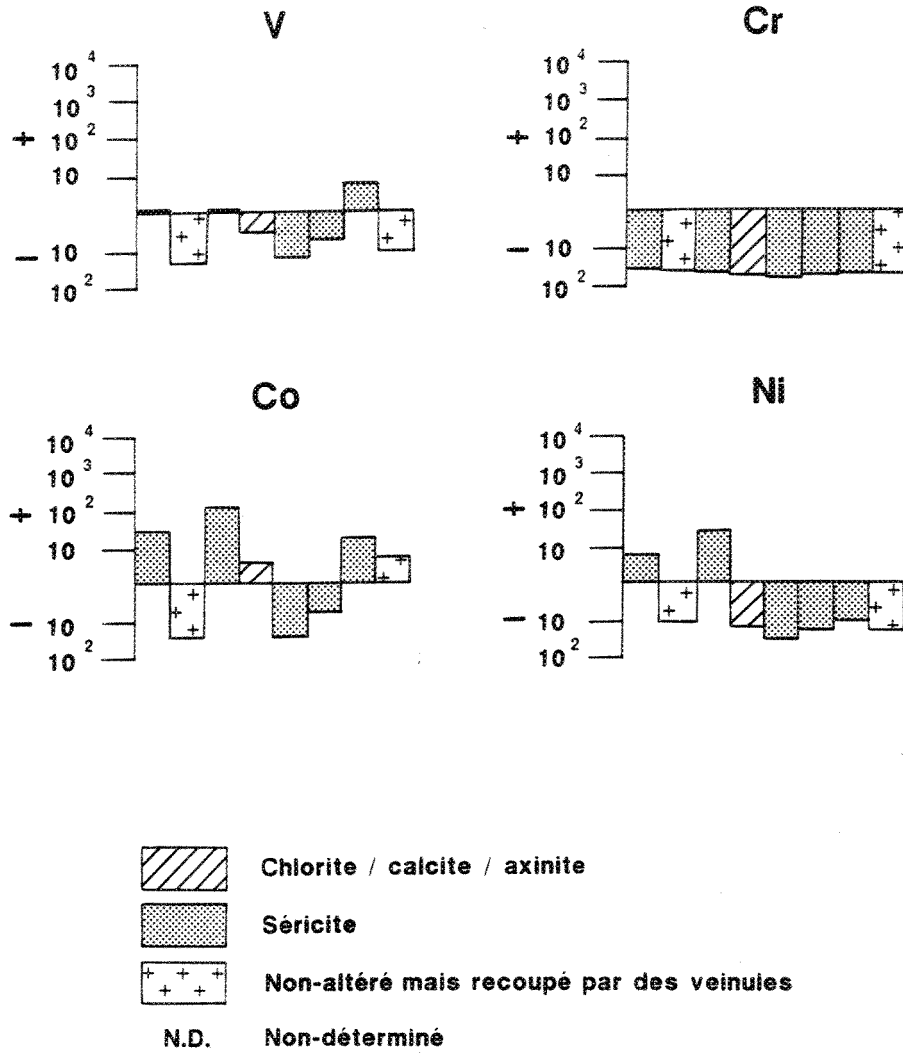


Figure 78 (suite)



le Ca et le Na (dérivés de la chloritisation des plagioclases), de même que le Sr (étant donné la grande compatibilité de cet élément avec les plagioclases, Cox et al. 1979) présentent des lessivages d'intensité variable. Il en est de même pour le Mg (dérivé de l'altération des amphiboles), et le Cr qui lui est associé (Cox et al. 1979). De plus, dans le forage S-588, le S, le H et le B ont subi des diminutions importantes.

La zone constituée principalement de chlorite, et présente dans le forage S-588, montre des gains importants en Fe (total), Cu, As, Au, associés à la présence de sulfures disséminés ou concentrés dans des micro-veinules, et des introductions plus faible de H⁺, Mo, Pb, V, Co et Zn (figure 77). À l'inverse, Si, Ca, Na, K, Rb, Sr, Cr et Ni ont subi des lessivages intenses, par suite de la destruction des plagioclases et des amphiboles. Le C et le Y ont également subi des lessivages importants, alors que le Ti, le Mg, le S et le Zr présentent des diminutions moins considérables.

Il est important de noter que Ca, Sr et Cr ont été lessivés dans toutes les zones altérées alors que As et Au ont subi des gains en tout points.

Il est également important de constater que dans la zone non-altérée, peu déformée mais contenant des veinules, il existe un enrichissement en K presque comparable à celui observé dans la zone à séricite et ce, malgré l'absence de séricite hydrothermale. Cet enrichissement est associé à la présence de micro-veinules de feldspaths potassiques hématisés observés notamment dans les échantillons BD-PB-756-85 et BD-PB-757-85. Parmi les autres variations, on note des gains de B (U-9399), de Cu, de Au (S-588) et un lessivage du Cr et du Ni. Le gain en bore s'associe probablement à la présence de micro veinules d'axinite. Toutefois, l'observation des résultats d'analyse (annexe 4, tableau A-2 et A-3) montre que ces gains sont relativement marginaux et apparaissent exagérés compte tenu de la faible proportion de ces constituants dans le protolite.

Ainsi, le lessivage de la silice observé dans le faciès à chlorite du forage S-588 et les gains en C, S et H, dans les différents faciès, confirment et expliquent, du moins partiellement, les résultats qualitatifs obtenus à l'aide du rapport $\text{SiO}_2/(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}^+ + \text{S})$ (section sur la lithogéochimie qualitative dans la section précédente). Dans la zone à séricite \pm calcite \pm

chlorite l'enrichissement en K^+ explique l'augmentation du rapport K_2O/Na_2O présenté dans notre étude qualitative et rend son utilisation rationnelle. Il en est de même pour le lessivage du Na observé dans la zone à chlorite + calcite \pm axinite. Selon Boyle (1979), le comportement de ces oxydes majeurs est tout à fait typique des zones de cisaillement associées aux minéralisations aurifères dans des roches mafiques à intermédiaires.

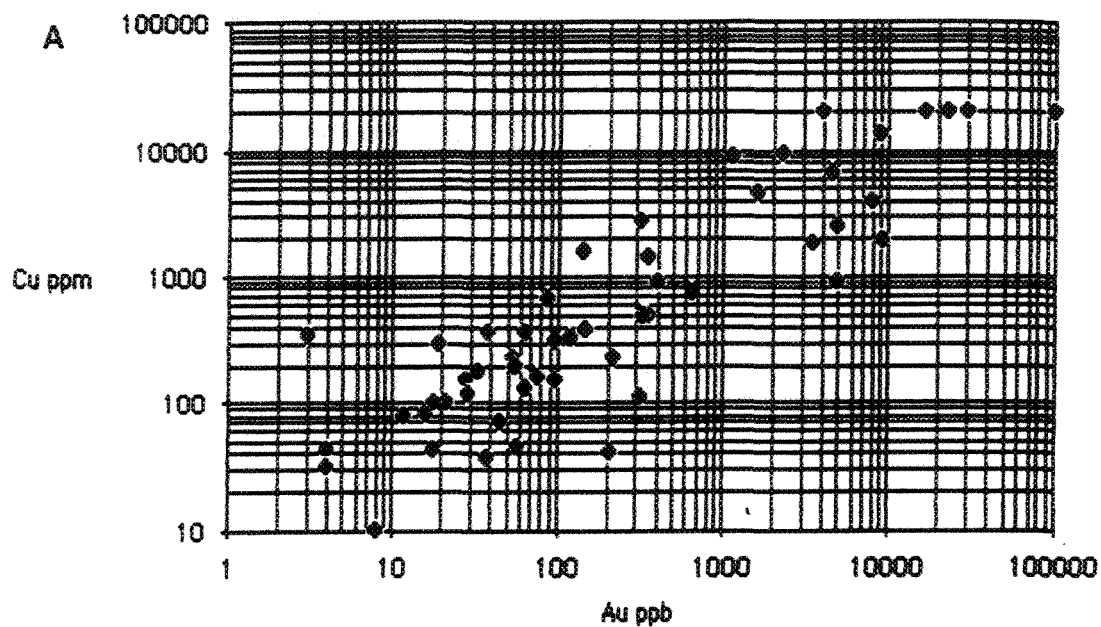
6.2.4.4 Éléments indicateurs

Dans la recherche de minéralisation aurifère, l'utilisation de discriminants géochimiques comme guides d'exploration s'avère souvent très utile. Dispersés par rapport à l'or selon des halos d'altération parfois plus étendus et présents en proportion souvent plus importante, ils permettent de localiser de larges zones anormales. Parmi les éléments utilisés, l'arsenic, l'antimoine et les tellures semblent des éléments indicateurs très favorables (Boyle, 1979; Chainey, et Perrault, 1983; Durocher, 1983; et Fyon *et al.*, 1983). Dans certains cas, le soufre s'avère aussi un élément indicateur utile (Chainey, et Perrault, 1983 et Kusmirski et Crocket, 1983). Toutefois, chaque secteur minéralisé constitue un cas spécifique et doit être traité en tant que tel. À ce titre, Boisvert (1984) et Boisvert et Drouin (1985) énoncent, à la suite de leurs travaux réalisés dans le secteur de la mine Cooke, l'existence d'un enrichissement et d'une forte corrélation entre l'or, le cuivre et l'arsenic dans les zones minéralisées et d'une corrélation entre l'or et l'arsenic pour les zones non minéralisées (≤ 500 ppb). Ils proposent, comme guides locaux d'exploration aurifère, d'abord l'utilisation de l'or et, en deuxième lieu, celle du cuivre et de l'arsenic.

Nous avons cherché à vérifier et à compléter ces résultats et à extrapoler les résultats obtenus à l'aide de profils lithogéochimiques : les figures 79, 80 et 81 présentent le sommaire de nos résultats. Les données utilisées dans l'élaboration de ces graphiques proviennent des résultats obtenus dans le cadre de nos propres travaux sur six zones aurifères (forages S-588, U-9399 et U-15331) et certaines galeries (6-75, 6-95 et 5-95) (annexe 4, tableaux A-2 à A-7). Nous avons également considéré, sauf pour le graphique du cuivre en fonction de l'or, une partie des résultats obtenus par Boisvert (1984) c'est-à-dire les deux zones aurifères (no 7 et no 9) et une trentaine d'échantillons non minéralisés. Au total, 102 valeurs ont été considérées pour chaque élément sauf pour le diagramme du cuivre (ppm) en fonction de l'or (ppb) qui est basé sur 57 données. Les diagrammes sont présentés sous la forme logarithmique étant donné la grande dispersion des valeurs à comparer. Ce type de diagramme a toutefois

Coefficient de corrélation: 67%

N = 57



COOKE

Coefficient de corrélation: 38%

N = 102

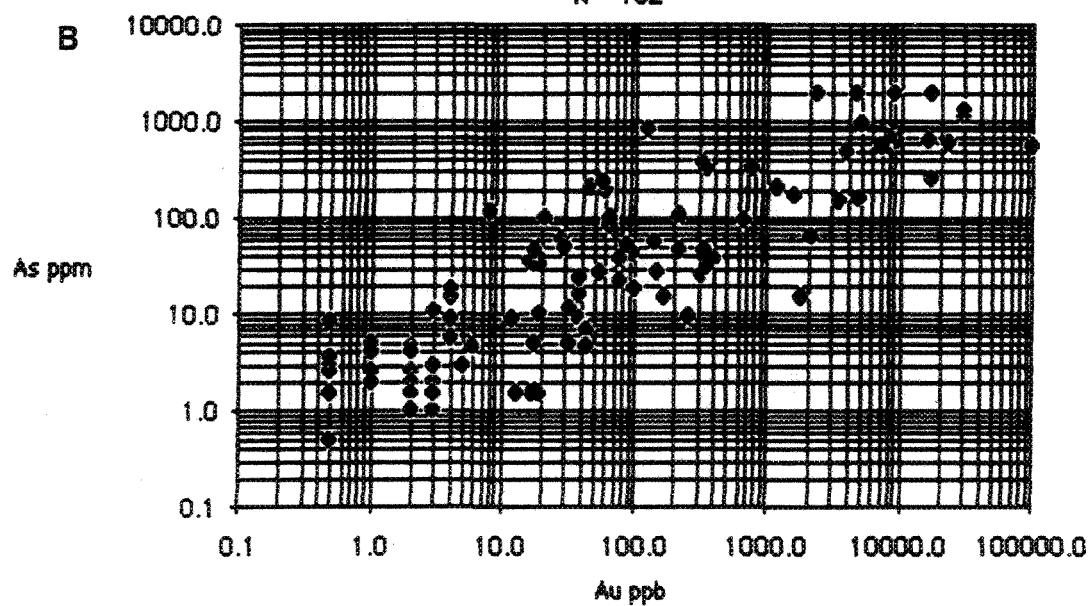


Figure 79: Diagrammes du cuivre (A) et de l'arsenic (B) en fonction de l'or à la mine Cooke.

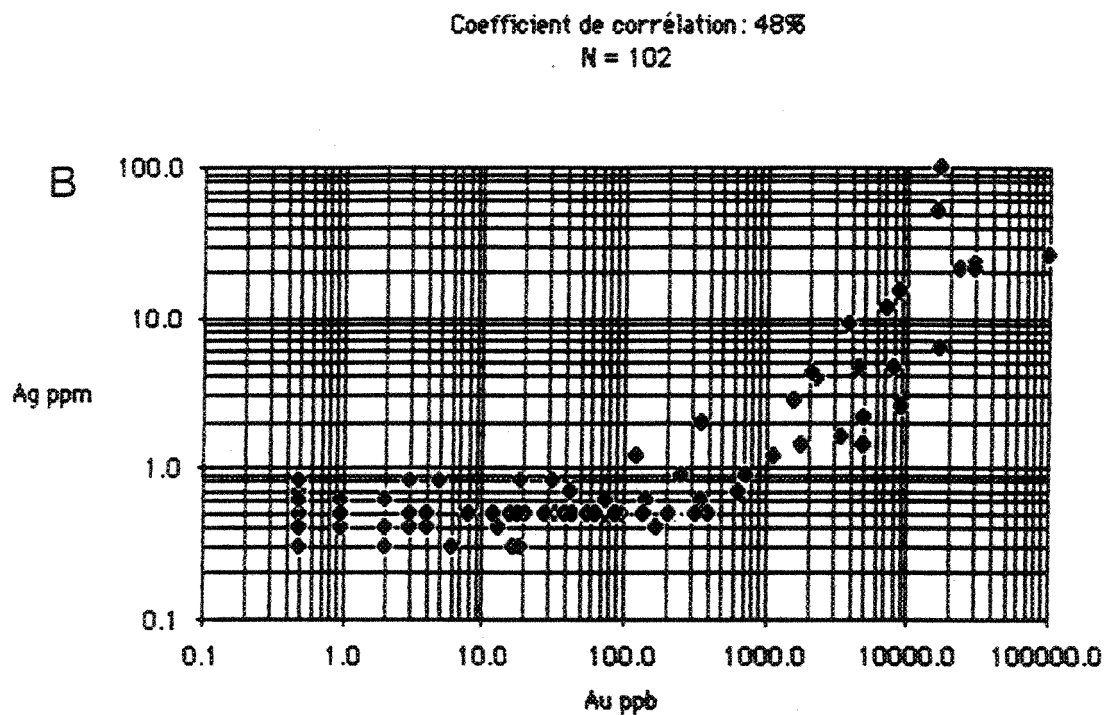
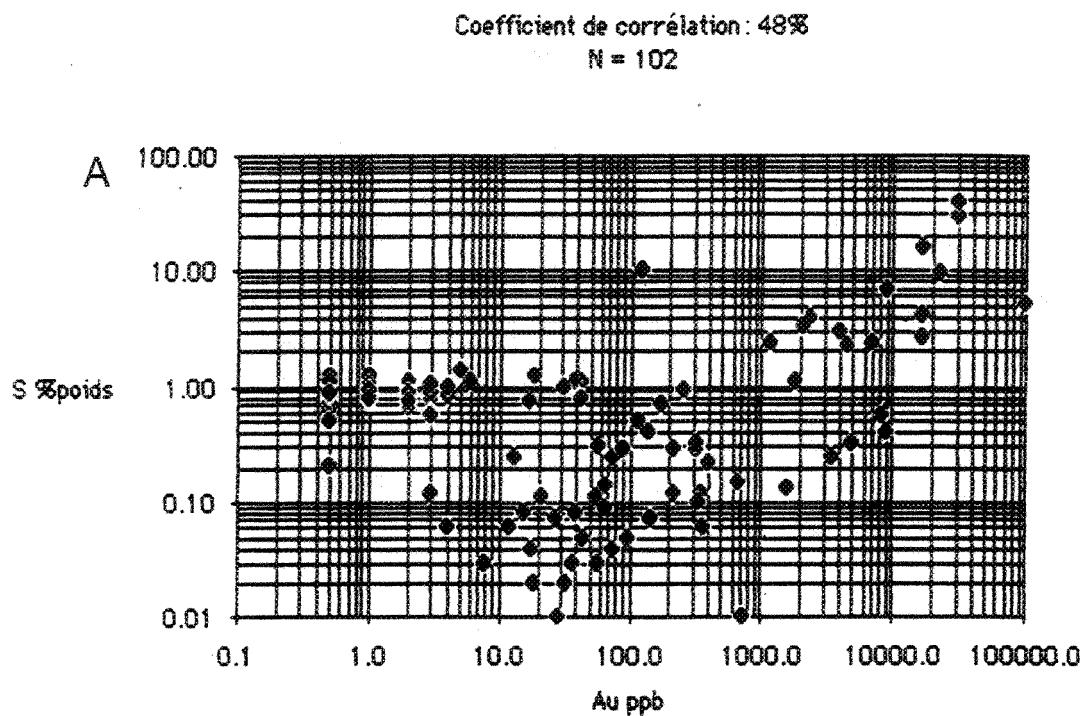


Figure 80: Diagrammes du soufre (A) et de l'argent (B) en fonction de l'or à la mine Cooke.

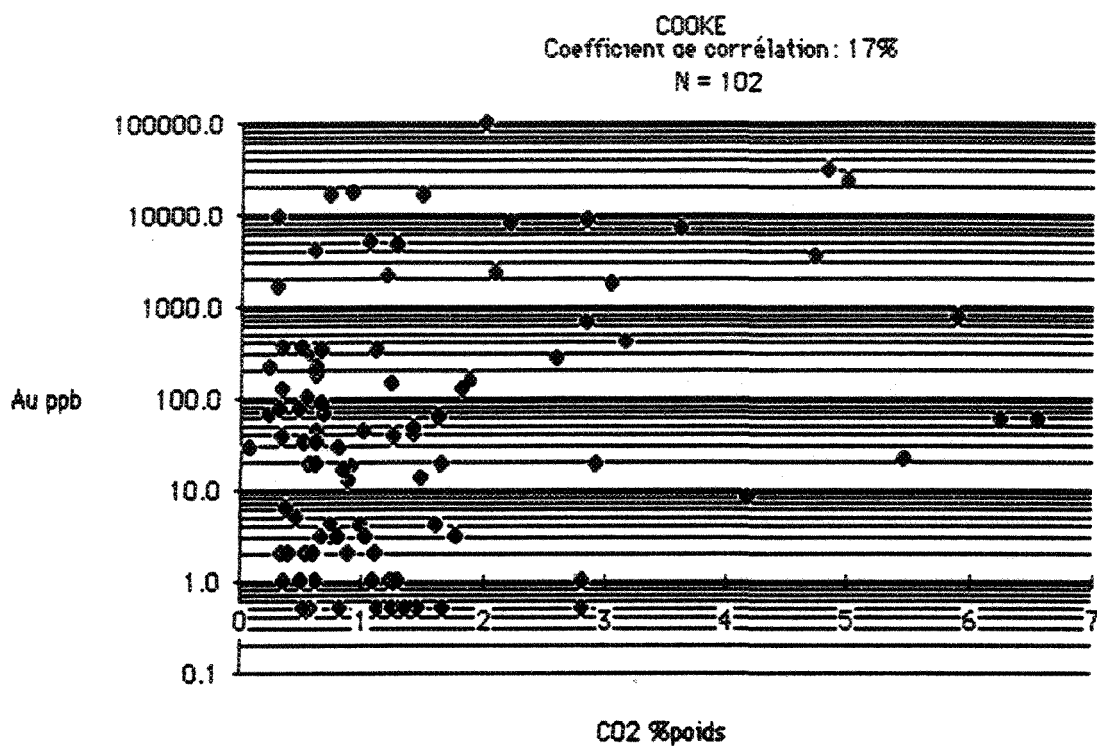


Figure 81 : Diagramme du CO₂ en fonction de l'or à la mine Cooke.

tendance à suggérer visuellement des corrélations beaucoup plus fortes qu'elles ne le sont en réalité. Le lecteur doit bien prendre note des échelles utilisées et se référer au coefficient de corrélation calculé plutôt qu'à l'impression visuelle de corrélation.

On constate d'abord une bonne corrélation ($r: 0,67$) entre le Cu (ppm) et l'or (ppb) (figure 79 A) ce qui concorde avec nos observations mégascopiques et minéragraphiques (voir section suivante sur les minéralisations). De plus, des teneurs en Cu de 500 ppm ou plus permet de prévoir dans 70 % des cas des teneurs en or de plus de 500 ppb, alors que là où il y a 1 000 ppm de Cu dans la roche, on prévoit dans 81 % des cas des valeurs de plus de 1 000 ppb d'or.

La corrélation entre l'arsenic et l'or s'avère faible ($r: 0,38$) (figure 79 B). D'après ce graphique toutefois, des valeurs en arsenic de plus de 100 et 200 ppm laissent respectivement présager des teneurs en or de plus de 500 et 1 000 ppb dans 70 % et 76 % des cas. Toutefois, avec un seuil de 100 ppm de As on néglige 13 % des valeurs ayant donné ≥ 500 ppb d'or, tandis qu'avec un seuil de 200 ppm, on néglige 25 % des valeurs ayant donné ≥ 1000 ppb d'or.

La corrélation entre le soufre et l'or s'avère moyenne ($r: 0,48$) (figure 80 A). Toutefois, un seuil de 2 % de soufre permet de prévoir des teneurs en or de plus de 500 ppb et 1 000 ppb dans respectivement 93 et 94 % des cas. Par contre, ces seuils font abstraction de 37 % des teneurs de plus de 500 ppb d'or et de 25 % des teneurs supérieures à 1 000 ppb d'or.

La corrélation entre l'argent (Ag) et l'or s'avère moyenne ($r: 0,48$) (figure 80 B), elle aussi, mais un seuil de 1 ppm d'Ag permet de prévoir des teneurs de plus de 1 000 ppb dans 91 % des cas. À noter que toutes les valeurs de plus de 1000 ppb d'or titrent au moins 1 ppm d'Ag.

Enfin, le graphique du CO_2 en fonction de l'or (figure 81) montre qu'il n'existe pas de corrélation ($r: 0,17$) entre l'intensité de la carbonatation et les teneurs aurifères. Ce résultat concorde avec ceux obtenus par d'autres auteurs à la mine Cooke (Boisvert, 1984 et Boisvert et Drouin, 1985) ou dans d'autres secteurs du filon-couche de Bourbeau (Dubé, 1985).

Cette étape nous permet de préciser les résultats obtenus à l'aide des profils lithogéo-

chimiques précédemment présentés (section sur la lithogéochimie qualitative dans le présent chapitre). Ces profils confirment la relation Cu-Au alors suggérée par leur coïncidence spatiale (figures 75 et 76) mais atténuent la relation arsenic-or. De plus, ils indiquent l'absence de corrélation entre le pourcentage de CO₂ et l'or. Ces résultats concordent donc avec ceux présentés par Boisvert (1984) et Boisvert et Drouin (1985). Enfin, ils suggèrent les seuils à partir desquels il est raisonnable de prévoir des teneurs de plus de 500 ou 1 000 ppb d'or. Ces seuils pourraient être utilisés dans la recherche de zones aurifères d'intérêt économique à la mine Cooke. Nous considérons, en effet, que des seuils de 1 000 ppm de Cu, 200 ppm de As, 1 ppm d'Ag et 2% de soufre indiquent que la probabilité d'obtenir plus de 1 000 ppb d'or est forte.

6.2.5 Discussions

6.2.5.1 Formation de l'axinite

La lithogéochimie quantitative suggère que dans toutes les zones d'altération étudiées, le Ca a été lessivé. Ce lessivage s'explique probablement en partie par la faible carbonatation subie par les roches. Ainsi, le Ca ne s'est pas combiné au CO₂ pour former des carbonates en aussi grande proportion que ce que l'on observe généralement dans les gisements du type filonien pour des roches de cette composition (Roberts, 1987). La quantité de CO₂ dans le fluide était peut-être assez faible.

Toutefois, ce lessivage du Ca permet possiblement d'expliquer la formation d'axinite et non pas de tourmaline. Dans la tourmaline il n'y a pas de Ca alors qu'au contraire, un des principal constituant de l'axinite est justement le Ca. Ainsi, le bore, le Fe et le Si contenu dans le fluide se seraient plutôt combinés avec du Ca pour ainsi permettre la formation d'axinite.

6.2.5.2 Formations des autres minéraux de gangue présents dans les veines

Maintenant, il est important de tenter d'expliquer la formation des minéraux de gangue présent dans les veines. D'après les résultats de l'étude des transfert de masse, le Ca, Mg et Na sont des éléments qui ont été lessivés des roches encaissantes. Ils se sont donc probablement dissous dans le fluide. Le CO₂, H₂O, K et Fe sont de toutes évidences des éléments transportés

par le fluide, comme le suggèrent les résultats de l'étude des gains et pertes. Il en est de même pour la silice qui est demeurée relativement constante à l'exception de la zone à chlorite massive dans le forage S-588 où elle a été fortement libérée. Le seul élément qui manque pour former l'ensemble de ces minéraux d'altération est l'aluminium. Cet élément, de même que le Sc, sont, selon la lithogéochimie quantitative, les moins mobiles des éléments étudiés.

Comment expliquer cette immobilité relative de l'aluminium de même que sa présence paradoxale dans plusieurs des minéraux de gangue observés dans les veines. Selon Robert et Brown (1986), la présence de minéraux contenant de l'aluminium dans les veines implique nécessairement la mobilité de cet élément. Toutefois, une façon possible d'expliquer cette mobilité est que l'aluminium présent dans les minéraux de gangue des veines ne semble pas impliquer la mobilité du Al présent dans les épontes de ces veines comme en témoigne les résultats à l'aide de la méthode de Gresens (1967). Cet Al est probablement présent dans le fluide hydrothermal. Il aurait été lessivé des roches en interaction avec le fluide tout au long de son déplacement vers le site ou l'environnement de précipitation et non pas de l'environnement immédiat de formation de ces veines. Ainsi, au point de vue théorique Al ne serait donc pas parfaitement immobile dans l'environnement de la mine Cooke. Toutefois, au point de vue pratique, sa mobilité dans l'environnement immédiat à la minéralisation aurait été relativement faible au point que cet élément puisse être considéré comme étant un de ceux qui sont le moins mobile. Une autre possibilité est que Al est plus mobile que ce que l'étude de Gresens suggère mais que dans les roches encaissantes à la minéralisation, cet élément se combine immédiatement avec d'autres éléments, libérés par l'altération ou ajoutés par le fluide, rendus disponibles suite aux effets de l'altération,. Ainsi, malgré sa relative mobilité, il serait demeuré sur place et aurait été redistribué maintenant ainsi à peu près constante sa concentration.

6.2.6 Sommaire de l'altération hydrothermale à la mine Cooke

L'altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine Cooke est peu développée. Elle est en effet pratiquement restreinte à la zone de cisaillement même. Mégascopiquement, cette altération se caractérise par une forte chloritisation et une carbonatation (calcite). Tandis que la chloritisation affecte l'ensemble des constituants de la roche, et s'avère parfois totale, la carbonatation se manifeste fréquemment sous forme de veinules de calcite mises en place dans le gabbro, à l'intérieur et à l'extérieur de la zone de cisaillement. Malgré

l'intensité d'altération relativement faible, il est possible de regrouper les minéraux d'altération en au moins trois faciès relativement distincts : un faciès à séricite \pm calcite \pm chlorite, un faciès à chlorite + calcite \pm axinite et, finalement, un faciès à chlorite massive (S-588).

Le faciès à séricite \pm calcite \pm chlorite s'associe à une zone faiblement déformée. Il correspond à la zone d'altération observée dans l'enveloppe des zones de cisaillement. La roche est généralement fracturée mais non schisteuse. La séricite est le minéral caractéristique. Ce faciès contient de nombreuses veinules fréquemment constituées, en bordure, de quartz et d'albite et, au coeur, de calcite. Le faciès à chlorite, calcite \pm axinite se trouve dans la zone de cisaillement contenant la minéralisation. Il s'associe donc à une zone relativement plus déformée que la zone à séricite \pm calcite \pm chlorite. La chlorite est la phase d'altération caractéristique. Le faciès à chlorite est directement accolé aux veines minéralisées et se situe dans les zones fortement déformées comme c'est le cas dans le forage S-588 (figure 66). La présence de ce faciès est reliée à l'intensité de la déformation et sa largeur est généralement centimétrique à millimétrique. La roche se compose alors presque exclusivement de chlorite.

Sur le plan lithogéochimique, l'altération hydrothermale se traduit qualitativement par une augmentation du rapport K_2O/Na_2O en coïncidence spatiale avec l'augmentation de la proportion de séricite observée pétrographiquement. À l'inverse, le rapport $SiO_2/(CO_2 + H_2O + S)$ diminue à l'approche de la zone minéralisée. La diminution de ce rapport coïncide avec la formation des minéraux d'altération notés pétrographiquement. Les éléments traces As et Cu présentent des profils identiques à celui de l'or. Les valeurs sont très élevées : $>1\ 000$ ppm d'arsenic et de 6 680 à $>20\ 000$ ppm de cuivre.

L'étude lithogéochimique quantitative utilisant Al et Sc comme éléments les moins mobiles révèle que le faciès à séricite \pm calcite et chlorite, se caractérise par des gains importants de K, C, S, Cu, As, Au et Rb. Ces gains s'accompagnent du lessivage marqué de Ca, Sr, Cr et Ni. Le faciès d'altération caractérisé par la présence de chlorite et calcite, avec présence d'axinite dans le forage U-9399, montre des gains importants en Fe^{+2} , As, Au et Pb et une augmentation assez faible du Ti. Dans le forage U-9399, des introductions majeures de C, S, B, Cu sont notées. À l'inverse, Mg, Ca, Na, Sr et Cr présentent des lessivages d'intensité variable. De plus, dans le

forage S-588, le S, H et B ont subi des diminutions importantes. Le faciès constitué principalement de chlorite (forage S-588), présente des gains importants en Fe (tot), Cu, As, Au, des introductions plus faible de H^+ , Mo, Pb, V, Co et Zn. À l'inverse, Si, Ca, Na, K, C, Rb, Sr, Y, Cr et Ni ont subi des lessivages intenses, alors que Ti, Mg, S et Zr présentent des diminutions moins importantes. Le Ca, le Sr et le Cr ont été lessivés dans toutes les zones altérées alors que à l'inverse, As et Au ont subi des gains.

L'étude statistique réalisée révèle une bonne corrélation ($r = 67\%$) entre le Cu et l'or. La corrélation entre l'arsenic et l'or s'avère faible (38%). Toutefois, des valeurs en arsenic de plus de 100 et 200 ppm laissent respectivement présager des teneurs en or de plus de 500 et 1 000 ppb dans 70 % et 76 % des cas. La corrélation entre le soufre et l'or s'avère moyenne (48%) (figure 80 A). Toutefois, un seuil de 2 % de soufre permet de prévoir des teneurs en or de plus de 500 ppb et 1 000 ppb dans respectivement 93 et 94 % des cas. La corrélation entre l'argent (Ag) et l'or s'avère moyenne (48%) (figure 80 B) elle aussi mais un seuil de 1 ppm d'Ag permet de prévoir des teneurs de plus 1 000 ppb dans 91% des cas. À noter que toutes les valeurs de plus de 1000 ppb d'or titrent au moins 1 ppm d'Ag. Enfin, le graphique du CO_2 en fonction de l'or (figure 81) montre qu'il n'existe pas de corrélation (17%) entre l'intensité de la carbonatation et les teneurs aurifères.

6.3- Altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine

Norbeau

6.3.1 Pétrographie des altérations

6.3.1.1 Introduction

L'altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine Norbeau est très bien développée. Elle se caractérise mégascopiquement par une carbonatation et une chloritisation. Cette altération est intimement associée à des zones de cisaillement contenant des veines de quartz aurifère. Dans le cadre de l'étude pétrographique des altérations hydrothermales, une centaine de lames minces ont été étudiées en détail. Celles-ci proviennent de trous de sondage et de coupes réalisées à la surface : la veine New Vein a été étudiée à l'aide du forage N-81-11 et d'une section réalisée en surface (section New Vein); pour la veine Sharpe, nous avons sélectionné le forage SH-8-85 accompagné d'une section en surface (section Sharpe), à la veine no 1 nous avons utilisé une section de surface et le forage N-87-2 et, finalement, à la veine Mann, nous avons utilisé une section réalisée dans la galerie d'accès et le forage Mann 1-85. Nous présentons maintenant les résultats de cette étude. Dans un premier temps, le lecteur trouvera une représentation graphique de la distribution des différentes phases minéralogiques. Par la suite, ces minéraux ont été regroupés à l'intérieur de faciès d'altération où leurs caractéristiques texturales et leur composition sont alors décrites. L'altération développée dans les faciès de ferrogabbro à quartz et de ferrodiorite à quartz est différente de celle présente dans le faciès leucogabbroïque. Nous avons donc jugé nécessaire de les traiter séparément. Les minéraux sont présentés en termes d'assemblage minéralogique et non pas en termes de paragenèse suggérant qu'un équilibre existe entre les différents minéraux.

Les zones minéralisées se trouvent à l'intérieur de zones de cisaillement dont la largeur est de l'ordre de 10 à 35 m. La roche encaissante déformée contient alors des veines et veinules de quartz auxquelles s'associent la présence des sulfures. Ces sulfures sont surtout abondants dans l'encaissant gabbroïque accolé aux veines. La transition entre la zone de cisaillement et l'encaissant gabbroïque non-mylonitisé est graduelle et se caractérise par la présence, sur quelques centimètres ou mètres de largeur, d'une roche déformée, chloritisée et injectée de veinules de calcite. Il est intéressant de souligner que chez les veines d'orientation E-W, la nature de la roche encaissante située de part et d'autre de la zone minéralisée est variable.

Cette variation est basée sur les observations pétrographiques, en particulier l'abondance d'intercroissances granophyriques et les éléments traces (Zr, Y, La et Yb). Par exemple, pour les forages N-81-11 (veine New Vein) et SH-8-85 (veine Sharpe), on constate à la figure 82 une augmentation marquée et brusque dans la proportion des éléments traces après 18,5 m au forage N-81-11 et après 34 m au forage SH-8-85. Cette variation correspond à une transition brusque du ferrogabbro à quartz à une ferrodiorite à quartz et témoigne ainsi de l'emplacement de la zone de cisaillement à proximité ou au contact entre ces deux unités et/ou du mouvement en chevauchement produit par la zone de cisaillement. À la veine Mann, la zone de cisaillement se situe au contact ou très près du contact entre la pyroxénite et le leucogabbro (forage Mann 1-85).

Les figures 83, 84, 85, 87 et 88 présentent graphiquement le sommaire de nos observations. On y remarque une évaluation graphique qualitative de l'intensité des déformations. À l'intérieur de la zone de cisaillement, l'intensité de la déformation est variable. La déformation maximale correspond à la présence de mylonite à l'intérieur de la zone de cisaillement, alors que les zones accolées aux veines de quartz et/ou injectées de veinules de quartz et contenant des sulfures, de la séricite et des carbonates sont moins déformées. L'estimation visuelle de l'abondance des minéraux permet de représenter les variations de proportion des principaux minéraux d'altération en fonction de leur position par rapport à la ou les zones minéralisées. La courbe du rapport leucoxène/titanomagnétite présente l'intensité du remplacement des titanomagnétites primaires par le leucoxène. Ce remplacement est total dans les zones contenant des sulfures. Généralement (N-81-11, SH-8-85, section New Vein), là où l'encaissant est chloritisé et carbonatisé, le remplacement par le leucoxène est plutôt partiel et on observe alors un résidu d'ilménite.

6.3.1.2 Patron d'altération

Les caractéristiques pétrographiques des phases minéralogiques de chacun des forages et sections présentées aux figures 83, 84, 85, 87 et 88 ont été décrites en détail dans une publication précédente (Dubé et Guha, 1988). Ainsi, plutôt que de présenter de nouveau les détails de l'altération caractérisant chacune des zones étudiées, nous avons jugé préférable de regrouper les minéraux d'altération en termes de faciès, comme proposé par Meyer et Hemley (1967). Il est toutefois nécessaire de faire une distinction entre l'altération hydrothermale développée dans le ferrogabbro à quartz et la ferrodiorite à quartz et celle développée dans le

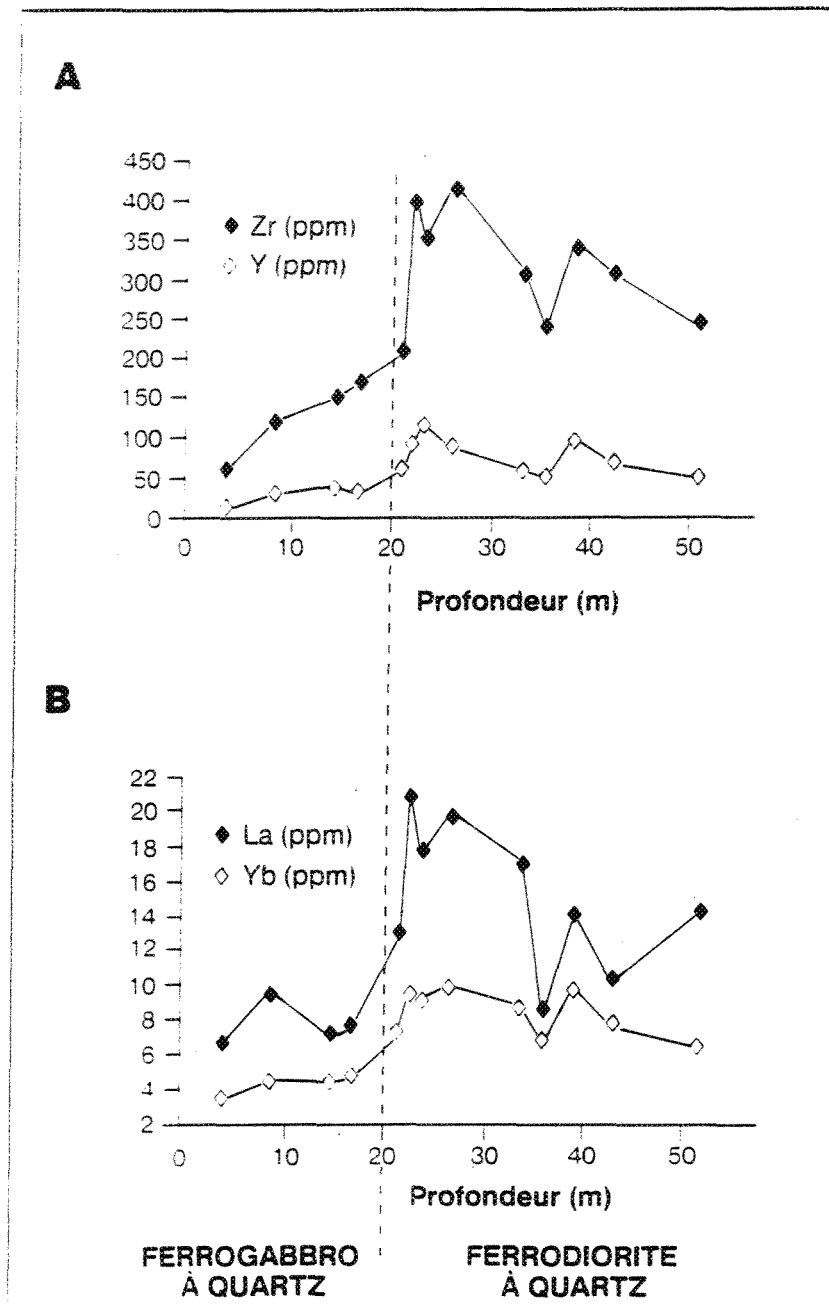


Figure 82: Diagramme des éléments traces Zr/Y (A) et La/Yb (B) pour le forage N 81-11 de la veine New Vein à la mine Norbeau. Tirée de Dubé et Guha., 1989.

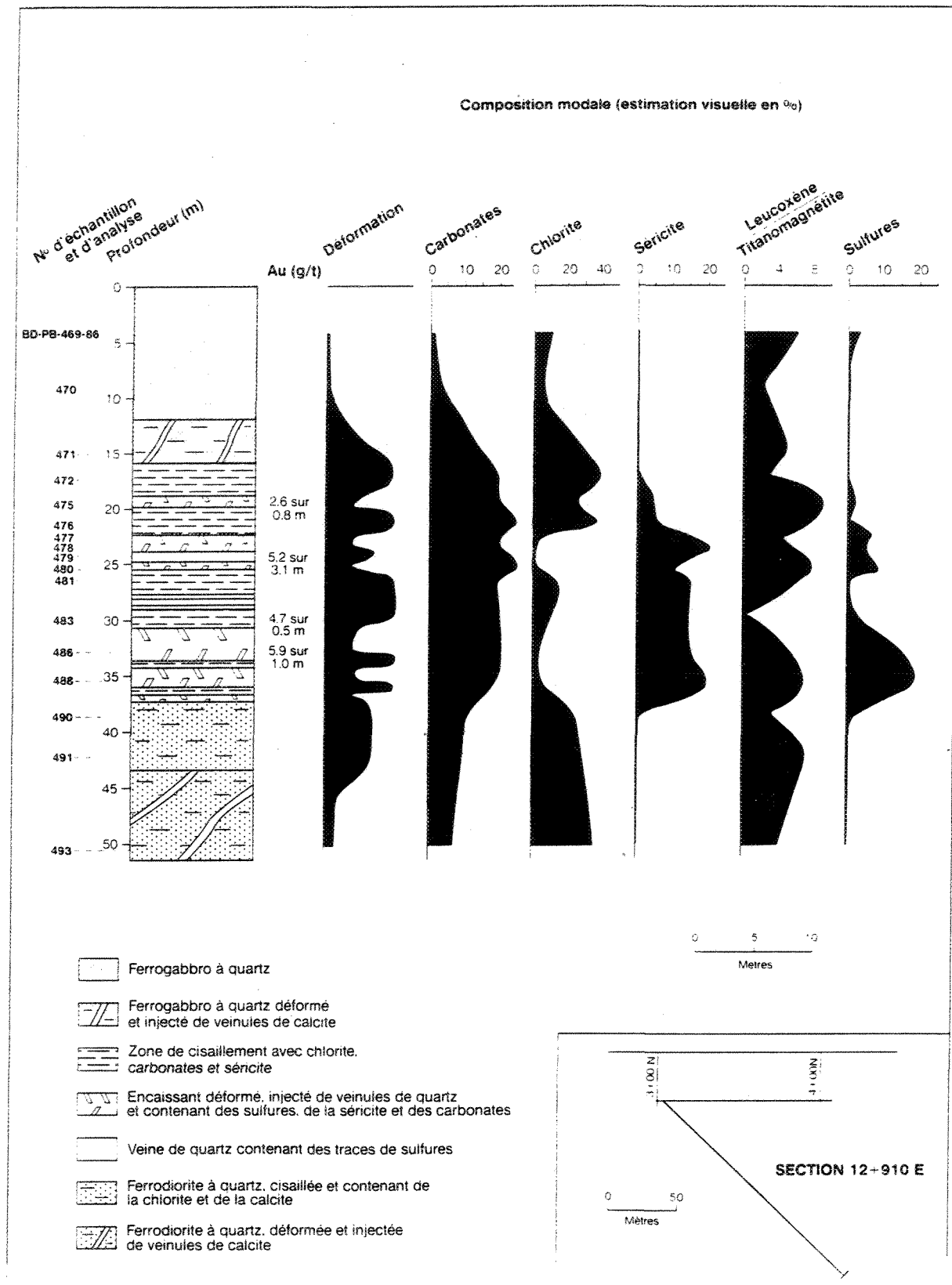


Figure 83 : Profil pétrographique de l'altération hydrothermale observée dans le forage N 81-11 de la veine New Vein à la mine Norbeau. Tirée de Dubé et Guha, 1989.

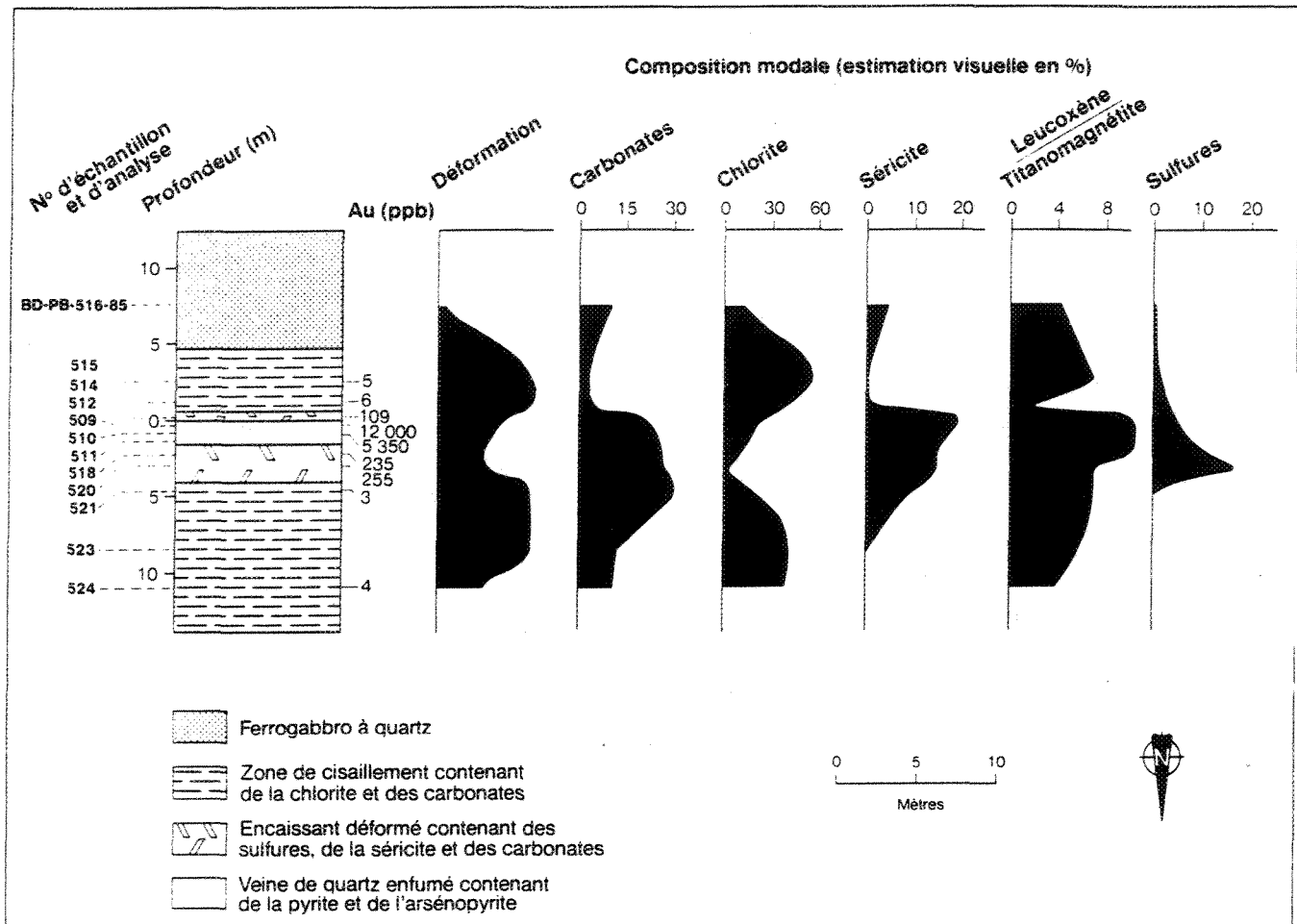


Figure 84: Profil pétrographique de l'altération hydrothermale observée dans la section de la veine New Vein à la mine Norbeau. Tirée de Dubé et Guha, 1989.

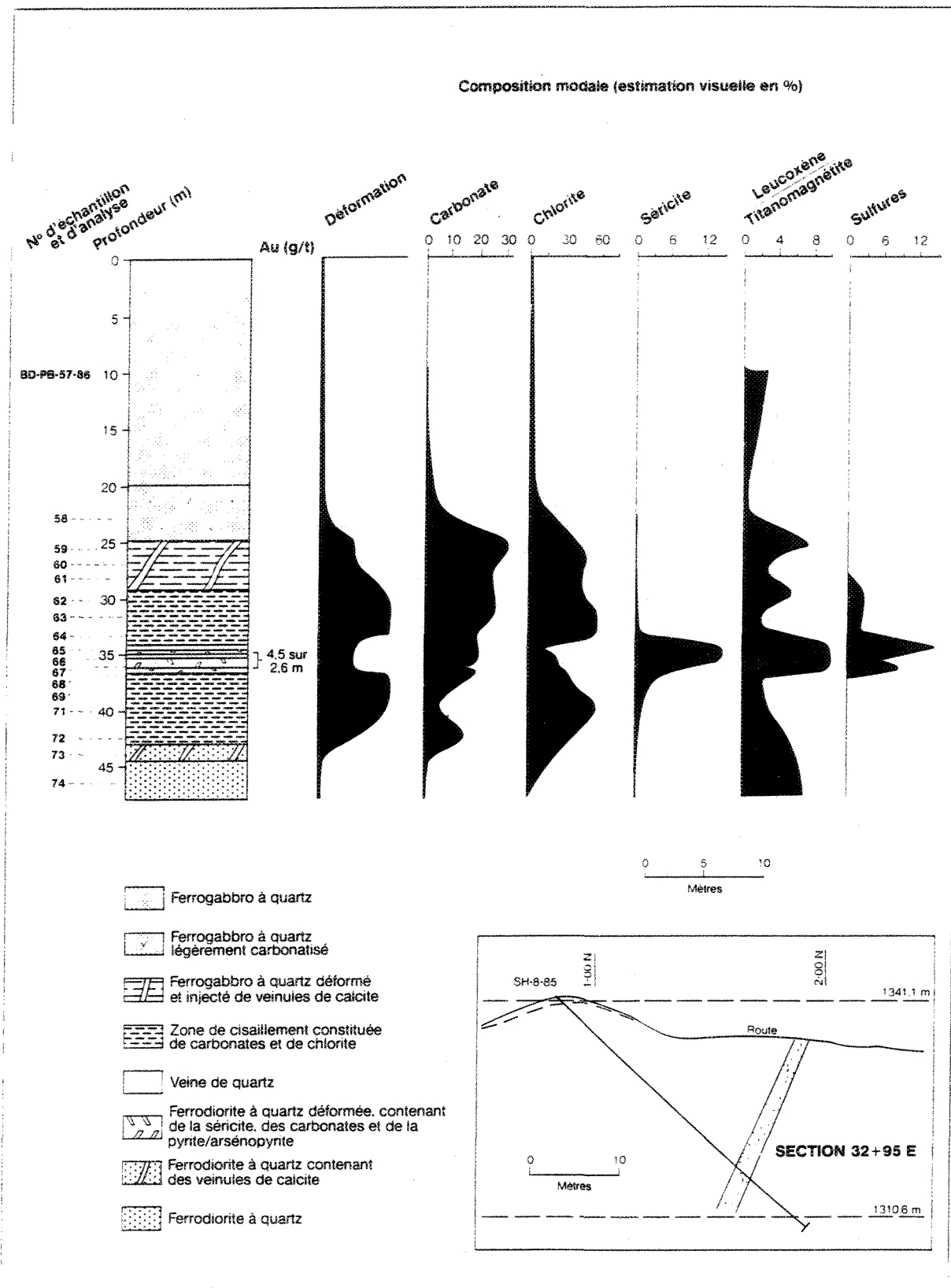


Figure 85: Profil pétrographique de l'altération hydrothermale observée dans le forage SH 8-85 de la veine Sharpe à la mine Norbeau. Tirée de Dubé et Guha, 1989.

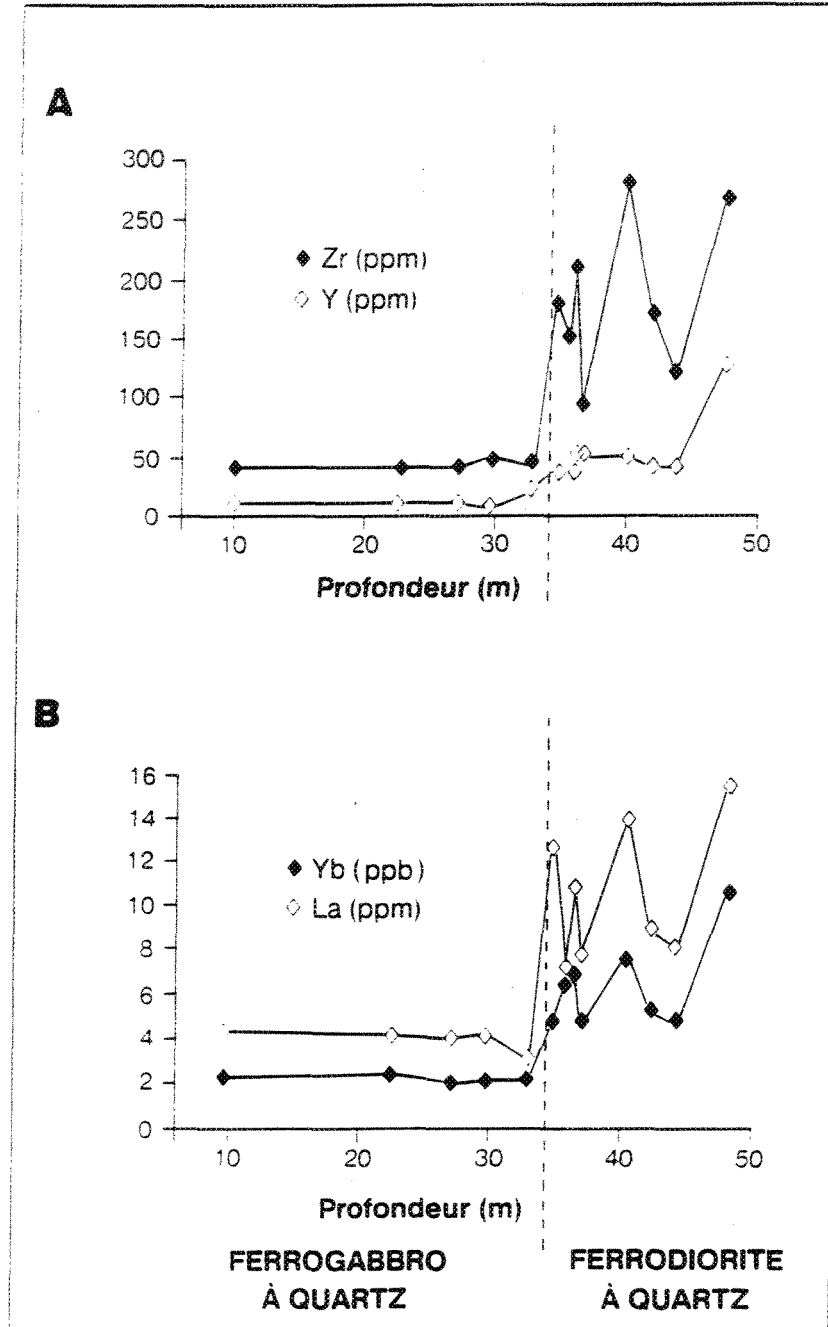


Figure 86: Diagramme des éléments traces Zr/Y (A) et La/Yb (B) pour le forage SH 8-85 de la veine Sharpe à la mine Norbeau. Tirée de Dubé et Guha., 1989.

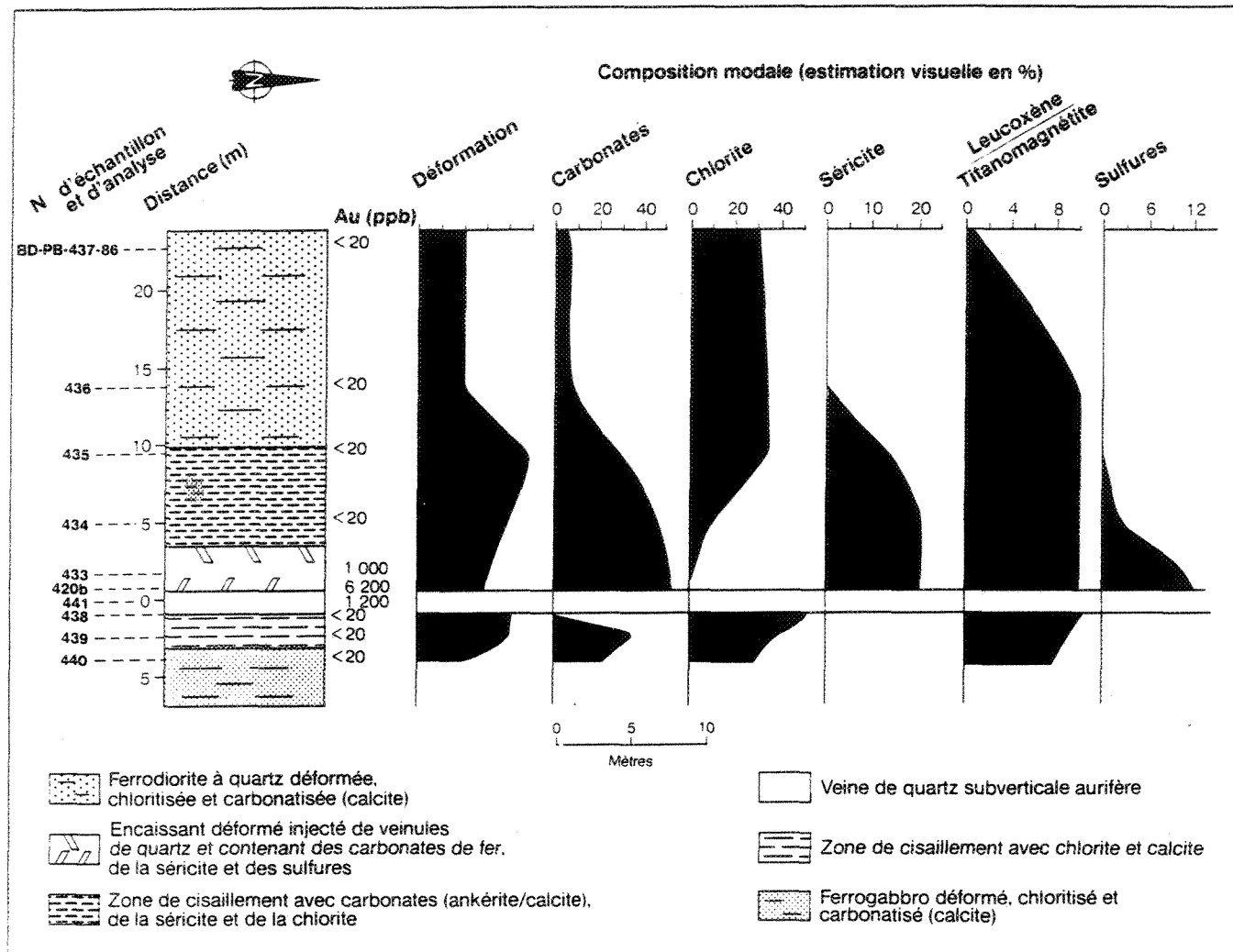


Figure 88: Profil pétrographique de l'altération hydrothermale observée dans la section de la veine #1 à la mine Norbeau. Tirée de Dubé et Guha, 1989.

leucogabbro, étant donné que les assemblages sont nettement différents. Il importe de noter que la presque totalité de la minéralisation aurifère se situe dans les veines présentes dans le ferrogabbro à quartz et la ferrodiorite à quartz. Seule la veine Mann, située dans le leucogabbro, fait exception et, malgré ses teneurs en or extrêmement fortes, cette veine est de faible extension latérale (environ 20 m) et, de ce fait, relativement marginale dans le cadre de ce travail.

Avant de décrire en détail les différents faciès d'altération nous présentons un bref rappel des assemblages minéralogiques présents dans les protolithes avant qu'ils aient subi l'effet de l'altération hydrothermale (section précédente sur la pétrographie du filon-couche de Bourbeau à la mine Norbeau).

6.3.1.3 Zone non altérée par le fluide hydrothermal

Les zones non altérées par le fluide hydrothermal ont uniquement subi l'influence du métamorphisme régional. Les roches y sont peu ou pas déformées, les textures primaires sont relativement bien préservées. Le métamorphisme régional de faciès schiste vert a eu pour effet de produire une forte saussuritisation des plagioclases en un assemblage principalement constitué d'épidote et d'albite secondaires. Localement, des traces de chlorite et de damourite sont observées. Sept analyses à la microsonde réparties sur 2 échantillons de ferrogabbro à quartz (PB-469 et 516) révèlent que la composition moyenne de la chlorite métamorphique se situe à la limite entre le champ des ripidolites et celui des brunsvigites (Hey, 1967) (tableau 15, figure 89):

(Si_{5.62}, Al_{2.38}) (Al_{2.21}, Fe_{6.568}, Mg_{3.172}, Ti_{0.011}, Mn_{0.061}, Ca_{0.022}, Na_{0.53}, K_{0.007}) O₂₀ (OH)₁₆. Le rapport Fe/(Fe+Mg) est de 0.67.

On constate également une forte ouralitisation des pyroxènes en hornblende-trémolite-actinote à la quelle s'associe localement des traces de chlorite et de calcite. La composition moyenne de l'actinote telle que déterminée par analyses à la microsonde dans l'échantillon PB-550-85 est (annexe 2, tableau 3) :

Si_{7.189} Al_{7.716} (FeO_{2.228}, Fe₂O₃ .739, Mg_{1.994}, Ti_{0.115}, Cr_{0.010}, Mn_{0.040}) (Ca_{1.634}, Na_{0.366}) (Na_{0.125}, K_{0.104}) (OH)₂

Tableau 15: Composition moyenne de la chlorite en fonction du faciès d'altération, mine Norbeau. Déterminée par analyse à la microsonde.

Faciès d'altération	Non-altérée	chlorite/calcite	séricite/carbonates chlorite	séricite/carbo -nates/pyrite
Nombre d'échantillon	2	11	5	4
Nombre d'analyses	7	44	19	14
SiO ₂	25.33%	26.01%	25.90%	23.69%
Al ₂ O ₃	17.56	18.27	19.01	18.92
TiO ₂	0.07	0.09	0.09	0.10
FeO	35.41	37.02	37.99	37.47
MnO	0.33	0.28	0.08	0.16
MgO	9.59	6.86	5.66	7.63
CaO	0.09	0.13	0.06	0.04
Na ₂ O	0.13	0.14	0.25	0.02
K ₂ O	0.03	0.04	0.05	0.03
total	88.54	88.84	80.09	88.06

Formule sur la base de 28 Oxygènes

Si	5.620	5.758	5.736	5.350
Al	<u>2.380</u>	<u>2.242</u>	<u>2.2604</u>	<u>2.650</u>
	8.000	8.000	8.00	8.000
Al	2.21	2.544	2.717	2.392
Ti	0.011	0.016	0.016	0.016
Fe	6.568	6.889	7.062	7.102
Mn	0.061	0.053	0.014	0.029
Mg	3.172	22.69	1.875	2.550
Ca	0.022	0.027	0.014	0.010
Na	0.053	0.060	0.107	0.010
K	0.007	0.010	0.014	0.010
Fe/(Fe+Mg)	0.67	0.75	0.79	0.74

échantillons

non-altéré: BD-PB-469-86, BD-PB-516-85

chlorite/calcite: BD-PB-436-86, BD-PB, 437-86, BD-PB-515-85,
BD-PB-614-85, BD-PB, 524-85, BD-PB-523-85, BD-PB-471-86,
BD-PB-472-86, BD-PB-476-86, BD-PB-490-86, BD-PB-491-86

séricite/carbonates/chlorites: BD-PB-435-86, BD-PB-434-86, BD-PB-521-85,
BD-PB-481-86, BD-PB-483-86

séricite/carbonates/pyrites: BD-PB-433-86, BD-PB-518b-85, BD-PB-478-86,
BD-PB-486-86

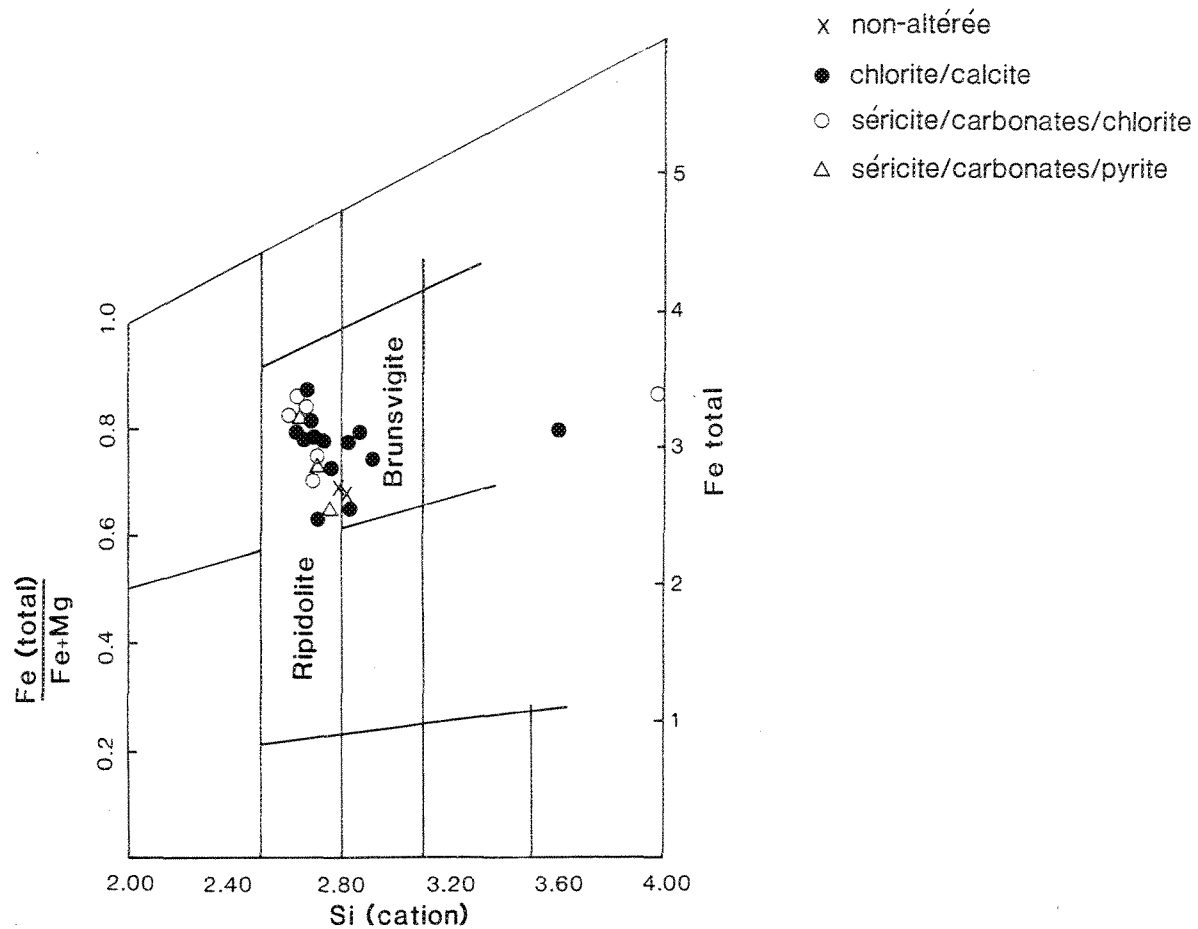


Figure 89: Diagramme de Hey (1967) montrant la composition chimique
différente des chlorites en fonction du faciès d'altération. Mine Norbeau.

Le métamorphisme se caractérise également par le remplacement partiel des titanomagnétites primaires par le leucoxène. Finalement, du stilpnomélane est localement présent dans le ferrogabbro à quartz non altéré (PB-469a-86, forage N-81-11) ou chloritisé (PB-471-86, forage N-81-11) et dans la ferrodiorite à quartz non altérée (PB-550-85, section Sharpe et PB-74-86, forage SH-8-85) ou chloritisée (PB-155-86, forage SH-14-85 et PB-73-96, forage SH-8-85). Le stilpnomélane est alors en inclusion dans les plagioclases et les amphiboles issues de l'ouraltisation des pyroxènes. Mais le stilpnomélane se situe principalement dans la zone non altérée par le fluide hydrothermal. Son abondance diminue à mesure que l'altération hydrothermale devient de plus en plus importante jusqu'à sa disparition complète. Sa composition moyenne est présentée à l'annexe 2 (tableau 4). Selon Winkler (1979), le stilpnomélane est un minéral présent dans les assemblages minéralogiques dérivés de roches volcaniques mafiques (ou de leur équivalent intrusif) affectées par un métamorphisme schiste vert inférieur.

Dans l'ensemble ces assemblages sont produits par un métasomatisme presque isochimique impliquant uniquement l'apport de H_2O dans les pyroxènes et leur transformation en amphibole.

6.3.1.4 Patron d'altération dans le ferrogabbro à quartz et la ferrodiorite à quartz

6.3.1.4.1 Introduction

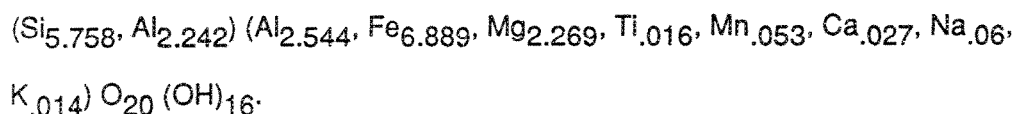
L'altération hydrothermale associée aux veines aurifères dans le ferrogabbro à quartz et la ferrodiorite à quartz de la mine Norbeau peut être divisée en au moins trois faciès soit, un faciès à chlorite-calcite, un faciès à séricite-ankérite-calcite-chlorite et, finalement, un faciès à séricite-ankérite-calcite-pyrite. Ces zones ne présentent pas une distribution symétrique de part et d'autres de la zone minéralisée. En effet, la présence de la zone à séricite-ankérite-calcite-chlorite et de celle à séricite-ankérite-calcite-pyrite est fortement reliée à la présence de veines sub-horizontales. Comme ces veines sub-horizontales sont principalement observées dans le mur de la zone de cisaillement, la distribution des zones d'altération est généralement non symétrique. Ainsi, du côté du toit, on note que l'altération hydrothermale est dominée par la zone à chlorite-calcite, quoiqu'une mince zone d'épaisseur centimétrique de séricite-ankérite-calcite-pyrite soit généralement observée au contact

immédiat avec la veine de quartz "sub-verticale". Du côté du mur, l'altération se caractérise par la présence d'une zone d'épaisseur centimétrique de séricite-ankérite-calcite-pyrite, suivie d'une zone, centimétrique à métrique, de séricite- ankérite-calcite-chlorite et, finalement, d'une zone à chlorite-calcite. Cette observation est particulièrement frappante dans la section de surface de la veine no 1 et de la veine New Vein. À titre d'exemple, à la section de la veine New Vein, la roche encaissante possède une patine d'altération rouille au nord de la veine de quartz aurifère "sub-verticale" et une patine verte au sud. Cette patine rouille reflète la présence d'ankérite. Celle-ci est associée à la séricite, aux sulfures et aux veines de quartz sub-horizontales. Du côté du toit (au sud de la veine "sub-verticale"), les ankérites et la séricite sont absentes et la chlorite est la phase d'altération dominante. Nous décrivons maintenant chacune de ces zones d'altération.

6.3.1.4.2 Faciès à chlorite-calcite

Vers les limites externes des zones de cisaillement contenant les veines minéralisées, nous avons observé une zone d'altération caractérisée par une grande abondance de chlorite et la présence de calcite. Cette zone est également caractérisée par une forte foliation minérale et une réduction importante de la granulométrie des minéraux primaires (figures 90 A et B).

Dans ce faciès, les amphiboles métamorphiques sont totalement remplacés par la chlorite et la calcite, alors que les plagioclases sont transformés en un assemblage de chlorite et d'albite polygonisée avec également présence de calcite. La chlorite est la phase minéralogique dominante (tableau 15). Sa proportion varie de 20 à 64 %, en moyenne elle constitue 39 % de l'ensemble. 44 analyses à la microsonde réparties sur 11 échantillons révèlent que les chlorites correspondent, selon la classification de Hey (1967) à des ripidolites et des brunsvigites dont la composition moyenne est (tableau 16, figure 89):



Le rapport $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ de cette chlorite hydrothermale est de 0.75, il est donc plus élevé que celui de la chlorite métamorphique. La calcite est fréquemment observée en remplissage de fractures dans les franges de pression du quartz et en veinules discontinues. Sa proportion varie

Figure 90: A) Exemple de mylonite observée dans la zone de cisaillement.

Lumière transmise, analysée et polarisée. Largeur de la photo : 4 mm.

B) Exemple de déformation et de foliation caractérisant la zone à chlorite-calcite. Noter la déformation subie par le quartz (Qz) et le leucoxène (Le). Lumière transmise, analysée. Largeur de la photo : 5,5 mm.

C) Cristal de plagioclase (P) intensément remplacé par la séricite (Se) et l'ankérite (Ank). Lumière transmise, analysée et polarisée.

Largeur de la photo : 1 mm.

D) Cristaux de pyrite (Py) accolés à des grains de leucoxène (Le).

Lumière réfléchie et analysée. Largeur de la photo : 2 mm.

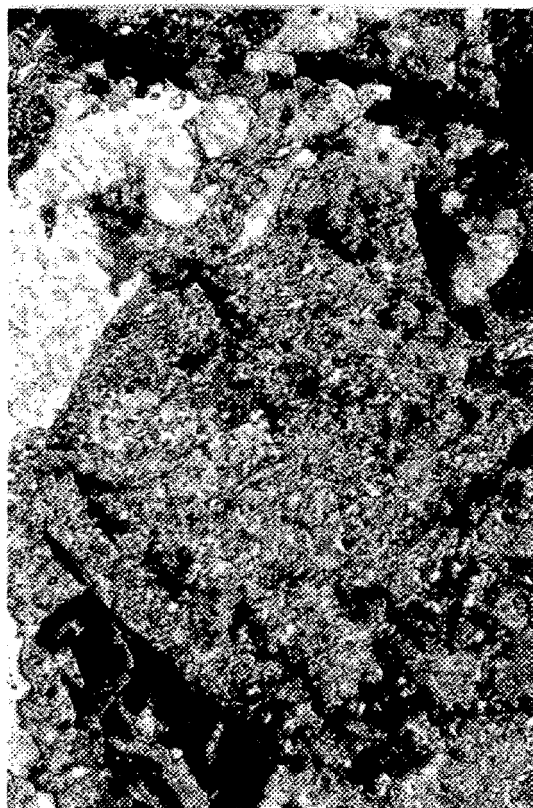
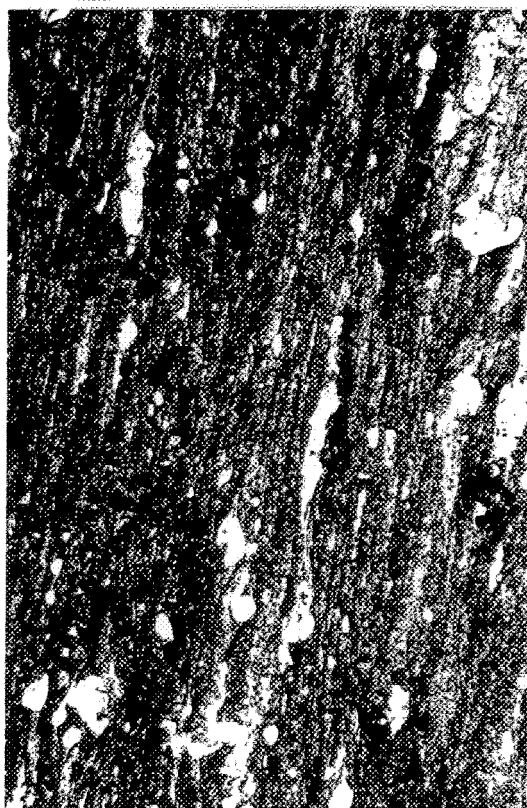
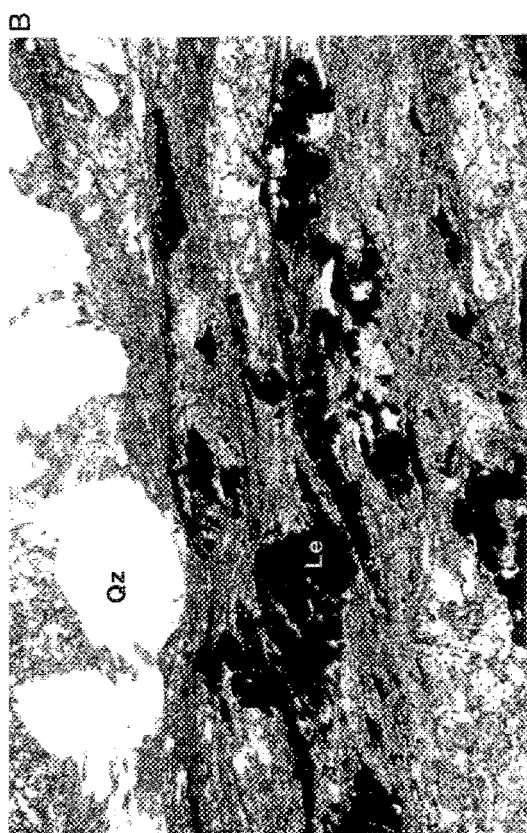
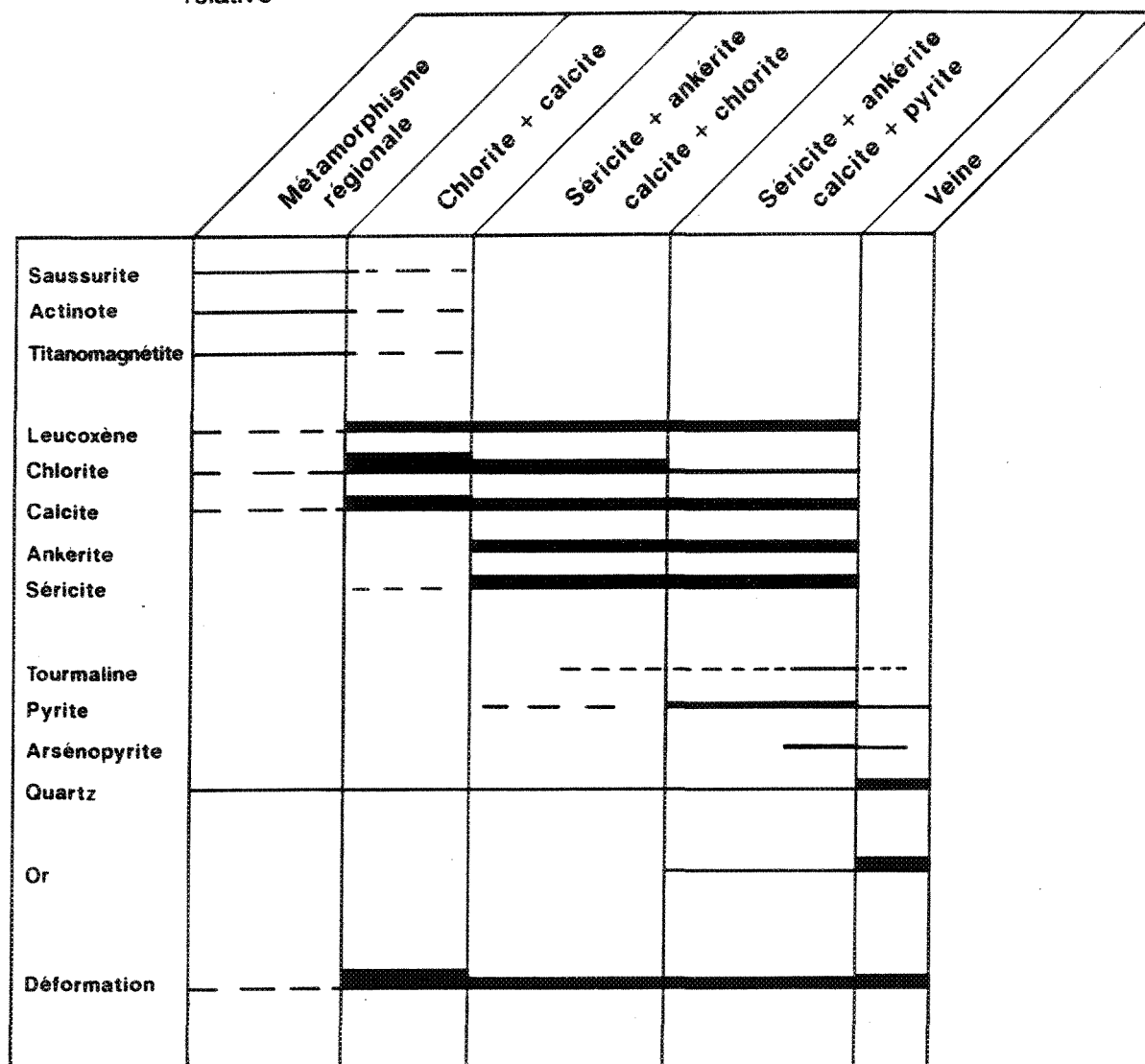


Tableau 16 : Variation d'assemblages minéralogique en fonction des faciès d'altération observés à la mine Norbeau. La largeur du trait représente l'abondance relative



de 3 à 54 %, en moyenne elle représente 18 % de l'ensemble. Des analyses à la microsonde de 29 grains répartis dans 12 échantillons confirment que le carbonate est exclusivement de la calcite dont la composition moyenne est $\text{Ca}_{.98} \text{Fe}_{.01} \text{Mn}_{.01} \text{CO}_3$ (tableau 17) . Aucun autre type de carbonate n'a été décelé. La calcite semble instable par rapport à la chlorite. Lorsque ces deux minéraux sont en contact, la chlorite semble déstabiliser et remplacer partiellement la calcite.

Dans cette zone, les titanomagnétites primaires sont fortement déformées, allongées selon la schistosité (figure 90 B). Elles sont presque complètement remplacées par le leucoxène-anatase. Parfois, les lamelles d'exsolution d'ilménite sont préservées. Cette leucoxénisation des titanomagnétites primaires s'avère une des principales caractéristiques minéralogiques mégascopiques associées à la zone de cisaillement. Elle se traduit par la présence de minéraux allongés de couleur blanc-crème. Des traces de séricites en inclusion dans les plagioclases sont localement observées

6.3.1.4.3 Faciès à séricite/ankérite-calcite/chlorite

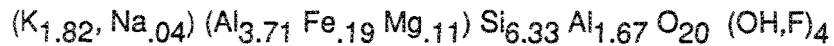
Cette zone est spatialement associée à la présence de veines de quartz sub-horizontales situées principalement dans le mur (footwall). Elle se caractérise par une patine rouille produite par la présence d'ankérite.

Dans cette zone, la déformation semble généralement plus faible que dans la zone de chlorite-calcite. Cette déformation plus faible est particulièrement notable à la veine New Vein où les textures de la ferrodiorite à quartz primaires sont bien préservées. Toutefois, à la veine Sharpe et à la veine no 1, on note que la roche est tout de même déformée comme le souligne l'allongement des leucoxènes. La plus faible déformation observée à la veine New Vein est spatialement associée à la présence des veines de quartz sub-horizontales. Différentes hypothèses peuvent être proposées pour expliquer cette coïncidence spatiale. Il est possible que les veines de tension se soient développées relativement tôt dans la zone de cisaillement, comme le suggère leur plissottement, et que leur présence ait contribué à rendre cette zone plus compétente, forçant ainsi la déformation à prendre place dans la zone à chlorite-calcite. Il est également possible que l'ankéritisation de cette zone ait augmenté la rigidité de la roche permettant la formation des fractures sub-horizontales, contenant les veines de quartz, et forçant encore là la déformation à prendre place ailleurs.

Tableau 17: Composition moyenne des carbonates en fonction du faciès d'altération, mine Norbeau. Déterminée par analyse à la microsonde.

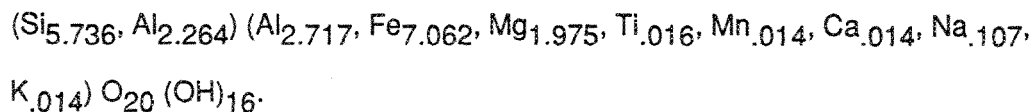
Faciès d'altération	chlorite/calcite	séricite/carbonates chlorite		séricite/carbonates/ pyrite	
Nombre d'échantillon	12	5		6	
type de carbonate	calcite	calcite	ankérite	calcite	ankérite
Nombre d'analyses	29	11	7	14	21
MgO	0.00	0.06	6.79	0.00	7.56
CaO	54.04	52.71	26.67	52.81	29.64
MnO	0.54	0.71	0.95	0.62	1.53
FeO	<u>0.58</u>	<u>1.61</u>	<u>20.45</u>	<u>1.36</u>	<u>18.55</u>
total	55.16	55.03	54.86	54.79	57.28
<u>Formule sur la base de 1 oxygène</u>					
Mg	0.00	0.001	0.178	0.00	0.196
Ca	0.984	0.966	0.505	0.971	0.509
Mn	0.007	0.010	0.014	0.009	0.023
Fe	<u>0.008</u>	<u>0.023</u>	<u>0.304</u>	<u>0.020</u>	<u>0.272</u>
total	0.999	1.000	1.001	1.000	1.000
<u>% poids end members</u>					
MgCO ₃	0.000	0.110	14.20	0.00	15.82
CaCO ₃	96.42	94.11	47.60	94.24	48.43
MnCO ₃	0.87	1.16	1.54	1.00	2.48
FeCO ₃	<u>0.94</u>	<u>2.60</u>	<u>33.02</u>	<u>2.19</u>	<u>29.92</u>
total	98.23	97.98	96.36	97.43	96.65
<u>% molaire end members</u>					
MgCO ₃	0.00	0.17	17.77	0.00	19.62
CaCO ₃	98.39	96.53	50.47	97.15	50.88
MnCO ₃	0.77	1.03	1.43	0.90	2.26
FeCO ₃	<u>0.82</u>	<u>2.30</u>	<u>30.34</u>	<u>1.95</u>	<u>27.24</u>
total	99.98	100.03	100.01	100.00	100.00

La présence de séricite (15 à 20 %) est la principale caractéristique de ce faciès d'altération (tableau 15). Ce minéral confère à la roche une couleur vert pâle caractéristique. Une série de 10 analyses à la microsonde électronique réalisée à la veine no 1 et dans le forage N-81-11 confirme que ces micas blancs correspondent à de la muscovite. Comme ils sont finement grenus il s'agit donc de séricite (Deer et al, 1966). Ces analyses chimiques révèlent qu'il n'y a pas de variation significative de composition de la séricite en fonction de son mode d'occurrence (inclusion dans le plagioclase ou la pyrite, ou sous la forme de veinule). Sa composition moyenne est (tableau 18) :



La séricite se présente en inclusion dans les albites et se forme donc en remplacement de ceux-ci (figure 89 C). Elle est pratiquement confinée à cet environnement, comme si pour se former elle était absolument dépendante des cations présents dans les plagioclases. Localement, elle est également observée sous forme de veinules dans les grains de pyrite ou accolée à ceux-ci.

La proportion de carbonates varie de 15 à 45 % (moyenne de 30 %). Ils sont en remplacement des plagioclases et des pyroxènes ouraltisés. Deux types de carbonates ont été révélés par analyse à la microsonde électronique de 18 grains répartis dans 6 échantillons (tableau 17). Il s'agit de calcite ($Ca_{.97} Mn_{.01} Fe_{.02} CO_2$) et d'ankérite ($Ca (Mg_{.36}, Fe_{.61}, Mn_{.03}) (CO_3)_2$). La chlorite (8 à 48 %, moyenne 26 %) est également présente. Elle remplace partiellement les plagioclases et les amphiboles. 19 analyses à la microsonde réparties sur 5 échantillons révèlent qu'il s'agit de ripidolite (figure 89) et que sa composition moyenne est (tableau 16) :



Le rapport $Fe/(Fe+Mg)$ est de 0.79. Des traces de pyrite et de tourmaline sont localement présentes

Tableau 18: Composition chimique de la séricite dans la zone à séricite/carbonates/chlorite telle que déterminée par analyse à la microsonde.

Numéro d'échantillon Nb d'analyse	PB-434-86 4	PB-435b-86 3	PB-483-86 3	Moyenne
SiO ₂	48.21%	47.89%	46.51%	47.54%
Al ₂ O ₃	33.62	34.22	34.86	34.23
TiO ₂	0.13	0.22	0.13	0.16
Cr ₂ O ₃	0.02	0.03	0.05	0.03
FeO	1.49	1.87	1.72	1.69
MnO	0.01	0.03	0.01	0.02
MgO	0.50	0.71	0.41	0.54
CaO	0.00	0.00	0.03	0.01
Na ₂ O	0.15	0.07	0.27	0.16
K ₂ O	<u>10.50</u>	<u>11.02</u>	<u>10.57</u>	<u>10.70</u>
total	94.63	96.06	94.56	95.08
<u>Formule sur la base de 22 Oxygènes</u>				
Si	6.430	6.331	6.239	6.333
Al	1.570	1.669	1.761	1.667
Ti	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>
	8.000	8.000	8.000	8.000
Al	3.716	3.664	3.751	3.710
Ti	0.013	0.022	0.013	0.016
Cr	0.002	0.004	0.005	0.004
Fe	0.167	0.207	0.193	0.189
Mn	0.002	0.004	0.001	0.002
Mg	<u>0.100</u>	<u>0.139</u>	<u>0.083</u>	<u>0.107</u>
	4.000	4.040	4.046	4.028
Ca	0.000	0.000	0.004	0.001
Na	0.039	0.018	0.069	0.042
K	<u>1.786</u>	<u>1.858</u>	<u>1.808</u>	<u>1.817</u>
	1.825	1.876	1.881	1.860

Dans le secteur de la veine #1, l'altération hydrothermale est beaucoup plus forte. Les phases primaires ont été totalement remplacées et il est plus difficile d'établir des relations paragenétiques claires entre les différentes phases d'altération. Toutefois, dans les zones à séricite et carbonate, avec ou sans pyrite, la chlorite semble effectivement partiellement remplacée par la séricite comme observée dans d'autres gîtes (Meyer et Hemley, 1967; Kerrich, 1983). Toutefois, à la veine New Vein, la déformation, observée dans ce faciès d'altération, est relativement faible et on constate que la chlorite est observée dans les fractures et autour des cristaux de plagioclases séricitisés. La chlorite semble nettement tardive et parfois même en remplacement des plagioclases antérieurement séricitisés. Ces observations suggèrent donc que la chlorite observée dans ce faciès serait relativement tardive à la séricitisation des plagioclases. Cette chlorite s'est développée dans un environnement différent de la séricite, on n'observe pas la chlorite dans les plagioclases mais plutôt dans les fractures des cristaux et autour des grains. Des exemples frappants de cette relation texturale ont été observés à la veine New Vein et aussi à la veine Sharpe.

Dans ce faciès d'altération les titanomagnétites primaires sont totalement remplacées par du leucoxène-anatase et, localement, on note la présence de pyrite.

6.3.1.4.4 Faciès à séricite/ankérite-calcite/pyrite

Cette zone est accolée aux veines sub-verticales minéralisées et aux veines sub-horizontales. Elle possède une faible extension latérale soit quelques centimètres. Elle se caractérise par une patine rouille produite par la présence d'ankérite et de pyrite. Dans cette zone, la déformation est généralement plutôt faible, la texture primaire de la roche est préservée là où l'altération n'a pas totalement remplacé tous les constituants primaires de la roche, c'est le cas notamment à la veine New Vein et à la veine Sharpe. À la veine no 1, la déformation est plus importante et l'altération est tellement intense qu'aucun constituant primaire ou pseudomorphe n'est préservé.

Dans cette zone, on observe que l'albite a été partiellement remplacée par de la séricite (10 à 25 %) et des carbonates (20 à 55 %). Une série de 8 analyses à la microsonde, réalisée à la veine no 1 et dans le forage N-81-11 confirme que ces micas blancs correspondent à de la muscovite. Comme ils sont finement grenus il s'agit donc de séricite. Ces analyses chimiques (tableau 19) révèlent qu'il n'y a pas de variation de composition de la séricite en fonction de son

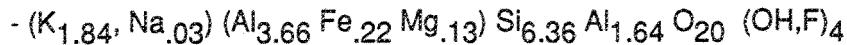
Tableau 19 : Composition chimique de la séricite dans la zone à séricite/carbonates/pyrite telle que déterminée par analyse à la microsonde.

Numéro d'échantillon	PB-433-86	PB-478-86	PB-480-86	Moyenne
Nb d'analyse	2	2	3	
SiO ₂	46.76%	49.05%	48.01%	47.94%
Al ₂ O ₃	34.10	32.38	35.44	33.97
TiO ₂	0.24	0.21	0.13	0.19
Cr ₂ O ₃	0.10	0.00	0.02	0.04
FeO	1.69	3.44	1.54	2.22
MnO	0.01	0.00	0.03	0.01
MgO	0.54	0.74	0.33	0.54
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.13	0.00	0.00	0.04
K ₂ O	<u>10.90</u>	<u>10.97</u>	<u>11.09</u>	<u>10.99</u>
total	94.77	96.79	96.59	95.94

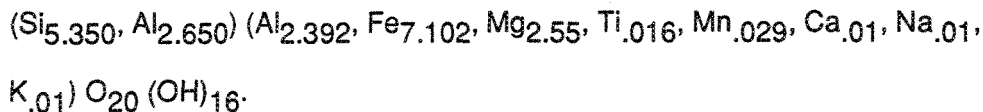
Formule sur la base de 22 Oxygènes

Si	6.290	6.475	6.295	6.350
Al	1.710	1.525	1.705	1.647
Ti	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>
	8.000	8.000	8.000	8.000
Al	3.694	3.514	3.773	3.660
Ti	0.024	0.021	0.013	0.019
Cr	0.010	0.000	0.002	0.004
Fe	0.191	0.379	0.169	0.246
Mn	0.001	0.000	0.004	0.002
Mg	<u>0.109</u>	<u>0.147</u>	<u>0.064</u>	<u>0.107</u>
	4.029	4.061	4.025	4.038
Ca	0.000	0.000	0.004	0.001
Na	0.034	0.000	0.000	0.011
K	<u>1.870</u>	<u>1.847</u>	<u>1.855</u>	<u>1.857</u>
	1.904	1.847	1.855	1.868

mode d'occurrence (inclusion dans le plagioclase ou la pyrite, ou sous forme de veinules). Sa composition moyenne est :



Les amphiboles ont été carbonatisés. Des analyses à la microsonde de 35 grains répartis sur 6 échantillons (tableau 17) ont révélé la présence de calcite ($Ca_{.97}, Mn_{.01}, Fe_{.02} CO_3$) et d'ankérite ($Ca (Mg_{.39}, Fe_{.55}, Mn_{.05}) (CO_3)_2$). La chlorite est présente en proportions très variables . Dans les sections recoupant la veine no 1 la chlorite présente dans ce faciès d'altération ne constitue jamais plus de 1%. La chlorite et le quartz secondaires sont alors observés dans des franges de pression accolées aux grains de pyrite. La proportion de chlorite, présente dans le faciès à sérinite/ankérite-calcite/pyrite et reliée aux veines est-ouest, est très variable (1 à 36 %). Sa proportion moyenne est de 14 % (tableau 15). La chlorite est observée dans les fractures et autour des cristaux de plagioclases sérinitisés et dans les franges de pression accolées aux grains de sulfures. Tout comme pour le faciès d'altération à sérinite/ankérite-calcite/chlorite, il est fort possible que cette chlorite soit tardive à la sérinitisation des plagioclases. 14 analyses à la microsonde réparties sur 2 échantillons (un de la veine no1 et un autre de la veine New Vein) (tableau 16) révèlent qu'il s'agit de ripidolite (figure 89, tableau 16) dont la composition moyenne est :



Le rapport $Fe/(Fe+Mg)$ est de 0, 74. On constate également la présence de tourmaline. Elle constitue des grains idiomorphes formés à proximité des veines de quartz.

La titanomagnétite primaire a été très fortement remplacée par le leucoxène; seuls des résidus de lamelles d'exsolution d'ilménite sont parfois préservés. On observe très fréquemment que les phases métalliques se sont directement accolées au leucoxène qu'ils remplacent. Les phases métalliques sont principalement constituées de pyrite ($\leq 15\%$) et arsénopyrite ($\leq 5\%$). On note également des traces de chalcopryrite et de pyrrhotite. Toutefois, dans le forage N-81-11 recoupant la veine New Vein, la pyrrhotite représente jusqu'à 15 % de

l'ensemble des constituants.

La pyrite est donc la principale phase métallique présente dans l'éponte altérée. Elle forme des grains idiomorphes d'en moyenne 0,5 à 2 mm. Très souvent accolée au leucoxène (figure 90 D), la pyrite contient également des inclusions de gangue (carbonate, séricite et chlorite) et de chalcoppyrite, d'arsénopyrite et de pyrrhotite. Elle est peu déformée, si ce n'est fracturée. L'arsénopyrite forme des grains idiomorphes de 0,1 à 2 mm, généralement observée en inclusion dans la pyrite ou accolée à celle-ci et fréquemment accolée au leucoxène. Lorsque la pyrrhotite est abondante, l'arsénopyrite est alors en inclusion dans celle-ci ou y est accolée. L'arsénopyrite contient des inclusions de chalcoppyrite et de pyrrhotite et elle est peu déformée. De façon générale, la chalcoppyrite et la pyrrhotite forment des plages de petites dimensions (0,01-0,02 mm) en inclusion, et parfois en remplissage de fractures, dans la pyrite ou l'arsénopyrite. Dans le forage N-81-11, la pyrrhotite constitue la principale phase métallique formée dans l'éponte. Elle se présente sous la forme de grains allotriomorphes ou d'agrégats de 0,3 à 1 mm souvent accolés à des grains de leucoxène et parfois en remplissage dans des grains de quartz ou des intercroissances granophyriques fracturées. La pyrrhotite contient des inclusions de gangue (quartz, carbonates, séricite et chlorite), de la chalcoppyrite et, plus localement, de la pyrite.

6.3.1.5 Altération hydrothermale dans le leucogabbro

L'altération hydrothermale associée aux zones de cisaillement présentes dans le leucogabbro diffère de celle développée dans le ferrogabbro à quartz et la ferrodiorite à quartz. Cette altération est bien exposée à la veine Mann (figure 37) grâce aux travaux de décapage et à la galerie d'accès. La veine Mann est actuellement délimitée sur une courte extension latérale, environ 20 m mais elle renferme des teneurs en or très élevées. Nous avons réalisé une étude de l'altération de la veine Mann, telle qu'observée à l'intérieur de la galerie d'accès. Nous avons également complété cette étude à l'aide du trou de sondage Mann 1-85 situé à proximité de la zone exploitée. La veine Mann est de faible extension et, de ce fait, relativement marginale. Nous nous sommes donc limité à une étude succincte.

La veine Mann est une veine de quartz de couleur noire très foncée. Toutefois, l'altération de la roche encaissante affectée par ce cisaillement se traduit par une couleur noire très caractéristique. La roche semble alors très fortement chloritisée et réagit très fortement à

l'acide chlorhydrique, témoignant ainsi de l'abondance de calcite. Des veinules de quartz sub-horizontales plissées sont également présentes au nord de la veine (dans le mur).

La figure 91 présente le sommaire de nos observations pétrographiques. On constate que l'altération est pratiquement restreinte à la zone de cisaillement. On y note une forte carbonatation (de 20 à 42 %), une chloritisation (de 20 à 60 %) et séricitisation (14 à 20 %) bien développées. Le remplacement des titanomagnétites par le leucoxène est total à l'intérieur de toute la zone de cisaillement. Contrairement à l'altération décrite dans les autres veines, on note l'absence de pyrite-arsénopyrite-pyrrhotite dans le leucogabbro accolé aux veines de quartz. Toutefois, la proportion de sulfure, principalement de la pyrite et de la pyrrhotite est plus élevée à l'intérieur du quartz de la veine Mann que dans les autres veines de quartz. Les sulfures se présentent généralement en agrégats de grains grossiers ou, à l'inverse, très fins (≤ 1 mm). L'or est plutôt associé à la pyrite finement grenue. La séricite et la chlorite se sont développées dans le même environnement ce qui explique probablement la couleur noire très caractéristique de l'encaissant associé à la veine Mann. Dans le forage Mann 1-85, on constate dans un échantillon situé près de la limite externe de la zone de cisaillement (PB-52-86) que les plagioclases ont d'abord été pseudomorphisés par la séricite et, par la suite, la poursuite de la déformation a déformé et fragmenté ces pseudomorphes. L'échantillon BD-PB-453-86, localisé à l'extérieur du cisaillement, n'est pas déformé et n'a pas subi les effets de l'altération hydrothermale. Malgré sa proximité de la veine (3 à 6 m), seuls des minéraux typiques du métamorphisme régional (saussuritisation des plagioclases et ouralitisaiton des pyroxènes) se sont développés.

Notre étude de l'altération hydrothermale présente dans le leucogabbro ne suggère donc pas la présence de faciès d'altération distinct comme c'était les cas dans les veines décrites précédemment.

6.3.2 Lithogéochimie de l'altération hydrothermale

6.3.2.1 Introduction

Dans le but de définir les modifications chimiques subies par les roches soumises au métasomatisme hydrothermal associé aux zones aurifères de la mine Norbeau, nous avons réalisé une étude lithogéochimique. Cette étude a été effectuée en deux étapes. Nous avons

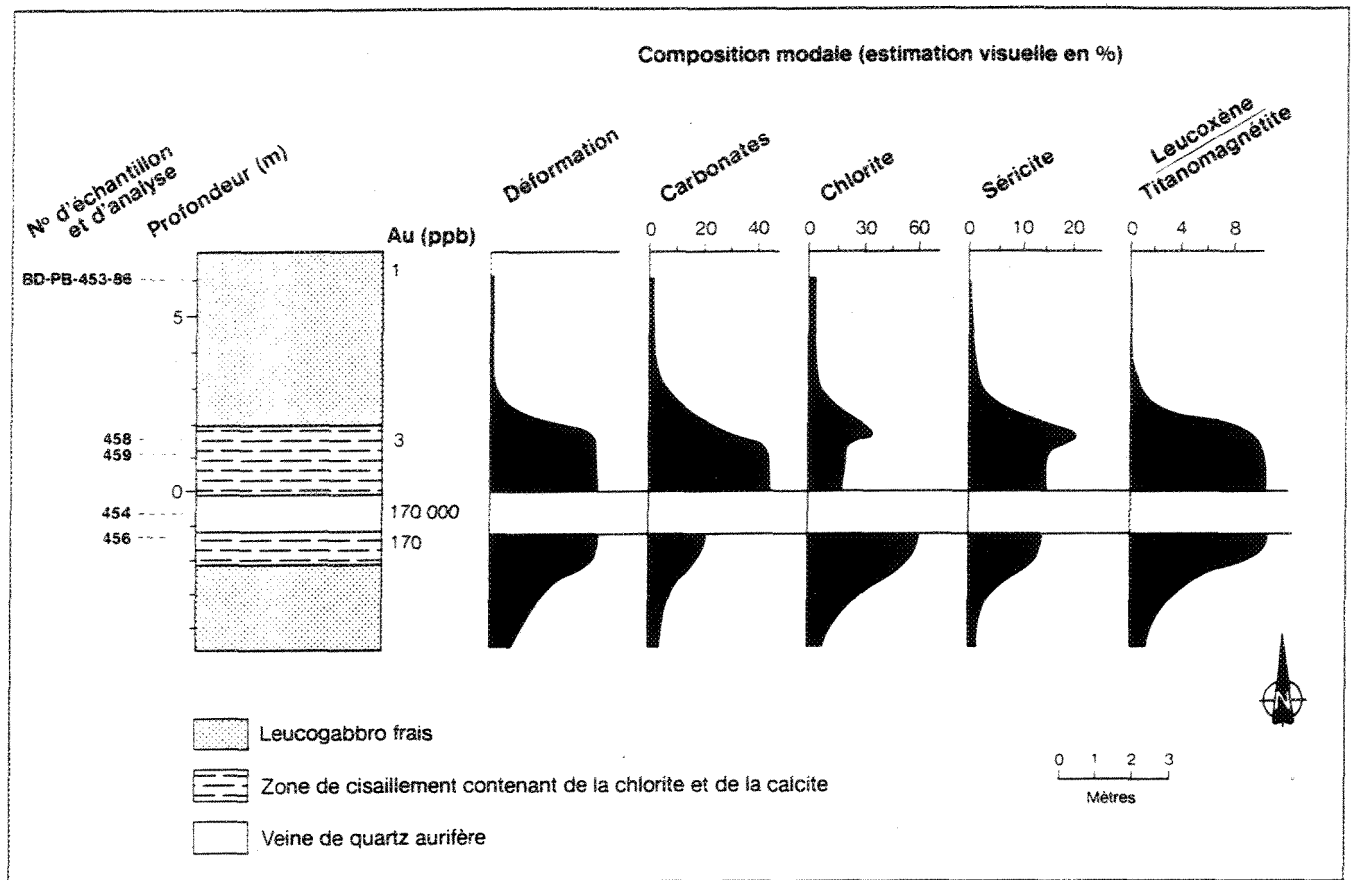


Figure 91: Profil pétrographique de l'altération hydrothermale observée dans la section de la veine Mann à la mine Norbeau. Tirée de Dubé et Guha., 1989.

d'abord réalisé une étude qualitative utilisant des rapports d'éléments. Par la suite, nous avons effectué une étude des gains et pertes basée sur la méthode de Gresens (1967) et le logiciel d'Appleyard (Appleyard et DeBeer, 1983) et finalement, une étude statistique de certains éléments indicateurs (Au, Cu, As, Ag, S et CO_2).

6.3.2.2 Lithogéochimie qualitative

Nous présentons maintenant une étude lithogéochimique qualitative de la variation des éléments majeurs et mineurs des veines New Vein (forage N-81-11 et section de surface), Sharpe (section de surface), no 1 (section de surface) et Mann (section dans la galerie d'accès) dont les résultats sont présentés à l'annexe 4 (tableaux B-2 à B-8). Pour ce faire, nous avons utilisé la même procédure que lors de notre étude de la mine Cooke, c'est-à-dire que nous avons choisi les rapports $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ et $\text{SiO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}^++\text{S})$ étant donné qu'ils illustrent bien les changements chimiques. De plus, nous présentons des diagrammes montrant la relation spatiale des éléments traces Cu et As avec l'or. Ces deux éléments sont reconnus pour être de bons traceurs de la minéralisation aurifère (Boyle, 1979) et se sont avérés en coïncidence spatiale directe avec l'or à la mine Cooke.

Les figures 92, 93, 94 et 95 présentent les résultats obtenus. On constate d'abord une augmentation très nette du rapport $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} \times 100$ sur une distance moyenne de 3 à 6 mètres mais pouvant atteindre jusqu'à 18 mètres (forage N 81-11) (figure 92). En comparaison, les valeurs moyennes obtenues pour les faciès ferrogabbroïque et ferrodioritique non métasomatisés sont de 12 à 14, (tableau 6). Cette augmentation coïncide avec l'augmentation de la proportion de séricite et la diminution de la chlorite observées pétrographiquement (section 4.7.2 sur la pétrographie de l'altération). On note également que le rapport $\text{SiO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}^++\text{S})$ présente une diminution marquée en approchant de la zone minéralisée (figure 93). Cette diminution du rapport $\text{SiO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}^++\text{S})$ est notée sur une étendue pouvant atteindre jusqu'à une trentaine de mètres (forage N 81-11 et veine no 1). Selon Boyle (1979), ce comportement est caractéristique des zones aurifères dans un environnement géologique semblable à celui de la mine Norbeau.

Les éléments traces As et Cu ont également été considérés dans cette étude. On constate,

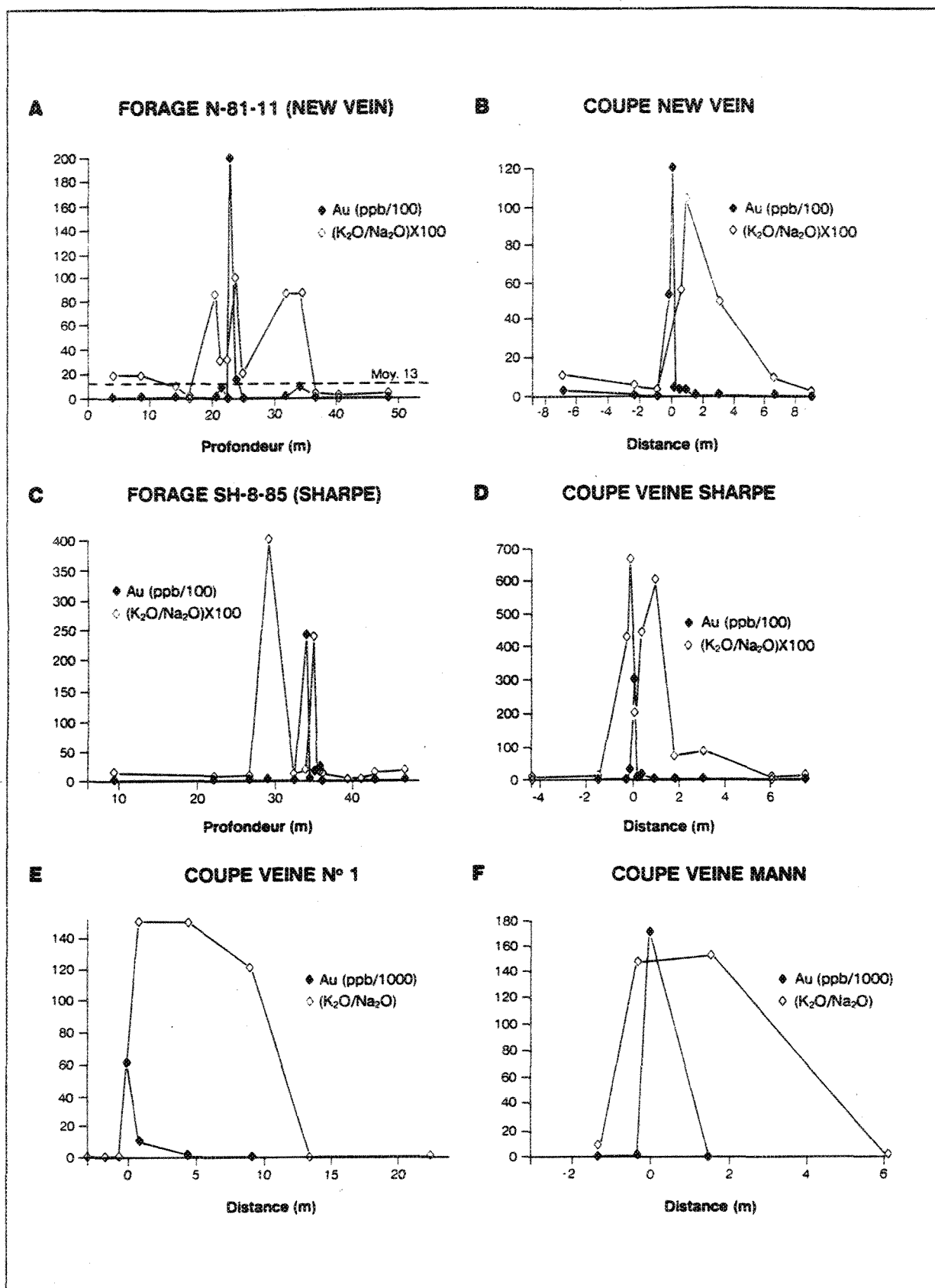


Figure 92: Lithogéochimie qualitative utilisant le rapport K_2O/Na_2O .

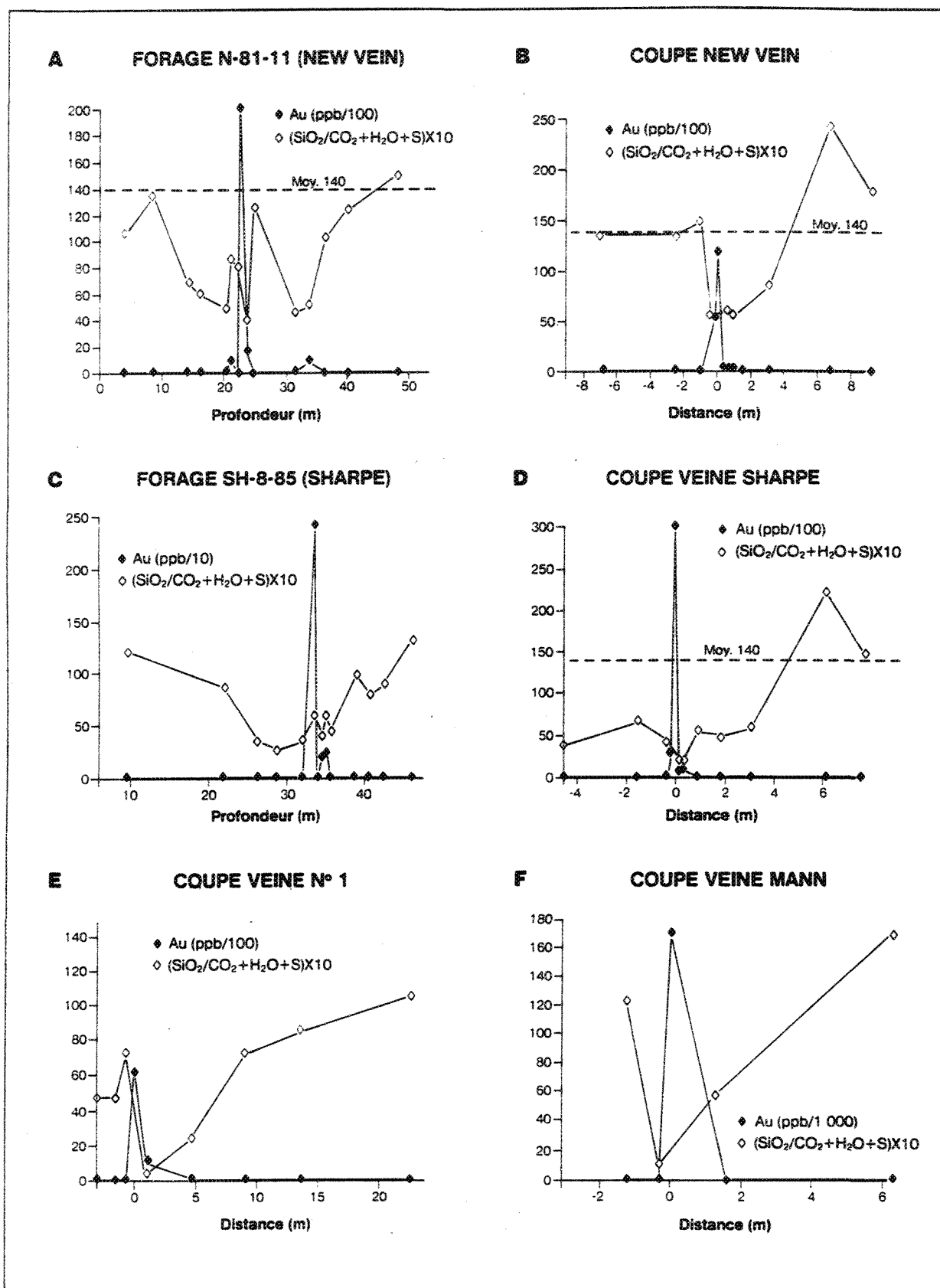
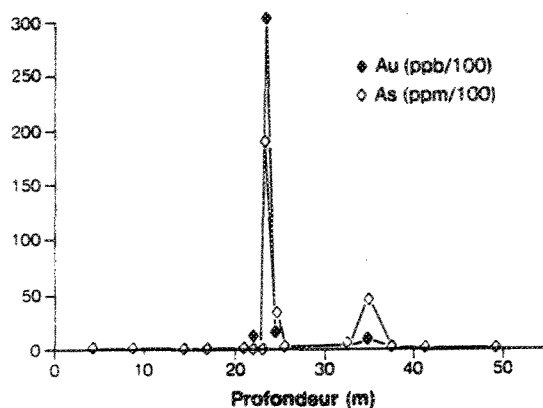
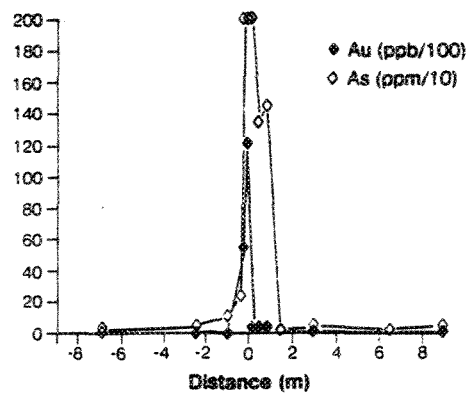


Figure 93: Lithogéochimie qualitative utilisant le rapport $\text{SiO}_2/(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{S})$.

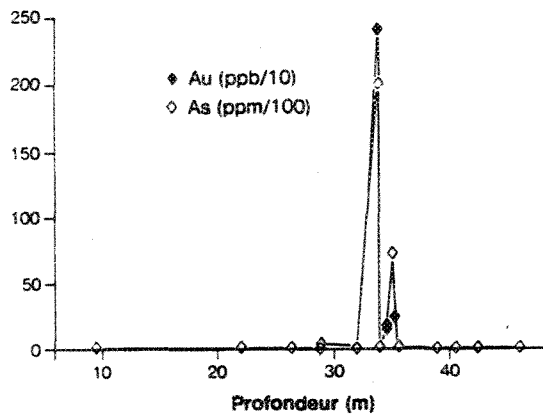
A FORAGE N-81-11 (NEW VEIN)



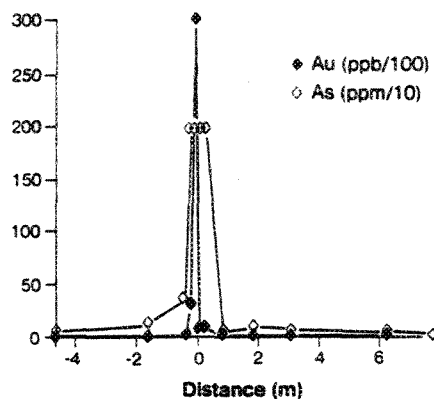
B COUPE NEW VEIN



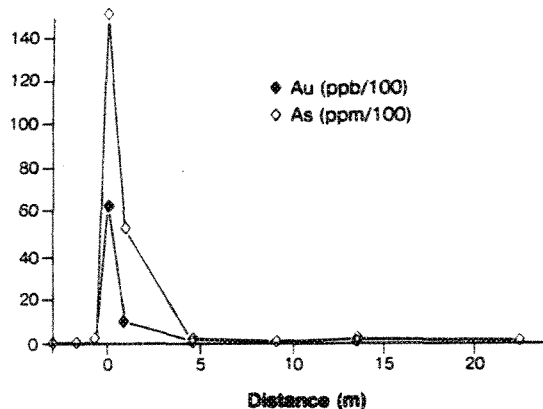
C FORAGE SH-8-85 (SHARPE)



D COUPE VEINE SHARPE



E COUPE VEINE N° 1



F COUPE VEINE MANN

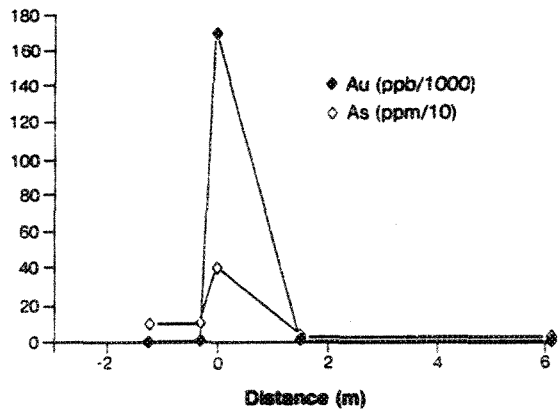


Figure 94: Lithogéochimie qualitative As (ppm) en fonction de Au (ppb).

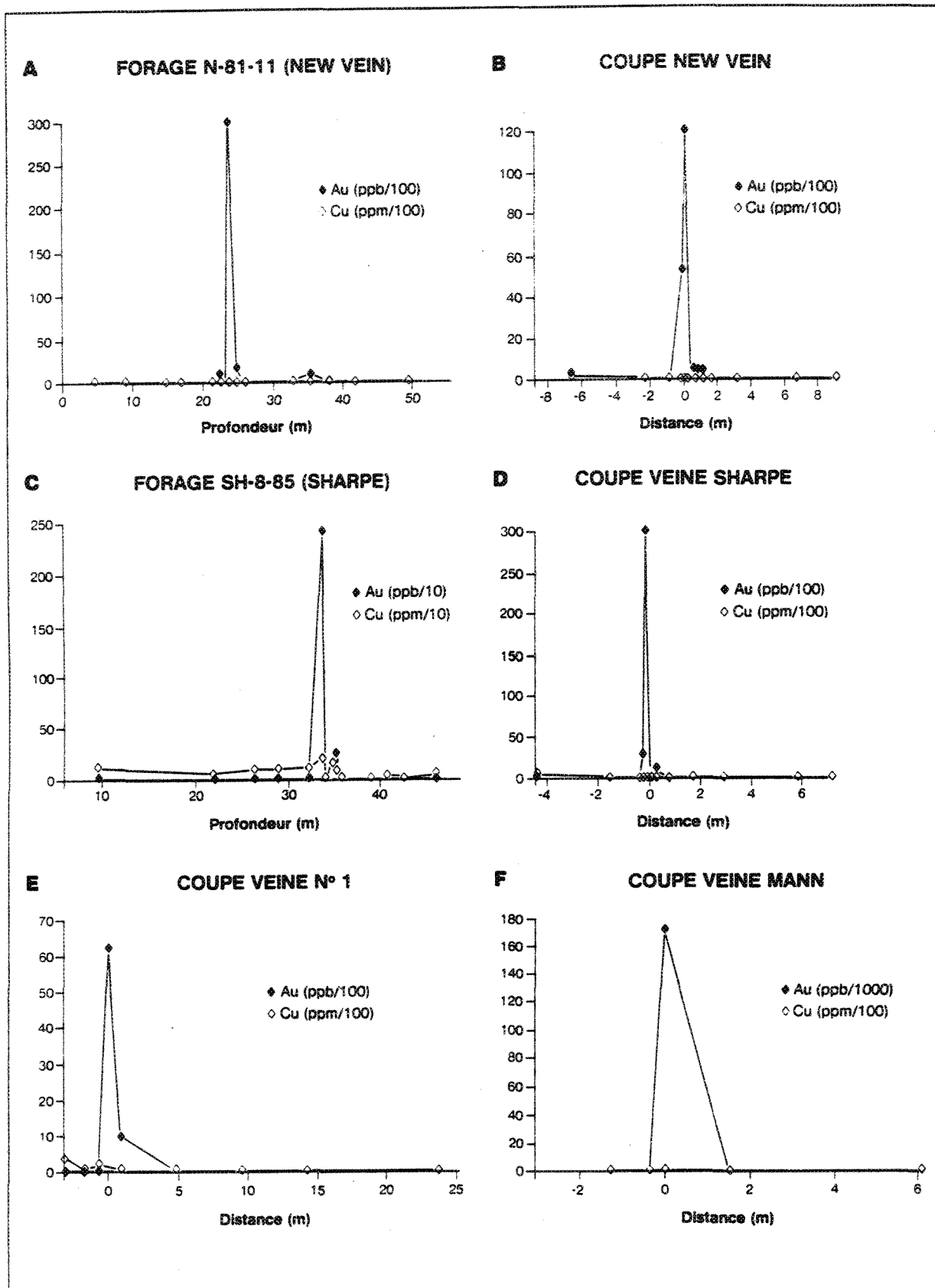


Figure 95: Lithogéochimie qualitative Cu (ppm) en fonction de Au (ppb).

comme à la mine Cooke, que l'arsenic montre une excellente coïncidence spatiale avec les zones aurifères (figures 94 et 95). La présence d'arsenic est toutefois restreinte à la zone aurifère même ou elle s'étend sur une distance d'au plus 1,5 à 3 mètres de celle-ci. Alors qu'à la mine Cooke il y a une relation entre le cuivre et les zones aurifères, à la mine Norbeau, il n'y en a aucune (figure 95). De fait, le cuivre n'est présent qu'en très faible proportion à la mine Norbeau.

6.3.2.3 Lithogéochimie quantitative

Dans l'étude lithogéochimique quantitative effectuée à la mine Norbeau, nous avons suivi la même procédure que celle utilisée à la mine Cooke. Nous avons considéré quatre sites différents soit le forage N-81-11 et la section de surface de la veine New Vein, la section de surface de la veine Sharpe et le forage N-87-2 de la veine no 1. Pour le forage N-81-11, deux roches parentes ont été utilisées soit l'échantillon BD-PB-469-86 comme protolite du ferrogabbro et l'échantillon BD-PB-493-86 comme protolite de la ferrodiorite à quartz, étant donné la nature variable de la roche hôte (section précédente sur la pétrographie de l'altération, 4.7.2.1). Dans le forage N-87-2, la roche parente choisie est l'échantillon BD-PB-27-87. Malgré que cet échantillon soit altéré (6 % de perte au feu), il est celui qui est, dans ce secteur, le plus près de la composition originale du protolite.

Pour être consistant avec notre étude pétrographique, nous avons regroupé les échantillons en termes de faciès d'altération. Nous avons donc déterminé quantitativement l'effet du métasomatisme en considérant les faciès d'altération chlorite-calcite, séricite-ankérite-calcite-chlorite et séricite-ankérite-calcite-pyrite.

La méthode de Gresens nous a permis de déterminer que les éléments les moins mobiles sont, tout comme pour la mine Cooke : l'aluminium (Al_2O_3) et le scandium (Sc). La détermination des facteurs volumes (Fv) est basée sur l'immobilité relative du Al et Sc. Un Fv <1 signifie que la roche a été lessivée par le fluide, alors qu'un Fv >1 témoigne de l'augmentation du volume de la roche par suite de la précipitation de phases hydrothermales. Dans le faciès à chlorite-calcite les Fv varient de 0,82 à 1,21; la moyenne étant de 1,00. Dans le faciès à séricite-ankérite-calcite-chlorite, les Fv varient de 0,80 à 1,27, mais la moyenne se maintient à 1,03. Finalement, pour le faciès à séricite-ankérite-calcite-pyrite, les Fv varient de 0,66 à 1,29 et la moyenne se situe à 1,00. Ainsi, malgré la déformation intense

subie dans le faciès à chlorite-calcite, les Fv n'ont, en moyenne pas changé. La précipitation des phases d'altération vient contrecarrer le lessivage de certains autres composants. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Clark (1987) pour les gîtes de Victory en Australie.

Les calculs de balance de masse ont été effectués en comparant chaque roche altérée avec le protolite. Cette approche permet de déterminer l'effet total de l'altération pour chaque échantillon ou faciès d'altération étudié. Les résultats des gains et pertes des éléments majeurs, mineurs et traces sont présentés aux figures 96, 97, 98 et 99. Dans le faciès à chlorite-calcite, on constate, un lessivage du Si, à l'exception de la zone de ferrogabbro du forage N-81-11 (pouvant atteindre jusqu'à -33% à la veine Sharpe, figure 98). Par suite de la déformation et l'altération des silicates, on observe un gain fréquent en C^{+4} atteignant +25000% (section New Vein, figure 97), associé à la précipitation de la calcite, et un gain en As atteignant +2380% (section de surface de la veine New Vein, figure 97). Parmi les variations qui ne sont pas systématiques mais qui demeurent fréquentes, notons un certain lessivage du Na, par suite de la chloritisation des plagioclases, et du K originalement présent dans la structure des amphiboles (voir analyse à la microsonde de l'actinote annexe 2, tableau 3).

Dans le faciès à séricite-ankérite-calcite-chlorite, on constate un lessivage du Ti, associé à l'altération des titanomagnétites, de l'ordre de 10 % mais pouvant atteindre jusqu'à -45 % dans le forage N-81-11; un gain de Ca, pouvant atteindre +364 % (forage N-87-2, figure 99) et un gain important de C^{+4} atteignant +75000 % (section New Vein, figure 89), tous deux associés à la formation des carbonates; un lessivage du Na, relié au remplacement des plagioclases, atteignant -98 % (N-87-2, figure 99), un gain en K, relié à la présence de séricite, atteignant +1198 % (forage N-81-11, figure 96); un enrichissement en bore (atteignant +512 % dans N-87-2, figure 99); et un enrichissement en As atteignant +28000 % dans le forage N-81-11 (figure 96). Parmi les variations qui ne sont pas systématiques mais qui demeurent fréquentes, notons un gain en Mg (formation d'ankérite), en Sr (relié à la formation de la séricite), en S et en Au.

Dans le faciès à séricite-ankérite-calcite-pyrite, on note un lessivage en Na (sauf pour le forage N-81-11) atteignant -97 % (N-87-2, figure 99), par suite de l'altération des plagioclases, un enrichissement en K (formation de séricite) atteignant +1767% (section New

Mine Norbeau

Veine New Vein
Forage N - 81-11

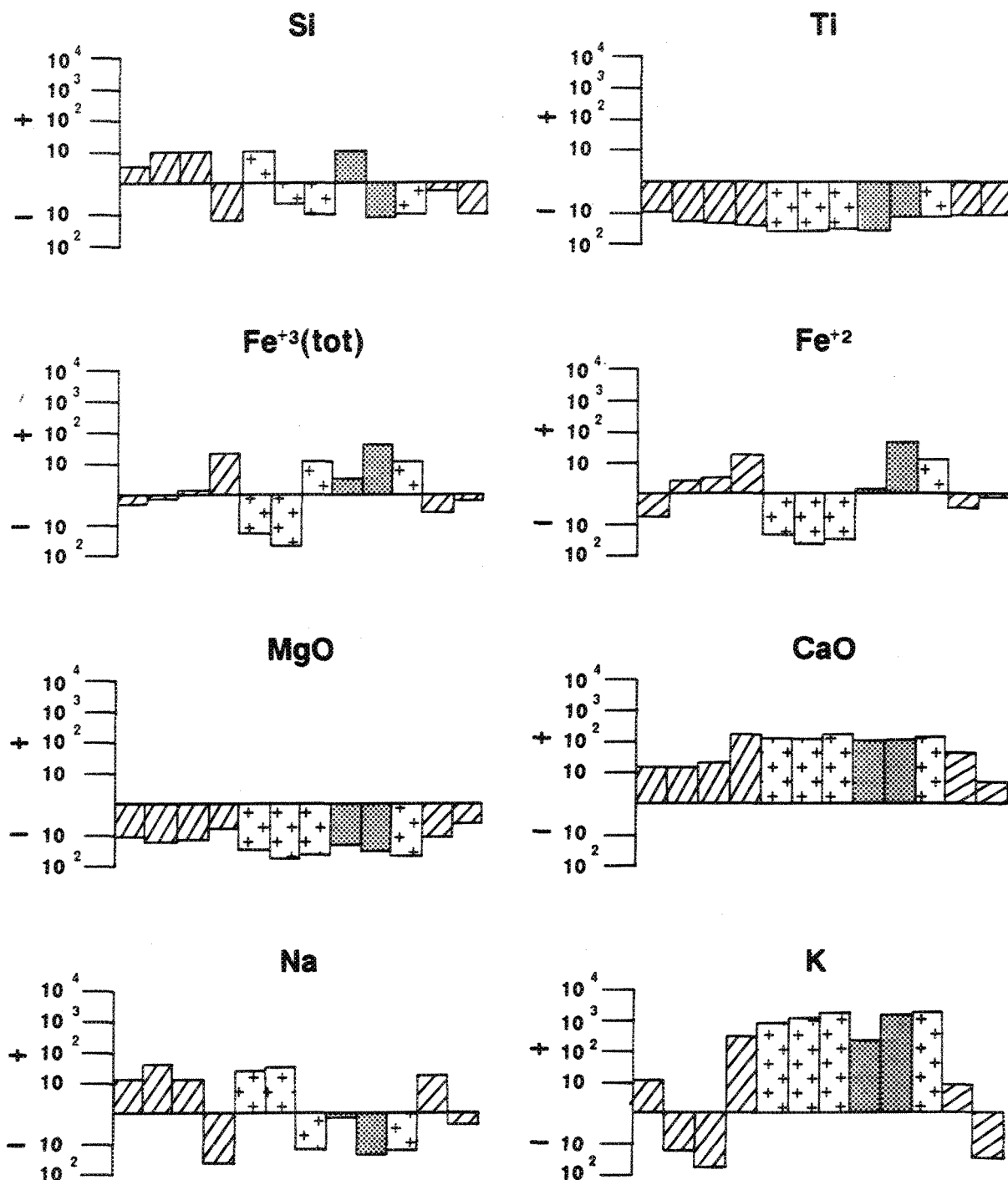


Figure 96 : Profil lithogéochimique quantitatif des gains et pertes survenus dans les roches encaissantes de la veine New Vein tel qu'illustré par le forage N-81-11, Mine Norbeau.

Figure 96 (suite)

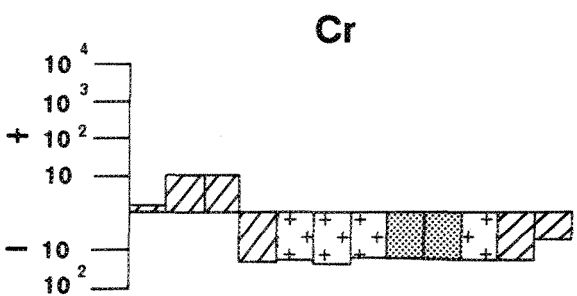
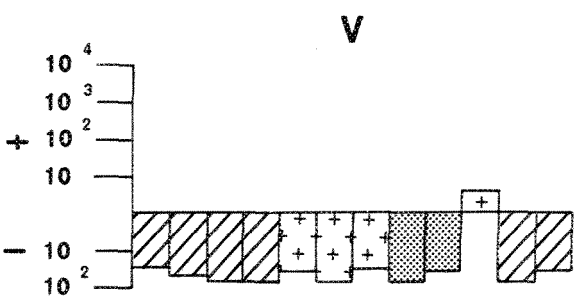
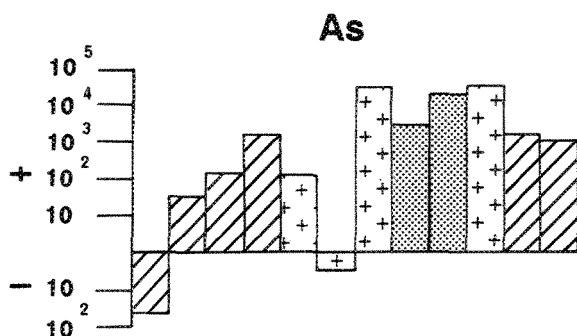
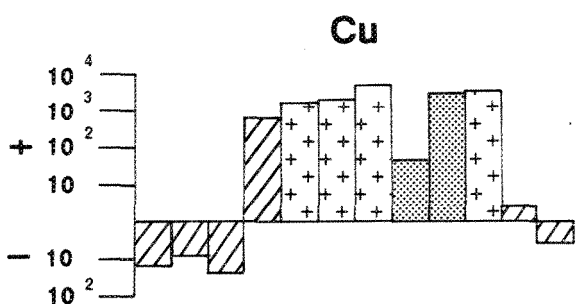
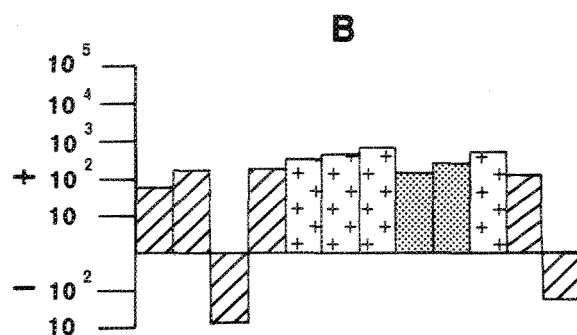
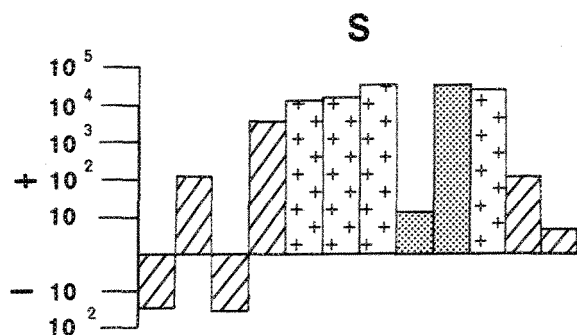
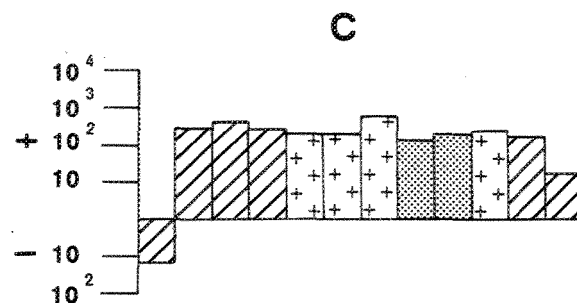
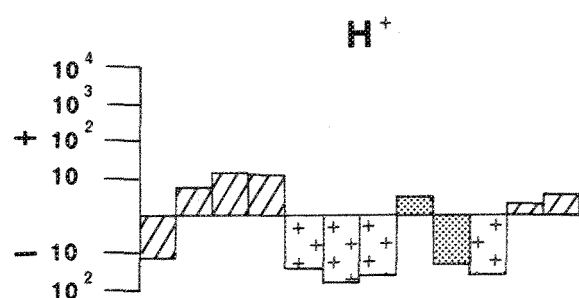


Figure 96 (suite)

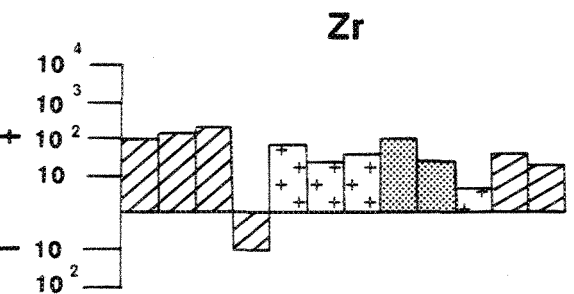
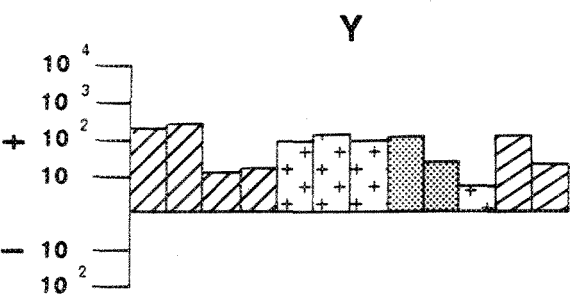
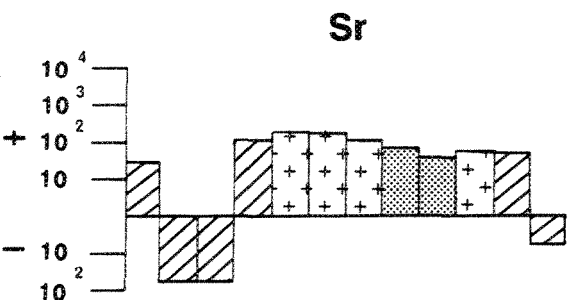
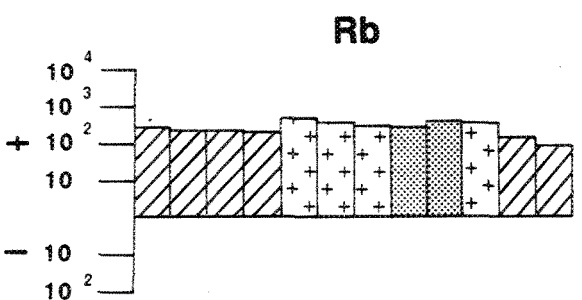
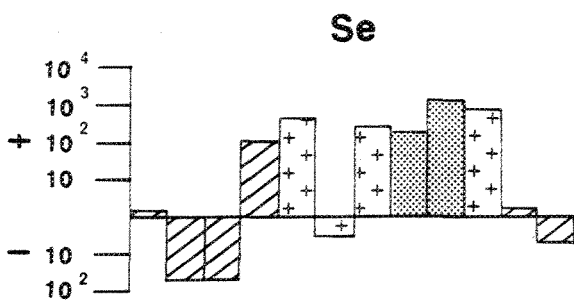
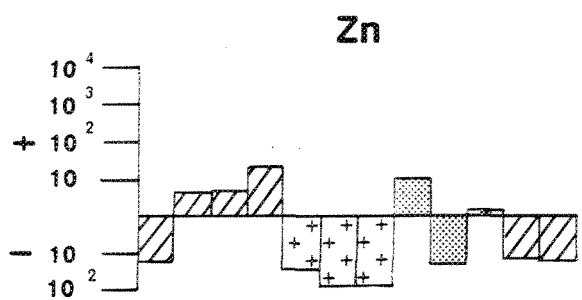
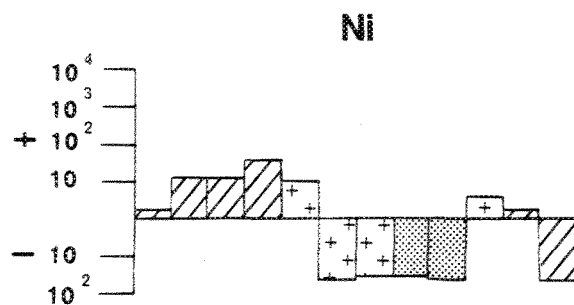
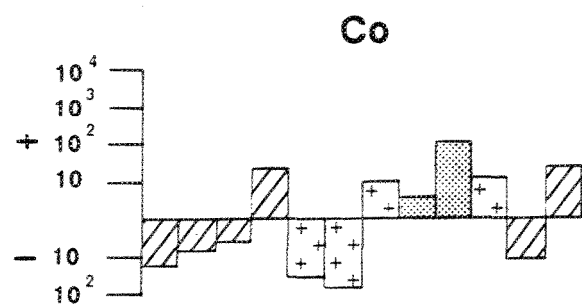
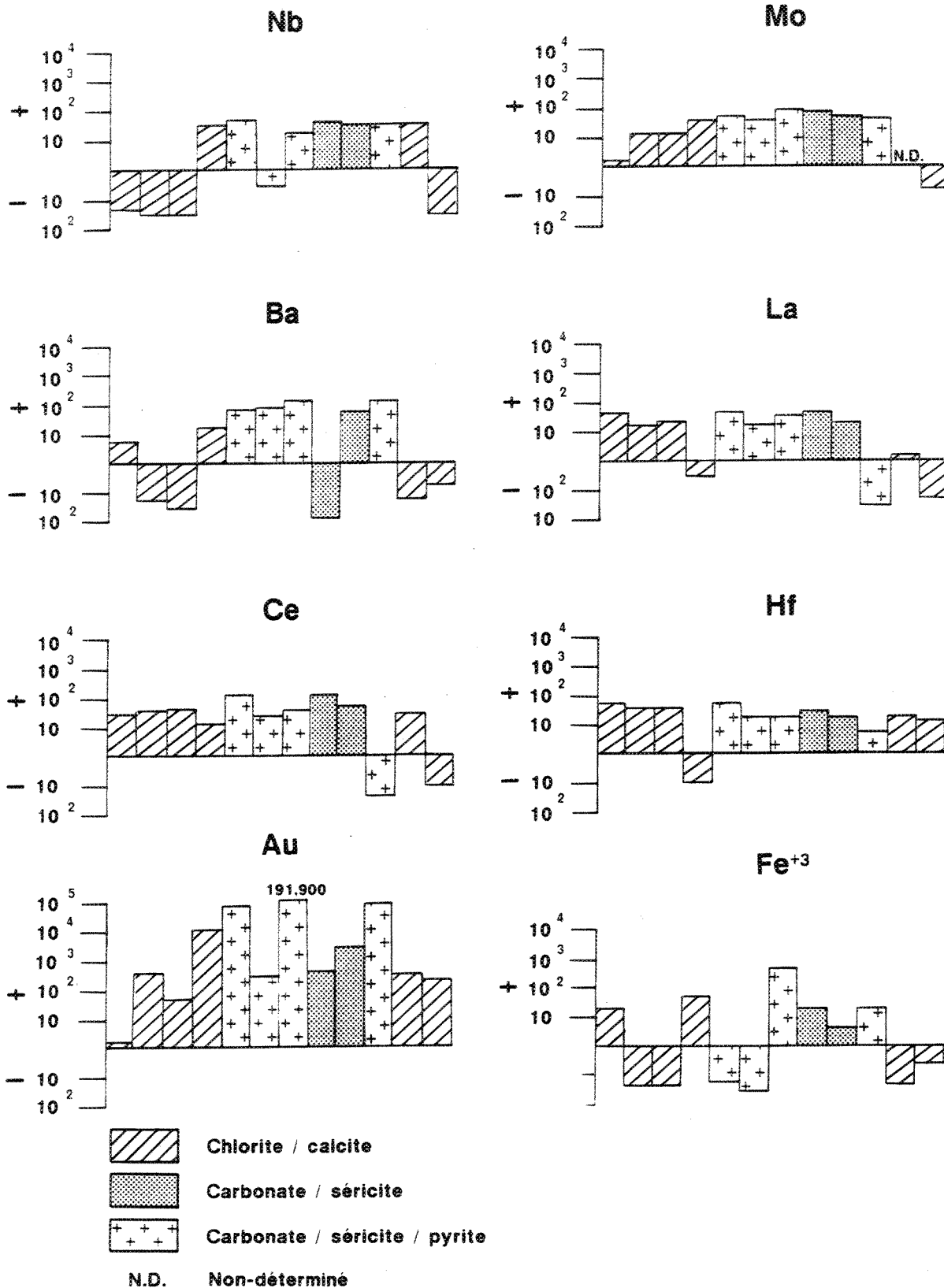


Figure 96 (suite)



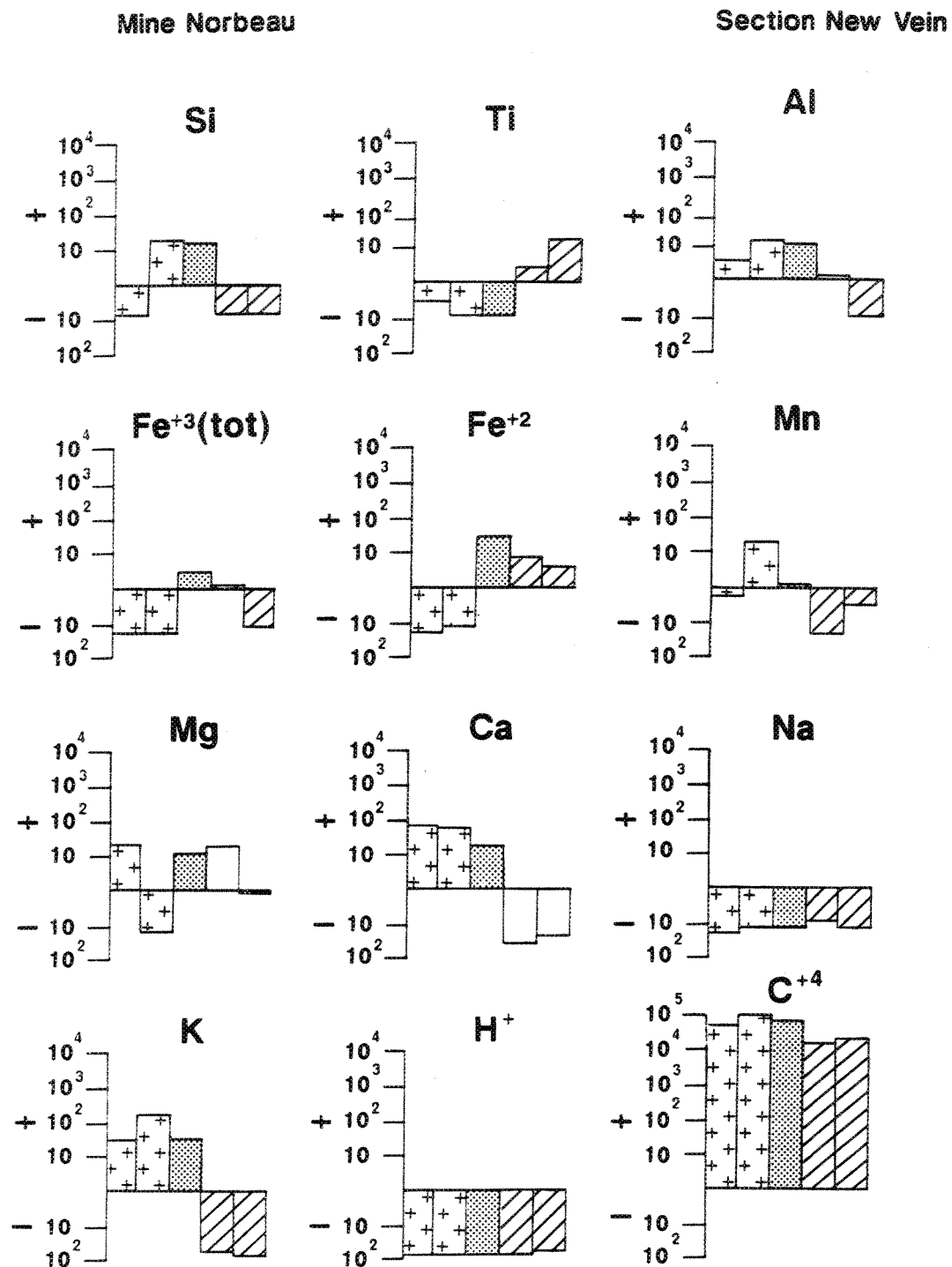


Figure 97 : Profil lithogéochimique quantitatif des gains et pertes survenus dans les roches encaissantes de la veine New Vein tel qu'illustré par la section New Vein, Mine Norbeau.

Figure 97 (suite)

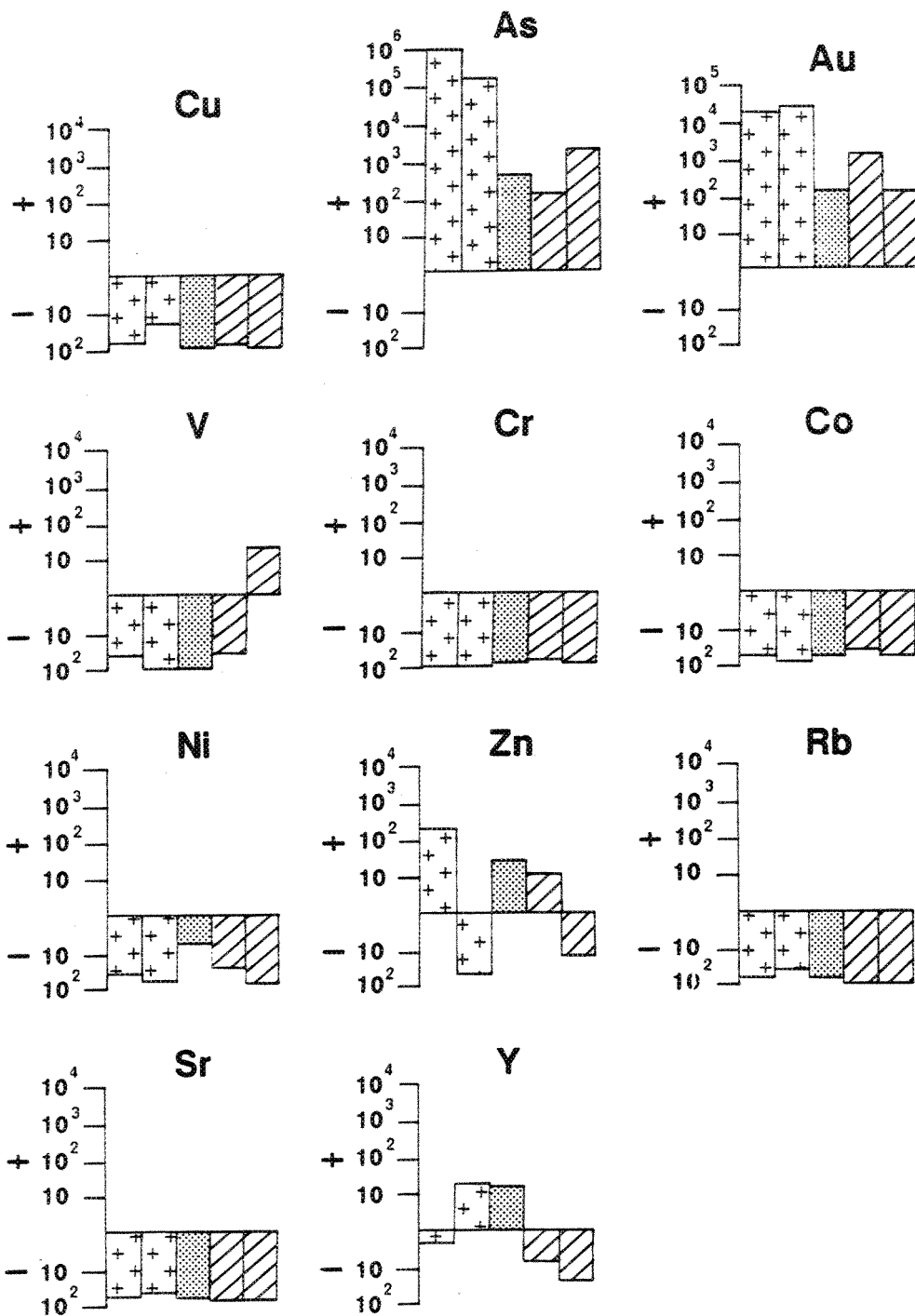
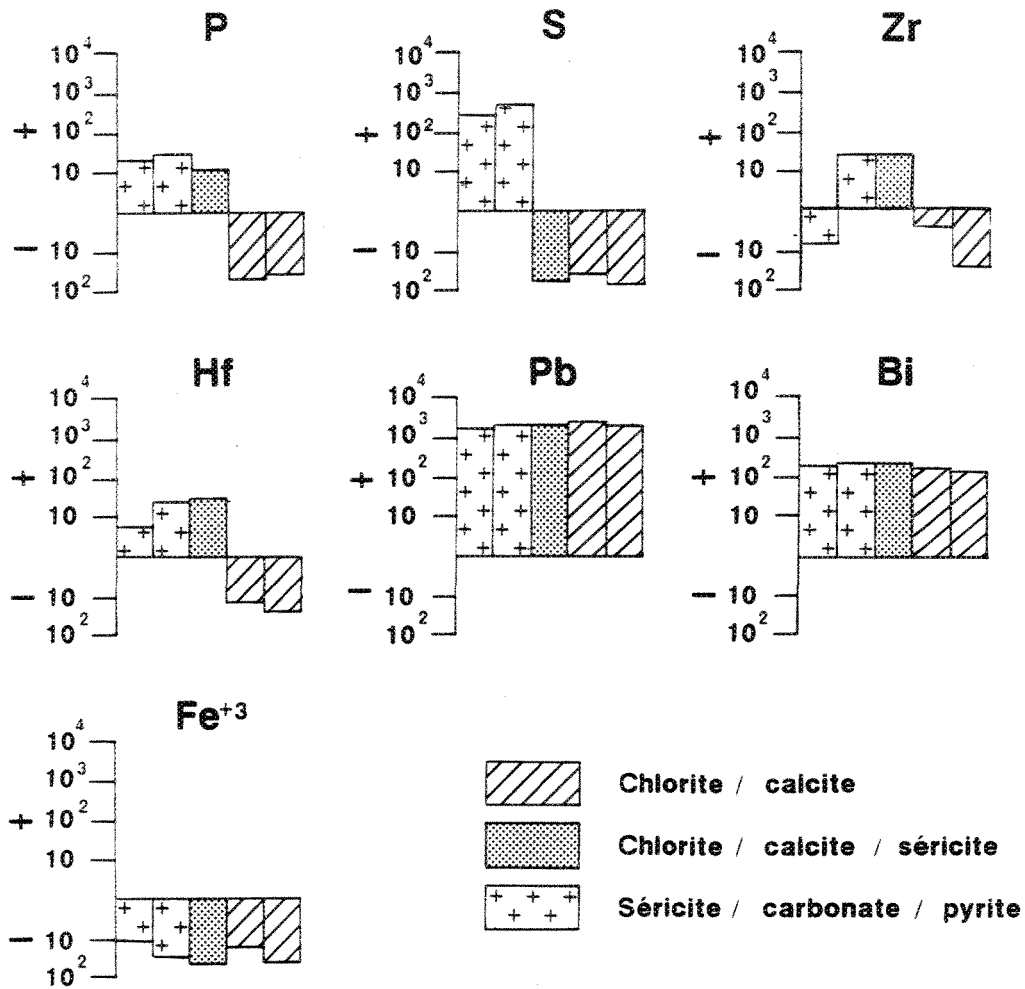


Figure 97 (suite)



Mine Norbeau

Section Sharpe

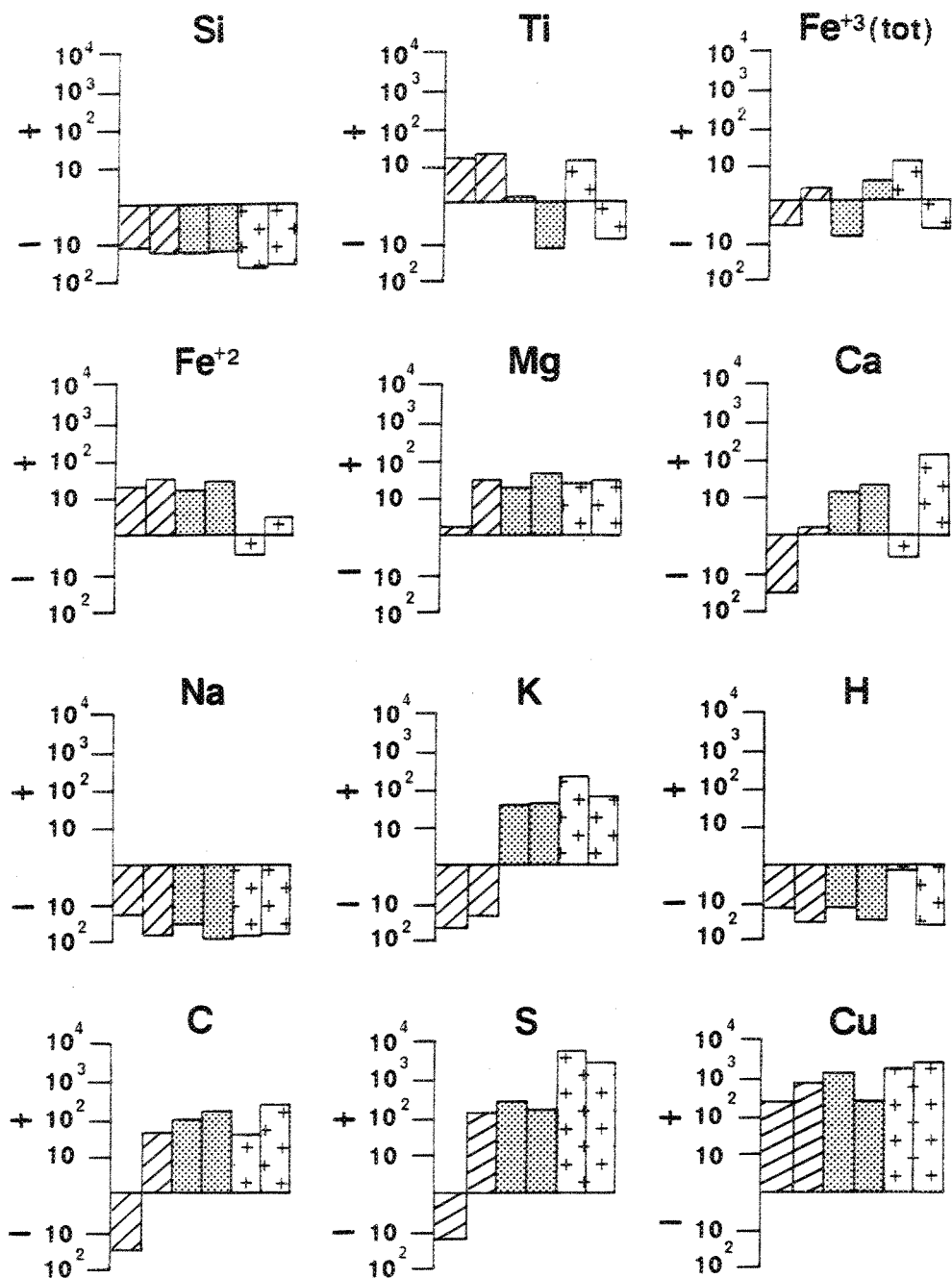


Figure 98 : Profil lithogéochimique quantitatif des gains et pertes survenus dans les roches encaissantes de la veine Sharpe tel qu'illustré par la section Sharpe, Mine Norbeau.

Figure 98 (suite)

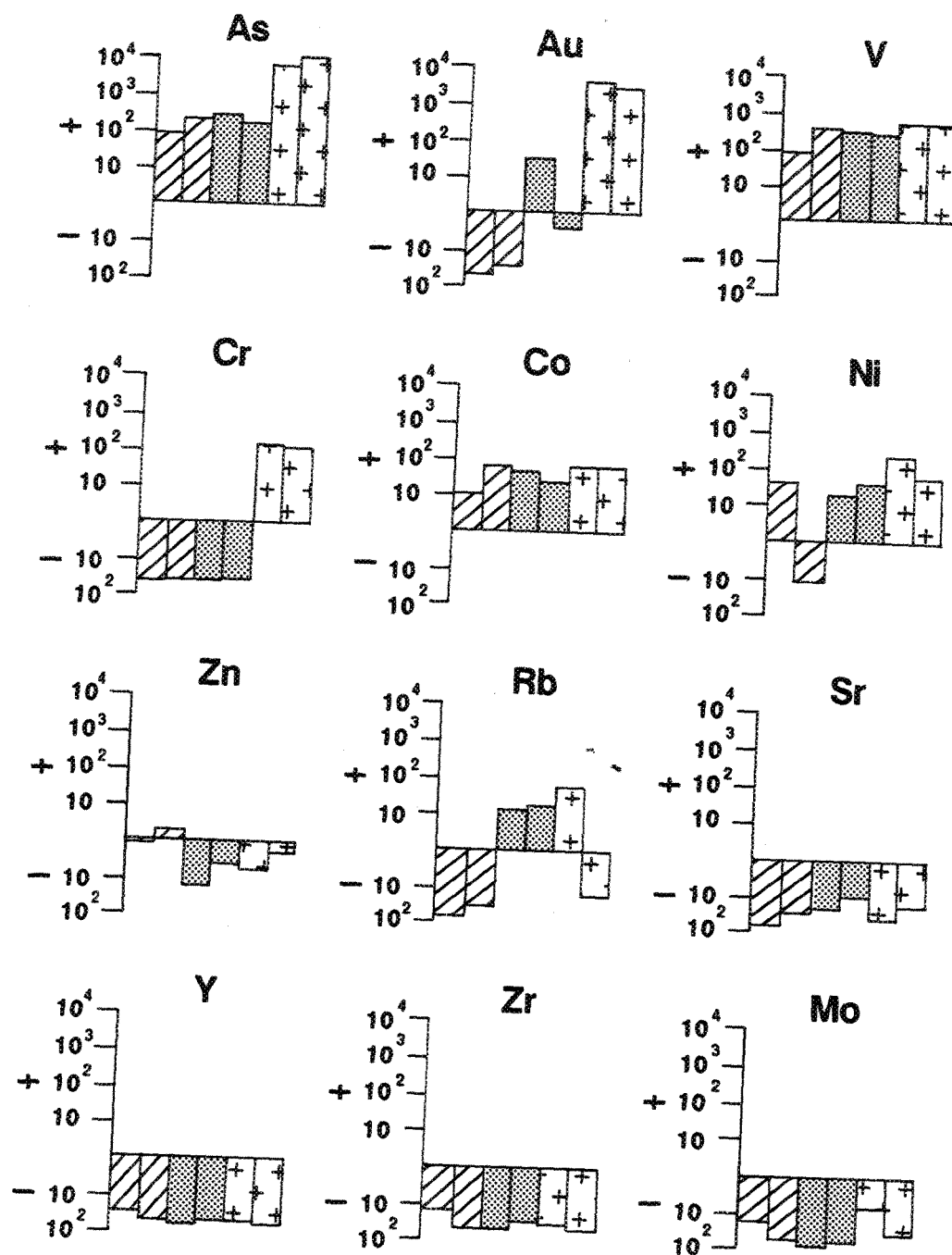
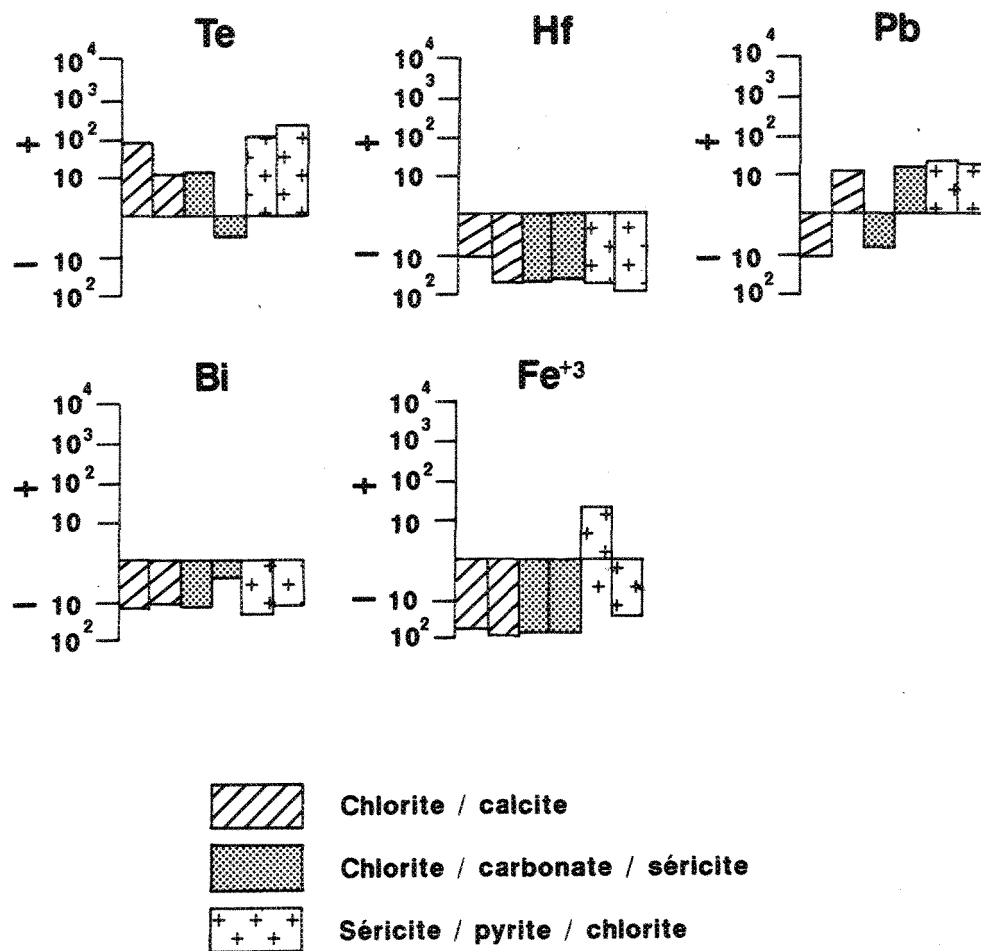


Figure 98 (suite)



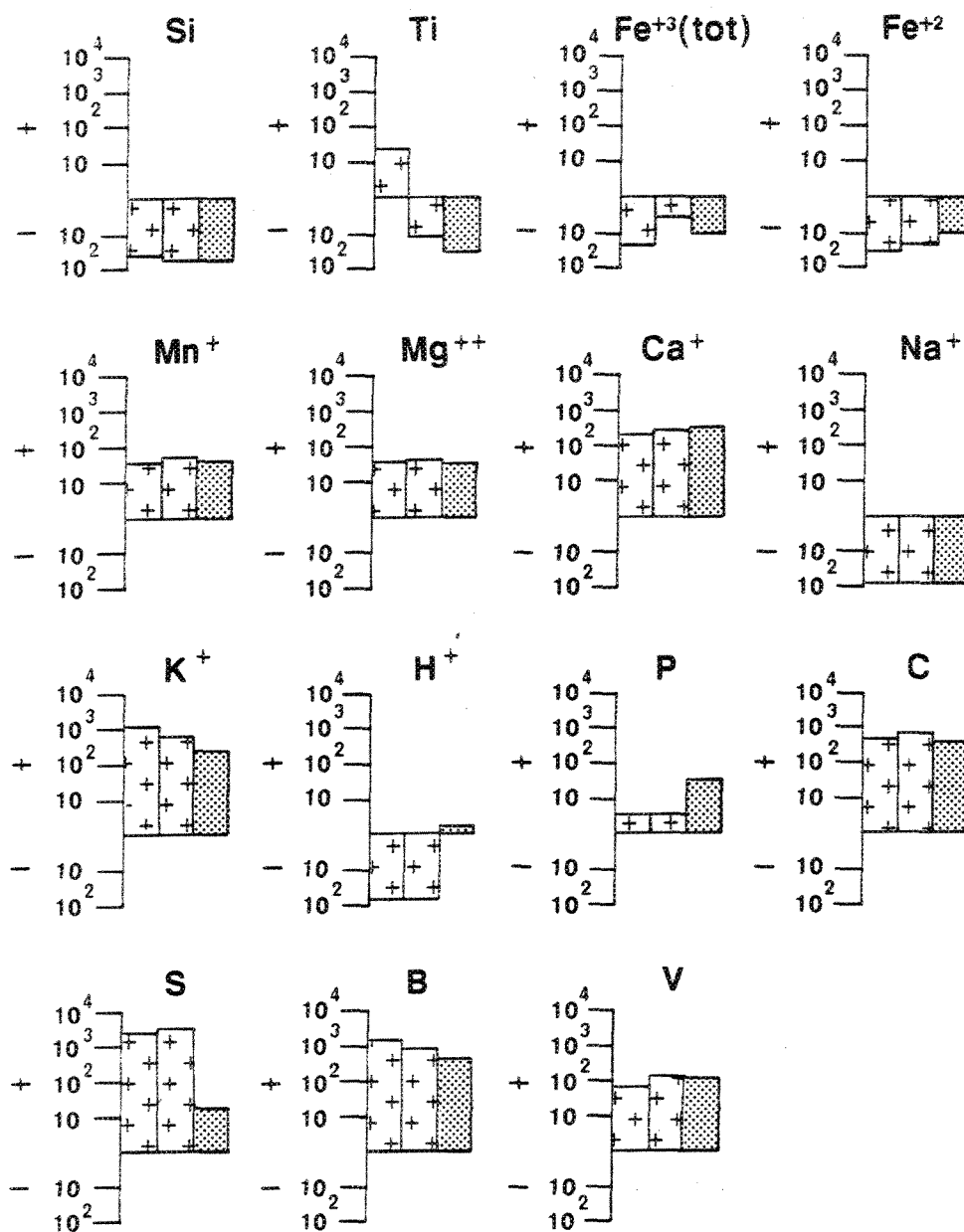


Figure 99 : Profil lithogéochimique quantitatif des gains et pertes survenus dans les roches encaissantes de la veine no 1 tel qu'illustré par le forage N-87-2, Mine Norbeau.

Figure 99 (suite)

Mine Norbeau

Veine no. 1
Forage N - 87-2

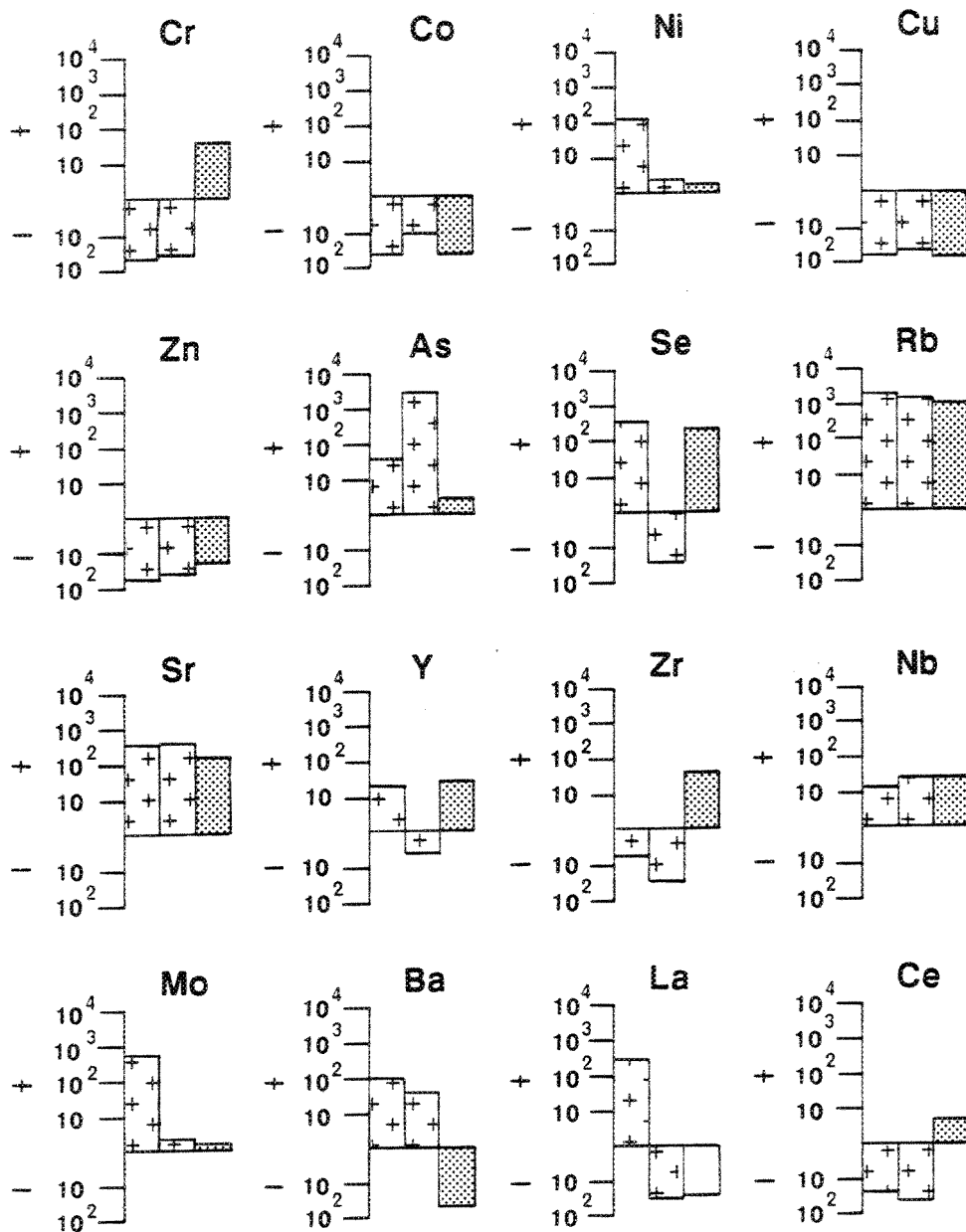
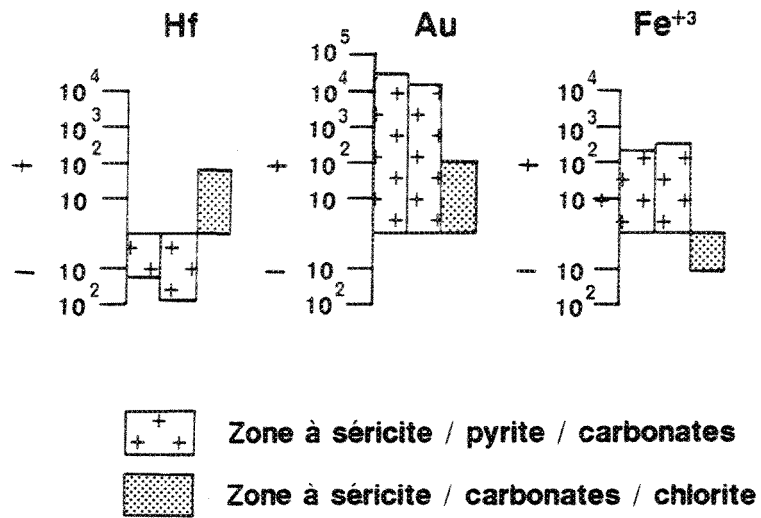


Figure 99 (suite)



Vein, figure 97), un lessivage de H^+ atteignant -95 % (section New Vein, figure 97), un gain en C^{+4} (relié à la présence des carbonates) atteignant +100,000 % (section New Vein, figure 97), un gain en S, relié à la présence de sulfures, atteignant +49 000 % (forage N-81-11, figure 96), un gain en bore atteignant +800 % (forage N-81-11), un gain en As (présence d'arsénopyrite) atteignant +178000 % (section New Vein, figure 89), un gain en Au atteignant +191000 % (forage N-81-11, figure 96), et un gain en Ba atteignant +160 % (forage N-81-11, figure 96). L'enrichissement en Ba est relié à la présence de séricite étant donné la grande compatibilité qui existe entre la Ba et le K contenu dans la séricite (Cox et al., 1979). Kerrich (1988) a également noté la corrélation entre le K et le Ba dans les gisements aurifères archéens. Les autres éléments montrent des variations non systématiques. Parmi les variations qui ne sont pas systématiques mais qui demeurent fréquentes, notons un lessivage de Si, relié à l'altération des silicates, un gain en Ca, associé à la présence des carbonates et un gain en Rb, relié à la formation des séricites.

Il est à noter que, contrairement aux résultats obtenus par Kerrich et al. (1977), et Studemeister (1984), les résultats de l'étude lithogéochimique quantitative ne montrent pas une augmentation systématique du contenu en Fe^{+2} et une diminution du contenu en Fe^{+3} en approchant de la zone minéralisée et ce, malgré le remplacement des titanomagnétites par du leucoxène, de la pyrite et de l'arsénopyrite.

L'ensemble de ces gains et pertes concordent avec les observations pétrographiques et les résultats de la lithogéochimie qualitative présentés antérieurement. De plus, ces résultats sont tout à fait comparables à ceux obtenus, dans un contexte très similaire, par Golding et Wilson (1983), Phillips (1986) et Ames (1988).

6.3.3 Éléments indicateurs

Dans la recherche de minéralisation aurifère, l'utilisation de discriminants géochimiques comme guides d'exploration s'avère souvent très utile (chapitre sur la mine Cooke, section 3.8.3.4 sur les éléments indicateurs). Dans le but de déterminer les éléments indicateurs pouvant être utilisés à la mine Norbeau et d'extrapoler les résultats obtenus à l'aide des profils lithogéochimiques, nous présentons aux figures 100, 101 et 102, le sommaire de nos résultats. Le lecteur voudra bien noter que nous avons utilisé la même procédure et les mêmes éléments que lors de notre étude à la mine Cooke .

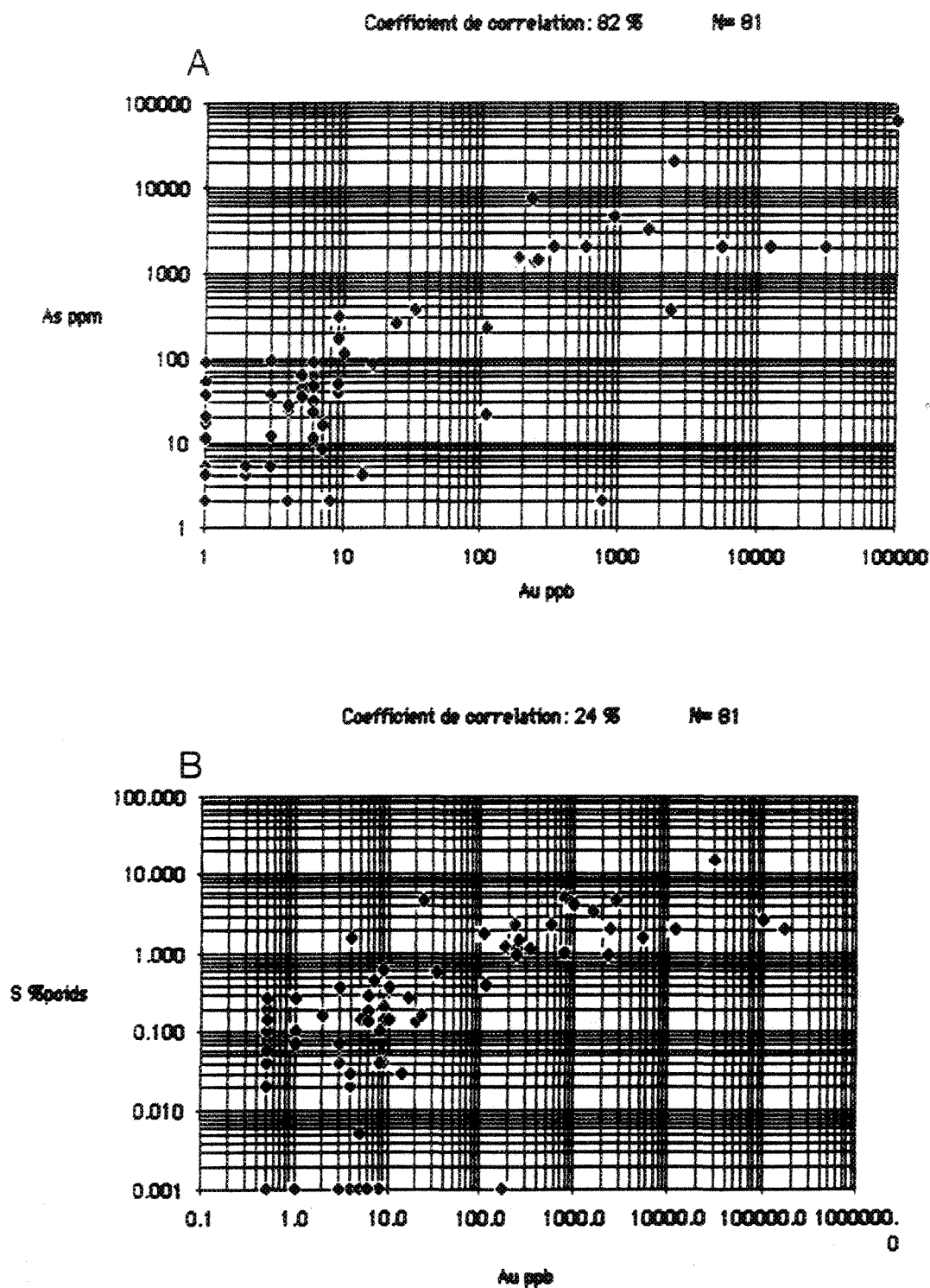


Figure 100: Diagrammes de l'arsenic (A) et du soufre (B) en fonction de l'or.

Coefficient de corrélation: 0 % N= 85

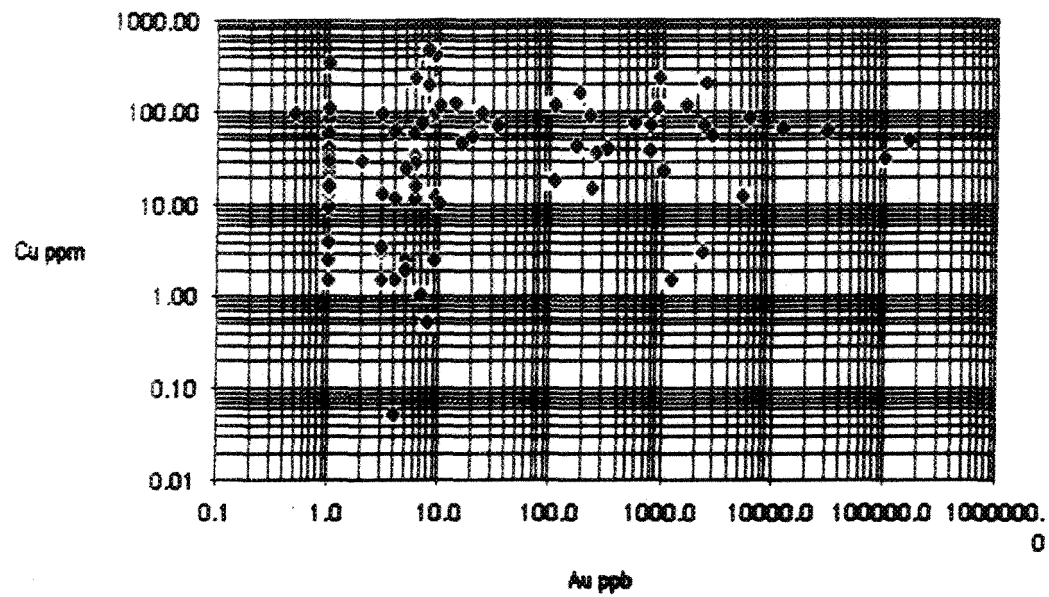


Figure 101: Diagrammes du cuivre en fonction de l'or.

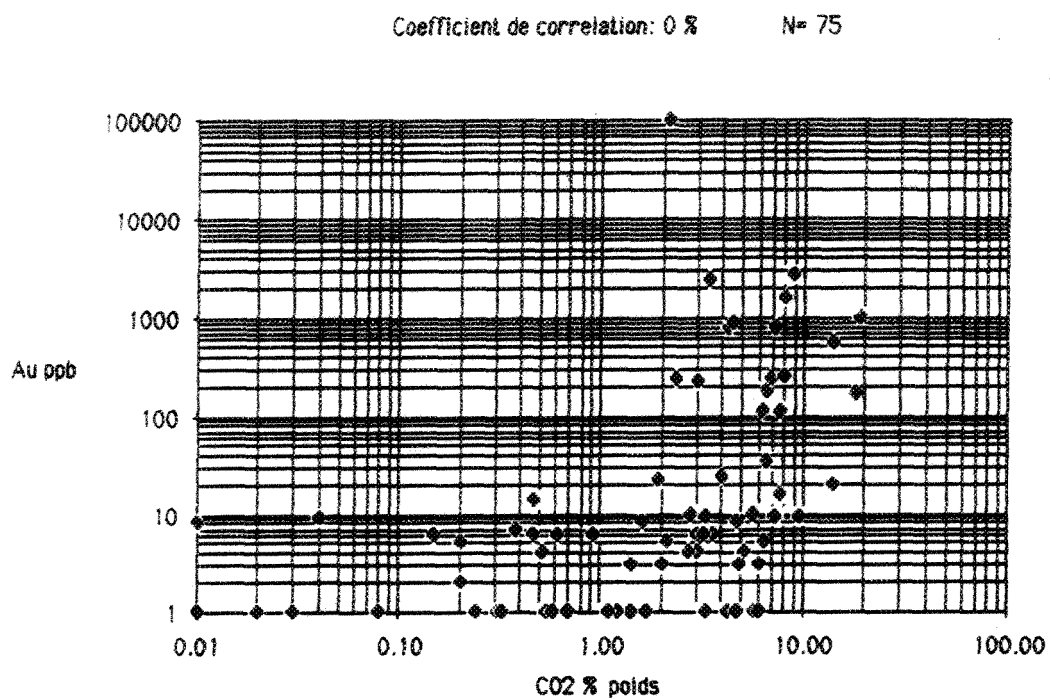


Figure 102: Diagramme de l'or (ppb) en fonction du CO₂ à la mine Norbeau.

Les données utilisées dans l'élaboration de ces graphiques proviennent des résultats d'analyse obtenus dans le cadre de nos travaux sur les veines no 1 (section), New Vein (section et forage N 81-11), Sharpe (section et forage SH 8-85) et Mann (section) (annexe 4, tableaux B-2 à B-8). De plus, nous avons utilisé les analyses effectuées dans le cadre de notre étude sur la différenciation magmatique (section 4.4). Ces échantillons non-minéralisés permettent de mieux définir les teneurs de fond. De 74 à 85 déterminations ont été considérées pour chaque élément.

On constate d'abord une très bonne corrélation ($r: 0,82$) entre l'arsenic (As) et l'or (Au) (figure 100 A) ce qui concorde avec nos observations pétrographiques. L'arsénopyrite est en effet pratiquement toujours présente dans les veines et à la bordure immédiate des veines. De plus, un seuil de 400 ppm d'As permet de prévoir des teneurs en or anormales de plus de 150 ppb.

La corrélation entre le soufre (S %) et l'or (Au) est de 24 % ($r: 0,24$) et s'avère donc inexistante (figure 100 B). Toutefois, il est à noter que toutes les valeurs de plus de 200 ppb d'or ont plus de 0,9 % de soufre. Le graphique Cu (ppm) p/r Au (ppb) (figure 101) montre qu'il n'existe pas de corrélation entre cet élément et les teneurs aurifères obtenues. Finalement, le graphique CO_2 (% poids) vs Au (ppb) (figure 102) nous permet de constater là aussi, l'absence de corrélation entre l'intensité de la carbonatation et les teneurs aurifères ce qui concorde avec le résultat obtenu à la mine Cooke (section 3.8.3.4).

Cette étape nous permet de préciser les résultats obtenus à l'aide des profils lithogéochimiques présentés précédemment (section 6.3.2). Elle confirme la relation entre As et Au alors suggérée. Elle révèle l'absence de corrélation entre le Cu, l'intensité de la carbonatation et l'or. De plus, elle suggère des seuils de >400ppm d'As et de >0,9 % de S à partir desquels il est raisonnable de prévoir des teneurs anormales en or (≥ 150 ppb). Ces teneurs anormales témoignent de la présence d'or dans l'environnement et permettent d'espérer la découverte de zones économiquement plus intéressantes.

6.3.4 Discussion: Chronologie de la formation des différentes phases d'altération

Un aspect important de l'altération hydrothermale à la mine Norbeau est la non symétrie

de la distribution des zones d'altération. L'altération en séricite et carbonate est spatialement associée à la présence des veines sub-horizontales principalement observées dans le mur des zones minéralisés. Cette relation spatiale suggère donc que l'échange entre la roche encaissante et le fluide circulant dans les veines sub-horizontales était probablement plus intense que celui entre l'encaissant et les veines sub-verticales. Les veines sub-horizontales représentent un milieu qui est relativement plus fermé et qui favorise donc un échange chimique et thermique potentiellement plus intense avec l'encaissant étant donné que le fluide est en quelque sorte trappé dans ces fractures, alors qu'à l'intérieur des veines sub-verticales il se produit probablement davantage de mouvement relié à la zone de chevauchement et la circulation des fluides et possiblement plus ouverte. De plus, dans le toit la déformation est intense, la roche est fortement cisailée et transformée en mylonite. Toutefois, la perméabilité effective est possiblement moins grande que celle associée aux veines sub-horizontales observées dans le mur. Ainsi, la présence de la zone à séricite-ankérite est probablement contrôlée par le rapport fluide/roche. Comme la zone du mur accolée à la veine sub-verticale est un milieu présentant une déformation plutôt en tension, l'infiltration du fluide est favorisée et le rapport fluide/roche est plus grand, favorisant ainsi le développement de l'altération hydrothermale.

L'altération hydrothermale observée à la veine no 1 de la mine Norbeau s'associe à une forte déformation de l'ensemble des roches "gabbroïques" encaissantes alors que dans les veines est-ouest l'intensité de la déformation est variable. En effet, dans ces dernières, les roches du mur accolées à la veine sub-verticale et situées dans les faciès à séricite-ankérite-calcite-pyrite et séricite-ankérite-calcite-chlorite, sont généralement faiblement à moyennement déformées alors que celles situées dans la zone de cisaillement mais à plus grande distance de la veine sont très fortement déformées, tout comme celles du toit. Ainsi, l'intensité de la déformation et sa variation rend plus difficile l'étude des transformations minéralogiques et la chronologie de ces transformations.

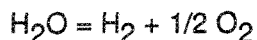
Dans l'étude de l'altération hydrothermale, deux processus doivent être considérés, ce sont :

- 1- L'effet du fluide hydrothermal associé à la minéralisation.
- 2- L'effet de la déformation sur les phases minéralogiques primaires et hydrothermales.

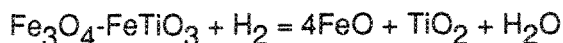
Ces deux processus sont reliés et contemporains, mais à l'échelle que nécessite une étude des transformations minéralogiques, il est nécessaire d'envisager l'effet de ces deux processus.

Le principal processus à considérer est l'effet du fluide hydrothermal ascendant sur les assemblages minéralogiques issus du métamorphisme régional. Cet effet n'est pas statique mais plutôt dynamique, étant donné que la composition du fluide évolue dans l'espace et dans le temps par réaction avec l'encaissant "gabbroïque". Au fur et à mesure que le fluide infiltre les roches, il va produire une zonation de l'altération. Ainsi, au début, le fluide va produire les trois faciès d'altération présents à la mine Norbeau et ceux-ci auront une certaine largeur. Au fur et à mesure que le fluide continue de s'infiltrer et d'affecter les roches, ces zones d'altération vont s'élargir et les assemblages produits auparavant seront donc affectés et modifiés par l'élargissement de chacune des zones d'altération et le chevauchement de ces zones. À la fin du processus, les zones d'altération seront semblables aux zones initiales mais leur largeur sera plus importante.

À son arrivée dans la zone de décharge hydrothermale ce fluide est notamment riche en CO_2 , K_2O , S, As et Au (voir section sur la lithogéochimie quantitative). Il engendre alors la formation des ankérites et des séricites, en remplacement des plagioclases, et de la pyrite-arsénopyrite \pm pyrrhotite, en remplacement des titanomagnétites primaires altérées en leucoxène. Toutefois, ces réactions fluide-encaissant vont provoquer une diminution du contenu en CO_2 et en K_2O présent dans le fluide et une augmentation relative de la proportion de H_2O . De plus, un autre effet à considérer est la diminution de la température du fluide à la suite de son expansion volumétrique associée à une chute de pression liée à l'écoulement du fluide dans la zone de cisaillement. Ce refroidissement du fluide va provoquer la diminution du processus de dissociation du H_2O en H_2 et $1/2 \text{O}_2$. En effet, selon Eugster et Skippen (1967), l'eau en présence de minéraux contenant du fer ferrique tend à se dissocier et à générer de l'hydrogène selon l'équation suivante :



De plus, selon ces auteurs, cette dissociation est accélérée par l'augmentation de température. Cette dissociation est possiblement responsable de la leucoxinisation des titanomagnétites par la réaction :



Ce changement de composition du fluide a donc pour effet de favoriser la formation de chlorite et de calcite plutôt que celle de l'ankérite et de la séricite (Dubé *et al.*, 1987). De fait ce métasomatisme est l'équivalent d'un métamorphisme rétrograde, causé principalement par l'apport d'H₂O. Dans les zones altérées associées aux veines est-ouest, nous avons observé, notamment dans la section New Vein, que certains plagioclases préalablement séricitisés ont sans conteste été ultérieurement déformés et chloritisés. L'altération en séricite et carbonate de fer est spatialement reliée à la présence des veines de quartz sub-horizontales et également à la veine sub-verticale. Celles-ci sont déformées, légèrement plissées et fortement cataclasées. Il n'est donc pas surprenant de constater que certains minéraux formés par altération hydrothermale aient pu avoir été déformés après leur formation par la poursuite de la déformation dans la zone de cisaillement. Cette poursuite de la déformation peut s'être produite après que la composition du fluide a été modifiée par la diminution de son contenu en CO₂. La présence de chlorite, accolée aux grains de pyrite dans la zone à séricite et située dans des franges de pression (pressure fringe), s'apparente possiblement à la présence de la chlorite tardive dans les fractures des plagioclases qui ont été préalablement séricitisés.

Autre point étrange à considérer est la présence dans l'échantillon BD-PB-539, représentant un fragment de quartz provenant de la veine Sharpe, de textures en rosettes très spectaculaires constituées de séricite et de chlorite. Il n'y a pas de remplacement entre ces deux minéraux et ils se sont formés de façon contemporaine. Ainsi, il est possible que ces deux minéraux soient formés sous les mêmes conditions physico-chimiques et par un fluide de même composition.

Donc, l'altération hydrothermale peut être chronologiquement résumé par :

1- Déformation ductile-cassante provoquant la fracturation des roches et l'ascension du fluide hydrothermal avec formation de veines de quartz. Ce fluide hydrothermal produit, par réaction avec les roches encaissantes, différents faciès d'altération en fonction des variations dans l'espace et dans le temps de l'activité du CO₂, du K₂O et de la température.

2- Formation de chlorite un peu tardivement associée à la déformation qui se poursuit mais surtout à la baisse de température (arrêt de la dissociation de H₂O en H₂), baisse de

l'activité du CO_2 et augmentation de l'activité du H_2O présent dans le fluide.

6.3.5 Sommaire de l'altération développée à la mine Norbeau

L'altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine Norbeau est très bien développée. Elle se caractérise mégascopiquement par une carbonatisation et chloritisation intenses. L'altération développée dans le ferrogabbro à quartz et la ferrodiorite à quartz peut être divisée en au moins trois faciès soit : un faciès à chlorite-calcite, un faciès à séricite-ankérite-calcite-chlorite et, finalement, un faciès à séricite-ankérite-calcite-pyrite. Ces zones ne présentent pas une distribution symétrique de part et d'autre de la zone minéralisée. Ainsi, du côté du toit, on note que l'altération hydrothermale est dominée par la zone à chlorite-calcite. Du côté du mur, l'altération se caractérise par la présence d'une zone centimétrique de séricite-ankérite-calcite-pyrite, suivie d'une zone à séricite-ankérite-calcite-chlorite et, finalement, d'une zone à chlorite-calcite.

Dans le faciès à chlorite-calcite, la roche est très fortement déformée. La chlorite est la phase minéralogique dominante, en moyenne elle constitue 39 % de l'ensemble. La calcite est fréquemment observée en remplissage de fractures dans les franges de pression du quartz et en veinules discontinues. Sa proportion moyenne est de 18 %. Dans le faciès à séricite-ankérite-calcite-chlorite, la déformation est généralement plus faible que dans la zone de chlorite-calcite. La présence de séricite (15 à 20 %) est la principale caractéristique de ce faciès d'altération. La proportion de carbonate (ankérite et calcite) varie de 15 à 45 % (moyenne de 30 %). La chlorite (8 à 48 %, moyenne 26 %) est également présente. Dans le faciès à séricite-ankérite-calcite-pyrite, la séricite représente 10 à 25 % de l'ensemble des constituants, les carbonates (ankérite et calcite), 20 à 55 %. Les phases métalliques sont principalement constituées de pyrite (≤ 15 %) et d'arsénopyrite (≤ 5 %).

Dans le leucogabbro, l'altération est pratiquement restreinte à la zone de cisaillement. On y note une forte carbonatisation (de 20 à 42 %), une chloritisation (de 20 à 60%) et une séricitisation (14 à 20 %) bien développées. Contrairement à l'altération décrite dans les autres veines, on note l'absence de pyrite-arsénopyrite-pyrrhotite dans le leucogabbro accolé aux veines de quartz. Toutefois, la proportion de sulfure, principalement de la pyrite et de la pyrrhotite est plus abondante à l'intérieur du quartz de la veine Mann que dans les autres veines de quartz. Notre étude de l'altération hydrothermale présente dans le leucogabbro ne suggère

pas la présence de faciès d'altération distinct, comme c'était les cas dans les veines décrites précédemment.

En termes de lithogéochimie qualitative, l'altération se traduit par une augmentation très nette du rapport $K_2O/Na_2O \times 100$. On note également que le rapport $SiO_2/(CO_2+H_2O^++S)$ présente une diminution marquée en approchant de la zone minéralisée (figure 84). On constate également que l'arsenic montre une excellente coïncidence spatiale avec les zones aurifères (figure 93). À l'inverse il n'y a aucune relation entre le cuivre et l'or.

Les résultats de l'étude quantitative des gains et pertes des éléments majeurs, mineurs et traces étudiés suggèrent dans le faciès à chlorite-calcite, un lessivage du Si, à l'exception de la zone de ferrogabbro du forage N-81-11, un gain fréquent en C^{+4} , et un gain en As. Parmi les variations qui ne sont pas systématiques mais qui demeurent fréquentes, notons un certain lessivage du Na et du K. Dans le faciès à séricite-ankérite-calcite-chlorite, on constate un lessivage du Ti et du Na et des gains de Ca, de K, de C^{+4} , de bore, et de As. Parmi les variations qui ne sont pas systématiques mais qui demeurent fréquentes, notons un gain en Mg, en S et en Au. Dans le faciès à séricite-ankérite-calcite-pyrite, on note un lessivage du Na (sauf pour le forage N-81-11) et du H^+ un enrichissement en K, C^{+4} , S, bore, As, Au et en Ba. Parmi les variations qui ne sont pas systématiques mais qui demeurent fréquentes, notons un lessivage de Si et un gain en Ca.

Sur le plan de la statistique, on constate une très bonne corrélation (82 %) entre l'arsenic (As) et l'or (Au). La corrélation entre le soufre (S) et l'or (Au) est de 24 % et s'avère donc inexistante (figure 99 B). Toutefois, il est à noter que toutes les valeurs de plus de 200 ppb d'or ont plus de 0,9 % soufre. Les graphiques Cu (ppm) p/r Au (ppb) (figure 100 A) et Ag (ppm) p/r Au (ppb) (figure 100 B) montrent qu'il n'existe pas de corrélation entre ces éléments et les teneurs aurifères obtenues. Finalement, le graphique CO_2 (% poids) p/r Au (ppb) (figure 101) nous permet de constater là aussi, l'absence de corrélation entre l'intensité de la carbonatation et les teneurs aurifères.

6.4- Altérations associées aux autres indices aurifères

Nous présentons maintenant un sommaire de l'altération hydrothermale associée aux

indices aurifères aux fins de comparaison avec celle développée aux mines Cooke et Norbeau. Une description pétrographique et lithogéochimique relativement détaillée de l'altération hydrothermale spécifique à chacun des indices a été présentée dans Dubé et Guha (1987 et 1989). Dans tous les indices étudiés, l'altération hydrothermale est spatialement et génétiquement contrôlée par la présence de zones de cisaillement E-W à NW-SE. Cette altération se caractérise par la présence de carbonates (ankérite et/ou calcite, voir analyses à la microsonde annexe 2, tableau 5), séricite, chlorite et pyrite. On observe également par endroits la présence de fuchsite (Chibougamau- Copper, Bourbeau West-1, Bourbeau West-2 et Tadd, voir analyses à la microsonde annexe 2, tableau 5). L'altération développée dans la zone de cisaillement minéralisée se caractérise partout par l'abondance de carbonates (ankérite et/ou calcite) et de séricite (\pm fuchsite) de même que la présence de pyrite et \pm de chlorite. La pyrite (en moyenne 5 à 10 %) est généralement accolée aux veines et veinules de quartz et elle est souvent accolée directement à des grains de leucoxène issus du remplacement des titanomagnétites primaires. Localement, on note également la présence d'arsénopyrite. L'or est observé en inclusion dans la pyrite (Bourbeau West-2) ou en inclusion dans la chalcoppyrite qui est elle-même en remplissage de fractures de la pyrite (Tadd). En s'éloignant de la zone minéralisée la proportion d'ankérite et de séricite diminue et l'altération est plutôt dominée par la présence de chlorite et calcite. Ainsi, on constate, notamment dans les indices Bourbeau West-1, Bourbeau West-2, du Ruisseau Leclerc et Tadd, que l'altération est distribuée selon un patron typique des gisements aurifères du type "lode gold" (Roberts, 1987; Colvine *et al.*, 1988).

Les indices aurifères ont fait l'objet d'une étude lithogéochimique qualitative assez sommaire (Dubé et Guha, 1989). Les tableaux 20 à 25 présentent un sommaire des résultats d'analyses chimiques réalisés sur ces indices (voir annexe 4, tableaux C-1 à C-5 pour les résultats détaillés). Dans l'ensemble, on constate que tous les indices présentent un enrichissement relatif en CO_2 pouvant atteindre jusqu'à 13 % (Bourbeau West-1, tableau 21). Il en est de même pour le K_2O qui montre partout un enrichissement relatif du protolite non-altéré jusqu'à la zone minéralisée ou la zone de carbonates, séricite et pyrite accolée aux veines et veinules de quartz. Les valeurs de K_2O atteignent plus de 3 % dans l'indice Bourbeau West-1 alors que la moyenne du protolite est de l'ordre de 0,47 % (tableau 21). Cet enrichissement témoigne de la séricitisation observée dans tous les secteurs. À l'inverse, on

TABLEAU 20 — Sommaire des résultats des analyses pour les éléments majeurs et les éléments traces de l'Indice Chibougamau Copper (forage S-1003)

	BD-PB-638-86*	BD-PB-640-86	BD-PB-643-86	BD-PB-645-86	BD-PB-648-86	BD-PB-651-86	BD-PB-652-86	BD-PB-653-86	BD-PB-655-86	BD-PB-656-86
	Ferrogabbro** à quartz non altéré***	Ferrogabbro à quartz non altéré	Ferrogabbro à quartz chlorite et calcite	Ferrogabbro à quartz non altéré	Ferrogabbro à quartz carbonates, séricite et pyrite	Ferrogabbro à quartz chlorite et calcite	Dyke albitique	Leucogabbro chlorite et séricite	Leucogabbro carbonate, séricite et chlorite	Leucogabbro chlorite et séricite
Éléments majeurs (% du poids)										
SiO ₂	52,2	54,4	51,1	50,4	46,7	53,9	45,2	47,3	43,0	45,2
Al ₂ O ₃	13,2	13,5	13,1	12,9	10,1	13,5	16,9	18,5	15,3	16,6
TiO ₂	1,98	2,11	2,06	1,95	1,58	1,97	1,12	0,78	0,82	0,97
Fe ₂ O ₃	12,5	10,4	12,7	11,5	14,2	12,6	11,7	10,9	10,2	11,3
FeO	6,4	5,7	7,9	5,9	6,9	7,4	8,7	6,4	7,9	6,8
MnO	0,26	0,23	0,27	0,26	0,23	0,25	0,21	0,17	0,15	0,14
MgO	3,91	4,06	4,14	4,14	3,64	4,05	5,12	6,17	7,20	7,75
CaO	8,95	7,92	7,45	12,6	9,26	6,23	5,36	7,76	9,45	7,77
Na ₂ O	2,98	2,99	2,78	1,42	1,96	2,06	4,97	3,22	2,56	2,43
K ₂ O	0,24	0,33	0,26	0,39	0,66	0,27	0,65	1,65	1,27	1,32
P ₂ O ₅	0,23	0,23	0,26	0,24	0,21	0,22	0,39	0,15	0,28	0,47
P.F.****	1,70	2,47	4,27	2,47	5,70	3,47	5,70	3,54	10,1	5,47
Total	98,2	98,8	98,5	98,4	94,3	98,6	97,4	100,4	100,5	99,6
CO ₂	0,12	0,36	2,0	0,24	6,0	0,72	3,00	0,44	6,7	1,8
H ₂ O ⁻	1,5	2,0	2,9	1,5	2,7	2,8	3,7	2,5	3,6	3,1
S	0,00	0,10	0,10	0,00	2,24	0,24	0,33	0,06	0,00	0,00
Éléments traces métalliques (ppm)										
Cu	76	120	82	20	210	26	80	100	120	75
Zn	130	110	130	110	190	160	180	130	110	130
As	11	11	14	2	86	15	27	<2	7	3
Mo	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	<5	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	<2	4	<2	<4	12	2	<2	4	<2	4
Au (ppb)	<1	2	61	<1	330	2	18	7	2	5
Éléments traces (ppm)										
B	7,8	7,6	4,0	<0,5	5,2	0,8	6,0	13	9,6	13
Y	60	30	40	50	30	30	10	<10	10	10
Zr	140	120	130	110	110	120	110	20	40	<10
Rapport indicateur										
K ₂ O/Na ₂ O	0,08	0,11	0,09	0,27	0,34	0,13	0,13	0,51	0,50	0,54
SiO ₂ /(CO ₂ +H ₂ O ⁻ +S)	32,22	22,11	10,22	28,97	4,27	4,33	6,43	15,77	4,17	9,22

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Type d'altération

**** Perte au feu

TABLEAU 21 — Analyse sommaire des éléments majeurs et des éléments traces de l'indice Bourbeau west-1

	MY-PB-30-86* Leucogabbro** —	BD-PB-104A-86 Leucogabbro chlorite et calcite***	BD-PB-104B-86 Leucogabbro carbonates, séricite et pyrite	BD-PB-103-86 Veine de quartz —
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	48,00	50,70	32,80	-
Al ₂ O ₃	15,60	15,80	15,60	-
TiO ₂	1,12	1,12	1,02	-
Fer total	11,60	11,00	10,30	-
FeO	7,70	7,90	6,50	-
MnO	0,20	0,15	0,17	-
MgO	7,52	6,83	6,31	-
CaO	9,79	6,32	13,40	-
Na ₂ O	1,59	1,84	<0,01	-
K ₂ O	0,47	0,59	3,27	-
P ₂ O ₅	0,14	0,14	0,12	-
Perte au feu	3,20	5,60	13,90	-
Total	99,40	100,10	97,00	-
CO ₂	0,11	1,90	13,00	-
H ₂ O ⁺	3,10	4,10	1,30	-
S	0,06	0,00	0,77	1,09
Éléments traces métalliques (ppm)				
Cu	61	85	15	7,0
Zn	110	140	54	32
As	44	32	2000	6300
Mo	<5	<5	<5	<10
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	14	6	14	10
Au (ppb)	<20	<20	30	320
Éléments traces (ppm)				
B	<10	10	100	-
Y	<20	<20	20	-
Zr	50	60	60	-
Rapport indicateur				
K ₂ O/Na ₂ O	0,30	0,32	327	-
SiO ₂ /(CO ₂ +H ₂ O ⁺ +S)	14,68	8,45	2,18	-

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Type d'altération

TABLEAU 22— Analyse sommaire des éléments majeurs et des éléments traces de l'indice Bourbeau west-2

	BD-PB-681-86* Leucogabbro**	BD-PB-683-86 Leucogabbro	BD-PB-685-86 Leucogabbro	BD-PB-686-86 Zone minéralisée	BD-PB-688-86 Leucogabbro	BD-PB-691-86 Leucogabbro	BD-PB-86-86 Leucogabbro	BD-PB-88-86 Leucogabbro
	non altéré***	carbonate et chlorite	carbonate et séricite		carbonate et séricite	non altéré	carbonate, séricite et pyrite	carbonate, séricite et chlorite
Éléments majeurs (% du poids)								
SiO ₂	50,5	41,8	46,5	-	47,0	50,4	43,1	45,2
Al ₂ O ₃	16,0	14,7	14,6	-	14,5	15,1	14,0	13,2
TiO ₂	1,05	1,09	1,04	-	1,22	1,30	1,63	1,32
Fe ₂ O ₃	8,19	12,0	9,22	-	8,57	10,2	9,10	7,36
FeO	5,40	9,60	7,60	-	7,00	6,50	5,80	5,80
MnO	0,23	0,25	0,20	-	0,17	0,19	0,36	0,30
MgO	5,86	7,18	5,42	-	5,30	5,21	5,05	4,00
CaO	11,6	10,4	10,6	-	10,1	9,73	9,69	13,8
Na ₂ O	2,39	0,57	<0,01	-	0,02	1,84	0,46	<0,01
K ₂ O	0,13	1,12	2,07	-	2,27	0,10	2,07	2,09
P ₂ O ₅	0,12	0,13	0,13	-	0,15	0,16	0,18	0,15
Perte au feu	3,7	11,3	9,9	-	10,8	6,1	14,3	13,0
Total	99,8	100,8	99,8	-	100,2	100,4	100,0	100,5
CO ₂	1,7	7,8	8,1	-	7,6	2,9	12	10
H ₂ O ⁺	1,0	4,5	1,7	-	2,9	1,4	1,6	1,7
S	0,01	0,01	0,00	3,42	0,00	0,00	0,74	0,06
Éléments traces métalliques (ppm)								
Cu	31	4,5	36	<0,5	9,0	56	93	130
Zn	71	76	60	100	61	150	41	65
As	25	22	49	8100	80	3	1400	110
Mo	<5	<5	<5	10	<5	<5	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	<2	<2	14	60	10	<2	8	6
Au (ppb)	<20	<20	<20	1300	30	<20	30	<20
Éléments traces (ppm)								
B	<10	10	30	-	30	<10	30	40
Y	20	20	20	-	40	40	20	30
Zr	60	60	60	-	80	70	100	10
Rapport indicateur								
K ₂ O/Na ₂ O	0,5	1,96	207	-	113,5	0,05	4,5	209
SiO ₂ /(CO ₂ + H ₂ O ⁺ + S)	18,63	3,40	4,74	-	4,48	11,72	3,01	3,84

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Type d'altération

TABLEAU 23— Analyse sommaire des éléments majeurs et des éléments traces de l'indice du ruisseau Lelièvre

	BD-PB-05-86*	BD-PB-06-86	BD-PB-08-86	BD-PB-09-86
	Ferrodiorite** à quartz	Veine et encaissant	Ferrodiorite à quartz	Ferrodiorite à quartz
	carbonate,*** séricite et pyrite	carbonate, séricite et pyrite	carbonate, séricite et chlorite	calcite et chlorite
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	31,5	-	51,3	50,4
Al ₂ O ₃	16,8	-	13,3	12,8
TiO ₂	1,29	-	1,90	1,79
Fer total	14,6	-	12,5	14,5
FeO	7,80	-	9,80	11,2
MnO	0,19	-	0,17	0,16
MgO	5,63	-	3,41	4,20
CaO	7,68	-	6,39	5,96
Na ₂ O	1,92	-	2,68	2,14
K ₂ O	3,28	-	0,51	0,33
P ₂ O ₅	0,12	-	0,24	0,23
Perte au feu	12,1	-	6,1	6,4
Total	95,1	-	98,5	98,9
CO ₂	12,0	-	4,7	4,3
H ₂ O ⁺	2,1	-	3,4	3,9
S	2,24	1,25	0,39	0,30
Éléments traces métalliques (ppm)				
Cu	42	20	210	87
Zn	86	40	88	95
As	650	370	21	38
Mo	6	<10	<5	5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	24	20	12	14
Au (ppb)	60	67	20	<20
Éléments traces (ppm)				
B	20	10	<10	<10
Y	<20	-	40	30
Zr	90	-	150	130
Rapport indicateur				
K ₂ O/Na ₂ O	1,71	-	0,19	0,15
SiO ₂ /(CO ₂ +H ₂ O ⁺ +S)	1,93	-	6,04	5,93

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Type d'altération

TABLEAU 24 — Analyse lithogéochimique sommaire d'une section réalisée à l'Indice Tadd. Tiré de Dubé (1985)

	13514*	5570	13587	13573	13569
	Zone** minéralisée	Ankérite et fuchsite 1,8 m***	Ankérite et fuchsite 10,7 m	Chlorite et calcite 21,3 m	Chlorite et calcite 38,1 m
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	56,00	38,5	46,60	58,00	60,50
Al ₂ O ₃	11,40	7,23	18,00	11,90	12,50
TiO ₂	0,93	0,42	0,95	1,44	1,27
Fer total	13,20	10,70	10,70	13,20	10,00
MnO	0,12	0,27	0,12	0,14	0,09
MgO	0,87	9,15	5,14	1,25	1,52
CaO	2,99	15,00	2,51	4,03	2,69
Na ₂ O--	4,90	0,30	5,86	3,37	5,09
K ₂ O	0,80	1,30	1,29	0,34	0,45
P ₂ O ₅	0,40	0,19	0,75	0,73	0,54
Perte au feu	8,30	16	8,05	4,65	5,10
Total	99,51	99,06	99,22	98,32	99,21
CO ₂	3,21	-	3,57	0,94	4,27
H ₂ O ⁺	-	-	0,25	0,11	0,13
S	8,74	0,05	0,08	0,05	0,05
Éléments traces métalliques					
As (ppm)	225	-	61	6	4
Au (ppb)	7800	<5	<5	-	-
Rapport indicateur					
K ₂ O/Na ₂ O	0,16	4,33	0,22	0,10	0,09
SiO ₂ /perte au feu	6,75	2,41	5,79	12,47	11,86

* N° d'échantillon

** Type d'altération

*** Distance de la zone minéralisée

TABLEAU 25— Analyse sommaire des éléments majeurs et des éléments traces de l'Indice Springer

	BD-PB-276-86* Ferrogabbro** à quartz non altéré***	BD-PB-271-86 Ferrogabbro à quartz chlorite et calcite	BD-PB-275-86 Ferrogabbro à quartz carbonate et pyrite	BD-PB-274-86 Ferrogabbro à quartz chlorite	BD-PB-281-86 Ferrogabbro à quartz carbonate
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	51,2	48,8	49,0	47,3	51,2
Al ₂ O ₃	13,3	12,4	13,7	15,8	13,5
TiO ₂	1,72	1,67	1,93	2,20	1,71
Fer total	14,5	12,1	14,7	18,1	11,5
FeO	9,70	9,50	1,40	14,8	9,30
MnO	0,23	0,20	0,04	0,24	0,16
MgO	4,38	4,65	1,13	6,32	5,11
CaO	12,2	8,71	3,02	2,03	6,10
Na ₂ O	2,42	2,91	6,36	2,81	2,55
K ₂ O	0,30	0,12	0,39	0,17	0,60
P ₂ O ₅	0,21	0,21	0,24	0,24	0,19
Perte au feu	1,3	7,8	9,2	4,4	7,4
Total	99,8	99,6	99,7	99,6	100,0
CO ₂	0,06	5,6	1,7	0,02	4,3
H ₂ O ⁺	1,7	3,6	2,0	3,8	3,2
S	0,00	0,06	5,98	0,07	0,00
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	5,0	300	35	20	47
Zn	94	95	21	130	66
As	17	12	33	16	5
Mo	<5	<5	10	<6	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	20	4	14	10	4
Au (ppb)	40	<20	50	<20	80
Éléments traces (ppm)					
B	<10	<10	70	<10	<10
Y	30	30	40	30	50
Zr	120	100	140	180	120
Rapport indicateur					
K ₂ O/Na ₂ O	0,12	0,04	0,06	0,06	0,24
SiO ₂ /(CO ₂ +H ₂ O ⁺ +S)	29,09	5,27	5,06	12,16	6,83

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Type d'altération

note un lessivage relatif du Na_2O notamment dans les indices Bourbeau West-1, Bourbeau West-2 et Tadd (tableaux 21, 22 et 24). Ce lessivage, combiné aux gains en K_2O , explique l'augmentation du rapport $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ observé dans tous les indices, exception faite de l'indice Springer. Le rapport $\text{SiO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}+\text{S})$ présente partout une diminution de la zone non-altérée vers la zone minéralisée. Cette diminution témoigne de l'apport d'éléments volatiles (CO_2 et H_2O) et du S provenant du fluide hydrothermal et , dans certain cas (Bourbeau West-1, Tadd), du lessivage de la silice. Mis à part l'indice Springer, on constate des gains en arsenic dans tous les autres secteurs.

6.5- Interprétations et discussions

6.5.1 Introduction

Afin de mieux comprendre les processus de l'altération hydrothermale nous présentons maintenant une série d'équations qui combinent les observations pétrographiques, les analyses à la microsonde et les résultats de l'étude lithogéochimique quantitative. Les études sur les inclusions fluides (Roedder, 1984; Ho et al., 1987; Robert et Kelly, 1987) suggèrent que la température des fluides hydrothermaux aurifères varie de 200 à 400 ° C et que la moyenne se situe entre 250 et 350 ° C. Selon Ho et al., (1987), le pH est neutre à légèrement alcalin et le fluide est réducteur. Les assemblages minéralogiques contenant de la séricite et/ou du feldspath potassique sont en accord avec un pH neutre ou faiblement alcalin postulé pour le fluide hydrothermal (Romberger, 1986). Sous ces conditions physico-chimiques, les espèces aqueuses de Si et CO₂ les plus probables, soit Si(OH)₄ et H₂CO₃ (Holland, 1967; Helgeson, 1969; Riverin et Hodgson, 1980; Robert, 1983) ont donc été utilisées dans les réactions chimiques.

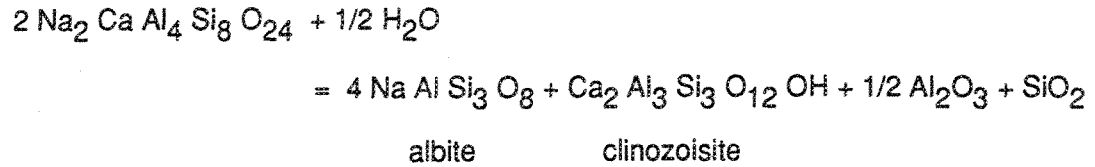
Nous étudierons individuellement chacune des zones d'altération présentées dans la section sur la pétrographie de l'altération et nous verrons dans quelle mesure ces réactions chimiques permettent d'expliquer les gains et pertes notés lors de notre étude lithogéochimique quantitative. Les équations ont été équilibrées en respectant l'immobilité relative de Al, telle que suggérée par notre étude lithogéochimique quantitative. De plus, afin de faciliter l'équilibre des équations, la composition chimique des minéraux analysés à la microsonde a été légèrement idéalisée (tableau 6, annexe 2). Auparavant, nous verrons quelles sont les réactions produites par le métamorphisme régional. Puisque selon nos observations pétrographiques, l'altération hydrothermale est survenue après le métamorphisme régional, ce dernier contrôle donc les assemblages minéralogiques qui seront affectés par le fluide hydrothermal.

Métamorphisme régional

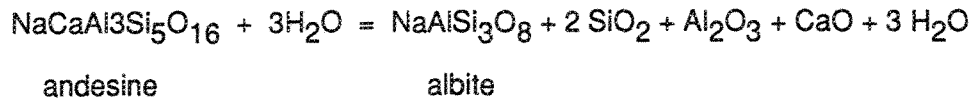
Les principales transformations minéralogiques survenues lors du métamorphisme régional sont :

A) Saussuritisation des plagioclases

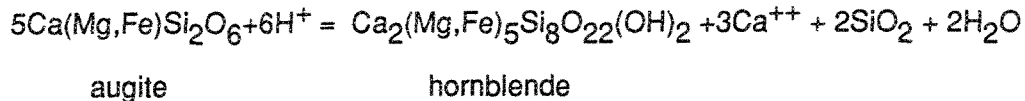
andésine



B) albitisation des plagioclases



C) Ouralitis des pyroxènes



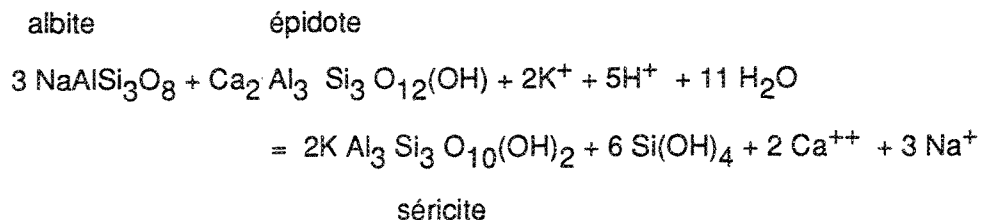
6.5.2 Transformations minéralogiques associées aux zones aurifères de la mine Cooke

Zone à séricite/calcite/chlorite

Dans la zone à séricite/calcite/chlorite, la principale transformation minéralogique observée est la séricitisation des plagioclases préalablement saussuritisés par le métamorphisme régional. De plus on note généralement une faible chloritisation et une carbonatation locale des hornblendes. Voyons maintenant comment ces transformations minéralogiques peuvent se traduire chimiquement.

Séricitisation des plagioclases

L'apport de K^+ et de H^+ peut produire la séricitisation des plagioclases saussuritisés selon la réaction:



Ainsi, la séricitisation des plagioclases permet d'expliquer certains résultats de notre étude lithogéochimique quantitative :

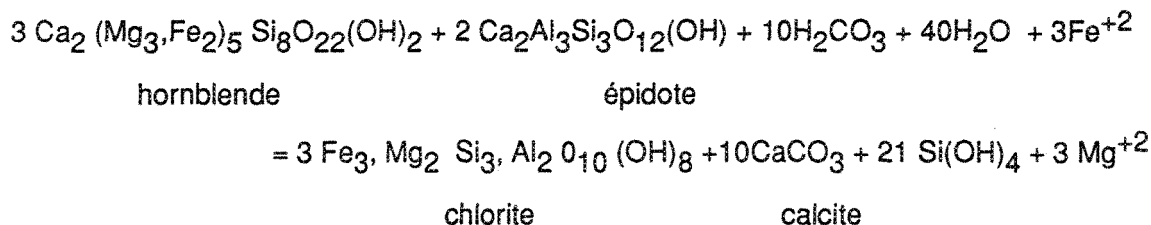
- le lessivage important du Ca^{++} ;
- le gain important de K^+ ;
- le gain important de Rb qui est associé à la formation des séricités;
- le lessivage important du Sr qui était présent dans la structure des plagioclases;

L'excédent de Na^+ associé à la séricitisation des albites ne se traduit pas, selon les profils lithogéochimiques, par un lessivage; il est donc possible qu'une partie de ce Na^+ soit demeuré sur place et ait formé les plagioclases albites observés dans les micro-veinules.

Transformations de la hornblende

Dans la zone à sérinite, l'altération hydrothermale a produit de façon générale une faible chloritisation et une carbonatation locale de la hornblende. Différentes réactions sont possibles selon qu'elles impliquent uniquement la hornblende ou non.

Chloritisation et carbonatation de la hornblende et épidote (modifié de Harte et Graham, 1975):



Cette réaction permet d'expliquer :

- le lessivage du Mg;
- le gain de Fe^{+2} noté localement (S-588) dans la zone à sérinite et chlorite;
- le gain en CO_2 ;
- le lessivage du Cr et du Ni. Le Cr et le Ni étaient présents dans les amphiboles et ne se retrouvent pas, dans la même proportion, dans la structure des chlorites.

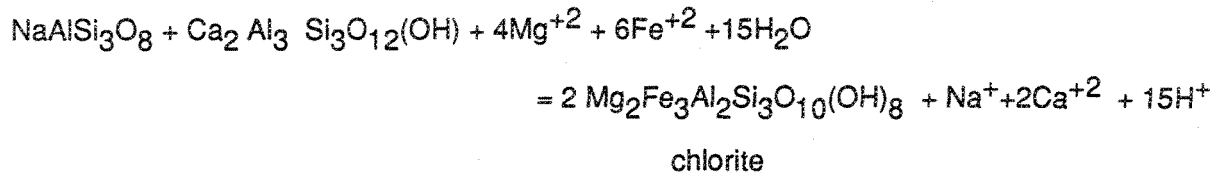
La silice devrait être fortement lessivée selon cette réaction, toutefois cette silice a probablement migré dans les micro veinules de quartz-feldspath observées. Il importe de noter toutefois, que la forte carbonatation suggérée par cette réaction n'a pas été observée.

Zone à chlorite, calcite ± axinite

La zone à chlorite, calcite ± axinite présente comme principale transformation minéralogique, la chloritisation et la carbonatation des amphiboles et plagioclases saussuritisés et/ou séricitisés (forage S-588, figure 66).

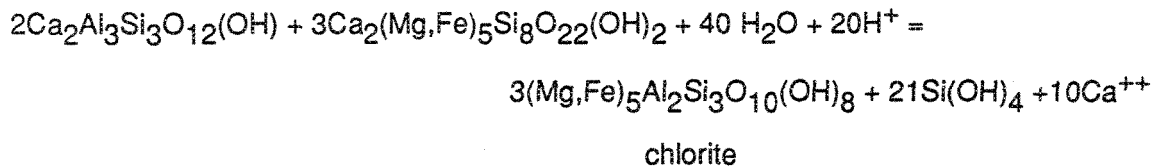
Chloritisation des plagioclases saussuritisés

albite épidote



Chloritisation des plagioclases saussuritisés (épidote) et de la hornblende

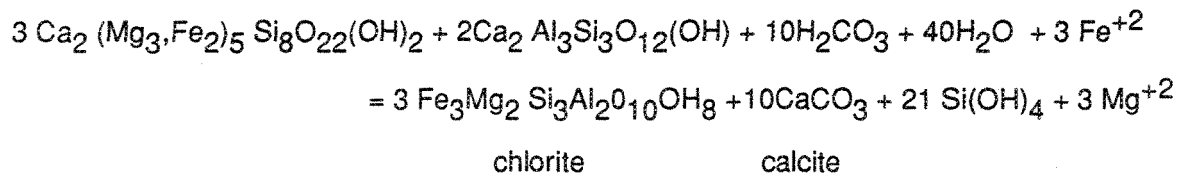
épidote hornblende



Chloritisation et carbonatation de la hornblende et épidote (modifiée de Harte et Graham, 1975)

hornblende

épidote



Ces réactions permettent d'expliquer :

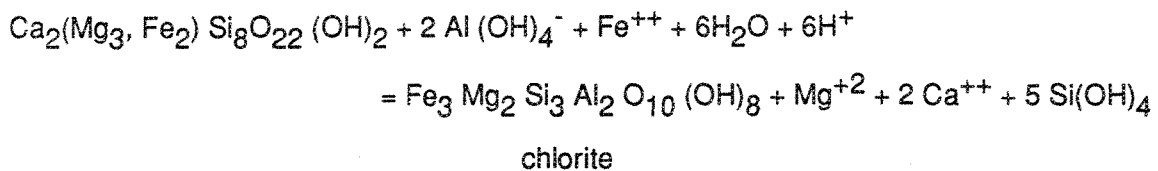
- l'enrichissement en Fe^{+2} ;
- le lessivage du Na, et du Ca;
- le lessivage du Cr, celui-ci était probablement présent dans les amphiboles et il ne se retrouve pas dans la structures des chlorites;

- le lessivage du Sr associé à l'altération des plagioclases calciques.

Zone de chloritisation massive

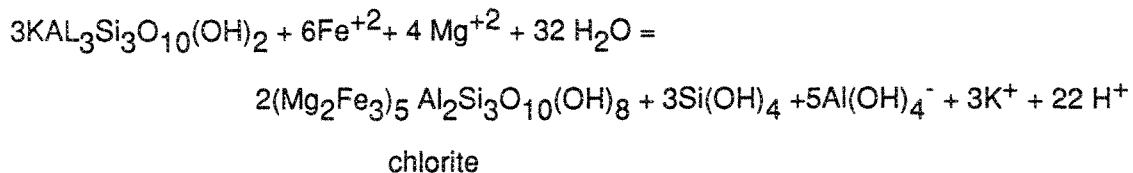
Dans la zone de chlorite massive, la principale transformation minéralogique est la chloritisation des hornblendes et des plagioclases. Comme première réaction on note la chloritisation intense des amphiboles sans production importante de calcite. Cette réaction est rendue nécessaire du fait que le Ca est fortement lessivé selon les résultats de l'étude des gains et pertes à l'aide de la méthode de Grésens.

hornblende



Chloritisation des séricites formées dans la zone à séricite, calcite et chlorite (basée sur Knuckey et al., 1982)

séricite

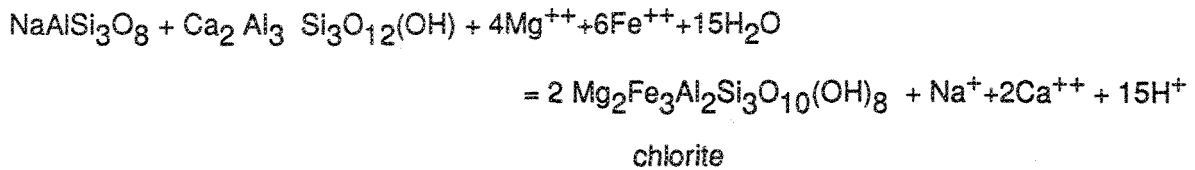


Il est important de noter que le $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ nécessaire à la chloritisation des hornblendes pourrait provenir du $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ produit par la chloritisation des séricites. Le Al nécessaire à ces réactions doit donc provenir des constituants de la roche mère puisque selon l'étude lithogéochimique quantitative, cet élément est resté immobile.

On doit aussi considérer la chloritisation des plagioclases saussuritisés par le métamorphisme régional et transformés en épidote et albite secondaires. Le Mg ajouté provient possiblement du Mg lessivé lors de la chloritisation des amphiboles car, selon l'étude lithogéochimique quantitative il n'y a pas de gain en Mg, au contraire, on dénote un faible lessivage de Mg. Le Fe nécessaire à cette réaction est probablement fourni par le fluide car selon l'étude lithogéochimique quantitative, on dénote un gain important en Fe (voir section

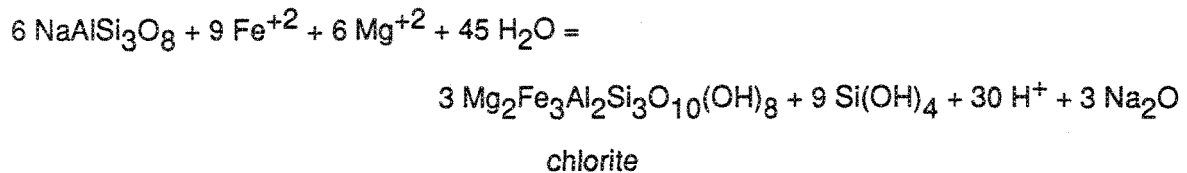
5.2.4.3.2).

albite épidote



Cette réaction peut également impliquer uniquement l'albite :

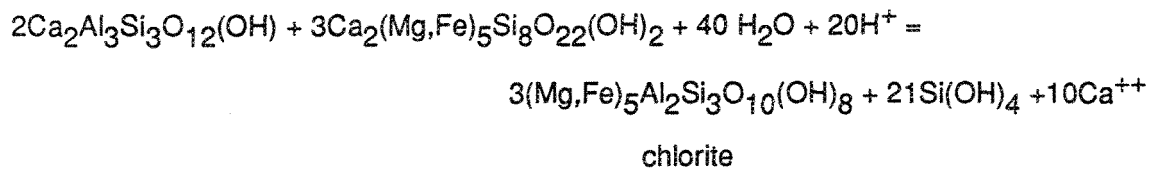
albite



Les réaction peuvent aussi se produire en impliquant simultanément le plagioclase saussuritisé (épidote) et la hornblende dans une même réaction :

épidote

hornblende



Ces réactions pourraient expliquer :

- le lessivage très intense du K^+ , du Si^{++} , du Ca^{++} et du Na^+ ;
- l'enrichissement marqué du Fe;
- le lessivage du Rb associé à la disparition des séricités;
- le lessivage important du Sr qui était présent dans la structure des plagioclases;
- le lessivage du Cr et Ni présent dans les hornblendes;

La majorité des autres éléments ajoutés soit le Cu, As, Au H^+ , Mo, Pb, et Zn, étaient probablement présents dans le fluide hydrothermal.

6.5.3 Transformations minéralogiques : Mine Norbeau

À la mine Norbeau, nous avons reconnu la présence d'au moins trois faciès d'altération, soit le faciès à chlorite/calcite, le faciès à ankérite-calcite-séricite-chlorite et le faciès à

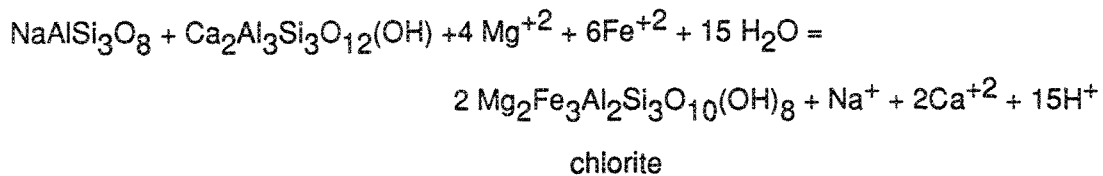
ankérite-calcite-séricite-pyrite. Nous verrons maintenant les principales réactions chimiques dans chacun de ces faciès.

1) Zone à chlorite/calcite

Les principales transformations minéralogiques observées dans ce faciès d'altération sont la chloritisation et la carbonatation des plagioclases saussuritisés et des actinotes. Plusieurs scénarios sont possibles dépendamment des minéraux impliqués.

A) Chloritisation des albites saussuritisées par le métamorphisme régional

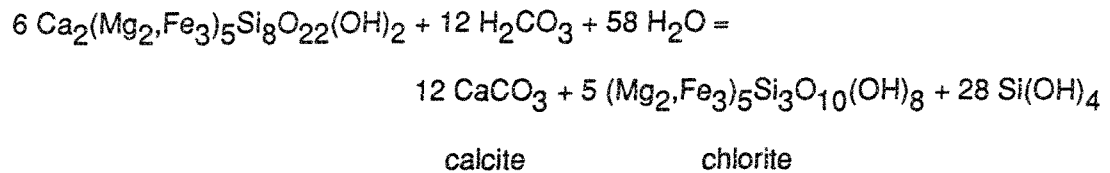
albite épidote



La chloritisation consomme du H_2O et produit du H^+ ce qui pourrait alors provoquer la déstabilisation des titanomagnétites

B) Chloritisation et calcitisation des actinotes (pyroxène ouralitisé par le métamorphisme)

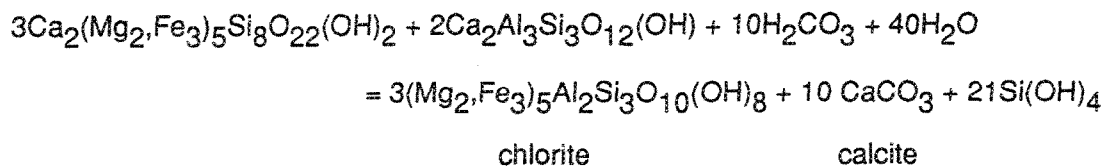
actinotes



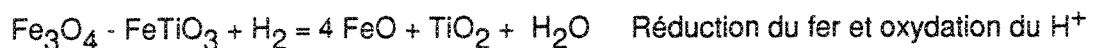
C) Chloritisation et carbonatation de l'actinote et épidote

actinote

épidote



D) Déstabilisation des titanomagnétites



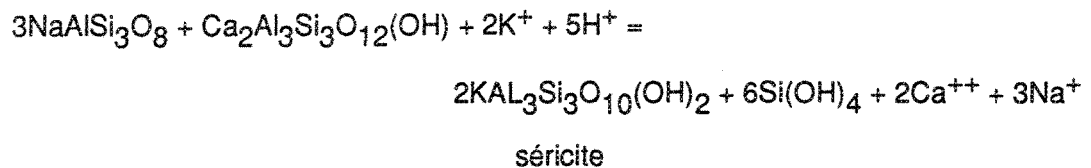
Le fer ainsi libéré peut avoir été utilisé dans la formation des chlorites à partir des albites.

Ainsi, l'ensemble de ces réactions permet d'expliquer le lessivage de Si et Na et le gain de CO₂ noté lors de l'étude lithogéochimique quantitative. Toutefois, l'apport de Fe⁺² et de Mg⁺², nécessaire dans la chloritisation des plagioclases saussuritisés n'est pas traduit par ces réactions chimiques. Ces deux éléments proviennent possiblement de la déstabilisation de l'actinote et ne serait pas totalement fixés dans la chlorite. Le Ca⁺² libéré, tel que suggéré dans la réaction décrivant la chloritisation des albites saussuritisées, est possiblement utilisé dans la réaction produisant l'ankéritisation des actinotes dans les deux autres faciès d'altération.

3) Zone à séricite/ankérite-calcite/chlorite

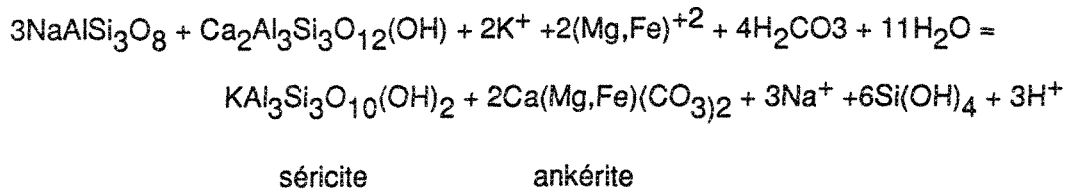
A) Séricitisation des plagioclases saussuritisés

albite épidote



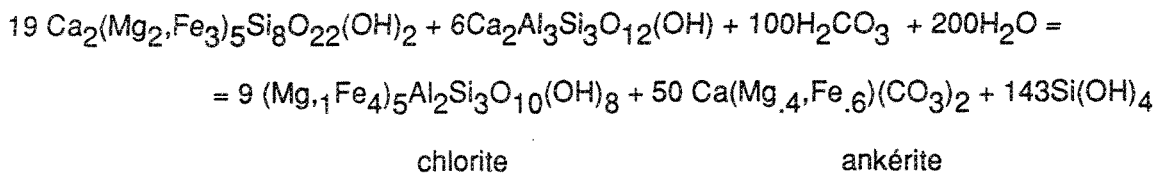
B) Séricitisation et ankéritisation des plagioclases saussuritisés

albite épidote



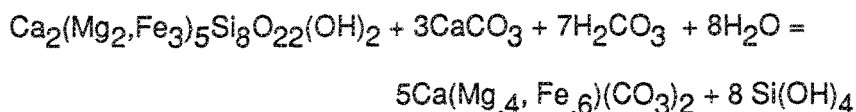
C) Ankéritisation et chloritisation des actinotes et épidotes (modifié de Harte et Graham, 1975)

actinote épidote



D) Ankéritisation des actinotes et des calcites

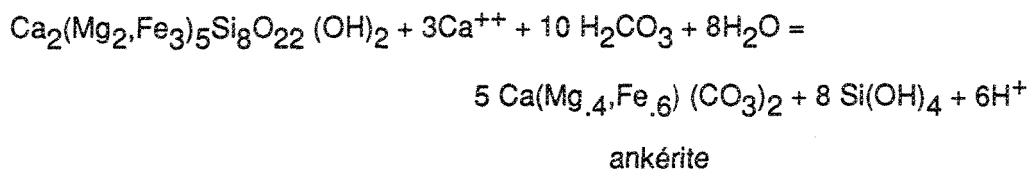
actinote



ankérite

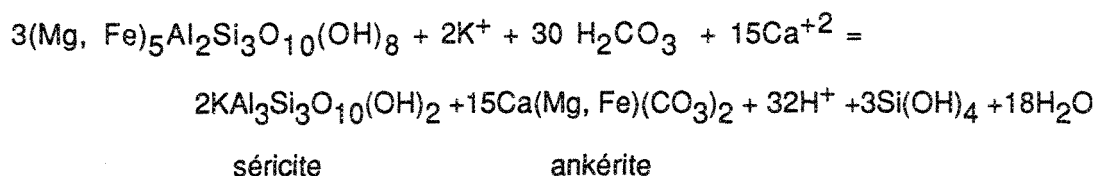
E) Ankéritisation des actinotes (modifié de Harte et Graham, 1975)

actinote

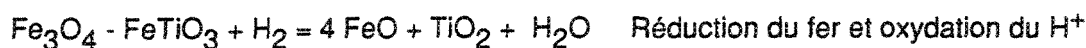


F) Remplacement de la chlorite par la séricite et l'ankérite

chlorite



G) Déstabilisation des titanomagnétites



Le fer ainsi libéré peut avoir été utilisé pour la formation des chlorites (Meyer et Hemley, 1969) ou la formation des ankérites dans la réaction où l'albite produit la séricite et l'ankérite.

Ces réactions sont donc concordantes avec le gain en K, et en C^{+4} et le lessivage du Na et du Ti noté lors de l'étude lithogéochimique quantitative. La séricitisation des plagioclases implique le gain en K, la carbonatation des plagioclases et des amphiboles nécessite l'apport de C^{+4} et le lessivage du Na. La chloritisation des actinotes pourrait expliquer la diminution du Ti étant donné que ce dernier n'est pas présent dans la structure de la chlorite. Le Ca libéré par la séricitisation des plagioclases saussuritisés est probablement utilisé, du moins en partie, dans l'ankéritisation des actinotes. De plus, du Ca est probablement véhiculé par le fluide puisque, selon la lithogéochimie quantitative, on constate un gain en Ca. Plusieurs des réactions

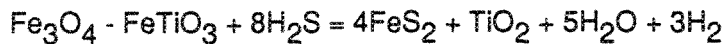
présentées impliquent un lessivage du $\text{Si}(\text{OH})_4$, notre étude lithogéochimique quantitative ne suggère pas un tel lessivage dans chacun des quatre cas étudiés. Toutefois, à la veine Sharpe, mais surtout dans le forage N-87-2 intersectant la veine no 1, le lessivage du Si est important.

4) Zone séricite/ankérite-calcite/pyrite-arsénopyrite

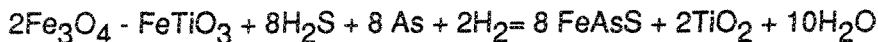
A) Ankéritisation et séricitisation des plagioclases

Dans ce faciès d'altération, on observe les mêmes réactions chimiques que dans le faciès à séricite-ankérite-calcite-chlorite sauf, qu'en plus, on constate la formation de pyrite et d'arsénopyrite. Ainsi, la seule réaction caractéristique de ce faciès est:

A) Pyritisation des titanomagnétites primaires

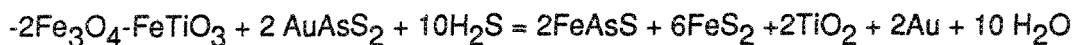
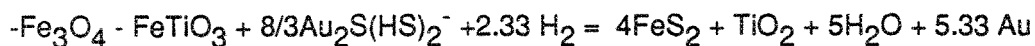


B) Arsénopyritisation des titanomagnétites primaires



C) Précipitation de l'or associée avec la pyrite ou l'arsénopyrite

Si l'or est transporté sous la forme de bisulfure (Seward, 1973, Romberger, 1986), les réactions suivantes sont également possibles :



Ces réactions sont donc concordantes avec le gain en K, en C^{+4} , en As et S et avec le lessivage du Na et du H révélés par l'étude lithogéochimique quantitative. La séricitisation des plagioclases implique le gain en K, la carbonatation des plagioclases et amphiboles nécessite l'apport de C^{+4} et le lessivage du Na. Le Ca libéré par la séricitisation des plagioclases saussuritisés est probablement utilisé, du moins en partie, dans l'ankéritisation des actinotes. De plus, du Ca est probablement véhiculé par le fluide puisque, selon la lithogéochimie quantitative, on constate dans le forage N-81-11, la section New Vein et le forage N-87-2, un gain en Ca. Plusieurs des réactions présentées impliquent un lessivage du $\text{Si}(\text{OH})_4$, notre étude lithogéochimique quantitative suggère un tel lessivage à la veine Sharpe, dans le forage N-87-2

et le forage N-81-11.

6.5.4 Discussions

Les transformations minéralogiques observées à la mine Cooke suggèrent un environnement chimique plutôt différent de celui suggéré à la mine Norbeau. En effet, la chloritisation observée en bordure des veines minéralisées engendre la libération de H^+ dans les produits. Cette libération a alors pour effet de diminuer le pH et ainsi de provoquer une oxydation de l'éponte accolée à la veine minéralisée. Cette oxydation est d'ailleurs concordante avec l'hématisation des feldspaths potassiques fréquemment présents en bordure des veines minéralisées et également suggéré comme mécanisme de précipitation des sulfures (Romberger, 1986). Selon Seward (1981), le relachement de H^+ suite à une réaction entre le fluide et la roche encaissante engendre la diminution du pH du fluide et conséquemment diminue la solubilité de l'or (Seward, 1981). À la mine Norbeau, à l'inverse, le changement majeur dans les roches immédiatement accolées aux veines est plutôt une réduction du fluide par la production de pyrite $Fe_3O_4 + 6H_2S + O_2 = 3FeS_2 + 6H_2O$ (Phillips et Groves, 1984). En effet, le changement de Fe^{+3} à Fe^{+2} par suite d'un gain d'électrons suggère une réaction de réduction postérieure à la formation de pyrite.

Même si plusieurs réactions sont communes à la mine Cooke et à la mine Norbeau, ces réactions ne sont pas réparties de la même façon. À la mine Cooke, l'éponte accolée à la veine minéralisée a subi une oxydation alors qu'à la mine Norbeau, l'éponte située dans le mur de la veine, a subi une réduction, comme en témoigne la présence des carbonates et de la pyrite. De plus, il est fort possible que les fluides hydrothermaux soient différents, entre autres, en terme d'activité du K^+ par rapport à l'activité du Na^+ .

6.5.5 Comparaison entre l'altération hydrothermale associée aux zones aurifères de la mine Cooke, de la mine Norbeau et des indices.

La comparaison des mines Cooke, Norbeau et des indices nous permet de constater des divergences marquées entre les assemblages minéralogiques produits par l'altération hydrothermale. L'altération associée aux zones aurifères de la mine Cooke est peu développée mais il est tout de même possible de regrouper les minéraux d'altération en au moins trois faciès : un faciès à séricite \pm calcite \pm chlorite, suivi d'un faciès à chlorite + calcite \pm axinite

et, finalement, accolé à la veine minéralisée, on note régulièrement une zone à chlorite massive. Donc, à l'approche de la zone minéralisée, la proportion de séricite diminue et cette dernière fait place à la chlorite. Cette distribution est plutôt différente de celle typiquement observée dans les gisements aurifères du type "lode gold" dans des roches mafiques (Boyle, 1979; Roberts, 1987). À l'inverse, l'altération hydrothermale observée à la mine Norbeau et dans les indices aurifères (en particulier les indices Tadd, Bourbeau West-1 et du ruisseau Leclerc) est bien développée et est tout à fait typique de ce genre de gisement. On note de façon générale, qu'à proximité de la zone minéralisée, l'altération se caractérise par la présence d'une zone de séricite-ankérite-calcite-pyrite, suivie d'une zone à séricite- ankérite-calcite- chlorite et, finalement, d'une zone à chlorite-calcite. Ainsi, en s'éloignant de la zone minéralisée, la proportion de séricite diminue et ce minéral fait place à la chlorite. De plus, la formation de pyrite et d'arsénopyrite formées dans l'éponte directement accolée aux veines à la mine Norbeau et dans les indices, est typique des gisements du type "lode gold" (Phillips et Groves, 1984; Roberts, 1987). Elle représente une "sulfurisation" de l'encaissant qui n'a pas été observée à la mine Cooke. Ces variations d'assemblages minéralogiques entre la mine Cooke et les autres sites étudiés témoignent de conditions physico-chimiques différentes et se reflètent dans les résultats de l'analyse lithogéochimique quantitative.

La comparaison des résultats de l'étude lithogéochimique qualitative réalisée aux mines Cooke et Norbeau permet de constater, dans les deux environnements, une augmentation du rapport K_2O/Na_2O et une diminution du rapport $SiO_2/(CO_2 + H_2O + S)$ à l'approche de la veine minéralisée. Ces résultats ont également été observés dans les indices cartographiés (sauf pour ce qui est du rapport K_2O/Na_2O de l'indice Springer). Il importe de noter qu'à la mine Norbeau le rapport K_2O/Na_2O augmente étant donné l'apport de K et le lessivage de Na, toutefois, à la mine Cooke et dans les indices, l'augmentation de ce rapport est par endroits uniquement causée par le lessivage du Na et non pas nécessairement par l'apport de K. On constate également (exception faite de l'indice Springer) une corrélation spatiale entre la présence d'or et celle d'arsenic.

L'étude lithogéochimique quantitative, effectuée aux mines Cooke et Norbeau, permet de constater certaines divergences dans les gains et pertes. Aux fins de comparaison, la zone

d'altération externe à la zone minéralisée, soit la zone à séricite-calcite± chlorite à la mine Cooke, est comparée à la zone à chlorite-calcite de la mine Norbeau. Cette démarche est valable dans la mesure où on considère les assemblages minéralogiques présents dans le mur des veines à Norbeau, car dans le toit, seul le faciès à chlorite-calcite est observé. Ainsi, on constate dans les deux mines des gains en C et As. Toutefois, alors qu'un gain en K est observé à la mine Cooke, on observe à l'inverse un lessivage du K à la mine Norbeau. La comparaison des zones internes c'est-à-dire des zones d'altération situées à proximité de la veine minéralisée met en relation le faciès à chlorite-calcite±axinite à Cooke et le faciès à séricite-ankérite- calcite-chlorite à Norbeau. On constate alors des gains communs en As et Au et des pertes communes en Na. Toutefois, alors qu'un gain en Ti est observé à Cooke, on note un lessivage de ce même élément à Norbeau et alors qu'un lessivage de Mg et Ca est observé à Cooke, on constate, à l'inverse, un gain de ces deux éléments à Norbeau. Finalement, la comparaison des zones directement accolées à la zone minéralisée soit le faciès de chlorite massive à la mine Cooke et celui de séricite-ankérite-calcite-pyrite de Norbeau nous permet de constater des gains communs en As et Au et un lessivage de Si et Na. Par contre, le gain en H à Cooke correspond à une perte de ce même élément à Norbeau alors que, les pertes en Ca, K, C et S à Cooke se traduisent par des gains à Norbeau.

En résumé, on constate, en termes de principales divergences lithogéochimiques, un gain en Fe en approchant des veines minéralisées à la mine Cooke alors que l'on note des gains en K , Ca et S à Norbeau. De plus, on note des pertes en Ca et Mg à Cooke seulement. Ces divergences suggèrent donc l'apport de fer par la fluide dans les zones d'altération de la mine Cooke alors qu'à la mine Norbeau, les relations texturales, tels la présence de grains de sulfures accolés aux grains de leucoxène, suggèrent que le fer provient du protolithe original; le soufre a été fourni par le fluide, comme le suggère le gain en S, à Norbeau. Les pertes en Ca à Cooke expliquent en partie, la formation d'axinite dans les veines minéralisées par suite de sa combinaison avec le B présent dans le fluide. À Norbeau, ce lessivage n'est pas observé, au contraire, on constate un gain en Ca qui s'est combiné au CO₂ provenant du fluide pour former les carbonates. L'absence d'apport notable de K dans les zones à chlorite+calcite±axinite et chlorite massive de la mine Cooke suggère que cet environnement était plutôt oxydant comme le suggère la présence des chlorites et l'hématisation des feldspaths présents dans les veines. La séricitisation des plagioclases étant une réaction de réduction, le milieu ne favorisait donc probablement pas sa

formation et ce, même si le K était présent dans le fluide, comme le suggère la formation des feldspaths potassiques dans les veines minéralisées et la présence de séricite dans l'enveloppe externe de l'altération. En ce qui a trait aux similitudes, on note des gains communs en C, As et Au et un lessivage du Na en approchant des veines minéralisées. Le lessivage du Na traduit dans les deux cas l'altération subie par les plagioclases. Les deux fluides contenaient donc du H₂O, comme en témoigne la formation des chlorites et séricites, et du CO₂ comme le suggère les gains en C et la précipitation des carbonates.

CHAPITRE 7

SYNTHESE ET DISCUSSIONS

7.1- Introduction

Ce chapitre propose une synthèse sur le mode de mise en place de la minéralisation aurifère présente dans les mines Cooke et Norbeau et les mécanismes de précipitation de même qu'une discussion ayant comme objectif de comparer les mines et indices étudiés, d'intégrer le contexte géologique local des mines étudiées à l'évolution tectonique régionale et de comparer les mines Norbeau et Cooke avec d'autres mines aurifères de style comparable. Par la suite, nous présentons un modèle métallogénique du filon-couche de Bourbeau en considérant deux aspects particuliers soit la nature compétente et la composition chimique du filon-couche. Finalement, nous élaborerons certains guides d'exploration applicables à ce type de gisement.

7.2- Synthèse sur le mode de mise en place de la minéralisation

Dans cette section, nous présentons une discussion du rôle possiblement joué par le fluide hydrothermal dans la fracturation de la roche et nous enchaînons avec les mécanismes de précipitation qui peuvent être invoqués à partir des assemblages minéralogiques, des observations pétrographiques et des considérations théoriques. Par la suite, nous synthétisons l'ensemble de l'information que recueillie sur les mécanismes permettant d'expliquer la mise en place de la minéralisation aux mines Cooke et Norbeau. Contrairement à la procédure suivie dans les autres chapitres de ce travail, nous traitons simultanément des deux mines étant donné la similitude des processus en cause.

7.2.1 Fracturation hydraulique

Selon nos observations pétrographiques, la mise en place de la minéralisation, dans des fractures subparallèles à la foliation, s'associe à un phénomène de " open-space filling" c'est-à-dire fracturation de la roche suivie de son remplissage par infiltration d'un fluide hydrothermal. Les cristaux attachés aux parois des épontes montrent des textures suggérant qu'ils se sont formés dans un milieu en tension, sans contrainte, alors que paradoxalement ces

veines se localisent dans des zones de cisaillement ductile-cassante, donc dans un milieu en compression. Ce type de contradiction a été discuté avec détails par Kerrich et Allison (1978) et par Robert (1983). Tout comme ces deux auteurs l'ont proposé, nous croyons que la fracturation hydraulique provoquée par une pression élevée du fluide minéralisateur, qui cherche à s'infiltrer dans la zone de cisaillement, combinée à l'anisotropie de la roche associée à la présence de la foliation, représentent l'explication la plus probable permettant de résoudre cette contradiction.

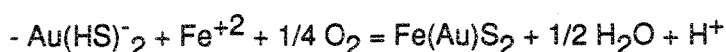
Une autre explication permettant de résoudre cette contradiction a été proposée par Guha et al. (1983). Selon ces auteurs, les plans de fracture dans les failles et les zones de cisaillement présentent des surfaces irrégulières, des courbures et déviations en pendage et en direction. Le chevauchement ("overriding") de ces irrégularités par le mouvement subséquent à la fracturation dans la zone de cisaillement va résulter en la création de cavités i.e. une succession d'espaces ouverts permettant le remplissage par des fluides et de la roche broyée. Ce processus serait caractéristique de la dilatation dans les zones de cisaillement (Guha et al., 1983). Ces auteurs démontrent que la formation de zones de cisaillement est un phénomène continu et que le phénomène de dilatance-contraction est produit par le "overriding" de plans irréguliers dans la zone de cisaillement et de failles subsidiaires donnant naissance à des zones minéralisées lenticulaires ("pinch and swell").

7.2.2 Mécanisme de précipitation

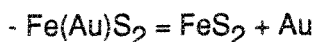
Nous allons maintenant tenté d'évaluer quelles sont les mécanismes possibles de précipitation des phases métalliques et de l'or dans les veines des mines Cooke et Norbeau. Pour ce faire, nous allons principalement considéré les assemblages minéralogiques observés et les complexes susceptibles de transporter l'or. Afin de pouvoir déterminer qu'elles sont les mécanismes de précipitation on doit d'abord évaluer si l'or est transporté sous forme de complexe chloruré ou sous forme de complexe bisulfuré (Seward, 1988). Les conclusions de Romberger (1986), à partir de ces travaux sur les solubilités de l'or et la stabilité de ces deux différents complexes, démontrent que l'or est soluble en tant que complexe chloruré dans une solution acide et comme un complexe bisulfuré sur une grande variété de pH dans une solution réductrice dans laquelle les sulfures sont présents soit sous forme de H_2S ou soit comme HS^- . De plus, selon des mesures récentes de solubilité de l'or réalisées par Seward

(1988), le complexe AuCl^-_2 est vingt fois moins stable que le complexe Au(HS)^-_2 et il en conclu que le transport de l'or dans la croûte terrestre par les complexes chlorurés est d'importance négligeable.

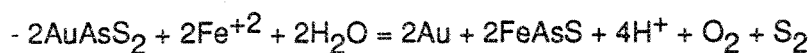
Ainsi, aux mines Norbeau et Cooke, l'association de l'or avec l'arsénopyrite, la pyrite, la pyrrhotite et la chalcoppyrite et les résultats expérimentaux présentés par Seward (1988) et Romberger (1986) suggèrent fortement que l'or a été transporté sous forme de complexe bisulfuré du type Au(HS)^-_2 et $\text{Au}_2\text{S(HS)}^-_2$ (Seward, 1973). Ces complexes agissent en tant que source de l'or et également comme source du soufre. L'or pouvant alors entrer dans la structure des sulfures sous forme submicroscopique et être observé en inclusion dans la pyrite suite à la déstabilisation du complexe bisulfuré transporteur d'or, par le Fe^{+2} , dans la réaction (Romberger, 1986) :



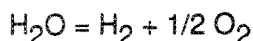
L'apport continu de fluides hydrothermaux affecte les premiers minéraux formés et ceux-ci peuvent alors recristalliser et former de l'or visible associé avec des grains de pyrite, ou d'autres sulfures plus grossiers (porphyroblastique). L'or sera localisé le long des bordures de grains, comme amas irréguliers dans les grains et le long des zones de croissances suite à la réaction (Romberger, 1986) :



Il est également possible que l'or soit transporté sous forme de complexes de thioarséniure (AuAsS_2 , $\text{Au(AsS}_3)_2^-$) (Seward, 1973; Grigoryeva et Sukneva, 1981). La réaction suivante est alors possible (Romberger, 1986) :

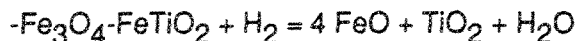


À la mine Norbeau, le Fe^{+2} nécessaire à cette réaction proviendrait des titanomagnétites primaires altérées en leucoxène comme le suggère les textures observées (section 5.1.3.4.4). Des études expérimentales effectuées par Eugster et Skippen (1967) suggèrent que l'eau en présence de minéraux qui contiennent du fer ferrique tend à se dissocier et à engendrer de l'hydrogène selon la réaction:

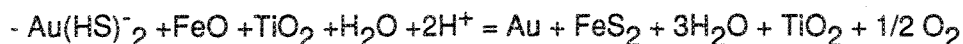


De plus, selon ces auteurs, cette réaction est favorisée par une augmentation de température.

La déstabilisation des titanomagnétites primaires pourrait être provoquée par le H_2 issu de cette dernière réaction et peut être représentée par:

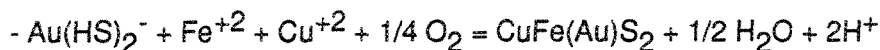


Le FeO ainsi disponible réagirait avec le fluide selon la réaction :



provoquant ainsi la précipitation de l'or.

À la mine Cooke, le fer était probablement véhiculé par le fluide comme le suggère les résultats de notre étude lithogéochimique quantitative (section 5.2.4.3.2). De plus, l'abondance de chalcoppyrite et la présence d'or en inclusion dans celle-ci suggère la réaction suivante :



La figure 103 tirée de Romberger (1986) montre le champ de stabilité de l'arsénopyrite et de la pyrite et la solubilité du complexe $Au(HS)_2^-$ (exprimée en terme de ppb) en fonction de l'activité du soufre et de l'oxygène. Ce diagramme est présenté de façon qualitative étant donné que les conditions de pression et de température utilisées dans sa construction sont différentes de celles considérées pour la formation des gites aurifères du type Cooke et Norbeau ($T = 300-400^\circ C$, $P = 150-200$ Mpa). Toutefois, malgré ces conditions différentes, nous croyons qu'il montre qualitativement l'effet provoqué par la variation de l'activité du soufre et de l'oxygène sur la solubilité de l'or. On constate alors que, sous ces conditions, la diminution de l'activité du soufre et l'oxydation, sont des mécanismes efficaces pour provoquer la précipitation de l'or à la suite de la diminution de la solubilité de ce dernier (Romberger, 1986). L'ébullition du fluide (boiling) est un des processus pouvant provoquer l'oxydation (Drummond, 1981) et par le fait même la précipitation de l'or. Selon Drummond (1981), le "boiling" provoque une diminution de la température, une perte des volatiles (CO_2 et H_2O) et un changement d'activité de O_2 et S_2 et évidemment changer le pH. Seule l'étude d'inclusions fluides pourrait confirmer ou infirmer s'il y a effectivement eu ébullition du fluide hydrothermal. Toutefois, il s'agit là d'un processus hydrothermal invoqué pour expliquer la précipitation de l'or (Drummond et Ohmoto, 1985).

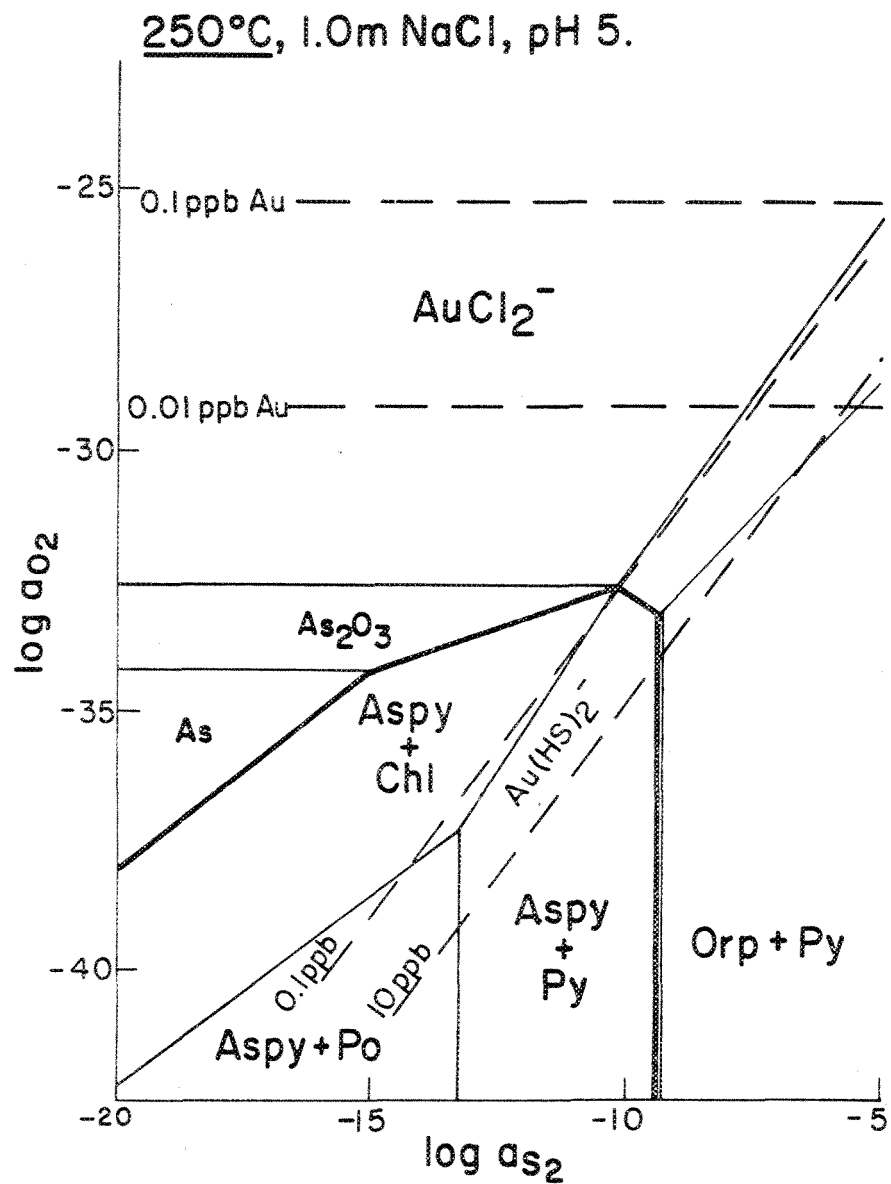


Figure 103 : Diagramme calculé de l'activité de l'oxygène en fonction de celle du soufre pour le système Au-Fe-As- NaCl-S-H₂O à 250°C montrant la stabilité relative de l'arsénopyrite (trait noir grossier) et leur relation avec la solubilité de l'or (trait noir fin). Le champ de stabilité de l'arsénopyrite est superposé sur le diagramme de la figure 103 (tiré de Romberger, 1986).

Ainsi, chez les mines Norbeau et Cooke, la relation spatiale entre les sulfures (pyrite, chalcoppyrite, arsénopyrite...) et la présence d'or suggère fortement que la diminution de l'activité du soufre, suite à la précipitation des sulfures, est un mécanisme efficace provoquant la précipitation de l'or. De plus, à la mine Cooke, la présence fréquente de feldspath potassique hématisé associé à la minéralisation et localisé au contact entre la veine et l'éponte est une indication que l'oxydation (augmentation de l'activité de l'oxygène) est également un mécanisme de précipitation de l'or à considérer. La figure 104 tirée de Romberger (1986) suggère que l'oxydation va provoquer la diminution de la solubilité de l'or et la formation possible de chlorite et d'hématite étant donné que le fluide se déplace dans le champ de stabilité de ces deux minéraux. À la mine Cooke, la chlorite représente le principal minéral d'altération accolé aux veines et l'hématite est présente sous forme de très fines inclusions dans les feldspaths potassiques (à noter que tout comme pour la figure 103, la figure 104 est présentée de façon qualitative étant donné que les conditions de pression et de température utilisées dans sa construction sont différentes de celles considérées). La précipitation de l'or peut également être provoquée par la diminution de la température du fluide comme l'ont démontré les travaux de Fyfe et Henley (1973), Henley (1971, 1973) et de Seward (1973). Toutefois, selon des simulations informatiques réalisées par Seward (1988) le refroidissement seul ne peut causer la précipitation de l'or. Cette baisse de température a également pour effet de diminuer l'activité du soufre et de provoquer la précipitation des sulfures (Skinner, 1979).

La diminution de la pression dans le milieu de déposition suite par exemple à la cataclase des veines, d'ailleurs observé aux mines Cooke et Norbeau, est un processus important pouvant combiner plusieurs des mécanismes décrits précédemment. En effet, la diminution de la pression du fluide minéralisateur va provoquer un abaissement de la température et son ébullition (Skinner, 1979). Comme mentionné dans Robert (1983), cette ébullition va alors provoquer la séparation d'une phase riche en CO_2 et la précipitation subséquente de carbonates. De plus, la baisse de la température qui l'accompagne aura pour effet de diminuer l'activité du soufre et la solubilité de l'or provoquant ainsi la précipitation de ce dernier. Cette hypothèse est en accord avec les travaux expérimentaux réalisés par Seward (1988). Ce dernier propose que l'ébullition va provoquer la précipitation de l'or seulement après des changements majeurs dans l'activité du soufre réduit (perte de H_2S), dans le potentiel d'oxydation (perte d'hydrogène) et de pH (perte de CO_2).

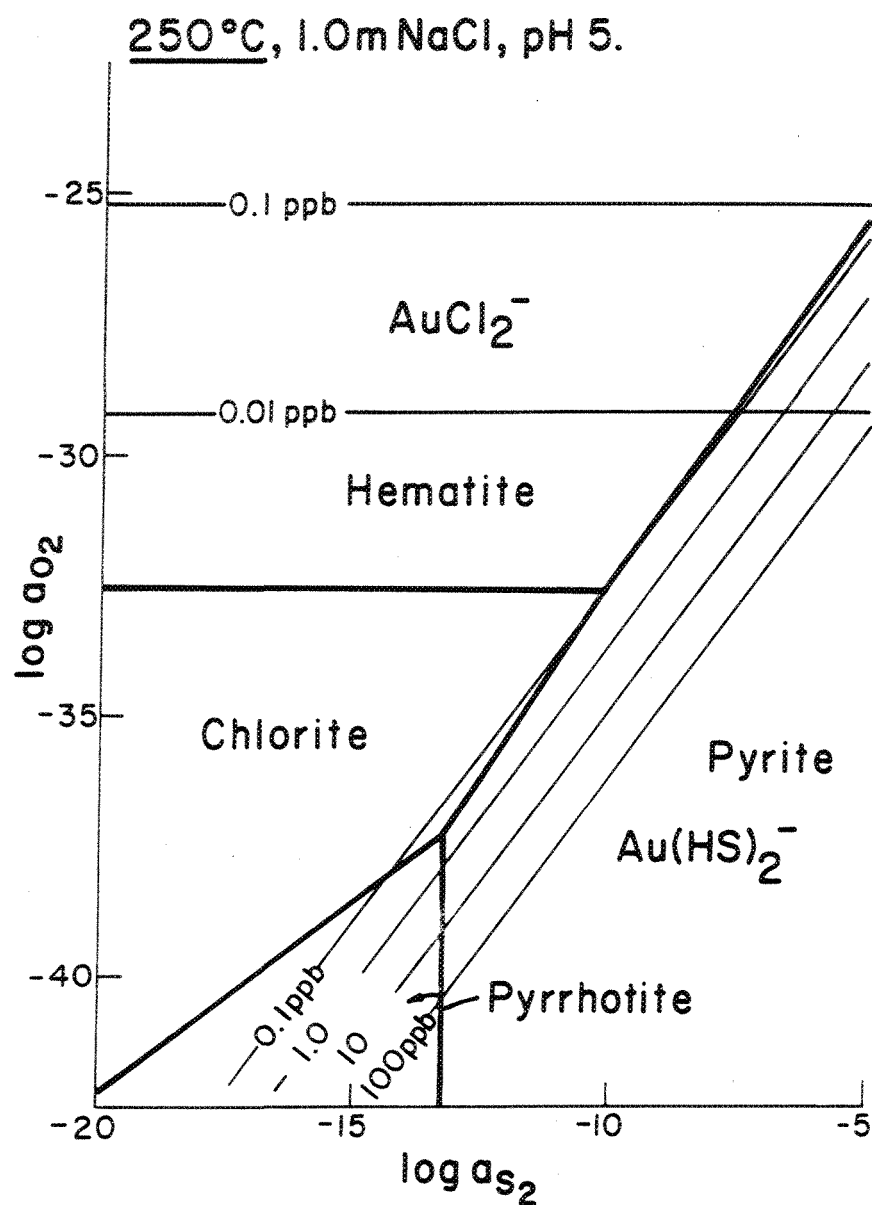


Figure 104: Diagramme calculé de l'activité de l'oxygène par rapport à celle du soufre pour le système Au-Fe-NaCl-S-H₂O à 250°C montrant la stabilité relative des différents minéraux contenant du fer (trait noir grossier) et leur relation avec la solubilité de l'or (trait noir fin) (tiré de Romberger, 1986).

À condition que l'on puisse transposer les résultats à des T et P plus élevées, le modèle proposé par Romberger (1986) est donc probablement applicable à la mine Cooke et à la mine Norbeau étant donné que l'or est directement associé aux sulfures. Un des mécanismes de précipitation probable dans les deux cas serait la diminution de l'activité du soufre provoquée par la précipitation des sulfures et associée à la diminution de la pression du fluide minéralisateur suite à la cataclase des veines. Cette diminution de l'activité du soufre expliquerait l'intime relation spatiale et génétique qui existe entre l'or et les sulfures étant donné qu'ils sont issues du même complexe bisulfuré. De plus, à la mine Cooke l'oxydation est également un processus envisageable.

7.2.3 Mine Cooke et Mine Norbeau

La compression N-S associée à l'orogénèse kénorienne a engendré la métamorphisation au faciès schiste vert de l'ensemble des roches du secteur Cooke et Norbeau. Les effets de la déformation régionale D₂, contemporaine de ce métamorphisme (Daigneault et Allard, 1984), sont pratiquement absents à la mine Cooke et elle s'avère faible, mais tout de même présente, à la mine Norbeau. Cette période de compression N-S s'est poursuivie et a provoqué, à la mine Cooke, la formation de zones de cisaillement ductiles-cassantes à cassantes, principalement situées à l'intérieur du filon-couche de Bourbeau. Ces zones de cisaillement se caractérisent par des mouvements obliques-inverses. Elles sont globalement orientées sub-parallèlement aux contacts entre les unités stratigraphiques. Cette déformation a également provoqué la formation locale des veines subhorizontales situées à l'extérieur des zones de cisaillement. La formation de ces zones de cisaillement a engendré le développement d'une foliation d'intensité variable et des zones de fractures.

À la mine Norbeau, la compression N-S a provoqué la formation de zones de cisaillement ductiles-cassantes d'orientation très diverse mais compatibles avec un même système de déformation non-conjugué, associé à une extension uniaxiale. Ces zones de cisaillement se caractérisent par des mouvements obliques-inverses. En partie discordantes avec le filon-couche, elles sont toutefois confinées à ce dernier. Ces zones de cisaillement ont engendré le développement d'une foliation intense et de fractures subhorizontales à l'intérieur de ces zones de déformation et principalement situées dans le mur de la veine de quartz principale qu'elles contiennent.

Un fluide minéralisateur a alors commencé à s'infiltrer le long des plans de foliation et de fracture associés à la déformation ainsi que dans le réseau de fractures provoqué par la fracturation hydraulique associée à l'ascension du fluide sous pression. Les veines sub-horizontales pourraient également être associées à cette fracturation hydraulique. L'infiltration du fluide a engendré le développement d'une altération hydrothermale par suite au déséquilibre physico-chimique qui existe entre ce fluide et l'encaissant gabbroïque. Cette altération est, à la mine Cooke, d'intensité relativement faible. Elle a engendré le développement d'une zone caractérisée par la présence de séricite vers l'extérieur et d'une zone plutôt chloritique près des veines minéralisées. À l'inverse, à la mine Norbeau, l'altération est bien développée et se caractérise par la présence, dans l'ensemble, de chlorite-calcite vers l'extérieur et de séricite-carbonates-pyrite accolés à la veine minéralisée. La variation dans l'intensité de l'altération est possiblement reliée, du moins en partie, à la différence de perméabilité secondaire étant donné la variation d'intensité de la déformation. La déformation étant plus faible à la mine Cooke, la perméabilité secondaire est donc réduite et il en est probablement de même pour l'infiltration du fluide dans l'éponte.

Les textures présentes dans certaines veines de la mine Cooke suggèrent que les minéraux se sont développés dans un milieu libre de contrainte (open space filling). L'axinite, le feldspath potassique et le quartz sont attachés aux parois et constituent alors les premiers minéraux à précipiter. La déposition massive des sulfures seraient survenue subséquemment. À la mine Norbeau, nous avons également observé, dans les veines de quartz sub-verticales, certaines indications locales suggérant la cristallisation du quartz par remplissage d'une ouverture dans un milieu en tension. On note également la présence de fragments d'encaissants incorporés dans les veines et orientés subparallèlement aux contacts avec l'encaissant. Ces fragments suggèrent localement plus d'un épisode d'ouverture des veines.

La poursuite de la déformation dans les zones de cisaillement a provoqué la déformation des minéraux précédemment déposés dans les veines. À la mine Cooke, une bonne part de cette déformation a probablement été accommodée par les veines étant donné l'abondance de sulfures ductiles. De plus, ces zones de cisaillement ont été ultérieurement recoupées par des failles cassantes qui ont possiblement engendré des mouvements tardifs dans ces veines minéralisées. Ces déformations ont engendré des textures et assemblages minéralogiques complexes résultant

de la redistribution des phases minéralogiques, étant donné le contraste de compétence qui existe entre les phases métalliques ductiles (chalcopyrite et pyrrhotite) et le quartz présent dans ces veines, et de la redissolution et la reprécipitation possibles des sulfures. À la mine Norbeau, la poursuite de la déformation dans les zones de cisaillement a engendré la cataclase intense du quartz et la redistribution et/ou la mise en place des sulfures, de l'or et de certains minéraux de gangue. De plus, contrairement à la mine Cooke, la déformation D_3 postérieure aux zones de cisaillement n'a fort probablement pas engendré de déformation notable des zones minéralisées.

7.3- Comparaison entre les mines Cooke et Norbeau et les indices

Afin de résumer et de comparer les principales caractéristiques des mines et indices aurifères que nous avons étudiés, nous présentons en guise de sommaire un tableau comparatif qui présente leurs principales caractéristiques géologiques. Ainsi, on constate, au tableau 26 que les minéralisations aurifères d'importance économique sont toutes situées à l'intérieur de veines de quartz (mine Cooke et Norbeau). À la mine Norbeau et dans les indices Chibougamau-Copper, Tadd, Springer et du ruisseau Leclerc, la majeure partie des zones minéralisées ou anormales en or se trouvent dans le ferrogabbro à quartz et/ou la ferrodiorite à quartz. Elles se situent donc plutôt vers le sommet du filon-couche de Bourbeau, là où les proportions de silice et de fer total sont plus élevées. D'autre part, le leucogabbro renferme une très grande partie de la minéralisation exploitée à la mine Cooke.

À l'exception de l'indice Springer, toutes les mines et indices étudiés sont associés à des zones de cisaillement est-ouest avec des composantes orientées vers le nord-ouest (mine Cooke) et le nord/nord-est (mine Norbeau). Il s'agit donc dans l'ensemble de cisaillements orientés, en tout ou en partie, sub-parallèlement aux plans axiaux des plis régionaux et aux failles longitudinales. À la mine Norbeau, les zones de cisaillement sont d'orientation variable et dans l'ensemble discordantes par rapport à la stratigraphie.

TABLEAU 26 — Résumé des principales caractéristiques des mines et des indices étudiés

	Mine Cooke	Mine Norbeau	Indice Chibougamau Copper (forage)	Indice Bourbeau west-1 (composite)
Minéralisation	1,7 X 10 ⁶ t 5,2 g/t Au	419 029 t 13,4 g/t Au	14,2 g/t Au sur 1,5 m 12,2 g/t Au sur 1,4 m	5,2 g/t Au
Type de minéralisation	Veines de quartz, calcite et sulfures	Veines de quartz enfumée	Veines de quartz, calcite et pyrite	Veines de quartz
Contrôles				
- stratigraphique	Leucogabbro et ferrogabbro à quartz	Ferrodiorite, ferrogabbro et ± leucogabbro	Ferrogabbro et leucogabbro	Leucogabbro
- structural (zones de cisaillement)	E-W et NW	E-W et NNE	E-W et NW	E-W
- proximité d'une structure régionale	Faïlles du lac Gwillim (NE) et Kapunapotagen (E-W)	Faïlle du lac Antoinette (E-W)	Faïlle Kapunapotagen (E-W)	
Altération	Chlorite, carbonates et séricite	Carbonates, chlorite, séricite et tourmaline	Carbonates et chlorite	Ankérite, calcite, séricite et fuchsite
Phases métalliques				
- pyrite	5%	3 à 5%	≤10%	≤5%
- arsénopyrite	5 à 10%	1 à 2%	-	-
- chalcoppyrite	30 à 40%	Traces	-	-
- pyrrhotite	10%	Traces	-	-

TABLEAU 26 — Résumé des principales caractéristiques des mines et des indices étudiés (suite)

	Indice Bourbeau west-2 (forage)	Indice du ruisseau Leclerc (forage)	Indice Tadd (forage)	Indice Springer (composite)
Minéralisation	7,2 g/t Au sur 0,9 m	0,7 g/t Au sur 0,9 m	5,5 g/t Au sur 0,8 m	7,9 g/t Au 3,8 g/t Au
Type de minéralisation	Veines de quartz et pyrites	Ferrodiorite ankéritisée, séricitisée et pyritisée	Ferrodiorite à ankérite, séricite et pyrite	Ferrogabbro à quartz chlo- ritisé carbonatisé et pyritisé
Contrôles				
- stratigraphique	Leucogabbro	Ferrogabbro et ferrodiorite à quartz	Ferrodiorite à quartz	Ferrogabbro à quartz
- structural (zones de cisaillement)	E-W et NW	E-W	E-W	NE et NW
- proximité d'une structure régionale	-	-	Faïlle Faribault (E-W)	Faïlle du lac Gwillim (NE)
Altération	Ankérite, calcite et chlorite	Ankérite, séricite et chlorite	Ankérite, séricite, fuchsite, chlorite et calcite	Chlorite, calcite et séricite
Phases métalliques				
- pyrite	≤10%	≤15%	≤15%	≤15%
- arsénopyrite	-	-	1 à 2%	-
- chalcoppyrite	-	-	-	-
- pyrrhotite	-	-	-	-

À la mine Norbeau la minéralisation se situe dans des zones de cisaillement ductiles-cassantes typiques des gisements du type lode-gold (Roberts, 1987), tandis que la minéralisation de la mine Cooke est contenue dans des zones de cisaillement ductiles-cassantes à cassantes (Ramsay, 1980a) plus ou moins intenses, et des fractures minéralisées (parfois 4 ou 5) de même orientation. Par endroits, la minéralisation se trouve dans des veines mises en place dans des fractures de tension subparallèles aux zones de cisaillement, sans déformation importante de l'encaissant. Dans le cas des indices, il s'agit de zones de cisaillement du type ductile-cassant.

Les structures internes caractérisant ces différentes zones de cisaillement présentent des analogies intéressantes. Dans l'ensemble, les relations angulaires entre la schistosité et la direction du cisaillement de même que l'attitude des stries et des linéations présentes à l'intérieur des zones de cisaillement confirment que le mouvement dominant est un mouvement inverse comportant une certaine composante latérale. La présence des veines sub-horizontales nombreuses à Norbeau présentes dans les indices du ruisseau Lecierc et Tadd, et très locales à Cooke, s'accorde bien avec cet étirement vertical. Toutefois, les veines nos 1 et 4 de la mine Norbeau sont caractérisées par des mouvements inverse-oblique.

Une des caractéristiques les plus importantes à mentionner est la présence d'une structure régionale à proximité de chaque mine ou indice (figure 3). On constate, en effet, que la mine Cooke se trouve à proximité des failles Kapunapotagen et du lac Gwillim, tandis que la mine Norbeau se situe près de la faille du lac Antoinette et possiblement d'une structure majeure au coeur du synclinal de Chibougamau, dans le lac Bourbeau. Il en est de même pour deux des indices les plus intéressants soit : l'indice Chibougamau-Copper, situé dans un environnement similaire à celui de la mine Cooke (failles Kapunapotagen et du lac Gwillim) et l'indice Tadd, localisé dans le secteur de la faille Faribault. Il est donc possible que les structures régionales, en particulier les structures E-W, constituent une des caractéristiques, voire même la principale caractéristique des zones aurifères d'importance économique, à l'image de la faille de Cadillac dans la région de Val d'Or-Rouyn.

L'altération hydrothermale est, dans tous les cas, contrôlée par la présence de zones de cisaillement. Cette altération se caractérise partout par la présence de carbonates (ankérite et/ou calcite), de chlorite, de séricite et/ou de fuchsite. Toutefois, la comparaison des mines

Cooke et Norbeau et des indices nous permet de constater des divergences marquées entre les assemblages minéralogiques produits par l'altération hydrothermale. En effet, l'altération associée aux zones aurifères de la mine Cooke est peu développée. Trois faciès peuvent être définis : un faciès à séricite \pm calcite \pm chlorite, suivi d'un faciès à chlorite + calcite \pm axinite et, finalement, accolée à la veine minéralisée, on note régulièrement une zone à chlorite massive. Donc, à l'approche de la zone minéralisée, la proportion de séricite diminue et cette dernière fait plutôt place à la chlorite. À l'inverse, l'altération hydrothermale observée à la mine Norbeau et dans les indices aurifères (en particulier les indices Tadd, Bourbeau West-1 et du ruisseau Leclerc) est bien développée et est tout à fait typique des gisements du type "lode-gold" (Roberts, 1987). On note de façon générale, qu'à proximité de la zone minéralisée, l'altération se caractérise par la présence d'une zone de séricite-ankérite-calcite-pyrite, suivie d'une zone à séricite-ankérite-calcite-chlorite et finalement d'une zone à chlorite-calcite. Ainsi, en s'éloignant de la zone minéralisée, la proportion de séricite diminue et ce minéral fait place à la chlorite. De plus, la formation de pyrite et arsénopyrite dans l'éponte directement accolée aux veines, à la mine Norbeau et dans les indices, est typique des gisements du type "lode gold" (Phillips et Groves, 1984; Neall, 1987; Roberts, 1987). Elle représente une "sulfurisation" de l'encaissant qui n'a pas son équivalent à la mine Cooke. Ces variations d'assemblages minéralogiques entre la mine Cooke et les autres sites étudiés témoignent de conditions physico-chimiques distinctes et résultent d'un fluide hydrothermal de composition probablement différente étant donné que la roche hôte est de même nature.

Toutes les mines et indices présentent un enrichissement en CO_2 . À l'exception de la mine Cooke, cet enrichissement est relativement élevé. La comparaison des résultats de l'étude lithogéochimique qualitative réalisée aux mines Cooke et Norbeau permet de constater, dans les deux environnements, une augmentation du rapport $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ et une diminution du rapport $\text{SiO}_2/(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}^+ + \text{S})$ à l'approche de la veine minéralisée. Cette diminution témoigne de l'apport d'éléments volatils provenant des fluides hydrothermaux et du lessivage de la silice. Ces résultats ont également été observés dans les indices cartographiés (sauf pour ce qui est du rapport $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ de l'indice Springer). À noter, qu'à la mine Norbeau, le rapport $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ augmente étant donné l'apport de K et le lessivage de Na, toutefois, à la mine Cooke et dans les indices, l'augmentation de ce rapport est, par endroits, uniquement causée par le lessivage du Na et non pas nécessairement par l'apport de K. On constate également (exception faite de

l'indice Springer) une corrélation spatiale entre la présence d'or et celle d'arsenic.

À la mine Cooke, les veines minéralisées se caractérisent par la présence d'axinite et de feldspath potassique, de même que par une grande abondance de phases métalliques ($\leq 90\%$). Il s'agit principalement de chalcoppyrite et de pyrrhotite, avec des quantités moindres de pyrite et d'arsénopyrite. Dans tous les autres secteurs, les phases métalliques sont peu abondantes ($\leq 15\%$). Il s'agit essentiellement de pyrite, et d'une faible proportion d'arsénopyrite (≤ 1 à 2%).

Les indices aurifères étudiés montrent des mécanismes de formation relativement semblables à ceux observés aux mines Cooke et Norbeau. En effet, le type d'altération et sa relation avec les zones de cisaillement "est-ouest" semblent des constantes importantes. Toutefois, aucun indice ne présente, jusqu'à maintenant, une intensité de déformation comparable à celle des mines Cooke et Norbeau, une teneur en sulfures (chalcoppyrite, pyrrhotite, arsénopyrite et pyrite) comparable à celle de la mine Cooke, ni ne renferme de veine de quartz aurifère comparable à celles cartographiées à la mine Norbeau ni de structures aurifères nord, nord-est semblables à celles observées à cet endroit.

7.4-Intégration du contexte géologique des mines Cooke et Norbeau avec l'évolution tectonique régionale.

Dans cette section, nous tentons de mettre en relation l'environnement géologique local des mines Cooke et Norbeau avec l'évolution tectonique régionale et de voir la façon dont ce cadre tectonique influence l'environnement de ces mines et la mise en place de la minéralisation et contrôle possiblement la distribution de la minéralisation. À la mine Cooke, cette discussion sera effectuée en considérant trois points en particulier soit la genèse de la minéralisation, l'influence de la faille du Lac Gwillim sur la minéralisation. Ces considérations nous amènent inévitablement à discuter de la genèse de la minéralisation. À la mine Norbeau, la discussion portera principalement sur la compatibilité entre l'orientation de l'ellipsoïde des contraintes associé aux zones de cisaillement, et la déformation régionale.

7.4.1 Mine Cooke

7.4.1.1 Introduction

Les seuls travaux présents dans la littérature qui traitent de la genèse de la mine Cooke sont ceux de Watkins et Riverin (1982). Ces auteurs discutent sommairement de la mine Cooke et ils considèrent que sa genèse est semblable à celle des gisements Opémiska (mines Springer, Perry, et Robitaille). Ils ont donc inclu la mine Cooke dans leur modèle génétique global du secteur, basé sur leurs travaux et ceux de Derry et Folinsbee (1957), Brown (1972), Lavoie (1972) et McMillan (1972). Il est à noter qu'ils existent effectivement des similarités entre la mine Cooke et les gisements Opémiska en terme, entres autres, d'assemblage métallique et d'altération hydrothermale. Toutefois, les teneurs en or dans les gisements Opémiska sont marginales (tableau 1), l'arsénopyrite et la séricite semblent présents uniquement ou du moins, principalement, à la mine Cooke et de plus alors que l'axinite est abondante à la mine Cooke, elle n'a été observée que localement à la mine Springer (Buchans, 1964). Quoi qu'il en soit, selon Watkins et Riverin (1982), les métaux et le soufre ont été lessivés à partir d'un horizon stratigraphique (tufs à cristaux et shales graphitiques) au contact entre la pyroxénite du filon-couche de Bourbeau et la Formation de Blondeau. Cet horizon contient des concentrations significatives mais non économiques de fer, cuivre et zinc d'origine exhalative. La mise en place des veines serait probablement post-Kénorienne et contemporaine de l'intrusion de plutons "granitiques" (pluton d'Opémisca et granite de Presqu'île) qui pourrait avoir fourni la source de chaleur et/ou les fluides nécessaires à l'activité hydrothermale observée dans la région. Selon Watkins et Riverin (1982), l'emplacement des dépôts, là où la faille du lac Gwillim intersecte deux autres failles majeures, les failles Chibougamau-Copper et du lac Laura, est possiblement plus qu'une coïncidence. Les failles et leurs fractures subsidiaires auraient agi comme conduit efficace favorisant la circulation des fluides minéralisés.

L'hypothèse émise par Watkins et Riverin (1982) selon laquelle la minéralisation de la mine Cooke provient du lessivage de l'horizon stratigraphique (tufs à cristaux et shales graphitiques) au contact entre la pyroxénite du filon-couche de Bourbeau et la Formation de Blondeau est justifiée étant donné la présence d'une lentille de sulfures massifs volcanogène (zone 8-0-55) (Bélanger et al., 1984) située à ce contact stratigraphique à l'intérieur même du gisement de la mine Cooke. Cette lentille contient un tonnage estimé à 50 000 tonnes

de minerai à une teneur de 2,97% Cu, 3,38% Zn, 35,66 Ag g/t (1,04 Ag oz/t) et 0,41 Au g/t (0,012 Au oz/t) (Bélanger *et al.*, 1984). Elle constitue donc un exemple typique du type de minéralisation volcanogène susceptible d'être présent au contact Blondeau-Bourbeau. Toutefois, il est important de se rappeler que puisque la minéralisation est syn-tectonique, les strates étaient fort probablement verticales au moment où les fluides hydrothermaux aurifères ont circulé. Ainsi, l'horizon stratigraphique sulfuré ayant pu être la source de la minéralisation était situé latéralement par rapport au filon-couche de Bourbeau et implique ainsi un mouvement latéral du fluide, c'est-à-dire perpendiculaire aux structures minéralisées sub-verticales, mettant ainsi en doute cette hypothèse.

Nous verrons maintenant dans quelle mesure les nouvelles données acquises lors de nos travaux concordent avec certaines de ces hypothèses. Cette discussion traitera principalement du lien possible entre les failles locales recoupant la minéralisation de la mine Cooke et les failles régionales du lac Gwillim et de Chibougamau-Copper.

7.4.1.2 Analyse structurale des failles présentes dans le secteur de la mine Cooke et détermination des axes X-Y-Z de l'ellipsoïde de la déformation

Afin de vérifier le lien génétique possible entre la faille du Lac Gwillim et la minéralisation aurifère de la mine Cooke, tel que proposé par Watkins et Riverin (1982), nous avons réalisé une étude structurale visant à vérifier la contemporanéité des différentes failles locales cartographiées avec les failles régionales du Lac Gwillim et Chibougamau Copper. Pour ce faire, nous avons cherché à déterminer l'orientation des axes de l'ellipsoïde de la déformation et à estimer l'orientation des contraintes qui ont provoqué cette déformation. Cette étude est fondée sur trois méthodes différentes : Anderson (1951), Arthaud (1969) et Angelier (Angelier et Mechler, 1977). Nous les présentons maintenant dans cet ordre.

Méthode Anderson (1951)

La figure 105 A présente un stréréogramme équiangle sur lequel sont reportés les principaux plans de faille cartographiés à la mine Cooke de même que la direction du plan de la faille du Lac Gwillim et de la faille Chibougamau Copper. On constate une intersection bien définie ($275^{\circ}/53^{\circ}$) qui suggère que ces failles sont contemporaines. En effet, en considérant

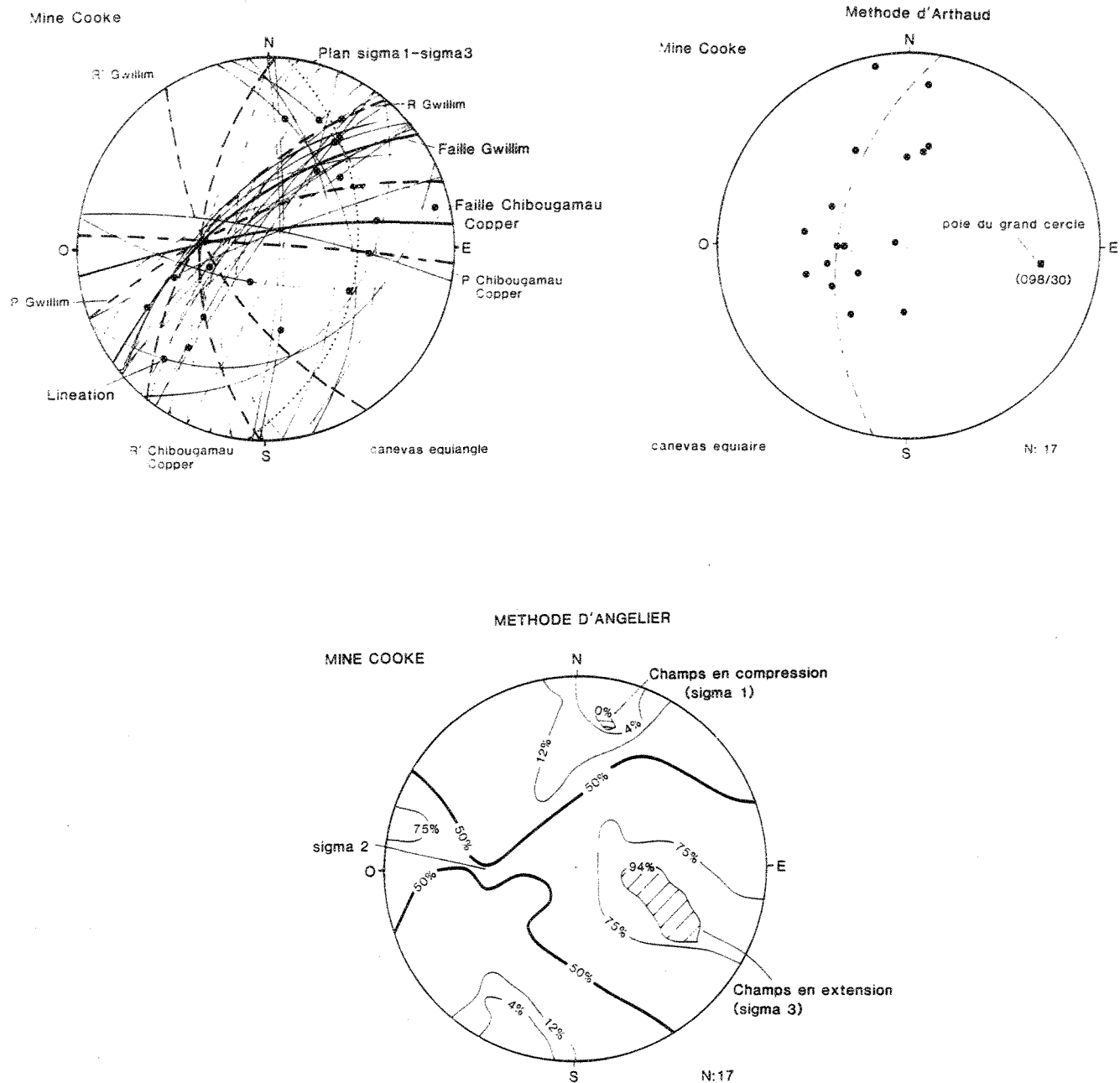


Figure 105: A) Stéréogramme équiaire des principaux plans de faille locaux cartographiés, et orientation moyenne de la faille Chibougamau-Copper et de la faille du lac Gwillim. Les cercles noirs représentent l'orientation des stries sur ces plans de faille. La figure présente également l'orientation du plan contenant les contraintes sigma-1 et sigma-3 tel que défini par la zone d'intersection entre les plans de faille et la localisation des plans de faille théoriques (P, R, R'..) compatible avec ce système.

B) Pôle des plans de mouvement associés aux plans de faille cartographiés à la mine Cooke selon la méthode d'Arthaud (1969). Stéréogramme équiaire.

C) Localisation des contraintes associées à la formation des failles de la mine Cooke selon la méthode d'Angelier (Angelier et Mechler, 1977). Stéréogramme équiaire.

que ces failles sont issues de systèmes conjugués, Anderson (1951) démontre que cette intersection représente la localisation de la contrainte sigma-2. Ce qui nous permet de tracer le plan sigma 1 - sigma 3 à 90° de sigma 2. Pour vérifier l'exactitude de ce modèle et prouver que ces failles sont contemporaines et produites par un même système de contraintes, les stries, linéations minérales et d'étirement associées aux plans de faille doivent se situer à l'intersection entre le plan de faille considéré et le plan sigma 1 - sigma 3, tel que défini théoriquement (Anderson, 1951). On constate alors que bon nombre des linéations mesurées se situent effectivement sur le plan sigma 1- sigma 3 ou près de celui-ci. Les linéations mesurées sur la faille Chibougamau Copper sont localisées exactement sur ce point d'intersection. Toutefois plusieurs autres linéations, dans le troisième quadran, sont franchement disconcordantes avec la position théorique des linéations telle que suggérée par le modèle d'Anderson (1951), remettant ainsi en question la contemporanéité des différentes failles considérées.

Méthodes d'Arthaud et d'Angelier

Afin de lever l'incertitude révélée par le modèle d'Anderson (1951), nous avons réalisé une étude basée sur la méthode d'Arthaud (1969) et sur celle d'Angelier (Angelier et Mechler, 1979)(voir section 4.4).

Le stéréogramme de la figure 105 B présente le pôle (axe B) des différents plans "M" tel que définis par la méthode d'Arthaud. On constate que ces pôles semblent grossièrement distribués sur un grand cercle orienté à $189^{\circ}/61^{\circ}$ (pôle orienté à $098^{\circ}/30^{\circ}$). On observe également une certaine concentration des points dans la partie centre ouest du stéréogramme. On aurait donc possiblement un ellipsoïde de contraintes presque de révolution. Selon Carey (1976), il s'agit du seul cas où la méthode d'Arthaud est applicable. Comme les failles étudiées sont des failles à rejet oblique mais comportant une composante inverse, on en déduit que le pôle de ce plan représente la direction de la contrainte sigma 3 ou de l'axe de déformation X. Dans le cas présent, la localisation précise de l'axe Y et Z sur le plan X-Y est impossible à déterminer par cette méthode.

Nous avons également traité nos données à l'aide de la méthode d'Angelier (Angelier et Mechler, 1977) (voir section 4.4). Les résultats obtenus sont très concluants. On note en effet un champ en extension très bien défini (94%) et un champ très restreint purement en

compression (0 %) (figure 105 C). Cette méthode nous permet de définir la localisation de la contrainte minimum sigma-3 (axe d'extension X), localisée à environ $113^{\circ}/46^{\circ}$, et la contrainte maximum sigma-1 (axe de compression Z), localisée à $011^{\circ}/23^{\circ}$. On en déduit alors la contrainte intermédiaire sigma-2 (axe intermédiaire Y) à $263^{\circ}/55^{\circ}$. À noter que les résultats obtenus avec la méthode d'Angelier semblent très près des modèles présentés par Angelier et Mechler (1977) pour un système conjugué. D'abord, l'axe sigma-2, tel que l'on peut le définir à l'aide de sigma-1 et sigma-3, se situe effectivement à l'intersection entre le champ en compression et celui en extension (valeur de 50%). La localisation de l'axe sigma 2 correspond à la zone d'intersection entre les plans de faille sur un stéréogramme de Wulf (méthode Anderson). De plus, comme mentionné dans Angelier et Mechler (1977): "dans le cas des cisaillements conjugués, les mesures se répartissent en deux familles très homogènes : les zones de maxima et de minima demeurent vastes même pour un grand nombre de mesures et ont toutes une forme allongée parallèlement à l'axe N2 très caractéristique".

Les résultats obtenus à l'aide des méthodes d'Anderson, d'Arthaud et d'Angelier sont donc très cohérents: l'axe sigma 1 s'oriente à $011^{\circ}/23^{\circ}$, l'axe sigma 2, à $263^{\circ}/55^{\circ}$ et l'axe sigma 3, à $113^{\circ}/46^{\circ}$. De plus, ces résultats sont tout à fait concordants avec les observations réalisées lors de la cartographie, à savoir que les stries sont obliques sur les plans de faille et que de ce fait la contrainte sigma 3 ou l'axe d'élongation X possède une faible plongée. De plus, comme la contrainte principale est N-S ($011^{\circ}/23^{\circ}$), nos résultats sont en accord avec les modèles émis pour la formation de la faille Gwillim (Dimroth *et al.*, 1984; Guha *et al.*, 1988, Dubé et Guha, 1989). Comme les pôles des plans "M" de la méthode d'Arthaud semblent avoir tendance à se regrouper dans un même champ localisé dans la partie centre ouest du stéréogramme (figure 105 B), malgré une certaine dispersion, l'ellipsoïde de la déformation n'est probablement pas uniaxial mais plutôt compatible avec celui associé aux cisaillements conjugués (Anderson, 1951), car le pôle des plans "M" se situe près de la zone d'intersection (sigma-2), tel que définie par la méthode d'Anderson. Donc, comme plusieurs pôles des plans "M" sont sub-parallèles à l'intersection des failles, il s'agit d'un cas de faille quasi conjugué.

Les failles du lac Gwillim, Chibougamau-Copper et celles qui recoupent les zones minéralisées à la mine Cooke sont donc compatibles et peuvent avoir été produites, ou à la limite avoir été réactivées, par un même système de déformation et de contraintes. En supposant que les expériences et les études théoriques de Tchalenko (1968); Lajtai (1969) et

Mandi et al., (1971) faites en milieu cassant s'appliquent dans le cas présent, les diverses orientations de failles décrites précédemment s'apparentent aux orientations des différentes fractures se développant progressivement dans un système de Riedel. Ainsi, le plan principal de la zone de faille du lac Gwillim mesurée sous-terre correspond au cisaillement principal "D" alors que la faille Chibougamau-Copper est un cisaillement "P" associé au cisaillement principal. Les failles NE et E/NE qui limitent les extensions est et ouest actuelles de la mine Cooke correspondraient alors respectivement à des failles orientées parallèlement au cisaillement principal "D" et au cisaillement "P". Finalement, les failles N-S, à composante oblique dextre et observées localement, seraient alors des cisaillements "R".

7.4.1.3 Modèle

Les résultats de l'analyse structurale ainsi que les relations chronologiques entre les différents éléments nous permettent d'élaborer un modèle expliquant la relation spatiale entre les grandes structures NE-SW (failles du lac Gwillim, du lac Doré et du lac Taché) et la minéralisation dans la région de Chibougamau (figure 1). Selon Gobeil et Racicot (1984), la présence d'une structure NE-SW apparaît comme le dénominateur commun des mines ou indices. Toutefois, les travaux que nous avons réalisés à la mine Cooke démontrent que les zones de cisaillement aurifères sont recoupées par des failles NE-SW sénestres associées à la faille du lac Gwillim, remettant ainsi en question le lien génétique entre la minéralisation et la structure nord-est dans ce secteur. Nous croyons toutefois que le lien spatial et génétique peut s'expliquer structuralement. En effet, dans la région étudiée la contrainte principale nord-sud provoquée par l'orogénèse kénorienne (figure 106) a d'abord engendré la formation des grands plis régionaux est-ouest. La poursuite de cette déformation a provoqué la formation de zones de cisaillement est-ouest ductiles-cassantes à cassantes orientées sub-parallèlement aux plans axiaux des plis régionaux. La minéralisation est associée à cet événement. Cette relation structurale a également été notée dans d'autres zones minéralisées observées dans un contexte semblable ailleurs dans la région. À titre d'exemple, Bouchard (1987) mentionne, dans ces travaux sur la mine Gwillim (figure 1), que la minéralisation aurifère est associée aux structures est-ouest et que celles-ci sont recoupées par la faille du lac Gwillim. Il semble également que la minéralisation aurifère de la mine Chibex (Joe Mann) (Dion et Guha, 1988) soit associée aux structures est-ouest malgré la proximité d'une structure nord-est régionale (figure 1).

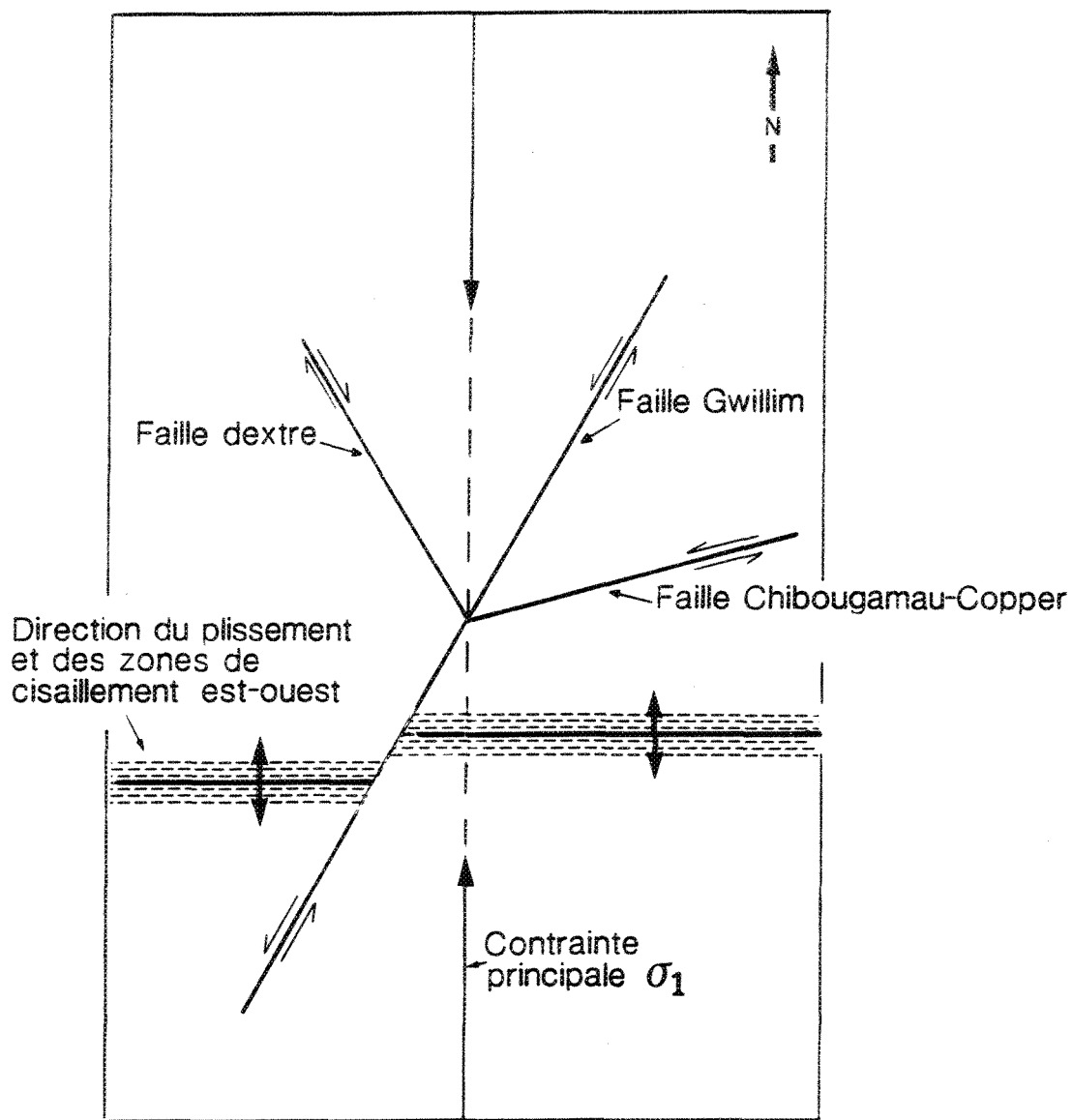


Figure 106: Modèle structural expliquant la relation spatiale et génétique entre les grandes structures nord-est et la minéralisation dans la région de Chapais-Chibougamau.

Par la suite, la déformation kénorienne aurait ultimement produit, dans le secteur de Chapais, la formation des failles cassantes d'orientation nord-est, nord-ouest et est/nord-est, qui recoupent les cisaillements aurifères de la mine Cooke, et les failles régionales ductiles-cassantes à cassantes du lac Gwillim et de Chibougamau-Copper. Cet ensemble de structures serait donc issu d'une même contrainte ayant provoqué des discontinuités structurales dont l'orientation et le type varient dans l'espace et dans le temps. Comme hypothétiquement suggéré par Guha *et al.* (1988), il pourrait exister une période pendant laquelle les zones de cisaillement est-ouest continuaient à se développer et en même temps, le milieu aurait commencé à subir les effets d'une déformation locale nord-est dont le développement n'a pas encore atteint le stade final de la fracturation engendrant les failles. Durant cette période, l'effet de superposition des deux systèmes de déformation locales aurait provoqué une dilatation accrue à l'intérieur des zones de cisaillement est-ouest, à proximité du système nord-est, favorisant ainsi la mise en place de la minéralisation aurifère. Ce modèle, impliquant une variation dans le champ de contrainte local, par rapport au champ régionale, permettrait d'expliquer pourquoi les zones aurifères est-ouest sont recoupées par les structures nord-est de la faille du lac Gwillim à la mine Cooke et également à la mine Gwillim (Bouchard, 1987). Il est à noter que ce modèle se veut purement hypothétique et que seul des travaux subséquents pourront le confirmer ou l'infirmier.

7.4.2 Intégration du contexte géologique de la mine Norbeau avec l'évolution tectonique régionale

Selon les résultats obtenus lors de notre détermination de l'orientation de l'ellipsoïde de déformation à la mine Norbeau, la configuration géométrique des différentes zones de cisaillement cartographiées aurait été produite par une compression uniaxiale; la contrainte principale minimum orientée à $346^{\circ}/54^{\circ}$ ayant provoqué une extension subverticale et subparallèle au pendage du filon-couche de Bourbeau (Dubé *et al.*, 1989). Les contraintes principales maximum et intermédiaire sont situées sur un grand cercle orienté à $078^{\circ}/36^{\circ}$ et ne sont pas clairement distinguables l'une de l'autre. Les résultats obtenus à l'aide de la méthode d'Angelier suggèrent qu'il y a possiblement eu un raccourcissement maximum parallèlement à la direction du filon-couche (figure 54). En effet, le champ minimum (3 %), représentant la contrainte maximum, se situe sur un axe subhorizontal d'orientation est-ouest ($078^{\circ}/38^{\circ}$) et la contrainte intermédiaire est orientée à $144^{\circ}/33^{\circ}$. Toutefois, si la déformation est effectivement uniaxiale (prolate), les contraintes sigma 1 et sigma 2 ne

sont pas différenciées l'une de l'autre.

À l'échelle régionale, on présume que l'axe de raccourcissement maximum est nord-sud (Daigneault et Allard, 1984) et se manifeste par la schistosité ($272^{\circ}/74^{\circ}$) observée entre les zones de cisaillement ainsi qu'à l'intérieur et l'extérieur du filon-couche. Cette schistosité correspond au plan XY de l'ellipsoïde de la déformation régionale. Même si on ne dispose pas d'information directe sur l'orientation de cet ellipsoïde, il est possible que cette déformation régionale ait engendré l'extension et le raccourcissement interprété (X' et Z') dans une unité de roche compétente qui est légèrement à angle par rapport au plan XY (figure 57) (Dubé et al., 1989). Ces résultats suggèrent donc que malgré le fait que les zones de cisaillement présentes à la mine Norbeau soient associées à la déformation (S_2) ayant produit régionalement des zones de cisaillement, des failles majeures et une schistosité d'orientation E-W. Il est possible que dans certaines unités lithologiques particulières (filon-couche différencié) il se soit développé localement des patrons de fractures qui ne correspondront pas au patron de déformation observé régionalement.

Il est possible que le système de zones de cisaillement présent à la mine Norbeau soit relié aux failles régionales longitudinales d'orientation E-W. La faille du Lac Antoinette observée immédiatement au sud de la zone étudiée, située dans le filon-couche de Roberge pourrait en être un excellent exemple (Daigneault et Allard, 1984; Pilote et al., 1984; Pilote, 1986). La ou les failles d'orientation E-W et NW-SE, que nous avons cartographiées et qui délimitent, en partie, le contact entre le filon-couche de Roberge et les autres unités stratigraphiques, y sont d'ailleurs possiblement associées. Il est également possible qu'il existe dans le lac Bourbeau, immédiatement au nord de la zone étudiée, une zone de faille majeure orientée sub-parallèlement à l'axe du synclinal majeur.

7.5- Analogie entre les mines étudiées et d'autres zones minéralisées montrant des caractéristiques géologiques ou des assemblages métalliques similaires

7.5.1 Introduction

Comme proposé par Allard (1982), sur la base de la similitude entre les faciès pétrologiques, le filon-couche de Bourbeau présente beaucoup d'analogies avec le Golden Mile

Dolerite Sill de Kalgoorlie en Australie, une des plus importantes roches hôtes de gisements aurifères de l'Archéen (Phillips, 1986). Cette analogie s'avère intéressante puisqu'il est proposé que le Golden Mile Dolerite Sill a joué, de par sa composition et sa compétence, un rôle capital dans la formation des zones aurifères (Phillips, 1986). Afin d'illustrer cette similitude, le tableau 28 présente une comparaison entre la stratigraphie du Golden Mile Dolerite Sill, telle que définie par Travis et al., (1971) et par Clark (1980), et celle du filon-couche de Bourbeau. Sur la base des descriptions pétrographiques de Travis et al., (1971) et de Clark (1980), les 10 unités stratigraphiques du Golden Mile Dolerite Sill ont été regroupées en différents faciès pétrologiques très similaires en termes d'assemblage minéralogique et d'épaisseur à ceux du filon-couche de Bourbeau. Les unités 3, 4 et 5 sont équivalentes au faciès leucogabbroïque, et les unités 6 et 7 du Golden Mile Dolerite Sill sont équivalentes au ferrogabbro à quartz. La principale divergence est l'unité 9 du Golden Mile Dolerite Sill. Il s'agit d'un ferrogabbro à quartz qui n'a pas d'équivalent réel, en terme d'épaisseur dans le filon-couche de Bourbeau, si ce n'est la mince unité de ferrogabbro observée au sommet du Bourbeau à la mine Norbeau. En considérant ces regroupements d'unités stratigraphiques, les figures 107 A et B comparent chimiquement ces deux filon-couches à l'aide des diagrammes AFM et de Jensen (1976). Les analyses chimiques du Golden Mile Dolerite Sill (Travis et al., 1971) ont été superposées aux champs définis pour les faciès du filon-couche de Bourbeau (figures 17 A et B). On constate alors une très bonne correspondance pétrochimique entre les faciès de ces deux filons-couches. Cette analogie entre le filon-couche de Bourbeau et le Golden Mile Dolerite Sill de Kalgoorlie est également valide lorsque l'on compare certaines des caractéristiques gîtologiques des minéralisations aurifères trouvées dans le Golden Mile, en particulier à Mt Charlotte (Clark, 1980), et le style de minéralisation présent à la mine Norbeau, comme nous le verrons plus loin.

L'environnement géologique de la mine Norbeau présente également des similitudes avec d'autres mines aurifères Archéennes à l'intérieur de d'autres filons-couches. En ce qui a trait à la mine Cooke, il existe ailleurs dans le monde des mines qui présentent certaines similitudes. Toutefois, celles-ci sont plutôt reliées à l'assemblage métallique et le style de minéralisation, la nature de la roche hôte étant différente. Nous verrons maintenant plus en détail ces similitudes.

Tableau 27 : Comparaison stratigraphique entre le Golden Mile Dolerite Sill
(Travis et al., 1971, Clark, 1980) et le filon-couche de Bourbeau.

SÉQUENCE STRATIGRAPHIQUE COMPARÉE				
GOLDEN MILE DOLÉRITE SILL			BOURBEAU	
Unité	épaisseur		Facies pétrologique	
	Travis, 1971	Clark, 1980		
Zone de trempe			Zone de trempe	
2 Pyroxénite	30-60m	25-30m	Pyroxénite-peridotite	20m
3-4-5	190m	110m	Leucogabbro	175m
6-7	165m	100m	Ferrogabbro	220m
8	56m	70-75m	Ferrodiorite à quartz et granophyre	100-130m
9	233m	100m	Ferrogabbro sommital	20-30m
10 Zone de trempe			Zone de trempe	

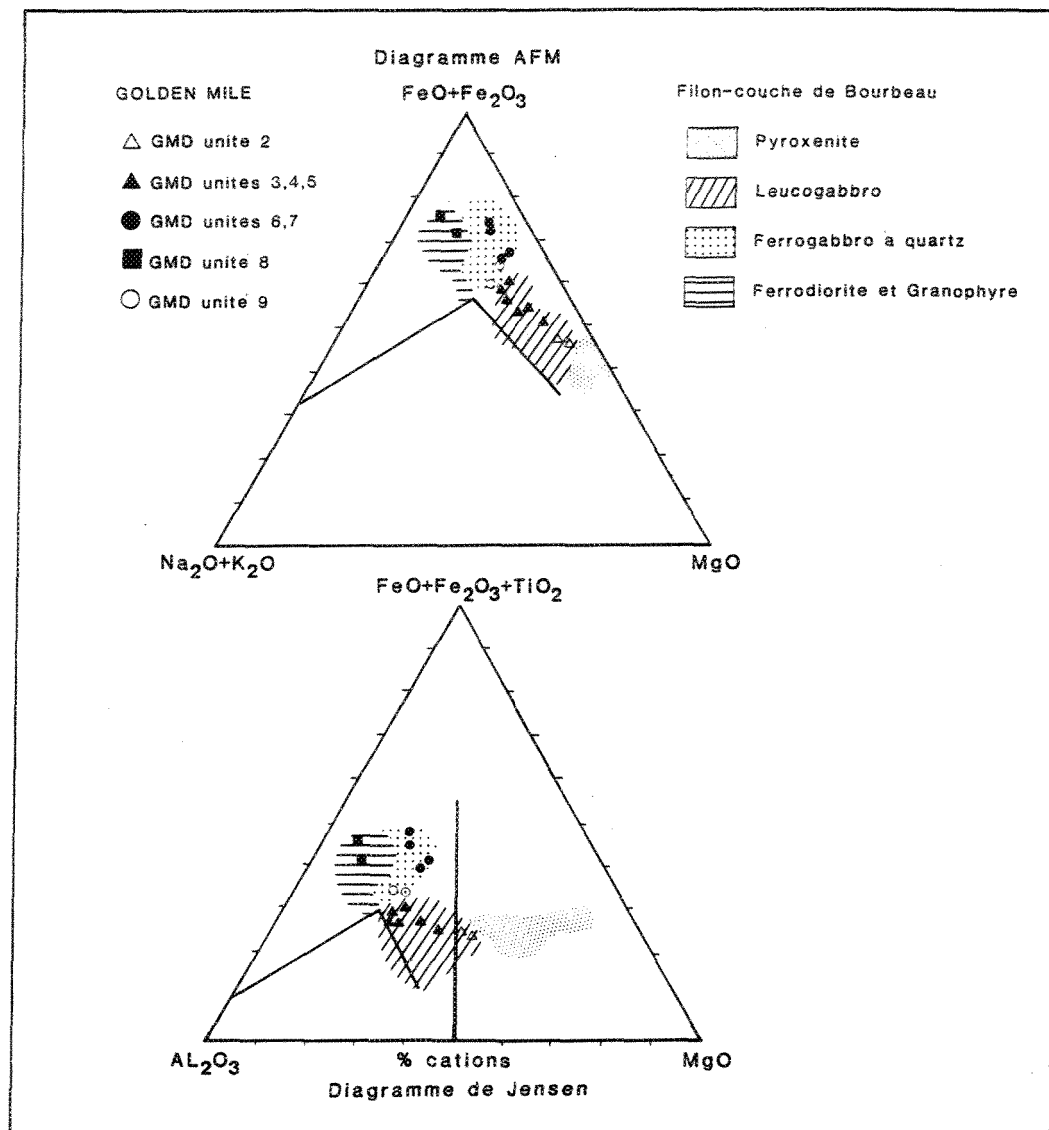


Figure 107: Comparaison lithogéochimique entre le Golden Mile Dolerite Sill (Travis et al., 1971, Clark, 1980) et le filon-couche de Bourbeau.
A) Diagramme AFM, B) Diagramme de Jensen (1976).

7.5.2 Mine Norbeau

Les zones aurifères de la mine Norbeau présentent beaucoup d'analogies avec la minéralisation trouvée dans le Golden Mile à Kalgoorlie. En effet, en plus d'être encaissées à 80 % dans un filon-couche similaire au filon-couche de Bourbeau, les zones minéralisées du Golden Mile sont incluses dans des zones de cisaillement ductiles anastomosées (Phillips, 1986, Boulter et al. 1987). Ces zones de cisaillement sont obliques par rapport à l'attitude du filon-couche et d'orientation diverse. Trois directions dominantes ont été reconnues ce sont : "the main orientation" ($320^{\circ}/85^{\circ}$), "caunter" ($300^{\circ}/70^{\circ}$) et "easterly" ($160^{\circ}/80^{\circ}$) avec en plus une zone perpendiculaire, en tension et orientée à $230^{\circ}/65^{\circ}$. Ces trois zones de cisaillement et la zone en tension se sont développées de façon synchrone (Boulter et al. 1987). L'altération hydrothermale est très comparable à celle observée à Norbeau et ce, tant au point de vue minéralogique que chimique. En effet, cette altération se caractérise par une zone à chlorite-calcite, suivie d'une zone à carbonates (ankérite et sidérite) et d'une zone minéralisée constituée de pyrite aurifère associée à de la muscovite, ankérite, quartz et albite (Phillips, 1986). Selon ce dernier, les principales modifications chimiques sont l'apport de CO_2 , S, K et Rb, éléments qui ont également subi une augmentation à Norbeau (voir section 5.3.2.3). Toutefois dans le Golden Mile, l'échelle du système de déformation et de circulation hydrothermale, de même que la quantité de minéralisation présente, est beaucoup plus importante que celle observée à la mine Norbeau. De plus, outre la minéralisation trouvée à Mt Charlotte (Clark, 1980), il n'y a pas ou peu de veine de quartz sub-verticale aurifère dans le Golden Mile. La minéralisation est plutôt présente dans l'encaissant pyritisé.

La mine San Antonio (Poulsen et al. 1986; Ames, 1988; Lau, 1988) est une mine aurifère archéenne encaissée dans le filon-couche gabbroïque de San Antonio, et elle présente également certaines analogies avec la mine Norbeau. Ce filon-couche de composition mafique est différencié en deux faciès distincts, soit à la base, un mélagabbro, suivi d'un leucogabbro contenant des zones granophyriques (Ames, 1988). Il est toutefois de dimension beaucoup plus petite que le filon-couche de Bourbeau, son épaisseur maximum est de l'ordre de 120 m et son extension latérale est reconnue sur au moins 7 km (Ames, 1988). La minéralisation est principalement trouvée dans deux types de structures, soit des veines de quartz dans des zones de cisaillement inverses ($240^{\circ}/50^{\circ}$) et une zone de veines du type stockwork orientée à $320^{\circ}/78^{\circ}$ (Lau, 1988). Deux autres types de fractures, pouvant contenir de la minéralisation, sans toutefois être d'intérêts économique, sont reconnues (Lau, 1988). Il

s'agit d'une autre zone de cisaillement orientée à $036^{\circ}/70^{\circ}$ et finalement d'une zone de fractures contenant une veine de quartz orientée à $125^{\circ}/75^{\circ}$. Cette dernière est donc sub-parallèle à la direction du filon-couche ($311^{\circ}/47^{\circ}$), mais est discordante en pendage (Lau, 1988). Les zones de cisaillement recoupent l'ensemble du filon-couche mais les zones minéralisées sont confinées aux deux tiers supérieurs, soit la zone de leucogabbro (Ames, 1988). L'altération hydrothermale est dominée par la carbonatation (Ames, 1988). On y reconnaît une zone à chlorite-calcite, suivie d'une zone à paragonite, ankérite et quartz, accolée à la zone minéralisée. Cette dernière est constituée de muscovite, ankérite, pyrite et albite. Les principales modifications chimiques sont l'apport de CO_2 , de S et de K (Ames, 1988). Selon ce dernier auteur, l'or est intimement associé à la pyrite.

Ainsi, la mine San Antonio présente beaucoup d'analogies avec la mine Norbeau. La minéralisation est confinée dans les deux cas à un filon-couche gabbroïque de composition similaire, quoique le filon-couche de Bourbeau est beaucoup plus volumineux et différencié que celui de San Antonio. Dans les deux cas, la majeure partie de la minéralisation se trouve dans des zones de cisaillement inverses-obliques discordantes par rapport à l'attitude du filon-couche. Ces zones minéralisées se situent principalement dans la partie supérieure des filons-couches. Les altérations hydrothermales sont comparables et dominées par l'apport de CO_2 , S et K.

La minéralisation aurifère archéenne trouvée à la mine Victory, à Kambalda en Australie (Clark et al., 1986; Clark, 1987), présente certaines analogies avec la mine Norbeau. Malgré que la minéralisation soit trouvée dans plusieurs unités stratigraphiques, elle est principalement présente dans des sédiments chertueux, dans des basaltes et dans la partie supérieure d'un filon-couche mafique, le filon-couche Defiance Dolerite. Ce filon-couche mafique tholéiitique possède environ 200 m d'épaisseur et il est différencié en au moins quatre faciès soit de la base au sommet : une pyroxénite, une dolérite, une zone granophyrique et au sommet une autre dolérite (Clark, 1987). La minéralisation est présente dans des veinules de quartz confinées aux sédiments, dans des brèches minéralisées quartzifères ("quartz breccia lode") et dans des zones fortement altérées à l'intérieur d'une zone de faille majeure ("Repulse fault") adjacente à la principale brèche minéralisée (Clark et al., 1986). Les roches ont subi une intense carbonatation à l'échelle du gisement et des zones métasomatiques plus locales,

situées à proximité des veines et des brèches. Dans les roches du filon-couche Defiance Dolerite, ce métasomatisme plus local se caractérise par la présence d'une zone externe contenant de la biotite et de la chlorite. En approchant de la zone minéralisée, l'altération se caractérise par une albitisation et la présence de séricite et dolomite/ankérite. Adjacente à la minéralisation présente dans les veines, ou dans les zones de "lode", l'altération se caractérise par une albitisation et le remplacement de la biotite et de la chlorite par de la dolomite/ankérite et de la séricite (Clark, 1987).

Au Québec, le gisement Croinor dans la région de Val D'or (Gaudreau et al., 1988) présente également des similitudes avec la mine Norbeau. La minéralisation d'âge archéen est située dans un filon-couche d'environ 3 km de longueur et de 60 à 150 m d'épaisseur, orienté à 295°/50-65°. Le gisement est différencié en trois faciès, soit de la base au sommet : une mélanodiorite, une leucodiorite et au sommet une diorite quartzifère à lentilles granophyriques (Gaudreau et al., 1988). D'après les travaux de Nunes (1984) et Veilleux (1984), la minéralisation se situe principalement dans des veines de quartz trouvées à l'intérieur de zones de cisaillement orientées sub-parallèlement (290°/40°) au contact entre le filon-couche et les roches volcaniques. Selon Gaudreau et al. (1988), la majeure partie de la minéralisation se situe dans la partie supérieure du filon-couche, soit dans la diorite quartzifère à lentilles granophyriques. L'altération de la zone minéralisée se caractérise par la séricitisation, l'ankéritisation et la pyritisation avec présence d'une zone à chlorite étendue de part et d'autre des zones minéralisées (Gaudreau et al., 1988).

Le gisement de Louvicourt Goldfield dans la région de Val d'Or (Sauvé, 1985) présente également des similarités étant donné qu'il se trouve dans la zone granophyrique d'un filon-couche différencié d'orientation générale E-W (260°/80°), constitué de gabbro et de granophyre. Les zones minéralisées sont situées dans des zones de fractures multiples où se recoupent de nombreuses veines de quartz et de pyrite avec un peu de carbonate et de tourmaline (Sauvé, 1985). Selon ce dernier, ces veines sont contemporaines et ont des orientations très diverses, les principales étant 230°/40°; un groupe moins abondant à 130°/35° et, plus rarement, des veines à 080°/65° et 180°/25° sont présentes. Ainsi, tout comme à la mine Norbeau un patron complexe de veines s'est formé.

Enfin, le gisement de Sigma-2 (Hébert et al., 1988) se trouve également dans une

lithologie semblable, le filon-couche de Vicour, de 225 m d'épaisseur environ. Il est différencié en quatre faciès, soit de la base au sommet : un gabbro, un gabbro à hornblende, une diorite quartzifère et, au sommet, un granophyre tonalitique (Hébert *et al.*, 1988). La minéralisation est principalement située dans la zone granophyrique. Elle est présente dans des veines de quartz mises en place dans les zones de cisaillement subverticales d'orientation E-W, donc subparallèles aux unités stratigraphiques ainsi que NE-SW (210°/90°) et également dans des veines de quartz subhorizontales d'orientation E-W et de pendage vers le sud-est (Hébert *et al.*, 1988).

7.5.3 Mine Cooke

La mine Cooke représente un style de minéralisation aurifère quelque peu différent des gisements aurifères typiques de l'Abitibi. L'abondance de cuivre la différencie des gisements du type lode-gold (Roberts, 1987), alors que l'abondance d'or la distingue également des gisements de Cu-Au trouvés dans le complexe du Lac Doré et caractéristiques de la région de Chibougamau (Allard, 1976; Guha *et al.*, 1988) et des gisements de Cu-Au Opémiska, présent dans le filon-couche de Ventures à Chapais et voisin de la mine Cooke (Watkins et Riverin, 1982). En effet, alors que la teneur moyenne des gisements du type Cu-Au de Chibougamau varie de 1 à 3 Au g/t et que celle des gisements Opémiska est ≤ 1 Au g/t, celle de la mine Cooke est de l'ordre de 5 Au g/t (tableau 1). Cette teneur est semblable à celle des autres gisements du type "lode gold" présents dans la région, soit celui du Lac Shortt (5,46 Au g/t), lac Bachelor (5,22 Au g/t), Chibex (6,86 Au g/t) et Gwillim (4,81 Au g/t) (tableau 1).

Toutefois, il existe dans la littérature des zones minéralisées qui présentent des assemblages minéralogiques similaires à ceux de la mine Cooke. La mine Athens au Zimbabwe (Fabiani, 1984) en est probablement le meilleur exemple. La minéralisation d'âge archéen se présente sous la forme de veines de quartz riches en chalcoppyrite, en pyrite, en pyrrhotite et en arsénopyrite à l'intérieur de laves de composition komatiitique et péridotitique. Le minerai est assez riche pour extraire le cuivre et la teneur en or est de l'ordre de 6,7 Au g/t (0,20 oz/t). L'abondance d'or et de chalcoppyrite est en corrélation directe, toutefois, des concentrations en or sont trouvées, localement, dans des veines de quartz ne contenant pas de sulfures. Le minerai a été fortement déformé et les sulfures présentent une déformation ductile et des textures *durchbewegung* (Fabiani, 1984).

Parmi les autres exemples de minéralisation d'âge archéen présentant une certaine analogie avec la mine Cooke, notons les gîtes de cuivre-or constitués de veines de quartz, carbonates, sulfures (chalcopyrite-pyrrhotite-pyrite) et or dans des turbidites à Cobar en Australie (Glen, 1987). Le gîte de Cu-Au (390,000 t à 1,60% de Cu et 3,77 Au g/t) dans l'intrusion felsique de Gitcher (Studemeister *et al.*, 1981) est également comparable. L'or est contenu dans des veines de quartz contenant une grande proportion de sulfures en particulier de la pyrite, de la pyrrhotite, de la chalcopyrite, de l'arsénopyrite, de la sphalérite, de la galène et de la molybdénite. Enfin, la minéralisation aurifère connue sous le nom de Crooked Green Creek Mine dans la région de Beardmore-Geraldton, en Ontario (Mason et White, 1986), est constituée de veines de quartz cataclasées contenant une proportion de sulfures variant de 1 à 20% (principalement chalcopyrite, pyrrhotite et or).

La mine Cooke ne représente donc pas un cas unique propre aux gisements Opémiska. Toutefois, ces caractéristiques géologiques sont nettement différentes de celles présentes dans la majorité des gisements aurifères archéens du type "lode gold deposit" mis en place dans des filons-couches mafiques différenciés.

7.6- Modèle métallogénique du filon-couche de Bourbeau : rôle et influence du filon-couche sur la mise en place de la minéralisation

Dans notre recherche d'un modèle métallogénique aurifère du filon-couche il est important d'élucider les principales caractéristiques intrinsèques de cette unité stratigraphique qui l'influencent la mise en place de la minéralisation. Les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse suggèrent que l'influence principale du filon-couche se situe au niveau mécanique. Sa nature relativement compétente a permis le développement d'une perméabilité secondaire par l'entremise de zones de cisaillement et de fractures, qui a permis l'ascension de fluides hydrothermaux minéralisés. De plus, à la mine Norbeau, son contenu élevé en fer a permis au soufre véhiculé par le fluide de se combiner avec le fer initialement présent pour ainsi former la pyrite et l'arsénopyrite auxquelles l'or s'associe exerçant ainsi un contrôle chimique. Nous discuterons maintenant de ces deux points.

7.6.1 Influence mécanique: compétence et anisotropie

La minéralisation de la mine Cooke et de la mine Norbeau de même que des indices minéralisés est confinée au filon-couche de Bourbeau. Cette observation spatiale suggère que

celui-ci a joué un rôle capital dans la mise en place des zones minéralisées. À la mine Norbeau et ailleurs dans le monde les minéralisations aurifères archéennes mises en place dans des filons-couches gabbroïques se situent plutôt dans la partie supérieure de ces unités stratigraphiques, là où le contenu en quartz, en intercroissances granophyriques et en fer est plus élevé. Comme c'est le cas notamment dans le Golden Mile Dolerite Sill (Clark, 1980; Phillips, 1986) et dans le filon-couche de San Antonio (Ames, 1988). Ces observations suggèrent donc que la nature compétente de ces filons-couches, en particulier dans la partie supérieure, a joué un rôle primordial dans le développement de la fracturation ayant permis l'ascension des fluides hydrothermaux et la précipitation de l'or. Nous discuterons maintenant plus spécifiquement de l'influence mécanique du filon-couche de Bourbeau en traitant plus particulièrement de la mine Norbeau, étant donné qu'elle semble plus caractéristique des gisements aurifères trouvés dans ce type d'unité stratigraphique que ne l'est la mine Cooke.

Les variations d'orientation des veines nos 1 et 4 (figure 47) sont particulièrement prononcées vers les extrémités, notamment l'extrémité nord. La veine no 4 est dans l'ensemble N-S, mais elle tourne vers le NW-SE à son extrémité nord et vers le SW à son extrémité sud (figure 47 A et B). À son extrémité nord, la veine no 1 présente, notamment aux niveaux 3 et 4, une bifurcation prononcée vers l'ouest. Ces variations d'orientation sont possiblement reliées à l'approche du contact entre le sommet du filon-couche de Bourbeau et les sédiments de la Formation de Blondeau. Comme nous croyons que la nature compétente du filon-couche de Bourbeau peut avoir provoqué, à l'intérieur de cette unité de roche, une *déformation différente de la déformation régionale, le changement ou l'approche d'une* variation d'unité lithologique va probablement provoquer une réfraction des axes de l'ellipsoïde de déformation. Il importe de noter que cet effet est particulièrement présent aux deux murs du filon-couche. À son extrémité sud, ce changement d'orientation des contraintes à l'extérieur du filon-couche pourrait également expliquer pourquoi le contact entre le filon-couche de Bourbeau et le filon-couche de Roberge ne semble pas recoupé par le cisaillement NE-SW. La relative contemporanéité existant entre les structures NE-SW et N et les structures E-W pourrait également expliquer en partie les déviations observées dans les veines NE-SW et N.

Cette influence de la compétence du filon-couche de Bourbeau est également soulignée par l'absence ou la quasi absence de veines de quartz dans le leucogabbro situé dans le prolongement de la structure des veines nos 1 et 4. Nos observations de terrain et les travaux d'ex-

exploitation de la mine révèlent que la zone de cisaillement se poursuit dans le leucogabbro mais que la déformation cassante ayant permis la mise en place de veines de quartz dans le ferrogabbro et la ferrodiorite à quartz est pratiquement absente dans le leucogabbro. Ainsi, dans le leucogabbro, cette déformation a engendré le développement d'une zone de cisaillement ne contenant pas de veines de quartz aussi importantes et continues que dans les unités stratigraphiques sus-jacentes. Cette relation est également suggérée par la faible extension de la veine Mann.

Ainsi, cette relation spatiale entre les veines de quartz et les faciès du filon-couche relativement riches en quartz et en intercroissances granophyriques indique la plus grande facilité avec laquelle ces faciès peuvent se fracturer et créer des ouvertures permettant la circulation des fluides. Comme souligné par Clark (1980), la présence de quartz et d'intercroissances granophyriques va tendre à diminuer l'accommodation de la déformation par cisaillement le long des bordures des cristaux et va plutôt favoriser la déformation cassante.

Il est donc probable que la différenciation magmatique subie par le filon-couche ait joué un rôle important étant donné que cette hétérogénéité primaire a probablement favorisé le développement de zones de cisaillement le long de ces discontinuités mécaniques et chimiques primaires. La présence de zones de cisaillement au contact ou près du contact entre différents faciès, notamment les faciès ferrogabbroïque et ferrodioritique à quartz (veines New Vein et Sharpe), tend à confirmer cette hypothèse. Il est d'ailleurs reconnu que l'anisotropie d'une roche (litage primaire ou foliation) et son orientation auront un effet déterminant sur la géométrie de la déformation et de la fracturation de la roche, causant des complications qui ne sont pas observées dans les roches isotropes (Wallace, 1951; Ramberg, 1959 et 1960; Donath, 1961 et 1962; Flinn, 1962; Cobbold, 1976; Treagus, 1983; Arch *et al.*, 1988; Dubé *et al.*, 1989; Poulsen et Robert, 1989). La déformation est inhomogène dans une roche anisotropique et de fortes variations d'orientation, de dimension et de forme de l'ellipsoïde de la déformation peuvent se produire. Ainsi, le contraste de compétence induit par l'anisotropie primaire présente dans les filons-couches et issus de la différenciation magmatique, est un élément fondamental permettant d'expliquer la présence et la distribution des zones de cisaillement et de fractures souvent confinée à l'intérieur des filons-couches. Selon Poulsen et Robert (1989) la déformation d'une unité lithologique localisée dans une roche hôte de composition et compétence différentes est contrôlée par la compétence relative de la lithologie

en comparaison avec la roche hôte et par l'orientation de cette unité lithologique par rapport aux axes de déformation externes. Lorsque l'unité lithologique est plus compétente que les roches hôtes, comme c'est le cas avec le filon-couche de Bourbeau, il est fort probable que cette unité sera soumise à une extension ou un raccourcissement parallèlement à sa direction étant donné que l'unité est en fait extrait (decoupled) de la roche hôte (Poulsen et Robert, 1989). Selon ces derniers, les zones de cisaillement formées dans ces contextes ne sont, généralement, pas produites par cisaillement simple mais plutôt par une transpression complexe variant d'une extension coaxial combinée à un raccourcissement de l'unité compétente à un cisaillement parallèle aux unités. Les axes de déformation sont largement contrôlés par l'orientation de l'unité lithologique compétente et, en moins grande proportion par l'orientation des axes de déformation externes (Dubé et al., 1989; Poulsen et Robert, 1989). La localisation et l'orientation des zones de cisaillement sont en quelques sortes contrôlées par celle du filon-couche.

Conformément à ces concepts théoriques, l'analyse structurale et notre interprétation de l'orientation de l'ellipsoïde de déformation responsable des zones de cisaillement à la mine Norbeau suggèrent que le point le plus important de l'analyse présentée est que l'axe d'extension a été contrôlé par le litage magmatique primaire présent dans le filon-couche et ce, même si la déformation a résulté en un patron de déformation très complexe (Dubé et al., 1989). Le filon-couche a donc réagi comme un horizon compétent situé dans une matrice de roches plus ductiles constituées des filons-couches ultramafiques-mafiques de Roberge et de Ventures et des sédiments de la Formation de Blondeau. La présence de zone de cisaillement intense localisée au contact Bourbeau-Roberge observée à la mine Norbeau et Bourbeau-Blondeau observée à la mine Cooke est compatible avec cette hypothèse.

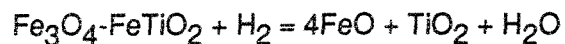
Finalement, un point fondamental à considérer concerne le type de déformation affectant le filon-couche. À la mine Cooke, notre analyse suggère que la déformation est possiblement "plane strain". Si tel est le cas, dans un tel système l'influence de la contrainte principale intermédiaire est considérée comme minimal réduisant ainsi probablement de beaucoup la complexité de la déformation. Alors qu'à la mine Norbeau, notre analyse suggère que la déformation est plutôt uniaxiale, la contrainte principale intermédiaire a donc joué un rôle théoriquement aussi important que la contrainte principale maximum, provoquant ainsi une complexité structurale de beaucoup supérieure. Des directions multiples de zones de

cisaillement ou de fractures sont probablement nécessaire pour accommoder une déformation tri-dimensionnelle (Poulsen et Robert, 1989).

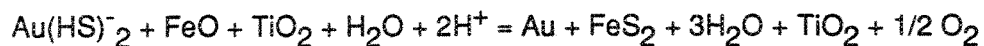
7.6.2 Influence chimique

Les roches encaissantes mafiques riches en fer semblent être communes à de nombreux gisements aurifères archéens et l'importance de la présence de fer dans les roches encaissantes altérées associées aux minéralisations aurifères a auparavant été soulignée par Bain (1933), McKinstry (1957), Boyle (1979), Groves et al. (1984), Phillips and Groves (1984), et Neall (1987). Selon Phillips et Groves (1983), le rôle premier du fer est de réagir avec les fluides aurifères pour former, par réduction, les sulfures de fer et ainsi précipiter l'or à la suite de la déstabilisation des complexes de soufre-or. Les travaux thermodynamiques de Neall (1987) tendent à prouver cette hypothèse.

L'influence chimique de la roche hôte sur la précipitation de la minéralisation est particulièrement manifeste à la mine Norbeau, étant donné l'intime relation spatiale qui existe entre les titanomagnétites primaires altérées en leucoxène-anatase et remplacées par les cristaux de pyrite et d'arsénopyrite renfermant les grains d'or. Comme présenté à la section 6.11.2, la déstabilisation des titanomagnétites primaires peut être représentée par la réaction de réduction suivante :



Le FeO ainsi rendu disponible pourrait réagir avec le complexe aurifère bisulfuré $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ présent dans le fluide selon la réaction :



provoquant ainsi la déstabilisation du complexe aurifère, et conséquemment, la précipitation de l'or. Ce type de réaction expliquerait l'intime relation spatiale et génétique existant entre la pyrite et le leucoxène-anatase, observée à la mine Norbeau. Comme souligné par Knopf (1929), les inclusions de roche encaissante dans les veines de quartz, localement observées à la mine Norbeau, contiennent communément plus de sulfures que le quartz présent dans les veines. Cette relation suggère donc que les roches encaissantes ont joué un rôle important dans la précipitation de la solution hydrothermale en fournissant le fer nécessaire à la déstabilisation du complexe aurifère bisulfuré à la suite de la combinaison du fer avec le soufre pour former la pyrite ou l'arsénopyrite.

À la mine Cooke cette interrelation titanomagnétite-sulfures est inexistante. Il n'y a pas de "sulfurisation" de l'éponte accolée aux veines minéralisées. Selon notre étude lithogéochimique quantitative (section 5.2.3.4.2), le fer nécessaire à la formation des sulfures formés à la mine Cooke a été véhiculé par le fluide. L'influence de la composition chimique de la roche hôte sur la précipitation du fluide minéralisé est donc beaucoup moins évidente. Comme mentionné à la section 5.5.4, la chloritisation observée en bordure des veines suggère une oxydation de l'éponte. Cette oxydation est concordante avec l'hématisation des feldspaths potassiques présents dans les veines minéralisées et a été invoquée, tout comme la diminution de l'activité du soufre, comme processus possible de précipitation du fluide hydrothermal (section 6.11.2). Ainsi, il semble que la précipitation du fluide minéralisé, à la mine Cooke, ait été produit, en tout ou en partie, par l'oxydation. L'ébullition du fluide est souvent invoquée pour générer cette oxydation (Drummond, 1981). La diminution de la pression du fluide est un des processus possibles pouvant provoquer cette ébullition (Skinner, 1979). Si tel est le cas à la mine Cooke, l'ébullition ayant provoqué la précipitation du fluide serait reliée à un processus physique, soit la diminution de la pression. L'influence de la composition chimique des roches hôtes sur la précipitation serait alors reliée à la compétence relative de la roche induite par sa composition chimique plutôt que par sa réaction chimique avec le fluide.

7.7- Guides d'exploration stratégiques et tactiques

Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet ont permis d'établir certains guides d'exploration stratégiques et tactiques à l'échelle locale et régionale (Dubé et Guha, 1989). Nous présentons d'abord des guides spécifiques aux régions qui ont fait l'objet de l'étude, en discutant d'abord des guides locaux et ensuite des guides régionaux. Par la suite, nous traiterons de façon plus générale, des guides d'exploration potentiels pour les gisements aurifères du type "lode gold" présents dans des filons-couches du type Bourbeau.

7.7.1 Guides à l'échelle locale

À la mine Cooke, la cartographie détaillée a permis de mettre en évidence que la minéralisation se trouve à l'intérieur de zones de cisaillement inverses d'orientation est-ouest à nord-ouest. Ces zones de cisaillement ont ultérieurement été recoupées par des failles d'orientation nord-est à est/nord-est. Ces failles recoupent très nettement la minéralisation et l'entraîne dans un mouvement oblique sénestre. Localement, des failles nord-sud à

mouvement dextre sont également observées. Cette nouvelle interprétation a permis de trouver des extensions aux zones minéralisées. En effet, des forages et une galerie d'exploitation effectués à l'hiver et au printemps 1987 aux niveaux 7 et 8 ont permis de retracer la zone minéralisée déplacée vers la gauche sur une distance d'environ 46 m par les failles nord-est (figure 91). Les résultats obtenus à l'intérieur de cette nouvelle zone minéralisée atteignent jusqu'à 38,06 Au g/t (1,11 oz/t) et 1,61 % Cu sur 2,6 m. Ainsi, ces travaux de cartographie ont permis de souligner l'importance de la relation chronologique et spatiale entre les différents éléments structuraux de la mine et de développer un modèle structural lié à la géologie économique permettant de trouver des extensions aux zones aurifères, d'augmenter les réserves, et, possiblement, de prolonger la vie de la mine.

À la mine Norbeau, les travaux de cartographie réalisés ont permis de définir le contexte structural associé aux veines de quartz aurifère. Notre analyse structurale à l'aide des méthodes d'Angelier, d'Arthaud et de Wallace (Dubé et al., 1989) a permis de démontrer la compatibilité structurale des veines aurifères nos 1 et 4 et des veines E-W et ESE.

7.7.2 Guides régionaux

À l'échelle régionale, on constate que les structures est-ouest, et les cisaillements associés (veine nos 1 et 4 à Norbeau), constituent le principal contrôle de la minéralisation aurifère étudiée. De plus, la proximité d'une structure régionale majeure semble un élément important. Ainsi, les structures régionales comme les plans axiaux des plis régionaux est-ouest et les failles longitudinales régionales (Kapunapotagan, Faribault, Lac Antoinette, etc) sont des cibles favorables. De plus, nous croyons que la nature de la roche encaissante affectée par la déformation joue également un rôle important dans la facilité avec laquelle le matériau va se déformer et créer des zones d'ouverture facilitant l'ascension des fluides hydrothermaux, et également, sa capacité à réagir avec le fluide et créer un milieu réducteur propice à la précipitation de l'or. À ce titre, notre étude démontre que le filon-couche de Bourbeau constitue une cible régionale très favorable, en particulier les faciès ferro-gabbroïques et ferrodioritiques du sommet du filon-couche car ils sont riches en silice et en fer. Cette constatation est particulièrement évidente à la mine Norbeau où, outre la veine Mann, toutes les veines aurifères sont situées vers le sommet du filon-couche. Toutefois, le leucogabbro n'est pas nécessairement à négliger car ce faciès est l'hôte d'une grande partie de la minéralisation exploitée à la mine Cooke. Jusqu'à présent, les minéralisations économiques

trouvées dans le filon-couche de Bourbeau sont sous forme de veines de quartz aurifère enfumées et cataclasées et de veines de quartz/calcite cataclasées et riches en sulfures à la mine Cooke. Nous croyons que c'est dans cette optique très classique que l'exploration aurifère doit être orientée. L'utilisation de patron d'altération minéralogique basé sur la présence de calcite, carbonates de fer/magnésium, séricite, chlorite et pyrite est recommandée car ces minéraux constituent les principales phases d'altération observées dans le cadre des travaux effectués. Nous considérons que les zones à carbonates de fer/magnésium constituent un milieu très favorable à la minéralisation aurifère. Toutefois, ces zones ne représentent pas nécessairement la roche hôte de la minéralisation. Il s'agit plutôt des veines de quartz ou des zones à ankérite, séricite et pyrite/arsénopyrite accolées à ces veines et situées à l'intérieur des zones carbonatisées.

7.7.3 Guides généraux

Dans le cadre de ce travail nous avons été amené à étudier différents filons-couches hôtes de minéralisation aurifère archéenne (filon-couche de Bourbeau, Golden Mile dolerite sill, filon-couche de San Antonio, Defiance dolerite sill, filon-couche Croinor, filon-couche Vicour, filon-couche du gisement Louvicourt-Goldfield). L'ensemble de ces filons-couches est de composition plutôt mafique, d'affinité tholéiitique et d'épaisseur très variable. Ils contiennent généralement plusieurs faciès pétrologiques par suite de la différenciation magmatique "in situ" qu'ils ont subie. Parmi ceux-ci, on note vers le sommet, la présence d'un faciès contenant des intercroissances granophyriques ou des zones de granophyres et ayant généralement subi un certain enrichissement en fer. La minéralisation se trouve fréquemment dans ce faciès étant donné sa nature compétente et sa composition chimique favorable au développement de milieu réducteur. Les structures hôtes de la minéralisation sont multiples et présentent fréquemment des patrons complexes. Certaines structures sont subparallèles en direction, et parfois en pendage, à l'attitude du filon-couche, mais plus souvent elles sont nettement discordantes par rapport à celui-ci. L'altération est dominée par la carbonatation avec présence de muscovite-séricite et de pyrite accolée à la zone minéralisée lorsqu'il s'agit de veines de quartz ou constituant la zone minéralisée lorsque la minéralisation se présente sous forme de brèche et/ou d'éponte altérée. L'ensemble de ces caractéristiques n'est pas sans rappeler celles que nous avons décrites pour ce qui est de la mine Norbeau.

Ainsi, la mine Norbeau est un exemple d'une subdivision possible de gîte filonien soit les

gîtes encaissés par les filons-couches mafiques. Ceux-ci sont communs dans le monde entier et deux des meilleurs exemples sont les mines d'or situées dans le Golden Mile Dolerite Sill (Finucane, 1965; Woodall, 1965; Phillips, 1976; Boulter et al., 1987) et la mine San Antonio (Gibson et Stockwell, 1948; Poulsen et al., 1986; Ames, 1988; Lau, 1988). Il est commun que les fractures et le réseau de veines dans ces gîtes soit complexe. La minéralisation se trouve dans des systèmes anastomosés caractérisés par 3 ou 4 orientations différentes de veines ou de "lodes". La complexité du patron de déformation semble donc être commune à plusieurs mines aurifères à l'intérieur de filons-couches. Certaines des conclusions déduites de l'analyse structurale réalisée à la mine Norbeau à l'aide des méthodes d'Arthaud, d'Angelier et de Wallace (Dubé et al., 1989), s'appliquent donc possiblement à l'ensemble des patrons de fractures associés aux gisements aurifères dans des filons-couches du type Bourbeau. Les principales conclusions sont : 1) le patron de distribution des structures, tel qu'observé sur une carte et les données d'orientation de ces structures ne peuvent expliquer à eux seul l'origine et la chronologie des zones de cisaillement; 2) l'anisotropie due au litage primaire dans le filon-couche est un contrôle important sur l'orientation et la direction de glissement des zones de cisaillement; 3) le développement des zones de cisaillement à la mine Norbeau peut être logiquement attribué au développement synchrone d'un allongement et d'un raccourcissement parallèle au litage magmatique du filon-couche de Bourbeau durant l'augmentation de la déformation régionale. Le quatrième point est le plus important du point de vue pratique, les veines ou zones de cisaillement formées dans ce type d'unité lithologique sont fortement contrôlées par l'orientation même de l'unité et moins par l'orientation des contraintes externes à celle-ci. L'anisotropie primaire de la résistance (strength anisotropy) d'une unité compétente, étant donné le litage primaire qu'elle contient et son orientation, peut induire une déformation interne différente de la déformation régionale et favoriser ainsi le développement de zones de cisaillement locales, qui peuvent s'avérer plus ou moins compatibles avec le patron de déformation régionale. Ainsi, l'application de guides d'exploration régionaux qui prédisent les patrons de déformation et de veines basés uniquement sur l'orientation des contraintes ne pourra expliquer la distribution complexe des veines dans une unité de roche anisotrope (Dubé et al., 1989).

CHAPITRE 8

CONCLUSION

Les principales conclusions de cette thèse peuvent se résumer comme suit :

8.1-Analyse structurale

L'analyse structurale réalisée aux mines Cooke et Norbeau et sur les indices aurifères permet de constater que la minéralisation se situe principalement à l'intérieur de veines situées dans des zones de cisaillement. Toutefois, tandis qu'à la mine Norbeau il s'agit de zones de cisaillement ductiles-cassantes typiques des gisements du type "lode-gold", la minéralisation à la mine Cooke est contenue dans des zones de cisaillement ductiles-cassantes à cassantes plus ou moins intenses, et des fractures minéralisées subparallèles aux zones de cisaillement. De plus, il existe des différences dans la complexité du réseau de "fractures" minéralisées. À la mine Cooke et dans la majorité des indices étudiés, il s'agit de zones de cisaillement, en tout ou en partie, subparallèles aux unités stratigraphiques, tandis qu'à la mine Norbeau, les zones de cisaillement sont d'orientation diverse et discordante par rapport aux unités stratigraphiques. Les structures internes caractérisant ces différentes zones de cisaillement présentent des analogies intéressantes. Dans l'ensemble, les relations angulaires entre la schistosité et la direction du cisaillement, l'attitude des veines sub-horizontales de même que l'attitude des stries et linéations minéralogiques présentes à l'intérieur des zones de cisaillement indiquent un mouvement inverse-oblique, où la composante verticale du mouvement est généralement dominante.

L'analyse structurale réalisée à la mine Cooke suggère que les zones de cisaillement minéralisées ont été produites par une contrainte principale sub-horizontale d'orientation N-S, une contrainte intermédiaire sub-horizontale plongeant faiblement vers l'est et une contrainte minimum sub-verticale. Ces résultats sont donc parfaitement compatibles avec la déformation régionale Kénorienne d'orientation N-S. À la mine Norbeau, la déformation est beaucoup plus complexe. Notre analyse (Dubé *et al.*, 1989) nous amène à conclure que les zones de cisaillement ne sont pas compatibles avec un système conjugué mais enregistrent

plutôt une déformation uniaxiale dont l'axe est orienté à 346° avec une plongée relativement abrupte et cet axe est pratiquement contenu dans le plan du filon-couche. Les autres axes de déformation se situent sur un grand cercle orienté à $078^\circ/36^\circ$. Comme la déformation est uniaxiale, les contraintes principales et intermédiaires ne sont pas réellement distinguables. Toutefois, la méthode d'Angelier suggère que la contrainte principale est orientée à environ $078^\circ/38^\circ$ et la contrainte intermédiaire à $144^\circ/33^\circ$. Les axes d'extension et de raccourcissement seraient donc confinés à l'intérieur du plan correspondant à l'attitude du filon-couche de Bourbeau.

Les zones de cisaillement minéralisées de la mine Cooke ont ultérieurement été recoupées par des failles obliques d'orientation nord-est (sénestre) et parfois nord-sud (dextre) qui délimitent les extensions latérales actuelles du gisement. Ces failles, de même que les failles régionales du Lac Gwillim et de Chibougamau-Copper, ont été produites par un même système de contraintes dont la contrainte principale est sub-horizontale et d'orientation N-S; les contraintes intermédiaire et minimum plongent respectivement vers l'ouest ($263^\circ/55^\circ$) et vers l'est ($113^\circ/46^\circ$). La faille du lac Gwillim est donc tardive à la minéralisation trouvée à la mine Cooke.

8.2-Altération

La comparaison des mines Cooke et Norbeau et des indices nous permet de constater des divergences marquées entre les assemblages minéralogiques produits par l'altération hydrothermale. L'altération associée aux zones aurifères de la mine Cooke est peu développée mais il est tout de même possible de regrouper les minéraux d'altération en au moins trois faciès : un faciès à séricite \pm calcite \pm chlorite, suivi d'un faciès à chlorite + calcite \pm axinite et, finalement, accolée à la veine minéralisée, on note régulièrement une zone à chlorite massive. À l'inverse, l'altération hydrothermale observée à la mine Norbeau et dans la majorité des indices aurifères est bien développée et s'avère typique des gisements aurifères du type "lode gold" situés dans des unités stratigraphiques de cette nature. On note de façon générale, qu'à proximité de la zone minéralisée, l'altération se caractérise par la présence d'une zone de séricite-ankérite-calcite-pyrite, suivie d'une zone à séricite-ankérite-calcite-chlorite et finalement d'une zone à chlorite-calcite.

L'étude lithogéochimique quantitative fait ressortir des divergences marquées entre

l'altération de la mine Cooke et de la mine Norbeau. On constate principalement un gain en Fe en approchant des veines minéralisées à la mine Cooke tandis que l'on note des gains en K, Ca et S à Norbeau. De plus, on note des pertes en Ca et Mg à Cooke seulement. Ces divergences suggèrent donc l'apport de fer par le fluide dans les zones d'altération de la mine Cooke tandis qu'à la mine Norbeau, les relations texturales, telles la présence de cristaux de sulfures accolés aux grains de leucoxène, suggèrent que le fer provient du protolithe; le soufre aurait été fourni par le fluide. Les pertes en Ca à Cooke expliquent en partie, la formation d'axinite dans les veines minéralisée par suite de sa combinaison avec le bore présent dans le fluide. À Norbeau, ce lessivage n'est pas observé, au contraire, on constate un gain en Ca qui s'est combiné au CO_2 provenant du fluide pour former les carbonates. L'absence d'apport notable de K dans les zones à chlorite+calcite±axinite et chlorite massive de la mine Cooke suggère que cet environnement était plutôt oxydant comme en témoigne la présence de chlorites et l'hématisation des feldspaths présents dans les veines. La séricitisation des plagioclases étant une réaction de réduction, le milieu ne favorisait probablement pas sa formation et ce, même si l'activité du K dans le fluide était élevée comme en témoigne la présence des feldspaths potassiques dans les veines minéralisées et celle de la séricite dans l'enveloppe externe de l'altération. En ce qui a trait aux similitudes, on note des gains communs en C, As et Au et un lessivage du Na en approchant des veines minéralisées. Le lessivage du Na traduit dans les deux cas l'altération subie par les plagioclases. Les deux fluides contenaient donc du H_2O , comme en témoigne la formation des chlorites et des séricites, et du CO_2 comme le suggère les gains en C et la précipitation des carbonates.

8.3-Minéralogie et paragenèse

Les veines de quartz cartographiées dans les mines Cooke et Norbeau présentent, par endroits, des textures du type "open space filling". Les déformations sont importantes et les veines contiennent deux générations de quartz : une première cataclasée et une deuxième néominéralisée. La présence d'axinite et de feldspath potassique, fréquemment hématisé, est caractéristique de la mine Cooke. Tandis qu'à la mine Cooke la proportion de sulfure est grande ($\leq 90\%$) (chalcopryrite, pyrrhotite, arsénopyrite et pyrite), elle ne dépasse pas 5 % à la mine Norbeau (arsénopyrite et pyrite). L'or se présente fréquemment en inclusion dans les sulfures ou en remplissage de fractures dans ces derniers. Chimiquement, le contenu en Ag de l'or est nettement plus élevé, en terme de concentration, à la mine Cooke (17,9 %) qu'à la

mine Norbeau (13,4%).

Dans les deux mines étudiées, la mise en place des sulfures s'est effectuée dans un milieu dynamique (zones de cisaillement) qui a continué de se déformer même après la formation des veines. Ces mouvements ont engendré la déformation, la redistribution et possiblement, par endroits, la redissolution et la reprécipitation des sulfures. À la mine Cooke, ce processus a généré des textures complexes étant donné l'abondance de sulfures ductiles (chalcopryrite et pyrrhotite). De plus, à cet endroit, des mouvements ultérieurs provoqués par des failles tardives ont également possiblement joué un rôle nonnégligeable dans la déformation observée à l'intérieur des veines.

Dans le cas des mines Norbeau et Cooke l'or a probablement été transporté sous forme de complexe bisulfuré du type $\text{Au}(\text{HS})^{-2}_2$ et $\text{Au}_2\text{S}(\text{HS})^{-2}_2$. Ces complexes agissent en tant que source de l'or et également comme source du soufre. Ils sont déstabilisés par suite de la réaction du fer avec le soufre nécessaire à la formation des sulfures, provoquant ainsi la précipitation de l'or. À la mine Norbeau, le Fe^{+2} nécessaire à cette réaction proviendrait des titanomagnétites primaires altérées en leucoxène alors qu'à la mine Cooke, le fer était véhiculé par le fluide. La diminution de l'activité du soufre combinée avec une chute de pression, telle que suggérée par la cataclase des veines, sont les mécanismes de précipitation, de l'or et des phases métalliques suggérés. De plus, à la mine Cooke, l'oxydation est également un mécanisme de précipitation probable.

8.4-Conclusion d'ordre générale

En réponse à un des objectifs principaux visés par cette thèse, notre étude structurale démontre que, malgré les divergences en terme de paragenèse métallique, d'altération hydrothermale et de style de déformation (ductile-cassant), la mise en place de la minéralisation chez les mines Cooke et Norbeau a été "contemporaine" et syn-tectonique. Les raisons expliquant pourquoi il y a abondance de cuivre à la mine Cooke alors qu'il est pratiquement inexistant à la mine Norbeau dépassent les objectifs visés par ce travail. Il est fort probable que la nature différente des roches sources du fluide hydrothermale soit un facteur clé. Toutefois, des études supplémentaires de nature isotopique et d'inclusions fluides, déjà entreprises, fourniront des éléments de solution à cette question en permettant de définir la composition du fluide hydrothermal de même que sa source.

À l'échelle régionale, on constate que les structures est-ouest, et les cisaillements associés (veine nos 1 et 4 à Norbeau), constituent le principal contrôle de la minéralisation aurifère étudiée. La proximité d'une faille régionale majeure semble également un élément important.

L'influence principale du filon-couche de Bourbeau se situe au niveau mécanique. Le *filon-couche a réagi comme un horizon compétent situé dans une matrice de roches plus ductiles constituées de filons-couches ultramafiques-mafiques et de sédiments*. De plus, il est probable que la différenciation magmatique subie par le filon-couche a joué un rôle important puisque l'hétérogénéité primaire a probablement favorisé le développement de zones de cisaillement le long de ces discontinuités mécaniques et chimiques ou à angle par rapport à celles-ci. Nos travaux révèlent que l'anisotropie primaire de la résistance d'une telle unité de roche compétente, étant donné le litage primaire qu'elle contient, et l'orientation de cette unité lithologique peut induire une déformation interne différente de la déformation régionale et favoriser ainsi le développement de zones de cisaillement locales incompatibles avec le patron de déformation régional. Ainsi, l'application de guides d'exploration régionaux qui prédisent les patrons de déformation et de veines basés uniquement sur l'orientation des contraintes régionales ne pourra expliquer la distribution complexe des structures minéralisées dans une telle unité de roche anisotrope (Dubé *et al.*, 1989).

L'influence chimique de la roche hôte sur la précipitation de la minéralisation est particulièrement manifeste à la mine Norbeau étant donné l'intime relation spatiale qui existe entre les titanomagnétites primaires altérées en leucoxène-anatase et les cristaux de pyrite et d'arsénopyrite hôtes des grains d'or. Cette relation suggère donc que les roches encaissantes ont joué un rôle important dans la précipitation de la solution hydrothermale en fournissant le fer nécessaire à la déstabilisation du complexe aurifère bisulfuré. À la mine Cooke, l'influence de la composition chimique de la roche hôte sur la précipitation du fluide minéralisé est beaucoup moins évidente.

Loin d'être le fruit du hasard, nous croyons donc que le filon-couche de Bourbeau a joué un rôle important dans la mise en place de la minéralisation aurifère. Il possède une compétence et une composition chimique qui en font une cible aurifère de choix. En effet, sa

composition chimique et sa granulométrie lui confèrent une compétence mécanique qui facilite sa fracturation et le rend particulièrement apte à développer une perméabilité secondaire qui constitue une condition essentielle à l'ascension des fluides hydrothermaux minéralisateurs et représente une caractéristique fondamentale des gisements aurifères du type filonien (Roberts, 1987). De plus, étant donné son contenu élevé en fer, sa composition chimique s'avère particulièrement propice à la formation de minéraux d'altération hydrothermale, tels les carbonates de fer et la pyrite. Ces derniers sont susceptibles de créer un milieu propice à la précipitation de l'or et ils constituent deux des phases minéralogiques les plus typiques des gisements aurifères archéens (Boyle, 1979; Hodgson et MacGeehan, 1983; Roberts, 1987, Colvine et al., 1988).

Comme proposé par Allard (1982), d'après la similitude entre les faciès lithologiques, il existe également beaucoup d'analogies pétrologiques et gîtologiques entre le filon-couche de Bourbeau et le Golden Mile Dolerite Sill de Kalgoorlie en Australie (Phillips, 1986). Il présente également certaines similitudes avec deux autres filons-couches d'âge archéen connus pour leur mine d'or, soit le filon-couche "Defiance dolerite" hôte de la mine d'or Victory en Australie (Clark., 1987) et le filon-couche gabbroïque hôte de la minéralisation aurifère de la mine San Antonio au Manitoba (Poulsen et al., 1986, Ames., 1988). Au Québec, les gisements Croinor (Gaudreau et al., 1988), Louvicourt Goldfield (Sauvé, 1985) et Sigma-2 (Hébert et al., 1988) sont tous situés dans des filons-couches similaires au filon-couche de Bourbeau et présentent certaines analogies avec la minéralisation trouvée à la mine Norbeau. Ces gisements se localisent dans des filons-couches Archéens de composition mafique d'affinité tholéiitique et d'épaisseur très variable. Ces filons-couches contiennent généralement plusieurs faciès pétrologiques suite à la différenciation magmatique "in situ" qu'ils ont subi. Parmi ceux-ci, on note vers le sommet, la présence d'un faciès contenant des intercroissances granophyriques ou des zones de granophyres et ayant généralement subi un certain enrichissement en fer. La minéralisation se localise fréquemment dans ce faciès. Les structures hôtes de la minéralisation sont multiples et présentent fréquemment des patrons complexes, comme c'est le cas notamment dans le Golden Mile (Boulter et al., 1987) et à la mine San Antonio (Lau, 1988). Certaines structures sont subparallèles en direction, et parfois en pendages, à l'attitude du filon-couche, mais plus souvent elles sont nettement discordantes à celui-ci. L'altération est dominée par la carbonatation avec présence de muscovite-séricite et de pyrite accolée à la zone minéralisée lorsqu'il s'agit de veines de

quartz ou dans celle-ci lorsque la minéralisation se présente sous forme de brèche et/ou d'éponte altérée.

Ainsi, le filon-couche de Bourbeau constitue donc une cible aurifère très favorable, en particulier les faciès ferrogabbroïque et ferrodioritique situés au sommet du filon-couche, car ils sont riches en silice et en fer. Cette constatation est particulièrement évidente à la mine Norbeau où, outre la veine Mann, toutes les veines aurifères se trouvent vers le sommet du filon-couche. Toutefois, le leucogabbro n'est pas nécessairement à négliger car ce faciès est l'hôte d'une très grande partie de la minéralisation exploitée à la mine Cooke.

9-RÉFÉRENCES

- ALEKSANDROWSKI , P., 1985.** Graphical determination of principal stress directions for slickenside lineation populations: an attempt to modify Arthaud's method: *Journal of structural geology*, 7. no. 1, 73-82.
- ALLARD, G.O., 1976.** Dore Lake Complex and its importance to Chibougamau geology and metallogeny: Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec., DP-368, 446p.
- ALLARD, G.O., 1982.** Gold potential of the Bourbeau sill in Chibougamau: An analogue of the Golden Mile Dolerite Sill at Kalgoorlie, Australia; Abst., Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, Mars 1982, p. 93.
- ALLARD, G.O., CATY, J.L., CHOWN, E.H., CIMON, J., GOBEIL, A. et BAKER, D.J., 1979.** Stratigraphie et métallogénie de la région de Chibougamau. Association Géologique du Canada - Association Minéralogique du Canada; Excursion B-1, Université Laval, Québec, 95p.
- ALLARD, G.O. et GOBEIL, A., 1984.** General geology of the Chibougamau region: Dans Chibougamau-Stratigraphy and Mineralization. Édité par J. Guha et E.H. Chown , Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, Special volume 34 , 5-19.
- ALLARD, G.O., CATY, J.L., et GOBEIL, A., 1985.** The Archean supracrustal rocks of the Chibougamau area. Dans: Evolution of Archean supracrustal sequences, édité par L.D. Ayres, P.C. Thurston, K.D. Card et W. Weber, Geological Association of Canada, Special paper 28, 55-63.
- AMES, D.E., 1988.** Stratigraphy and alteration of gabbroic rocks near the San Antonio Gold mine in the Rice Lake area, Southeastern Manitoba. Thèse de maîtrise, Université Carleton, Ottawa. 157p.
- ANDERSON, E.M., 1951.** The dynamics of faulting: Olivier and Boyd, Edinburgh, 183p.
- ANGELIER, J., and MECHLER, P., 1977.** Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits: Bulletin de la Société Géologique de France, 7. Sér. 19. 1309-1318.

- APPLEYARD, E.C., et WOOLEY, A.R., 1979.** Fenitization: an example of the problems of characterization mass transfer and volume changes. *Chemical Geology*, **26**. 1-15.
- APPLEYARD, E.C., 1980.** Mass balance computations in metasomatism: metagabbro/nepheline syenite pegmatite interaction in Northern Norway. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **73**. 131-144.
- APPLEYARD, E.C., et WILLIAMS, S.E., 1981.** Metasomatic effects in the Faraday metagabbro, Bancroft, Ontario, Canada. *Tschermaks Mineralogy and Petrology Mitt*, **28**. 81-97.
- APPLEYARD, E.C. et DeBEER, C.J., 1983.** Soma- A package of fortran IV programs for calculating mass exchange in metasomatic and altered rocks. Technical Communication 70, CSIRO.
- ARCH, J., MALTMAN, A. J., and KNIFE, R. J., 1988.** Shear-zone in experimentally deformed clays: the influence of water content, strain rate and primary fabric. *Journal of Structural geology*, **10**, No 1, 91-99.
- ARCHER, P., 1986.** Rapport synthèse sur les travaux géologiques et géochimiques, Projet Barlow. Explorations Noranda Ltée, Rapport Interne. 36p.
- ARTHAUD, F., 1969.** Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissement, d'allongement et intermédiaire d'une population de failles: *Bulletin de la Société géologique de France.*, **7**. Sér. 1. 1309-1318.
- AVRAMTCHEV, L., 1975.** Quart sud-ouest du canton de Barlow. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, DP-120.
- BABCOCK, R.S., 1973.** Computational models of metasomatic processes. *Lithos*, **6**. 279-290.
- BAIN, G.W., 1933.** Wall-rock mineralization along Ontario gold deposits; *Economic geology*, **28**, 705-743.
- BÉLANGER, J., 1979.** Caractérisation pétrochimique et géochimique de la zone cupro-zincifère "8-5" et de ses roches encaissantes, secteur Cooke, mines Opémiska, Chapais, Québec, Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi. 145p.
- 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 Mineralization. Édité par J. Guha et E.H. Chown , Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, Special volume **34**, 271-287.
- BERTHÉ, D., CHOUKROUNE, P., et JEGOUZO, P., 1979.** Orthogneiss, mylonite and non coaxial deformation of granites: the example of the South Armorican Shear-Zone. Journal of structural geology. **1**, 31-42.
- BOISVERT, M., 1984.** Étude lithogéochimique du sill Bourbeau à proximité des zones aurifères minéralisées #7 et #9 de la mine Cooke, Division Opémiska. Rapport Interne. Corporation Falconbridge Copper, Division Opémiska. 103p.
- BOISVERT, M., 1985.** Lithogéochimie du sill Bourbeau, du dyke leucogabbroïque, ainsi que le comportement et distribution des éléments K_2O et Au, Propriété Chiboug-Copper. Rapport interne. Corporation Falconbridge Copper, Division Opémiska. 54p.
- BOISVERT, M. et DROUIN, M., 1985.** Lithogéochimie du Sill Bourbeau aux voisinages de la mine d'or Cooke. Dans: La géochimie d'exploration au Québec. Séminaire d'information 1985. DV 85-11, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. 117-124.
- BOONE, G.M., 1969.** Origin of clouded red feldspars: petrologic contrasts in a granitic porphyry intrusion. American Journal of Science, **267**, 633-668.
- BOTT, M. H. P., 1959** The mechanics of oblique slip faulting: Geological Magazine, **96**. 109-117.
- BOUCHARD, G., 1987.** Environnement géologique de la mine Gwillim, région de Chibougamau, Québec. Mémoire de maîtrise non-publié, Université du Québec à Chicoutimi. 83 p.
- BOUDREAU, A.P., 1977.** Pétrographie et géochimie des laves et des filons-couches mafiques ultramafiques du canton de Richardson, Québec. Mémoire de maîtrise non publié, Université du Québec à Chicoutimi, 117p.
- BOULTER, C.A., FOTIOS, M.G., and PHILLIPS, G.N., 1987,** The Golden mile, Kalgoorlie: a giant gold deposit localized in ductile shear zones by structurally induced infiltration of an auriferous metamorphic fluid: Economic Geology, **82**, 1661-1678.
- BOYLE, R. W., 1979.** The geochemistry of gold and its deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the element), Geological Survey of Canada,

Bulletin 280, 584 p.

BRADLEY, J., 1965. Intrusion of major dolerite sills. Transactions of the Royal Society of the New Zealand geology. **3**, No. 4, 27-55.

BROWN, A., 1970. Fracture analysis in the Opemiska mine area: a study of the fracture pattern associated with a wrench faults in northwestern Quebec. Thèse de doctorat non-publié. Université Queen's. 338p.

BUCHAN, R., 1964. Report on investigations of samples submitted by Opemiska Copper Mines Ltd. Rapport pétrographique interne soumis à la compagnie. 35p.

BUCHAN, R., 1976. Mineralogical examination of gold-bearing samples from Cooke Mine, Opemiska. Falconbridge Nickel Mines Ltée, Metallurgical lab. G.M. 36317. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. 28p.

BUCHANAN, M.J., 1983. Étude pétrographique et géochimique du filon-couche de Bourbeau à partir du trou de forage S-970, Division Opémiska, Chapais. Projet de fin d'étude, B.Sc.A. Université du Québec à Chicoutimi, 81p.

CAMERON, E.M., HATTORI, K., 1987. Archean gold mineralization and oxidized hydrothermal fluids. Economic geology, **82**, 1177-1191.

CAREY, E., 1976. Analyse numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles: calcul d'un tenseur moyen des contraintes à partir de stries de glissement. Thèse de 3^e cycle. Université de paris sud.

CAREY, E., 1979. Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique, **21**, Fasc 1. 57-66.

CHAINEY, D. et PERRAULT, G., 1983. Geochemical characteristics of gold mineralization at the Camflo Mine, Malartic - Val D'Or district, Québec. IREM/MERI Research Contribution Paper 83-6, 34p.

CHARBONNEAU, J.M., 1981. Cantons de Dolomieu (1/2 E) et de Daubrée (1/4 SW): Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec., DP-844, 26p.

CLARK, M. E., 1980. Localization of gold, Mt. Charlotte, Kalgoorlie, Western Australia: Unpub. B. Sc (Honors) thesis, University of Western Australia, Nedlands 128p.

CLARK, M.E., ARCHIBALD, N.J., HODGSON, C.J., 1986. The structural and

- metamorphic setting of the Victory gold mine, Kambalda, Western Australia. Dans: Proceedings of Gold'86, an International Symposium on the Geology of Gold : Toronto, édité par A.J, Macdonald, , 243-254.
- CLARK, M.E., 1987.** The geology of the Victory gold mine. Kambalda, Western Australia. Thèse de doctorat non-publiée. Université Queen's. 199p.
- COBBOLD, P., 1976.** Mechanical effects of anisotropy during large finite deformations. Bulletin de la Société Géologique de France, 6,1497-1510.
- COLVINE, A.C., FYON, J.A, HEATHER, K.B., MARMONT, S., SMITH, P.M., TROOP, D.G., 1988.** Archean lode gold deposits in Ontario. Ontario Geological Survey, Miscellaneous paper 139, 136p.
- COSTA, U.R., BARNETT, R.L., et KERRICH, R.S., 1983.** The Mattagami Lake mine Archean Zn-Cu sulfide deposit, Quebec: hydrothermal coprecipitation of talc and sulfides in a sea-floor brine pool-evidence from geochemistry, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, and mineral chemistry. Economic Geology, 78. 1144-1203.
- COULOMBE, A., 1984.** La mine Cooke, la mine Springer et la mine Perry, Chapais (Corporation Falconbridge Copper, Division Opémiska). Dans: Chibougamau-Stratigraphie et Minéralisation. "Une ceinture Archéenne unique": Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin . Livret Guide pour le Symposium tenu à Chibougamau. 89-93.
- COX, K.G., BELL. J.D., PANKHURST, R.J., 1979.** The interpretation of igneous rocks. George Allen and Unwin, London. 450p.
- COX, S. F. et ETHERIDGE, M.A., 1984.** Deformation microfabric development in chalcopyritic fault zones, Mt. Lyell, Tasmania. Journal of Structural Geology, 6, No 1/2, 167-182.
- CRAIG, J. R., et VAUGHAN, D. J., 1981.** Ore microscopy and ore petrography. Wiley and Sons. 406p.
- CRUGNOLA, M.T., 1984.** Caractérisation pétrographique et géochimique du filon-couche de Bourbeau à partir du trou de forage S-560, Opémiska Chapais. Projet de fin d'études, B.Sc.A., Université du Québec à Chicoutimi, 87p.
- DAIGNEAULT, R. et ALLARD, G., 1984.** Évolution tectonique d'une portion du sillon de

- roches vertes de Chibougamau. Dans Chibougamau-Stratigraphy and Mineralization. Édité par J. Guha et E.H. Chown , Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, Special volume **34**, 212-228.
- DAIGNEAULT, R. et ALLARD, G., 1987.** Les cisaillements E-W et leur importance stratigraphique et métallogénique, région de Chibougamau. Dans: Exploration au Québec: études géoscientifiques récentes. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. DV 87-25. 57-73.
- DAVIES, J.F., GRANT, R.W.E. et WHITEHEAD, R.E.S., 1979.** Immobile trace elements and Archean volcanic stratigraphy in the Timmins mining area, Ontario. Canadian Journal of Earth Sciences., **16**, 305-311.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A., et ZUSSMAN, J., 1962.** Rock forming minerals, vol. 1. Longman's, Green and Co. Ltd., London.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A., et ZUSSMAN, J., 1966.** An introduction to the rock forming minerals., Longman. Ltd., London. 528p.
- DERRY, D.R., AND FOLINSBEE, J.C., 1957.** Opemiska copper mine. Dans: Structural geology of Canadian ore deposits. Congress volume. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, 430-441.
- DIMROTH, E., ROCHELEAU, M., et MUELLER, W., 1984 a.** Paleogeography, isostasy and crustal evolution of the Archean Abitibi Belt: A comparison between the Rouyn-Noranda and Chibougamau-Chapais areas. Dans Chibougamau-Stratigraphy and Mineralization. Édité par J. Guha et E.H. Chown , Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, Special volume **34** , 73-91.
- DIMROTH, E., ARCHAMBAULT, G., GOULET, N., GUHA, J. et MUELLER, W., 1984b.** A mechanical analysis of the late archean Gwillim Lake shear belt, Chibougamau area, Quebec, Canadian Journal of Earth Sciences, **21**, N 8., 963-968.
- DIMROTH, E., ROCHELEAU, M., MUELLER, W., ARCHER, P., BRISSON, H., FORTIN, G., JUTRAS, M., LEFEVRE, C., PICHE, M., PILOTE, P., ET SIMONEAU, P., 1985.** Paleogeographic and paleotectonic response to magmatic processes: a case history from the Archean sequence in the Chibougamau area, Quebec. Geologische Rundschau, **74**, no. 1, 11-32.

- DIMROTH, E., MUELLER, W., DAIGNEAULT, R., BRISSON, H., POITRAS, A., et ROCHELEAU, M., 1986.** Diapirism during regional compression: The structural pattern in the Chibougamau region of the Archean Abitibi Belt, Quebec. *Geologische Rundschau* 75/3. 715-736.
- DION, C., GUHA, J., 1988.** Etude métallogénique de la bande Caopatina-Quévillon: Gîtologie de la mine Joe Mann, région de Chibougamau. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. MB 88-29. 85p.
- DONATH, F. A., 1961.** Experimental study of shear failure in anisotropic rocks. *Geological Society of American Bulletin*, **72**, 985-990.
- DONATH, F.A., 1962.** Role of layering in geological deformation. *Transactions of the New York academy of sciences. ser II*, **24.**, no 3, 236-249.
- DRUMMOND, S.E., 1981.** Boiling and mixing hydrothermal fluids: Chemical effects on mineral precipitation; thèse de doctorat non-publiée, Penn State University., University Park, PA, 379p.
- DRUMMOND, S.E., OHMOTO, H., 1985.** Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems. *Economic geology*, **80**, 126-147.
- DUBÉ, B., 1985.** Géologie, pétrographie et métallogénie d'indices aurifères localisés dans le filon-couche de Bourbeau, centre-nord du canton de Barlow, Chibougamau: Thèse de Maitrise, Université Laval. 191 p.
- DUBÉ, B. et GUHA, J., 1986 a.** Étude métallogénique (aurifère) du filon-couche de Bourbeau, région de Chibougamau. Centre d'Étude sur les Ressources Minérales. Université du Québec à Chicoutimi. Rapport préliminaire MB 86-04 M.E.R. 53p.
- DUBÉ, B. et GUHA, J., 1986 b.** Étude métallogénique (aurifère) du filon-couche de Bourbeau, région de Chibougamau: Étude régionale et gîtologie de la mine Cooke. Centre d'Étude sur les Ressources Minérales. Université du Québec à Chicoutimi. Rapport d'étape MB 86-69 M.E.R. 104p.
- DUBÉ, B. et GUHA, J., 1987.** Étude métallogénique (aurifère) du filon-couche de Bourbeau région de Chibougamau : Les Indices aurifères. Centre d'Étude sur les Ressources Minérales. Université du Québec à Chicoutimi. Rapport préliminaire

- MB 87-03, 33p.
- DUBÉ, B., GUHA, J., et ROCHELEAU, M., 1987.** Alteration patterns related to gold mineralization and their relation to CO₂/H₂O ratios. *Mineralogy and Petrology*, **37**., 267-291.
- DUBÉ, B. et GUHA, J., 1989.** Étude métallogénique (aurifère) du filon-couche de Bourbeau, région de Chibougamau: synthèse finale. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. Mémoire MM 87-03. 156p.
- DUBÉ, B., POULSEN, H., and GUHA, J., 1989.** The effects of layer anisotropy on auriferous shear zones: The Norbeau mine, Québec. *Economic Geology*, **84**, no 4, 871-878.
- DUQUETTE, G., 1970.** Stratigraphie de l'Archéen et relations métallogéniques dans la région de Chibougamau: Ministère Rich. Nat. Qué., Étude spécial 8, 18p.
- DUQUETTE, G., 1976.** North half of McKenzie and Roy townships and northwest quarter of McCorkill township. Ministère de Richesses Naturelles, Québec. DP-357. 126p.
- DUQUETTE, G., 1982.** Demie nord des cantons de McKenzie et de Roy et quart nord-ouest du canton de McCorkill. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DP-837. 72p.
- DUROCHER, M.E., 1983.** The nature of hydrothermal alteration associated with the Mansen and Starratt-Olsen deposit gold deposits, Red Lake Area. Dans: The Geology of gold deposits in Ontario, Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper 110. 123-140.
- DUROCHER, M.E., 1985.** The geology of Opemiska township, Quebec, Canada. Thèse de doctorat non-publiée. University of Georgia, Athens, Georgie. 379p.
- EBY, G.N., 1973.** Scandium geochemistry of the Oka carbonatite complex, Oka, Quebec. *American Mineralogist*, **58**, 819-825.
- EUGSTER, H. P., et SKIPPEN, G.B., 1967.** Igneous and metamorphic reactions involving gas equilibria. Dans: Abelson PH (ed) *Researches in geochemistry*, vol 1. J Wiley and Sons, New York, 492-520.
- FABIANI, W.M.B., 1984.** Archean gold-copper mineralization in the Athens Mine, Mvuma, Zimbabwe. Dans: *Gold'82: The geology, geochemistry and genesis of gold deposits*, édité par R.P. Foster. Geological Society of Zimbabwe, Special publication No. 1. Balkema.

449-468.

FINLOW-BATES, T et STUMPFL, E.F., 1981. The behavior of so-called immobile elements in hydrothermally altered rocks associated with volcanogenic submarine-exhalative ore deposits. *Mineralium Deposita*, **16**, 319-328.

FINUCANE, K. J., 1965. Ore distribution and lode structure in the Kalgoorlie Goldfield: Commonwealth Mining Metall. Cong., 8th, Melbourne, 1965, **1**, 80-86.

FISCHER, N.H., 1945. The fineness of gold with special reference to the Morobe goldfield, New Guinea. *Economic Geology*, **40**, 449-495 et 537-563.

FLINN, D., 1962. On folding during three-dimensional progressive deformation, *Journal of the Geology Society of London*, **118**, 385-433.

FRAREY, M.J., ET KROGH, T.E., 1986. U-PB zircon ages of the late internal plutons of the Abitibi and eastern Wawa subprovinces, Ontario and Quebec. Dans: *Current Research, Part A, Geological Survey of Canada, paper 86-1A*, 43-48.

FYFE, W.S., HENLEY, R.W., 1973. Some thoughts on chemical transport processes with particular reference to gold. *Minerals Science and Engineering*, **5**, 295-303.

FYON, J.A., CROCKET, J.C. et SCHWARCZ, H.P., 1983. Timmins gold deposit types: characteristics and exploration criteria, *Mc Gill short courses January 1981 and January 1983, IREM-MERI*. 66p.

GAGNON, J., 1985. Travaux d'exploration 1984. Propriété Cuvier-2, Canton Cuvier. Les Explorations Nord-Ouest Ltée. Rapport Interne Mine Northgate Inc. 7p.

GARIEPY, C., et ALLEGRE, C.J., 1985. The lead isotope and geochronology of late-kinematic intrusives from the Abitibi greenstone belt, and the implications for late Archean crustal evolution. *Geochimica Cosmochimica Acta*, **49**, 2371-2383.

GAUDREAU, R., ROCHELEAU, M., PERRIER, B., 1988. Géologie du gisement aurifère de Croinor, région de Val d'Or. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. MB 88-15. 43p.

GEISTERFER, P., 1960. Geological report on Norbeau Mines (Quebec) Limited. GM- 10701. 39p.

GIBSON, J.C., STOCKWELL, C.H., 1948. San Antonio Mine : Structural geology of Canadian ore deposits. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, **1**, 315-321.

- GLEN, R.A., 1987.** Copper-and gold-rich deposits in deformed turbidites at Cobar, Australia: their structural control and hydrothermal origin. *Economic Geology*, **82**, 124-140.
- GOBEIL, A., 1973.** Demie sud du canton de Cuvier. Ministère des Richesses Naturelles, Québec; rapport préliminaire, DP-201, 18p.
- GOBEIL, A., et RACICOT, D., 1983.** Carte lithostratigraphique de la région de Chibougamau. Ministère de l'Énergie et des Ressources; M.M. 83-02. 14p.
- GOBEIL, A. et RACICOT, D., 1984.** Chibougamau: Histoire et minéralisations. Dans Chibougamau-Stratigraphy and Mineralization. Édité par J. Guha et E.H. Chown , Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, Special volume **34** , 261-270.
- GOLDING, S.D., et WILSON, A.F., 1983.** Geochemical and stable isotope studies of the No 4. lode, Kalgoorlie, Western Australia. *Economic Geology*, **78**, 438-450.
- GRAHAM, R.B., 1957.** Structure of the Chibougamau area, Quebec. Dans: Structural geology of Canadian ore deposit. congress volume. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, 423-429.
- GRESENS, R.L., 1967.** Composition - volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology*., **2**. 47-65.
- GRIGORYEVA, T.A., et SUKNEVA, L.S., 1981.** Effects on sulphur and of antimony and arsenic sulphides on the solubility of gold. *Geochemistry International*., 152-158.
- GROVES, D.I., PHILLIPS, G.N., HO, S.E., HENDERSON, C.A., CLARK, M.E., WOAD, G.M., 1984.** Controls on distribution of Archean hydrothermal gold deposits in Western Australia. Dans : Gold '82 , édité par R.O. Foster, A.A. Balkema, Rotterdam, 689-712.
- GUSTAFSON, L.B., 1963.** Phase equilibria in the system Cu-Fe-As-S. *Economic geology*, **58**, 667-701.
- GUHA, J., 1984.** Hydrothermal systems and correlation of mineral deposits in the Chibougamau mining district - an overview: Dans Chibougamau-Stratigraphy and Mineralization. Édité par J. Guha et E.H. Chown , Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, Special volume **34** , 517-534.
- GUHA, J., ARCHAMBAULT, G. et LEROY, J., 1983.** A correlation between the evolution of mineralizing fluids and the geomechanical development of a shear zone

- as illustrated by the Henderson 2 mine, Quebec: *Economic Geology.*, **78**, 1605-1618.
- GUHA, J., DUBÉ, B., PILOTE, P., CHOWN, E.H., ARCHAMBAULT, G. and BOUCHARD, G., 1988.** Gold mineralizing patterns in relation to the lithologic and tectonic evolution of the Chibougamau mining district, Québec. Canada. *Mineralium Deposita* **23**, 293-298.
- HARTE, B., GRAHAM, C.M., 1975.** The graphical analysis of greenschist to amphibolite facies mineral assemblages in metabasites. *Journal of Petrology* **16**, part 2, 347-370.
- HEBERT, R., GAUDREAU, R., PERRIER, B., GIGUERE, C., ROCHELEAU, M., LACOSTE, P., 1988.** Le gisement aurifère de Sigma-2, région de Val d'Or. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. MB 88-17. 43 p.
- HEINRICH, E. W., 1956.** *Microscopic identification of minerals.* McGraw - Hill. 414 p.
- HELGESON, H.C., 1969.** Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperature and pressure: *American Journal of Sciences.*, **267**, 729-804.
- HENLEY, R.W., 1971.** Geochemistry and genesis of Precambrian gold deposits. Thèse de Ph.D. Victoria university of Manchester, 177p.
- HENLEY, R.W., 1973.** Solubility of gold in hydrothermal chloride solutions. *Chemical Geology.*, **11**, 73-87.
- HEY, M.H., 1954.** A new review of the chlorites. *Mineralogical Magazine.*, **30**, 277-292.
- HODGSON, C.J., 1989.** The structure of shear-related, vein-type gold deposits : A review. *Ore Geology Reviews*, **4**, 231-273.
- HODGSON, C.J., MacGEEHAN, P.J., 1982.** A review of the geological characteristics of "gold-only" deposits in the Superior Province of the Canadian shield. Dans: *Geology of Canadian Gold deposits*, édité par R.W. Hodder et William Petruk. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 24, 211-232.
- HOLLAND, H.D., 1967.** Gangue minerals in hydrothermal deposits. Dans: H.L. Barnes (ed) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits.* Holt, Rinehart and Winston, Inc New York, 382-436.
- HUGHES, C.J., 1982.** *Igneous Petrology.* Elsevier. 551p.

- HURST, M.E., 1935.** Vein formation at Porcupine, Ontario. *Economic Geology*. **XXX**, no 2, 103-127.
- HYNES, A., 1980.** Carbonatization and mobility of Ti, Y and Zr in Ascot formation metabasalt SE Québec. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **75**, 79-87.
- JENSEN, L.J., 1976.** A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks: Ontario Geological Survey. Miscellaneous paper 66. 22 p.
- 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.
- KERRICH, R.S., 1983.** Geochemistry of gold deposits in the Abitibi greenstone belt. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, special volume 27. 75p.
- KERRICH, R.S., 1988.** Lithophile element systematics of Archean lode gold deposits: II, discriminants of metamorphic vs magmatic processes. Dans: Bicentennial Gold 88, extended abstracts poster programme, vol 2. édité par A.D.T. Goode, E.L. Smyth, W.D. Birch, L.I. Bosma., Geological society of Australia, abstracts series number 23. 604-605.
- KERRICH, R.S., FYFE, W.S., et ALLISON, I., 1977.** Iron reduction around gold-quartz veins, Yellowknife district, Northwest Territories, Canada. *Economic Geology*, **72**, 657-663.
- KERRICH, R.S., FYFE, W.S., GORMAN, B.E. et ALLISON, I., 1977.** Local modifications of rock chemistry by deformation. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **65**, 183-190.
- KERRICH, R.S., ALLISON, I., 1978.** Vein geometry and hydrostatics during Yellowknife mineralisation. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **15**, 1653-1660.
- KERRICH, R.S. , ALLISON, I., BARNETT, R.L., MOSS, S. et STARKEY, J., 1979.** Microstructural and chemical transformations accompanying deformation of granite in a shear zone at Miéville, Switzerland; with implications for stress corrosion cracking and superplastic flow. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **73**. 221-242.
- KERRICH, R.S., et FYFE, W.S., 1981.** The gold-carbonate association: source of CO₂, and CO₂ fixation reactions in Archean lode deposits. *Chemical Geology*, **33**. 265-294.
- KERRICH, R.S. , HODDER, R.W., 1982.** Archean lode gold and base metal deposits :

- chemical evidence for metal separation into independent hydrothermal systems. Dans: *Geology of Canadian Gold deposits*, édité par R.W. Hodder et W. Petruk, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special volume **24.**, 144-160.
- KERRICH, R.S., et WATSON, G.P., 1984.** The Macassa Mine Archean Lode gold deposit, Kirkland Lake, Ontario: Geology, patterns of alteration, and hydrothermal regimes. *Economic Geology*. **79**. 1104-1130.
- KISHIDA, A., KERRICH, R.S., 1987.** Hydrothermal alteration zoning and gold concentration at the Kerr-Addison Archean lode gold deposit, Kirkland Lake, Ontario. *Economic Geology*, **82**, 649-690.
- KNOFF, A., 1929.** The Mother lode system of California; U.S. Geol Surv., Professional paper. **157**, 88p.
- KNUCKEY, M.J., COMBA, C.D.A., et RIVERIN, G., 1982.** Structure, metal zoning and alteration at the Millenbach deposit, Noranda, Quebec. Dans: *Precambrien sulfide deposits* édité par R.W. Hutchinson, C.D. Spence, et J.M. Franklin,. Geological Association of Canada, Special Paper **25**, 255-295.
- KUSMIRSKI, R.T.M. et CROCKET, J.H., 1980.** Metallogeny of the gold deposit in the Dickenson mine, Red Lake, North western Ontario. A preliminary report; Dans: *Current Research part B, Geological Survey of Canada, Paper 80-1B*, 135-144.
- LAJTAI, E.Z., 1969.** Mechanics of second order fault and tension gashes: *Geological Society of American Bulletin.*, **80**, 2253-2272.
- LAU, M. H. S., 1988.** Structural geology of the vein system in the San Antonio gold mine Bissett, Manitoba, Canada. Thèse de maîtrise non-publiée. Université du Manitoba, 154p.
- LAVERGNE, C., 1985.** Gîtes minéraux à tonnage évalué et production minérale du Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources. DV-85-08. 77p.
- LAVOIE, J.S., 1972.** *Geology of Opemiska Mines. Rapport interne. Falconbridge Copper Limited, Division Opemiska.* 24p.
- LISLE, R., 1986.** The sectional strain ellipse during progressive coaxial deformations. *Journal of Structural Geology* , **8**, 809-817.
- LUDDEN, J.N., DAIGNEAULT, R., ROBERT, F., et TAYLOR, R.P., 1984.** Trace

- element mobility in alteration zones associated with Archean Au lode deposits. *Economic Geology*, **79**, 1131-1141.
- LOVE, G., et SCOTT, V.D., 1981.** Updating correction procedures in quantitative electron-probe microanalysis. *Scanning*, **4**, no. 3, 111-130.
- MACDONALD, G.A., et KATSURA, T., 1964.** Chemical composition of Hawaiian lavas. *Journal of Petrology*; **5**, 82-133.
- MALOUF, D., 1984.** La mine Norbeau. Dans: Chibougamau- Stratigraphie et Minéralisation. "Une ceinture Archéenne unique": Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin Livret Guide pour le Symposium tenu à Chibougamau. 180-183.
- MALOUF, S.E., 1981.** Summary report on Norbeau Joint Ventures. McKenzie Twp, Chibougamau, Québec. Corporation copper lode Inc, Rapport Interne.
- MANDL, G., DEJONG, L.H.J. et MALTHA, A., 1977.** Shear zones in granular material: *Rock Mechanics*, **9**, 95-144.
- MASON, J., et WHITE., G., 1986.** Gold occurrences, prospects and deposits of the Beardmore-Geraldton area. Districts of Thunder Bay and Cochrane. Ontario geological survey. Open file report 5630, **1**. 178-185.
- McKINSTRY, H.E., et OHLE, E.L.Jr., 1949.** Ribbon structure in gold-quartz veins. *Economic geology.*, **44**, 87-109.
- McKINSTRY, H.E., 1957.** Source of iron in pyritized wall rocks. *Economic geology*, **52**, 739-754.
- McKINSTRY, H.E., 1963.** Mineral assemblages in sulfide ores: The system Cu-Fe-As-S. *Economic Geology*, **58**, 483-506.
- McMILLAN, R., 1972.** Petrology, geochemistry and wall-rock alteration of an Archean mafic to ultramafic sill complex, the host to copper bearing veins at the Opemiska mine, Quebec. Thèse de doctorat non-publiée, Université Western Ontario, London. 168p.
- MEYER, C., HEMLEY, J.J., 1967.** Wall rock alteration. Dans: *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, édité par H.L. Barnes. 1^{er} édition, Holt Rinehart and Winston, 166-232.
- MINISTERE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES DU QUÉBEC ET MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES DE L'ONTARIO., 1984.** Carte lithostratigraphique de la

- Sous-Province de l'Abitibi. DV 83-16, MAP 2484.
- MOORHOUSE, W.W., 1959.** The study of rocks in thin section. Harper and Row. 514p.
- MORASSE, S., HODGSON, C.J., GUHA, J., COULOMBE, A., 1986.** Preliminary report on the geology of the Lac Shortt gold deposit, Desmaraisville area, Québec, Canada. Dans: Proceedings of Gold'86, an International Symposium on the Geology of Gold : Toronto, édité par A.J. Macdonald, 191-196.
- MYKLEBUST, R. L., FIORI, C. E. et HEINRICH, K. F. J., 1979.** FRAME C : A compact procedure for quantitative energy-dispersive electron probe X-ray analysis. NBS technical note 1106.
- NEALL, F.B., 1987.** Sulphidation of iron-rich rocks as a precipitation mechanism for large Archean gold deposits in Western Australia : thermodynamic confirmation. Dans : Recent advances in understanding Precambrian gold deposits, édité par S.E. Ho et D.I. Groves. Geology department and university extension, University of Western Australia, Publication no 11, 265-269.
- NORMAN, G.W.K., 1940.** Opemiska (east half) map-area; Geological Survey of Canada, Map 401A with descriptive notes.
- NORMAN, G.W.K., 1948.** Major faults, Abitibi region; Structural geology of Canadian ore deposit, 1, Canadian Mining and Metallurgy, 822-839.
- NUNES, J., 1984.** Summary report, 1983 program, Sullivan Mines Inc., Croinor Gold Deposit, Pershing township, rapport interne de compagnie, 37p.
- OZAKI, M., 1970.** The chemical variation of axinite in reference to their modes of occurrence. Journal of Japanese Association of Mineralogist and Petrologist in Economic Geology, 64, 157-172.
- OZAKI, M., 1972.** Chemical composition and occurrence of axinite. Kumamoto Journal of Sciences, Geol., 9. 1-34.
- PARK, C.F., et MAC DIARMID, R.A., 1970.** Ore deposits. Freeman and Co. 522p.
- PEARCE, J.A. et CANN, J.R., 1971.** Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. Earth and Planetary Science Letters; 19, 290-300.
- PHILLIPS, G.N., 1986.** Geology and alteration in the Golden Mile, Kalgoorlie. Economic

- Geology. **81**, 779-808.
- PHILLIPS, G.N., et GROVES, D.I., 1984.** The nature of Archean gold-bearing fluids as deduced from gold deposits of Western Australia. *Journal of the Geological Society of Australia.*, **30**, 25-40.
- PILOTE, P., 1986.** *Stratigraphie et signification des minéralisations dans le secteur du mont Bourbeau, canton de McKenzie, Chibougamau.* Mémoire de maîtrise, U.Q.A.C. 166p.
- PILOTE, P., GUHA, J., DIMROTH, E., TREMBLAY, A. et GOBEIL, A., 1984.**
Stratigraphic positions of mineralized occurrences in the Mount Bourbeau and Lac Berrigan regions and their significance. Dans *Chibougamau-Stratigraphy and Mineralization*. Édité par J. Guha et E.H. Chown, Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, Special volume **34**. 288-299.
- POITRAS, A., 1984.** Caractérisation géochimique du complexe de Cummings, région de Chibougamau-Chapais, Québec. Mémoire de Maîtrise, Université du Québec à Montréal, 159p.
- POULSEN K.H., 1986.** Auriferous shear zones with examples from the Western shield.
Dans: *Gold in the Western Shield*, édité par L. A. Clark et D. R. Francis, Canadian Institute of Mining and Metallurgical, Special volume 38, 86-103.
- POULSEN, K.H., AMES, D.E., LAU, S., and BRISBIN, W.C., 1986.** Preliminary report on the structural setting of gold in the Rice Lake area, Uchi Subprovince, southeastern Manitoba: Current research, part B, Geological Survey of Canada, paper 86-1b, 213-221.
- POULSEN, K.H., et ROBERT, F., 1989.** Shear zones and gold: Practical examples from the Southern Canadian shield. Dans: *Mineralization and shear zones*, édité par J. T. Bursnall. Association Géologique du Canada, Short course notes volume 6. 239-266.
- PRINGLE, I.J., et KAWACHI, Y., 1980.** Axinite mineral group in low-grade regionally metamorphosed rocks in southern New Zealand. *American Mineralogist*, **65**, 1119-1129.
- PROCHNAU, J.F., 1971.** Distribution and mode of occurrence of gold in the Chibougamau district, Quebec. Thèse de maîtrise, Université McGill, Montréal. 134p.

- RAMBERG, H., 1959.** Evolution of pygmatic folding, Norsk. Geologisk Tidsskrift., **39**, 99-151.
- RAMBERG, H., 1960.** Relationships between length of arc and thickness of pygmatically folded veins. Norsk. Geologisk Tidsskrift., **39**, 99-151.
- RAMSAY, J.G., 1967.** Folding and fracturing of rocks: McGraw-Hill, 555p.
- RAMSAY, J.G., 1980a.** Shear zone geometry: a review. Journal of Structural Geology, **2**, No 1/2, 83-99.
- RAMSAY, J.G., 1980b.** The crack-seal mechanism of rock deformation. Nature, **284**, 135-139.
- RAMSAY, J.G., et HUBER, M.I., 1987.** The techniques of modern structural geology. Vol 2: Folds and fractures. Academic Press. 391p.
- READ, J.J., et MEINERT, L.D., 1986.** Gold-bearing quartz vein mineralization at the Big Hurrah mine, Seward Peninsula, Alaska. Economic geology. **81**, 1760-1774.
- RIVERIN, G., et HODGSON, C.J., 1980.** Wall-rock alteration at the Millenbach Cu-Zn Mine, Noranda, Quebec. Economic Geology, **75**, 424-444.
- ROEDDER, E., 1984.** Fluid inclusion evidence on the environments of gold deposition; p. 129-163. Dans : Proceedings of Gold '82: the Geology, Geochemistry, and Genesis of Gold Deposits, édité par R. P. Foster, Geological Society of Zimbabwe, Special Publication 1, 753p.
- ROBERT, F., 1983.** Étude de la mise en place des veines aurifères de la mine Sigma, Val D'or, Québec. Thèse de doctorat, École Polytechnique, Université de Montréal. 269p.
- ROBERT, F., et BROWN, A., 1986.** Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma mine, Abitibi greenstone belt, Quebec: part II. Vein paragenesis and hydrothermal alteration. Economic geology, **81**, 593-616.
- ROBERTS, R.G., 1987.** Ore deposits models #11. Archean lode gold deposits. Geoscience Canada, **14**, no 1, 37-52.
- ROMBERGER, S.B., 1986.** The solution chemistry of gold applied to the origin of hydrothermal deposits. Dans: Gold in the Western Shield , édité par L. A. Clark, et D. R. Francis, Canadian Institute of Mining and Metallurgical, Special volume **38**, 168-186.
- ROSE, A.W., BURT, D.M., 1979.** Hydrothermal alteration. Dans: Geochemistry of

- hydrothermal ore deposits, édité par H.L. Barnes , second edition. John Wiley and sons. 173-235.
- ROSE, W.J., et MORISSON, G.W., 1988.** Classification of gold deposits using the silver content (fineness) of gold. Dans: Bicentennial Gold 88, extended abstracts poster programme, vol 2. édité par A.D.T. Goode, E.L. Smyth, W.D. Birch, L.I. Bosma., Geological society of Australia, abstracts series number 23. 464-468.
- ROSENQVIST, I., TH, 1951.** Investigations in the crystal chemistry of silicates III: The relation haematite-microcline. Norsk Geologisk Tidsskrift. **29**, 65-76.
- SALMON, B., COULOMBE, A. et OUELLET, A.J., 1984.** Structure, mineral distribution and wall-rock alteration of the No. 7 vein, Opemiska Copper Mine: Dans: Chibougamau-Stratigraphy and Mineralization. Édité par J. Guha et E.H. Chown , Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, Special volume **34** . 357-369.
- SANARO, E., GOTTARDI, G., 1968.** Nomenclature and crystal chemistry of axinites. American Mineralogist., **53**, 1407-1411.
- SAUVÉ, P., 1985.** Géologie de la mine d'or Louvicourt Goldfield, région de Val d'Or. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. MB 85-43. 28p.
- SEWARD, T.M., 1973.** Thiocomplexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions; Geochimica Cosmochimica Acta., **37**, 379-399.
- SEWARD, T.M., 1981.** Metal complex formation in aqueous solutions at elevated temperatures and pressures. Dans: Physics and Chemistry of the Earth , édité par F. Wickman et D Rickard, **13-14**. Pergamon Press, Oxford, 113-129.
- SEWARD, T.M., 1988.** The hydrothermal chemistry of gold and its implications for ore formation. Dans: Bicentennial Gold 88, extended abstracts oral programme. Geological Society of Australia, abstracts series number 22.
- SIBSON, R.H., 1977.** Fault rocks and related mechanisms. Journal Geological Society of London. **133**. 191-213.
- SINHA, A.K., HEWITT, D.A., et RIMSTIDT, J.D., 1986.** Fluid interaction and element mobility in the development of ultramylonites. Geology, **14**. 883-886.
- SKINNER, B.J., 1979.** The many origins of hydrothermal mineral deposits. Dans : Geochemistry of hydrothermal ore deposits. Édité par H.L. Barnes. Holt, Rinehart et

- Winston, Inc., New York, 1-21.
- STEINER, A., 1970.** Genesis of hydrothermal K-feldspar (adularia) in a active geothermal environment at Wairakei, New Zealand. *Mineralogical Magazine*, **37**, no 292, 916-922.
- STOCKWELL, C.H., 1964.** Age determinations and geological studies; Geological Survey of Canada, paper 641-17 (part 2).
- STRECKEISEN, A., 1976.** To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews* **12**, 1-33.
- STUDEMEISTER, P.A., 1983.** The redox state of iron: a powerful indicator of hydrothermal alteration. *Geoscience Canada*. **10**, no 4, 189-194.
- STUDEMEISTER, P.A., KERRICH, R., et FYFE, W.S., 1981.** Geochemistry and field relations of lode gold deposits in felsic igneous intrusions-The Gutchet Lake stock. Ontario Geological Survey. Miscellaneous paper 98. 267-292.
- STUDEMEISTER, P.A., et KILIAS, S., 1987.** Alteration pattern and fluid inclusions of gold-bearing quartz veins in an Archean trondhjemite near Wawa, Ontario, Canada. *Economic geology*, **82**, 429-439.
- SUZUKI, M., FUJIWARA, T., 1971.** Gold-bearing axinite-quartz veins in the diabase zone along the western margin of the Hidaka belt, Hokkaido. *Journal of the Japanese association of mineralogists, petrologists and economic geologists*. **65**, no 2. 39-48.
- TCHALENKO, J.S., 1968.** The evolution of kink bands and the development of compression textures textures in sheared clays; *Tectonophysics*, **6**, 159-174.
- THIBOUTOT, H., DUBÉ, B. et ARCHER, 1981.** Rapport géologique: Barlow 1-80. *Explorations Noranda Ltée*. 16 p.
- TRAVIS, G.A., WOODALL, R., BARTRAM, G.D., 1971.** The geology of the Kalgoorlie goldfield. Special Publication geological Society. Australia., **3**, 175-190.
- TREAGUS, S. H., 1983.** A theory of finite strain variation through contrasting layers, and its bearing on cleavage refraction. *Journal of Structural Geology*, **5**, No 3/4, 351-368.
- TREAGUS, S. H., 1988.** Strain refraction in layered systems. *Journal of Structural Geology*, **10**, No 5, 517-527.
- VEILLEUX, C.A., 1984.** Summary report on the Croinor gold project Pershing twp., Québec, rapport interne Les Mines Sullivan, 11p.

- VOKES, F. M., 1969.** A review of the metamorphism of sulphide deposits. *Earth Sciences Review*, **5**, 99 -143.
- WALLACE, R.E., 1951.** Geometry of shearing stress and relation to faulting: *Journal of Geology*, **59**, 118-130.
- WATKINS, D.H., et RIVERIN, G., 1982.** Geology of the Opemiska copper-gold deposits at Chapais, Quebec. Dans: *Precambrian sulfide deposits*. Edité par R.W. Hutchinson, C.D. Spence, et J.M. Franklin. Geological Association of Canada, Special Paper 25, 427-446.
- WHITEWAY, P., 1986.** Tomorrow's gold mines. *The Northern Miner Magazine*, **1**, no 9. 15-17 et 57.
- WINKLER, H. G. F., 1979.** Petrogenesis of metamorphic rocks. Fifth edition. Springer-Verlag 348p.
- WOLHUTER, L.E., 1984.** Géologie des quarts NW, SW et SE du canton de Lévy et du quart SE du canton de Daubrée. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. MB 84-05. 218p.
- WOODALL, R., 1965.** Structure of the Kalgoorlie goldfield: Commonwealth Mining Metall. Cong., 8th, Melbourne, 1965, **1**, 71-79.
- WRIGHT, T. L., 1974.** Presentation and interpretation of chemical data for igneous rocks. *Contributions to mineralogy and petrology*, **48**, 233 - 248.

ANNEXE I :
Composition minéralogique primaire
de roches du filon-couche de Bourbeau
(estimation visuelle)
(Tiré de Dubé et Guha, 1989)

TABLEAU A — Roches ultramafiques

N° d'échantillon	Localisation (canton)	Pyroxène ouralitisé		Olivine (%)	Plagioclase saussuritisé (%)	Oxydes de fer (%)	Quartz (%)	Intercroissances granophyriques (%)	Autres (%)
		ortho. (%)	clino. (%)						
PB-452-85	Roy	5	94	-	1	-	-	-	-
ARE-35-2	Richardson	2	91	-	traces	7	-	-	-
PB-434-85	Cuvier	20	65	-	13	2	-	-	-
BA-79-01-712	Cuvier-Barlow	10	78	-	10	2	-	-	-
BA-79-01-577	Cuvier-Barlow	-	7	80	-	2	-	-	-
BA-79-01-497	Cuvier-Barlow	15	82	-	-	3	-	-	-

TABLEAU B — Leucogabbros

N° d'échantillon	Localisation (canton)	Pyroxène ouralitisé		Plagioclase saussuritisé (%)	Oxydes de fer (%)	Quartz (%)	Intercroissances granophyriques (%)	Autres (%)
		ortho. (%)	clino. (%)					
PB-449-85	Roy	-	25	64	7	4	-	-
PB-450-85	Roy	5	58	35	2	-	-	-
PB-451-85	Roy	1	62	35	2	-	-	-
JRW-41-8	Richardson	-	35	60	2	-	-	-
ARE-35-4	Richardson	-	40	58	2	-	-	-
ARE-35-1	Richardson	-	55	43	2	-	-	-
PB-432-85	Cuvier	5	40	53	1	-	-	-
PB-431-85	Cuvier	15	35	47	1	-	-	-
PB-433-85	Cuvier	10	45	43	2	-	-	-
BA-79-01-1347	Cuvier-Barlow	10	20	65	3	2	-	-
BA-79-01-999	Cuvier-Barlow	5	63	31	1	-	-	-

TABLEAU C — Ferrogabbros à quartz

N° d'échantillon	Localisation (canton)	Pyroxène ouralitisé		Plagioclase calci. sodi.		Titanomagnétite (%)	Quartz (%)	Intercroissances granophyriques (%)	Autres (%)
		ortho. (%)	clino. (%)	calci. (%)	sodi. (%)				
PB-446-85	Roy	-	5	-	73	2	10	10	-
PB-445-85	Roy	-	20	-	65	10	5	-	-
PB-447-85	Roy	-	49	40	-	10	1	-	-
PB-448-85	Roy	-	40	47	-	10	3	-	-
ARE-35-5	Richardson	-	47	-	40	7	5	1	-
PB-440-85	Cuvier	-	35	-	54	8	3	-	-
PB-438-85	Cuvier	-	45	-	44	6	3	2	-
PB-437-85	Cuvier	-	45	-	46	6	3	-	-
BA-79-16-400	Cuvier-Barlow	-	40	54	-	3	3	-	-
BA-79-16-200	Cuvier-Barlow	-	50	40	-	7	2	5	-
BA-79-01-1565	Cuvier-Barlow	-	40	46	-	7	5	2	-

TABLEAU D — Ferrodiorites à quartz—ferrodiorites granophyriques

N° d'échantillon	Localisation (canton)	Pyroxène — (%)	Amphibole (%)	Plagioclase calci. sodi.		Titanomagnétite (%)	Quartz (%)	Intercroissances granophyriques (%)	Autres (%)
				calci. (%)	sodi. (%)				
PB-443-85	Roy	-	-	-	63	12	10	5	10
ARE-35-6	Richardson	35	-	-	43	7	10	5	-
PB-442-85	Cuvier	25	-	-	48	7	15	5	-
PB-441-85	Cuvier	25	-	-	57	7	8	3	-

ANNEXE II :
Technique d'analyse a la microsonde

Analyse à la microsonde

Les analyses à la microsonde électronique ont pour la plupart été réalisées à l'aide d'une microsonde électronique MAC par spectrométrie à énergie dispersive (Kevex 7000) standardisé à l'aide de standards naturels ou synthétiques. Les conditions analytiques et le traitement des données ont été réalisés sur un ordinateur Digital PDP1103-L utilisant le programme EDDI (G. Pringle, C.G.C). Les conditions opérationnelles étaient les suivantes : voltage d'accélération de 20 KV, l'intensité du courant d'échantillon a été calibré à 10 nA sur un standard de kaersutite et le temps d'acquisition des données étaient de 50 secondes.

La précision relative des analyses est de 1 à 2 % de la quantité présente pour les éléments majeurs et de 10 % pour les constituants mineurs. Les analyses ont été corrigées pour le bruit de fond, le chevauchement et les effets de matrice (ZAF). La correction de matrice est une version modifiée de celle donnée par Love et Scott (1981). La correction pour le bruit de fond est tiré de Myklebust et al., (1979).

Les analyses de l'or et de bons nombre des feldspaths potassiques ont été réalisées à l'aide d'une microsonde électronique CAMECA opéré par Moritio Bonardi de la C.G.C. Cette microsonde est équipée de 4 spectromètres à énergie dispersive et est automatisée pour réaliser des analyses de multiéléments et une réduction des données en utilisant le programme ONPAQT sur un ordinateur PDP11/23 PLUS. Les standards utilisés sont des minéraux ou métaux naturels et/ou synthétiques.

Tableau 1: Composition chimique de la hornblende metamorphique observée dans l'échantillon BD-PB-739 739-85 (forage S-588) de la mine Cooke.
Déterminée par analyse à la microsonde.

No analyse	1	2	3	4	5	Moyenne
SiO ₂	47.25%	47.71%	48.31%	48.53%	49.05%	48.17%
Al ₂ O ₃	4.70	4.58	3.80	4.89	4.33	4.46
TiO ₂	0.72	0.61	0.63	0.29	0.45	0.54
Cr ₂ O ₃	0.28	0.31	0.37	0.15	0.17	0.26
Fe ₂ O ₃	7.46	7.42	8.60	9.24	8.22	8.20
FeO	10.88	9.78	9.92	8.16	9.05	9.55
MnO	0.32	0.24	0.32	0.23	0.21	0.26
MgO	13.42	13.86	13.57	14.82	14.99	14.13
CaO	12.65	13.26	13.42	13.36	13.36	13.21
Na ₂ O	0.83	0.85	0.50	0.81	0.93	0.78
K ₂ O	<u>0.27</u>	<u>0.23</u>	<u>0.24</u>	<u>0.10</u>	<u>0.19</u>	<u>0.21</u>
total	98.78	98.85	99.68	100.58	100.95	99.77

Formule sur la base de 23 Oxygènes

Si	6.941	6.971	7.022	6.932	6.992	6.972
Al	<u>0.814</u>	<u>0.789</u>	<u>0.652</u>	<u>0.824</u>	<u>0.727</u>	<u>0.761</u>
	7.755	7.760	7.674	7.756	7.719	7.733
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.079	0.067	0.069	0.031	0.048	0.059
Cr	0.033	0.036	0.042	0.016	0.020	0.029
Fc*	0.825	0.816	0.940	0.993	0.881	0.893
Fe	1.337	1.195	1.206	0.974	1.079	1.156
Mn	0.040	0.030	0.039	0.028	0.025	0.032
Mg	<u>2.939</u>	<u>3.019</u>	<u>2.940</u>	<u>3.155</u>	<u>3.185</u>	<u>3.049</u>
	5.253	5.163	5.236	5.197	5.238	5.218
Ca	1.992	2.077	2.091	2.045	2.041	2.049
Na	<u>0.008</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>
	2.000	2.077	2.091	2.045	2.041	2.049
Na	0.227	0.239	0.140	0.224	0.257	0.219
K	<u>0.051</u>	<u>0.042</u>	<u>0.044</u>	<u>0.019</u>	<u>0.035</u>	<u>0.038</u>
	0.278	0.281	0.184	0.243	0.292	0.257
FMG	0.310	0.280	0.290	0.240	0.250	0.270

* Proportion de Fe₂O₃ calculée

Tableau 2: Composition moyenne des carbonates déterminée par analyse à la microsonde.
Mine Cooke

Numéro déchantillon	PB-20-85	PB-313-85	PB-319-85	PB-744-85
type de carbonate	calcite	calcite	calcite	calcite
Nombre d'analyses	1	1	1	2
MgO	0.00	0.08	0.00	0.00
CaO	56.02	53.85	55.88	53.98
MnO	0.00	0.09	0.09	0.13
FeO	<u>0.03</u>	<u>1.13</u>	<u>0.00</u>	<u>0.11</u>
total	56.05	55.15	55.97	54.22
<u>Formule sur la base de 1 oxygène</u>				
Mg	0.000	0.002	0.000	0.000
Ca	1.000	0.981	0.999	0.996
Mn	0.000	0.001	0.001	0.002
Fe	<u>0.000</u>	<u>0.016</u>	<u>0.000</u>	<u>0.002</u>
total	1.000	1.000	1.000	1.000
<u>% poids end members</u>				
MgCO ₃	0.00	0.17	0.00	0.00
CaCO ₃	100.03	96.15	99.76	96.34
MnCO ₃	0.00	0.11	0.11	0.22
FeCO ₃	0.00	1.82	0.00	0.17
total	100.03	98.24	99.88	96.73
<u>% molaire end members</u>				
MgCO ₃	0.00	0.20	0.00	0.00
CaCO ₃	100.00	98.10	99.90	99.65
MnCO ₃	0.00	0.10	0.10	0.20
FeCO ₃	0.00	1.60	0.00	0.15
total	100.00	99.80	100.00	100.00

Tableau 2 suite: Composition moyenne des carbonates déterminée par analyse à la microsonde. Mine Cooke

Numéro déchantillon	PB-755-85	PB-750-85	PB-751-85
type de carbonate	calcite	calcite	calcite
Nombre d'analyses	1	4	3
MgO	0.00	0.00	0.00
CaO	53.71	54.33	54.71
MnO	0.08	0.13	0.12
FeO	<u>0.11</u>	<u>0.24</u>	<u>0.16</u>
total	53.90	54.70	54.99

Formule sur la base de 1 oxygène

Mg	0.000	0.000	0.000
Ca	0.997	0.995	0.996
Mn	0.001	0.002	0.002
Fe	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	<u>0.002</u>
total	1.000	1.000	1.000

% poids end members

MgCO ₃	0.00	0.00	0.00
CaCO ₃	95.83	97.00	97.65
MnCO ₃	0.11	0.22	0.23
FeCO ₃	0.22	0.34	0.23
total	96.16	97.56	98.10

% molaire end members

MgCO ₃	0.00	0.00	0.00
CaCO ₃	99.70	99.50	99.60
MnCO ₃	0.10	0.20	0.20
FeCO ₃	0.20	0.30	0.20
total	100.00	99.80	100.00

Tableau 3 : Composition moyenne de l'actinote metamorphique dans l'échantillon
BD-PB-550-85, mine Norbeau. Déterminée par analyse à la microsonde.

Nombre d'analyses	79	80	83	Moyenne
SiO ₂	47.62	47.21	48.99	47.94
Al ₂ O ₃	3.97	4.10	4.08	4.05
TiO ₂	0.87	1.15	1.05	1.02
Cr ₂ O ₃	0.06	0.07	0.12	0.08
Fe ₂ O ₃	7.97	6.09	5.56	6.55
FeO	16.73	16.70	19.89	17.76
MnO	0.37	0.24	0.33	0.31
MgO	8.81	9.58	8.38	8.92
CaO	9.80	10.35	10.36	10.17
Na ₂ O	1.65	1.56	1.86	1.69
K ₂ O	<u>0.48</u>	<u>0.58</u>	<u>0.57</u>	<u>0.54</u>
total	98.33	97.63	101.19	99.03

Formule sur la base de 23 Oxygènes

Si	7.183	7.153	7.229	7.189
Al	<u>0.705</u>	<u>0.733</u>	<u>0.710</u>	<u>0.716</u>
	7.888	7.886	7.939	7.905
Al	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.099	0.131	0.116	0.115
Cr	0.007	0.008	0.014	0.010
Fe ⁺³	0.905	0.695	0.617	0.739
Fe ⁺²	2.111	2.116	2.455	2.228
Mn	0.048	0.031	0.041	0.040
Mg	<u>1.981</u>	<u>2.164</u>	<u>1.843</u>	<u>1.994</u>
	5.151	5.145	5.086	5.126
Ca	1.584	1.681	1.637	1.634
Na	<u>0.416</u>	<u>0.319</u>	<u>0.363</u>	<u>0.366</u>
K	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.067	0.140	0.169	0.125
K	<u>0.092</u>	<u>0.113</u>	<u>0.08</u>	<u>0.104</u>
	0.159	0.253	0.277	0.229
Fe/(Fe+Mg)	0.52	0.49	0.57	0.53

Tableau 4 : Composition chimique du stilpnomélane métamorphique présent à la mine Norbeau. Déterminée par analyse à la microsonde.

No d'échantillon	BD-73-86	BD-74-8	BD-155-86	BD-550-85	Moy
Nombre d'analyse	3	3	3	3	
SiO ₂	43.26%	45.76%	63.91%	45.62%	49.64
Al ₂ O ₃	6.89	6.20	3.38	5.58	5.51
TiO ₂	0.32	0.14	0.10	0.09	0.21
Cr ₂ O ₃	0.03	0.04	0.01	0.03	0.16
FeO	30.11	28.52	19.31	29.74	25.77
MnO	0.65	0.62	0.39	0.64	0.55
MgO	5.66	4.71	3.40	5.23	4.80
CaO	0.38	0.33	0.05	0.14	1.71
Na ₂ O	0.20	1.07	0.37	0.10	0.38
K ₂ O	1.81	<u>1.78</u>	<u>1.62</u>	<u>1.62</u>	<u>1.71</u>
total	89.31	89.16	92.54	88.79	

Carbonates et chlorites de certains indices aurifères

Analyse	Type de carbonate
A - Indice Chibougamau Copper (échantillon BD-PB-649-85)	
2A - $(\text{Fe}_{0,001}\text{Mn}_{0,006}\text{Ca}_{0,99})\text{CO}_3$	Calcite
2B - $(\text{Fe}_{0,006}\text{Mn}_{0,006}\text{Ca}_{0,98}\text{Mg}_{0,003})\text{CO}_3$	Calcite
B - Indice Bourbeau west-1 (échantillon MY-PB-26-86)	
1 - $(\text{Fe}_{0,01}\text{Mn}_{0,006}\text{Ca}_{0,97}\text{Mg}_{0,009})\text{CO}_3$	Calcite
2 - $(\text{Fe}_{0,008}\text{Mn}_{0,01}\text{Ca}_{0,97}\text{Mg}_{0,007})\text{CO}_3$	Calcite
C - Bourbeau west-2 (échantillon BD-PB-685-86)	
1A - $(\text{Mn}_{0,004}\text{Ca}_{0,99})\text{CO}_3$	Calcite
1B - CaCO_3	Calcite
2A - $(\text{Fe}_{0,004}\text{Mn}_{0,002}\text{Ca}_1)\text{CO}_3$	Calcite
2B - $(\text{Fe}_{0,003}\text{Mn}_{0,003}\text{Ca}_{0,99}\text{Mg}_{0,008})\text{CO}_3$	Calcite
D - Bourbeau west-2 (échantillon BD-PB-686A-86)	
A - $(\text{Fe}_{0,003}\text{Mn}_{0,01}\text{Ca}_{0,98}\text{Mg}_{0,002})\text{CO}_3$	Calcite
B - $(\text{Fe}_{0,014}\text{Mn}_{0,009}\text{Ca}_{0,97}\text{Mg}_{0,009})\text{CO}_3$	Calcite
E - Bourbeau west-2 (échantillon BD-PB-86-86)	
1 - $\text{Ca}(\text{Fe}_{0,44}\text{Mg}_{0,54}\text{Mn}_{0,012})(\text{CO}_3)_2$	Ankérite
2 - $\text{Ca}(\text{Fe}_{0,34}\text{Mg}_{0,60}\text{Mn}_{0,04})(\text{CO}_3)_2$	Ankérite
F - Du ruisseau Leclerc (échantillon BD-PB-06-86)	
1A - $\text{Ca}(\text{Fe}_{0,44}\text{Mg}_{0,52}\text{Mn}_{0,016})(\text{CO}_3)_2$	Ankérite
1B - $\text{Ca}(\text{Fe}_{0,40}\text{Mg}_{0,60}\text{Mn}_{0,016})(\text{CO}_3)_2$	Ankérite
2A - $\text{Ca}(\text{Fe}_{0,36}\text{Mg}_{0,64}\text{Mn}_{0,02})(\text{CO}_3)_2$	Ankérite

Chlorites de certains indices aurifères

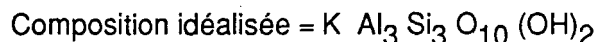
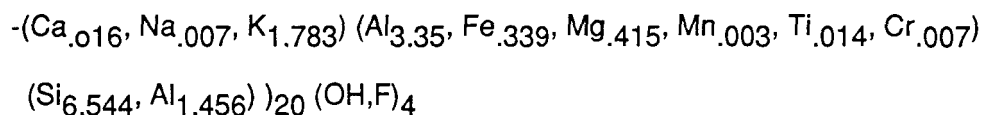
Analyse	Rapport Fe/(Fe+Mg)
A - Indice Chibougamau Copper (échantillon BD-PB-649-86)	
$(\text{SiAl})_4(\text{Fe}_{2,34}\text{Mg}_{2,12}\text{Al}_{1,04}\text{Ti}_{0,003}\text{Mn}_{0,06}\text{Ca}_{0,006})_{5,57}\text{OH}_{9,34}\text{O}_{8,66}$	0,52
B - Indice Bourbeau west-1 (échantillon MY-PB-26-86)	
$(\text{SiAl})_4(\text{Fe}_{2,14}\text{Mg}_{2,17}\text{Al}_{1,33}\text{Ti}_{0,004}\text{Mn}_{0,001}\text{Ca}_{0,012})_{5,68}\text{OH}_{8,78}\text{O}_{9,22}$	0,50
$(\text{SiAl})_4(\text{Fe}_{2,11}\text{Mg}_{2,15}\text{Al}_{1,33}\text{Ti}_{0,033}\text{Mn}_{0,006}\text{Na}_{0,002}\text{Ca}_{0,02})_{5,62}\text{OH}_{9,04}\text{O}_{9,96}$	0,54
C - Indice Bourbeau west-2 (échantillon BD-PB-86-86)	
$(\text{SiAl})_4(\text{Fe}_{2,28}\text{Mg}_{2,06}\text{Al}_{1,45}\text{Ti}_{0,005}\text{Mn}_{0,02}\text{Ca}_{0,02})_{5,84}\text{OH}_{8,38}\text{O}_{9,62}$	0,53

Fuchsite de l'échantillon BD-PB-102-86 de l'indice Bourbeau west-1

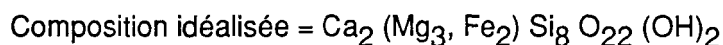
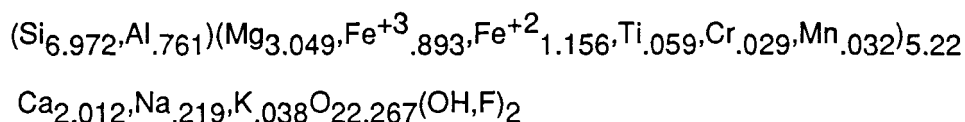
SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	FeO	MgO	Cr ₂ O ₃	Na ₂ O	H ₂ O	Total
(% du poids)								
44,83	34,90	7,52	0,72	0,61	0,18	2,38	8,85	100
$(\text{SiAl})_8(\text{Al}_{2,82}\text{K}_{1,22}\text{Fe}_{0,08}\text{Mg}_{0,15}\text{Cr}_{0,032}\text{Na}_{0,60})\text{OH}_{7,44}\text{O}_{16,56}$								

Tableau 6 : Composition chimique des minéraux telle que déterminée par analyse à la microsonde et composition idéalisée utilisée dans les réactions chimiques. Mine Cooke

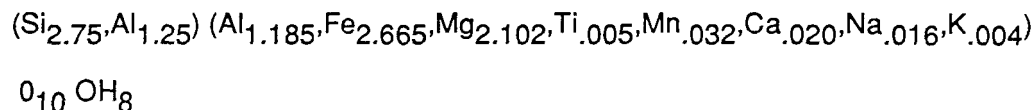
La composition de la séricite telle que déterminée à la microsonde:



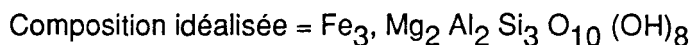
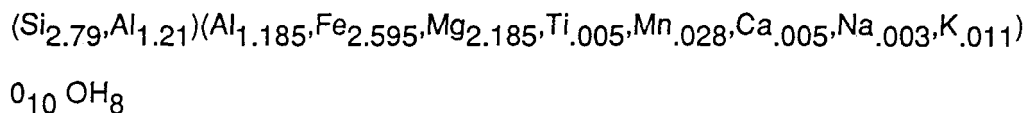
Composition de la hornblende déterminée à la microsonde:



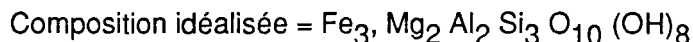
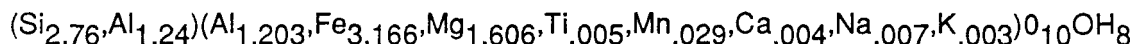
Composition de la chlorite dans la zone à séricite telle que déterminée à la microsonde



Composition de la chlorite dans la zone chlorite-calcite et axinite telle que déterminée à la microsonde:



Composition de la chlorite dans la zone chlorite telle que déterminée à la microsonde:

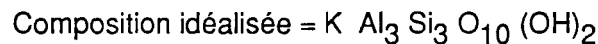
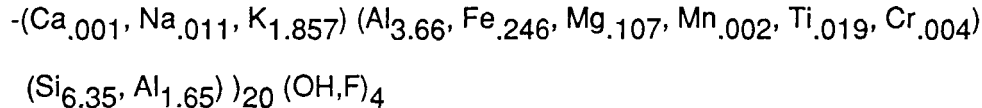


La composition de l'axinite = $(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Fe}^{+2})_3 \text{Al}_2 \text{BO}_3 (\text{Si}_4 \text{O}_{12}) \text{OH}$

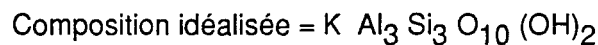
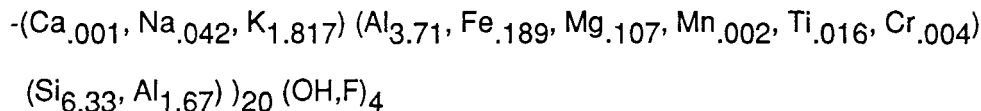
La composition de l'épidote = $\text{Ca}_2 \text{Al}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{12} (\text{OH})$

Tableau 6 (suite) : Composition chimique des minéraux telle que déterminée par analyse à la microsonde et composition idéalisée utilisée dans les réactions chimiques.
Mine Norbeau.

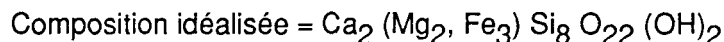
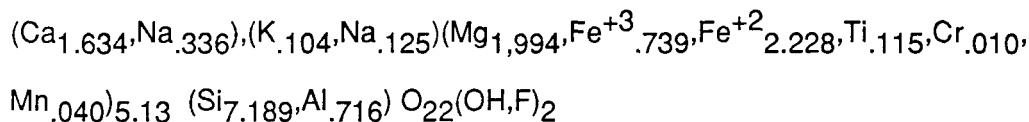
La composition de la séricite dans la zone à séricite/ankérite/calcite/pyrite telle que déterminée à la microsonde (tableau 19):



La composition de la séricite dans la zone à séricite/ankérite/calcite/chlorite telle que déterminée à la microsonde (tableau 18):



Composition de l'actinote déterminée à la microsonde (tableau):



Composition de la chlorite dans la zone non-altérée telle que déterminée à la microsonde (tableau 16) :

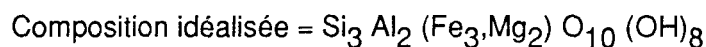
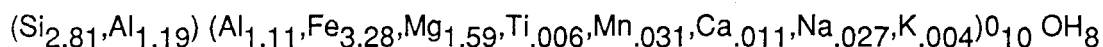
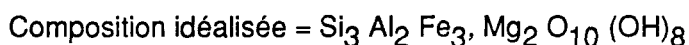
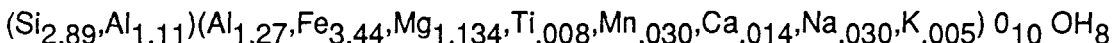
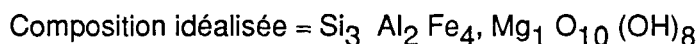
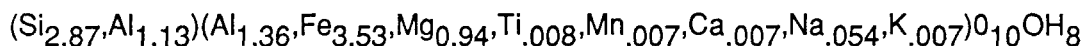


Tableau 6 (suite)

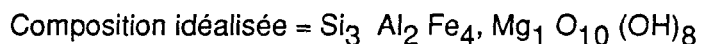
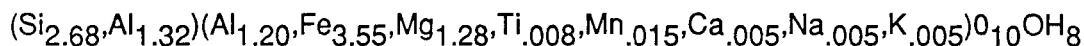
Composition de la chlorite dans la zone chlorite-calcite telle que déterminée à la microsonde (tableau 16):



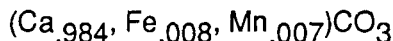
Composition de la chlorite dans la zone à séricite-ankérite-calcite-chlorite telle que déterminée à la microsonde (tableau 16) :



Composition de la chlorite dans la zone à séricite-ankérite-calcite-pyrite telle que déterminée par analyse à la microsonde (tableau 16) :



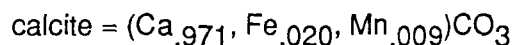
Composition chimique moyenne de la calcite présente dans la zone à chlorite-calcite



Composition chimique moyenne de la calcite et de l'ankérite présentes dans la zone à séricite-ankérite-calcite-chlorite



Composition chimique moyenne de la calcite et de l'ankérite présentes dans la zone à séricite-ankérite-calcite-pyrite



ANNEXE III :
Carte de localisation des échantillons,
des sections et des forages étudiés
a la mine Norbeau
(Tiré de Dubé et Guha, 1989)

**LOCALISATION DES ÉCHANTILLONS, COUPES
ET FORAGES UTILISÉS (MINE NORBEAU)**



Lac Bourbeau

BD-PB-130-86

BD-PB-123-86

• MY-PB-153-86

• BD-PB-495-85

MY-PB-152-86

MY-PB-151-86

BD-PB-176-86

**COUPE
NEW VEIN**

N-81-11

BD-PB-10-86

**COUPE SHARPE
SH-8-85**

• BD-PB-21-86

BD-PB-571-85

• BD-PB-560-85

• BD-PB-562-85

BD-PB-563-85

• BD-PB-131-86

MY-PB-130-86

• BD-PB-19-86

MY-PB-123-86

MY-PB-127-86

BD-PB-25-86

COUPE MANN

BD-PB-688-86

MY-PB-149-86

MY-PB-43-86

MY-PB-147-86

MY-PB-44-86

MY-PB-45-86

MY-PB-145-86

Lac Allen

0 100 200 300
Metres

Annexe IV:
Résultats d'analyse des roches de la région étudiée
(Tiré de Dubé et Guha, 1989)

Dans les pages qui suivent, nous présentons les résultats d'analyse des roches de la région étudiée. Les techniques d'analyse sont signalées dans les tableaux qui suivent. Tous les échantillons dont les numéros se terminent par 85, comme par exemple BD-PB-1-85, ont été analysés par le laboratoire Bondar-Clegg d'Ottawa. Quant à toutes les analyses des échantillons qui se terminent par 86, elles ont été données à contrat chez Nuclear Activation Services Ltd (NAS) de Hamilton, Ontario. La majorité des éléments traces y furent analysés. Les éléments majeurs et les autres traces (Ba, Nb, Rb, Sr, Y et Zr) furent analysés au laboratoire X-Ray Assay Laboratories Ltd de Don Mills, Ontario. Il est à noter que tous les échantillons ont été broyés à l'aide d'un broyeur à agate, éliminant ainsi la possibilité de contamination.

Tableau 1 : Techniques d'analyse utilisées par Bondar-Clegg

Constituant	Limite de détection	Techniques d'analyse
SiO ₂	0,01%	D.C. Plasma
TiO ₂	0.01%	D.C. Plasma
Al ₂ O ₃	0,01%	D.C. Plasma
Fe ₂ O ₃	0,01%	D.C. Plasma
MnO	0,01%	D.C. Plasma
MgO	0,01%	D.C. Plasma
CaO	0,01%	D.C. Plasma
Na ₂ O	0,01%	D.C. Plasma
K ₂ O	0,01%	D.C. Plasma
P ₂ O ₅	0,01%	D.C. Plasma
PAF(perte au feu)	0,01%	Gravimétrie
Somme	0,01%	
FeO (fer ferreux)	0,01%	Titramétrie
CO ₂	0,01%	Gravimétrie
H ₂ O	0,01%	Gravimétrie
S (soufre)	0,01%	Gravimétrie
V (Vanadium)	1 ppm	D.C. Plasma
Cr (chrome)	1 ppm	D.C. Plasma
Mn (manganèse)	1 ppm	D.C. Plasma
Fe (fer)	0.1%	D.C. Plasma
Co (cobalt)	1 ppm	D.C. Plasma
Ni (nickel)	1 ppm	D.C. Plasma
Cu (cuivre)	1 ppm	D.C. Plasma
Zn (Zinc)	1 ppm	D.C. Plasma
As (arsenic)	5 ppm	D.C. Plasma
Se (sélénium)	5 ppm	D.C. Plasma
Mo (molybdène)	1 ppm	D.C. Plasma
Ag (argent)	0,5 ppm	D.C. Plasma
Cd (cadmium)	1 ppm	D.C. Plasma
Sn (étain)	10 ppm	D.C. Plasma
Sb (antimoine)	5 ppm	D.C. Plasma
Te (tellurium)	10 ppm	D.C. Plasma
W (tungstène)	10 ppm	D.C. Plasma
Pb (plomb)	5 ppm	D.C. Plasma
Bi (bismuth)	2 ppm	D.C. Plasma
U (uranium)	10 ppm	D.C. Plasma
Zr (zirconium)	1 ppm	Fluorescence-X
Rb (rubidium)	1 ppm	Fluorescence-X

Tableau 1 (suite) : Techniques d'analyse utilisées par Bondar-Clegg

Constituant	Limite de détection	Techniques d'analyse
Sr (strontium)	1 ppm	Fluorescence-X
Ti (titanium)	0,01 %	Fluorescence-X
Y (yttrium)	1 ppm	Fluorescence-X
Au (or)	1 ppb	fire assay et Activation neutronique

Tableau 2: Techniques d'analyse utilisées par N.A.S. et X-Ray Lab.

Constituant	Limite de détection	Technique d'analyse
SiO ₂	0,01%	Fluorescence-X
TiO ₂	0.01%	Fluorescence-X
Al ₂ O ₃	0,01%	Fluorescence-X
Fe ₂ O ₃	0,01%	Fluorescence-X
MnO	0,02%	D.C.Plasma
MgO	0,01%	Fluorescence-X
CaO	0,01%	Fluorescence-X
Na ₂ O	0,01%	Fluorescence-X
K ₂ O	0,01%	Fluorescence-X
P ₂ O ₅	0,01%	Fluorescence-X
PAF(perte au feu)	0,50%	Fluorescence-X
Somme	0,10%	
FeO (fer ferreux)	0,01%	Wet
CO ₂	0,01%	Wet
H ₂ O	0,01%	Wet
S (soufre)	0,01%	Wet
V (Vanadium)	10 ppm	D.C.Plasma
Cr (chrome)	2 ppm	Activation neutronique
Co (cobalt)	1 ppm	Activation neutronique
Ni (nickel)	1 ppm	D.C.Plasma
Cu (cuivre)	0,5 ppm	D.C.Plasma
Zn (Zinc)	0,5 ppm	D.C.Plasma
As (arsenic)	2 ppm	Activation neutronique
Se (sélénium)	3 ppm	Activation neutronique
Mo (molybdène)	5 ppm	Activation neutronique
Ag (argent)	0,5 ppm	D.C.Plasma
Cd (cadmium)	0,2 ppm	D.C. Plasma
Sb (antimoine)	0,2 ppm	Activation neutronique
W (tungstène)	3 ppm	Activation neutronique
Pb (plomb)	2 ppm	D.C. Plasma
Bi (Bismuth)	0,5 ppm	D.C. Plasma
U (uranium)	0,5 ppm	D.C. Plasma
Zr (zirconium)	20 ppm	Fluorescence-X
Rb (rubidium)	20 ppm	Fluorescence-X
Sr (strontium)	20 ppm	Fluorescence-X
Y (yttrium)	20 ppm	Fluorescence-X
Au (or)	1 ppb	fire assay et Activation neutronique

Tableau 2 (suite): Techniques d'analyse utilisées par N.A.S. et X-Ray Lab.

Constituant	Limite de détection	Technique d'analyse
Ge (germanium)	10 ppm	D.C. Plasma
Hf (hafnium)	1 ppm	Activation neutronique
La (Lanthanium)	0,5 ppm	Activation neutronique
Ce (cerium)	3 ppm	Activation neutronique
Sc (scandium)	0,05 ppm	Activation neutronique
Nd (neodymium)	5 ppm	Activation neutronique
Sm(samarium)	0,10 ppm	Activation neutronique
Eu(europium)	0,20 ppm	Activation neutronique
Yb(ytterbium)	0,20 ppm	Activation neutronique
Lu (lutetium)	0,05 ppm	Activation neutronique
B (bore)	0,5 ppm	Activation neutronique

TABLEAU III — Analyse du standard SY-3 de la Commission géologique du Canada par N.A.S. et par X Ray Lab.

	SY-3*	BD-PB-926-86**	BD-PB-700-86**
Éléments majeurs (% du poids)			
SiO ₂	59,68	58,4	59,4
Al ₂ O ₃	11,80	11,5	11,7
TiO ₂	0,15	0,15	0,16
Fer total	6,20	6,20	6,36
FeO	-	-	-
MnO	0,32	0,32	0,33
MgO	2,67	2,64	2,68
CaO	8,26	8,07	8,27
Na ₂ O	4,15	4,09	3,78
K ₂ O	4,20	4,41	4,35
P ₂ O ₅	0,54	0,51	0,51
CO ₂	0,38	0,38	0,39
H ₂ O ⁺	0,42	0,30	0,50
S	0,005	0,00	0,00
F	0,66	-	-
Autres	1,18 ?	-	-
Perte au feu	-	1,47	1,3
Total	100,48 ?	98,0	99,1
Éléments traces métalliques (ppm)			
Cu	16	15	26
Zn	240	320	290
As	20	12	13
Mo	2,5 ?	-	1300
Ag	-	<0,5	<0,5
Pb	130	120	110
Au (ppb)	-	1	<1
Éléments traces (ppm)			
B	110	130	130
Ba	430	470	440
Be	22	20	20
Bi	-	<0,5	<0,5
Br	-	<5	<1
Cd	-	<0,2	<0,2
Co	12	9	25
Cr	10	20	20
Cs	2,5 ?	12,6	<0,5
Fe	-	10	10
Hf	9 ?	13	9
Li	92	80	80
Nb	130	70	80
Ni	11	13	12
Rb	208	270	280
Sb	0,3	<1,0	2,7
Sc	7 ?	6,6	9,5
Se	-	<4	<50
Sr	306	310	310
Ta	-	25	<1
Th	990	1000	1100
U	650	690	876
V	51	60	60
W	-	<10	<21
Y	740	710	720
Zr	320	360	360
Terres rares (ppm)			
La	1350	1400	1850
Ce	2200	2300	2680
Nd	800 ?	680	753
Sm	100 ?	92,0	152
Eu	14 ?	14,0	21,8
Yb	65	58,0	74,7
Lu	8 ?	8,90	17,0

* Commission géologique du Canada

** N.A.S. et X-Ray Lab.

TABLEAU IV — Analyse du standard JC-84-3

	JC-84-3*	JC-84-3**	JC-84-3**	JC-84-3**	JC-84-3*
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	46,9	46,70	48,30	48,50	47,6
Al ₂ O ₃	16,3	15,90	16,10	15,80	16,8
TiO ₂	1,14	1,08	1,18	1,08	1,15
Fer total	10,1	9,68	10,20	9,68	10,4
FeO	5,8	5,06	5,47	5,87	-
MnO	0,18	0,17	0,18	0,17	0,18
MgO	8,23	7,98	8,59	7,89	8,07
CaO	8,40	8,86	8,58	7,91	8,58
Na ₂ O	3,11	3,15	3,27	3,00	2,77
K ₂ O	1,08	0,96	1,00	0,97	1,03
P ₂ O ₅	0,31	0,31	0,24	0,38	0,31
Perte au feu	3,39	3,25	2,70	2,10	3,16
Total	99,3	98,04	100,34	97,48	100,05
CO ₂	0,21	0,32	0,38	0,57	0,22
H ₂ O ⁺	2,0	0,5	0,20	0,10	2,8
S	0,00	0,07	0,08	<0,01	0,00
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	14	29	13	12	-
Zn	110	111	103	92	-
As	<2	<5	<5	<5	-
Mo	<5	1	2	<1	-
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-
Pb	<2	44	36	19	-
Au (ppb)	<1	13	4	3	-
Éléments traces					
B	38	-	-	-	-
Ba	230	-	-	-	190
Be	<10	-	-	-	-
Bi	<0,5	<2	<2	<2	-
Br	<1	-	-	-	-
Cd	<0,2	<1	<1	<1	-
Co	20	25	22	20	-
Cr	210	231	250	219	200
Cs	2,9	-	-	-	-
Ge	<10	-	-	-	-
Hf	1	-	-	-	-
Li	10	-	-	-	-
Nb	30	-	-	-	-
Ni	200	217	188	178	-
Rb	50	23	24	27	40
Sb	<0,2	36	<5	<5	-
Sc	26,8	-	-	-	-
Se	<3	<5	<5	<5	-
Sr	390	333	355	337	400
Ta	<1	-	-	-	-
Th	0,9	-	-	-	-
U	<0,5	<10	<10	<10	-
V	240	248	206	210	-
W	<3	<10	<10	<10	-
Y	10	18	17	13	10
Zr	40	76	61	69	50
Sn	-	<10	<10	<10	-
Te	-	<10	<10	<10	-
Terres rares (ppm)					
La	19,0	-	-	-	-
Ce	41	-	-	-	-
Nd	21	-	-	-	-
Sm	4,1	-	-	-	-
Eu	1,5	-	-	-	-
Yb	0,9	-	-	-	-
Lu	0,19	-	-	-	-
Ti (% du poids)	-	0,70	0,69	0,69	-
Fe (% du poids)	-	6,8	6,0	6,1	-

* N.A.S. et X-Ray Lab.

** Bondar-Clegg

TABLEAU A-1 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces. forage S-589 à la mine Cooke

	BD-PB-14-85* Pyroxenite**	BD-PB-29-85 Leucogabbro	BD-PB-57-85 Leucogabbro	BD-PB-80-85 Leucogabbro	BD-PB-87-85 Ferrogabbro à quartz 440,4 m	BD-PB-103-85 Ferrogabbro à quartz 470,3 m
	240,5 m***	294,0 m	357,5 m	416,2 m		
Éléments majeurs (% du poids)						
SiO ₂	43,0	49,60	50,20	51,30	52,80	50,30
Al ₂ O ₃	7,58	14,70	15,70	15,80	15,20	13,40
TiO ₂	0,78	0,63	0,66	0,95	1,79	0,71
Fer total	15,70	11,80	11,80	12,40	10,40	10,60
FeO	12,10	8,44	8,31	8,58	7,21	10,29
MnO	0,29	0,23	0,23	0,28	0,30	0,23
MgO	16,70	8,59	7,90	6,36	5,14	7,81
CaO	8,80	8,85	10,20	8,92	6,67	10,30
Na ₂ O	0,38	2,89	2,36	3,66	4,49	3,10
K ₂ O	0,12	0,69	1,17	0,82	1,09	0,44
P ₂ O ₅	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	<0,01
Perte au feu	4,60	1,40	1,20	0,85	0,95	0,35
Total	98,02	99,37	101,43	101,34	98,93	97,24
CO ₂	1,98	0,50	0,52	0,34	0,28	0,18
H ₂ O ⁺	0,15	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15
S	0,16	0,07	0,01	0,07	<0,01	<0,01
Fe	11,0	7,4	8,3	7,6	7,3	7,4
Ti	0,40	0,43	0,40	0,59	0,92	1,27
Éléments traces (ppm)						
V	169	171	213	376	269	532
Cr	1823	747	354	32	69	31
Mn	2837	1854	2098	2541	2381	2270
Co	99	46	47	43	47	53
Ni	616	178	128	55	78	44
Se	<5	<5	<5	7	<5	<5
Cd	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sn	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sb	14	15	20	10	7	12
Te	<10	<10	<10	<10	<10	<10
W	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<2	<2	<2	<2	<2	<2
U	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	5	22	42	18	38	15
Sr	22	164	144	198	243	211
Zr	47	39	33	52	103	105
Y	20	17	19	26	32	53
B	15,0	15,0	27,0	20,0	47,0	44,0
Sc	-	41,5	45,0	49,3	-	-
Hf	-	1,3	0,9	1,3	-	-
Cu	<1	<1	<1	10	199	5
Zn	111	82	107	92	133	138
As	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	5	3	5	3	3	5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	37	21	24	18	18	25
Au (ppb)	55	33	16	14	9	9

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU A-2 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces. forage S-588 à la mine Cooke

	BD-PB-736-85* Leucogabbro**	BD-PB-739-85 Leucogabbro	BD-PB-741-85 Leucogabbro	BD-PB-743-85 Veine de quartz	BD-PB-744-85 Leucogabbro
	112.9 m***	117,2 m	119.2 m	120.1 m	120,9 m
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	48,10	48,70	40,10	62,70	40,30
Al ₂ O ₃	13,60	14,20	17,30	7,89	16,40
TiO ₂	0,67	0,56	0,77	0,16	0,77
Fer total	10,70	10,70	15,40	15,50	20,80
FeO	N.D.	8,56	13,09	9,53	18,85
MnO	0,20	0,20	0,19	0,10	0,22
MgO	9,04	7,76	9,37	4,30	8,44
CaO	11,20	9,58	6,54	1,52	2,22
Na ₂ O	2,10	3,13	3,67	0,55	1,73
K ₂ O	0,32	0,48	0,25	0,21	0,64
P ₂ O ₅	0,22	0,27	0,31	0,07	0,06
Perte au feu	2,00	1,90	4,50	4,45	5,90
Total	98,15	97,49	98,40	97,45	99,48
CO ₂	1,64	1,62	4,20	1,28	1,42
H ₂ O ⁻	0,15	<0,05	0,05	0,10	<0,05
S	0,06	0,06	0,03	2,29	0,05
Fe	6,5	7,6	9,2	11,6	14,9
Ti	0,39	0,34	0,49	0,10	0,51
Éléments traces (ppm)					
V	191	158	196	66	181
Cr	749	844	890	92	639
Mn	2207	2257	1944	1081	2563
Co	54	53	59	920	73
Ni	167	170	193	120	134
Se	<5	<5	<5	14	<5
Cd	<1	<1	<1	<1	<1
Sn	<10	<10	<10	42	<10
Sb	<5	<5	<5	<5	<5
Te	<10	<10	<10	<10	<10
W	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<2	<2	<2	19	<2
U	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	8	17	10	8	21
Sr	158	152	34	12	15
Zr	30	35	45	26	34
Y	18	23	24	7	11
B	N.D.	19,0	9,9	5,1	N.D.
Sc	-	41,8	51,7	-	43,6
Hf	-	0,6	1,4	-	-
Cu	43	31	10	6680	73
Zn	122	116	104	156	131
As	15	18	17	<2000	206
Mo	4	2	2	135	5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	4,6	<0,5
Pb	54	58	75	113	87
Au (ppb)	4	4	8	4560	45

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU A-2 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, forage S-588 à la mine Cooke (suite)

	BD-PB-745-85* Leucogabbro**	BD-PB-746-86 Veine minéralisée	BD-PB-747-86 Leucogabbro	BD-PB-748-86 Veine minéralisée	BD-PB-749-86 Leucogabbro
	122,2 m***	123,0 m	123,7 m	124,6 m	125,4 m
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	45,10	33,50	35,20	36,60	36,20
Al ₂ O ₃	14,80	4,66	15,90	7,21	17,30
TiO ₂	0,64	0,14	0,67	0,33	0,87
Fer total	19,50	33,43	33,90	32,40	27,70
FeO	16,49	13,27	N.D.	20,71	21,38
MnO	0,18	0,06	0,29	0,11	0,26
MgO	7,95	2,16	8,18	3,29	6,76
CaO	2,34	2,08	0,88	3,20	1,90
Na ₂ O	2,10	0,15	0,04	0,34	0,33
K ₂ O	0,23	0,07	0,08	0,11	0,99
P ₂ O ₅	0,22	0,35	0,03	0,12	0,12
Perte au feu	4,30	8,25	6,35	7,10	5,65
Total	97,36	84,85	101,53	90,81	98,08
CO ₂	1,64	1,48	0,51	2,84	1,82
H ₂ O ⁺	0,05	0,10	0,15	0,20	0,05
S	0,03	15,66	0,06	N.D.	10,20
Fe	12,3	22,1	20,7	22,3	17,4
Ti	0,47	0,08	0,29	0,16	0,40
Éléments traces (ppm)					
V	183	98	223	113	223
Cr	593	81	456	152	600
Mn	2369	600	3475	1025	3544
Co	72	2940	80	8210	166
Ni	123	260	66	494	107
Se	15	25	<5	<5	<5
Cd	<1	2	<1	<1	<1
Sn	<10	<10	<10	<10	<10
Sb	15	15	<5	11	6
Te	<10	27	25	26	18
W	<10	<10	12	<10	12
Bi	<2	92	16	43	7
U	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	6	3	<1	3	36
Sr	16	4	12	14	11
Zr	33	<1	28	15	39
Y	10	5	11	8	14
B	8,1	7,9	N.D.	6,4	17,0
Sc	40,4	-	49,7	-	40,0
Hf	0,8	-	-	-	1,1
Cu	44	>20000	1410	13300	329
Zn	121	1312	217	220	173
As	197	>200	339	>2000	825
Mo	4	225	6	6	4
Ag	0,5	>100	2,0	14,8	1,2
Pb	72	68	115	96	93
Au (ppb)	59	16700	355	8930	122

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU A-2 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, forage S-588 à la mine Cooke (suite)

	BD-PB-750-85* Leucogabbro**	BD-PB-751-85 Leucogabbro	BD-PB-755-85 Leucogabbro	BD-PB-756-85 Leucogabbro	BD-PB-757-85 Leucogabbro
	126,6 m***	128,1 m	131,4 m	132,6 m	134,4 m
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	42,50	43,10	50,00	48,50	47,80
Al ₂ O ₃	15,90	16,50	12,80	14,70	16,00
TiO ₂	0,85	0,83	0,73	0,62	0,62
Fer total	13,90	10,20	12,30	11,40	10,90
FeO	10,48	7,81	9,15	8,04	11,09
MnO	0,19	0,17	0,28	0,27	0,26
MgO	5,34	4,87	9,22	8,22	8,41
CaO	7,94	8,42	7,45	8,27	8,92
Na ₂ O	3,25	2,59	3,46	2,34	2,39
K ₂ O	1,00	2,28	0,95	1,37	0,87
P ₂ O ₅	0,19	0,21	0,20	0,32	0,12
Perte au feu	7,00	8,05	2,65	2,90	1,55
Total	98,05	97,21	100,05	98,91	97,84
CO ₂	6,54	5,46	0,82	0,86	0,58
H ₂ O ⁺	0,10	0,10	0,20	0,15	0,20
S	0,30	0,11	0,07	0,08	0,08
Fe	6,9	6,4	7,5	7,1	6,6
Ti	0,39	0,38	0,37	0,37	0,41
Éléments traces (ppm)					
V	215	225	196	178	165
Cr	525	461	650	674	530
Mn	1860	1602	2611	2693	2187
Co	92	48	60	55	46
Ni	143	107	159	160	147
Se	<5	<5	<5	<5	<5
Cd	<1	<1	<1	<1	<1
Sn	<10	<10	<10	<10	<10
Sb	<5	<5	8	<5	<5
Te	<10	<10	<10	<10	<10
W	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<2	<2	<2	<2	<2
U	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	48	122	29	54	33
Sr	44	39	115	136	149
Zr	43	45	36	32	39
Y	21	18	24	19	19
B	19,0	44,0	13,0	20,0	15,0
Sc	46,0	47,4	41,1	40,6	42,2
Hf	1,3	1,8	1,0	0,7	1,3
Cu	195	101	156	81	89
Zn	86	91	132	119	117
As	242	99	59	36	12
Mo	2	1	3	3	<1
Ag	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	51	38	42	41	20
Au (ppb)	57	21	28	16	83

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU A-3 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, forage U-9399 à la mine Cooke

	BD-PB-276-85* Leucogabbro**	BD-PB-280-85 Porphyre feldspathique	BD-PB-282-85 Leucogabbro	BD-PB-283-85 Veine de plagioclase	BD-PB-285-85 Leucogabbro	BD-PB-286-85 Porphyre feldspathique
	80,3 m***	82,4 m	83,5 m	84,0 m	85,0 m	85,7 m
Éléments majeurs (% du poids)						
SiO ₂	49,60	52,80	47,70	45,10	46,60	48,20
Al ₂ O ₃	13,20	13,00	16,00	16,10	18,50	16,80
TiO ₂	0,60	0,68	0,68	0,31	0,86	0,73
Fer total	12,10	11,20	11,20	11,90	15,30	12,40
FeO	8,88	8,23	8,03	N.D.	11,68	9,12
MnO	0,25	0,22	0,19	0,36	0,21	0,17
MgO	7,75	8,48	8,41	5,66	7,15	6,40
CaO	7,90	6,55	8,59	8,09	2,14	4,82
Na ₂ O	2,93	3,95	2,36	3,98	3,43	3,69
K ₂ O	1,36	1,14	1,95	0,98	3,47	1,83
P ₂ O ₅	0,07	0,04	0,18	0,04	0,23	0,23
Perte au feu	2,60	1,80	3,00	5,85	4,10	3,25
Total	98,36	99,96	100,27	98,37	101,98	98,51
CO ₂	1,43	0,54	0,32	N.D.	0,30	0,34
H ₂ O ⁻	0,40	<0,05	<0,05	0,05	0,05	0,10
S	0,08	0,05	0,04	N.D.	0,41	0,12
Fe	8,1	8,4	7,9	8,4	8,9	8,2
Ti	0,34	0,37	0,37	0,20	0,52	0,45
Éléments traces (ppm)						
V	238	204	179	109	186	181
Cr	159	132	152	91	162	121
Mn	2918	2411	2121	3863	1948	1645
Co	55	47	32	22	95	31
Ni	120	115	116	118	97	69
Se	<5	6	6	<5	<5	<5
Cd	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Sn	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sb	<5	<5	5	<5	<5	7
Te	<10	<10	<10	<10	<10	<10
W	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<2	<2	<2	<2	<14	<2
U	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	49	31	82	18	54	70
Sr	152	92	290	66	30	204
Zr	33	45	67	43	75	75
Y	23	18	10	10	16	17
B	440,0	120,0	39,0	N.D.	250,0	76,0
Sc	47,0	-	53,8	-	17,7	-
Hf	0,9	-	1,5	-	1,4	-
Cu	37	154	164	234	1950	484
Zn	117	115	107	189	169	127
As	24	42	22	45	615	32
Mo	2	2	1	1	2	36
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,6	0,6
Pb	64	48	49	51	64	48
Au (ppb)	39	97	76	216	9142	350

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU A-3 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, forage U-9399 à la mine Cooke (suite)

	BD-PB-290-85* Leucogabbro** 87,1 m***	BD-PB-305-85 Veine minéralisée 88,1 m	BD-PB-307-85 Enclave de basalte 89,3 m	BD-PB-310-85 Veine minéralisée 89,0 m	BD-PB-313-85 Veine minéralisée 89,9 m
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	47,70	49,80	71,10	54,10	47,30
Al ₂ O ₃	13,30	11,00	12,60	16,70	11,10
TiO ₂	0,60	0,44	0,19	0,67	0,46
Fer total	15,00	17,70	2,87	10,00	3,30
FeO	7,94	4,63	N.D.	7,11	3,85
MnO	0,46	0,36	0,04	0,12	0,22
MgO	5,14	3,84	1,00	4,68	5,11
CaO	6,66	4,00	2,88	2,81	5,51
Na ₂ O	2,25	2,62	3,89	4,62	2,45
K ₂ O	3,14	1,65	2,32	4,01	1,48
P ₂ O ₅	0,03	0,09	<0,01	0,24	0,08
Perte au feu	2,80	5,55	0,65	2,85	5,45
Total	97,08	97,05	97,55	100,79	97,45
CO ₂	0,60	0,74	N.D.	1,06	2,00
H ₂ O ⁺	0,05	<0,05	0,05	0,10	0,05
S	3,04	4,09	N.D.	0,32	5,28
Fe	10,5	10,3	2,2	6,4	11,6
Ti	0,32	0,25	0,12	0,41	0,24
Éléments traces (ppm)					
V	185	152	31	169	161
Cr	97	89	32	31	77
Mn	5085	3874	370	1254	2247
Co	86	274	13	25	73
Ni	115	136	16	42	170
Se	<5	17	<5	<5	9
Cd	1,7	3,1	<1,0	<1,0	3,7
Sn	<10	<10	<10	<10	<10
Sb	<5	<5	<5	<5	<5
Te	<10	18	<10	<10	<10
W	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	16	291	14	16	46
U	<10	11	<10	<10	43
Rb	66	21	44	64	24
Sr	53	34	576	47	29
Zr	32	6	94	71	25
Y	14	11	13	14	8
B	2300,0	1600,0	N.D.	42,0	650,0
Sc	33,1	-	-	-	-
Hf	0,8	-	-	-	-
Cu	>20000	>20000	4510	2550	>20000
Zn	439	710	70	108	688
As	486	650	174	928	575
Mo	62	794	40	260	156
Ag	8,9	50,2	2,8	2,2	26,4
Pb	76	94	28	43	90
Au (ppb)	3940	16359	1597	4980	>30000

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU A-3 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, forage U-9399 à la mine Cooke (suite)

	BD-PB-314-85* Leucogabbro**	BD-PB-315-85 Leucogabbro	BD-PB-316-85 Leucogabbro	BD-PB-317-85 Leucogabbro	BD-PB-319-85 Leucogabbro
	90,4 m***	90,7 m	90,9 m	91,6 m	92,9 m
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	48,70	52,90	48,70	48,90	55,50
Al ₂ O ₃	14,00	16,80	15,70	13,90	14,20
TiO ₂	0,74	0,80	0,78	0,69	0,81
Fer total	13,70	11,10	9,80	11,20	0,40
FeO	10,09	N.D.	7,16	7,45	7,82
MnO	0,42	0,20	0,20	0,21	0,18
MgO	5,58	5,72	6,58	7,53	6,61
CaO	5,79	4,78	8,82	9,06	5,83
Na ₂ O	1,75	4,23	2,77	2,52	5,75
K ₂ O	1,63	2,07	2,08	1,39	0,18
P ₂ O ₅	0,04	0,07	0,04	0,06	0,25
Perte au feu	4,95	3,25	2,00	2,40	1,75
Total	97,30	101,90	97,46	97,86	101,47
CO ₂	2,20	N.D.	1,88	0,68	1,04
H ₂ O ⁻	0,10	0,10	0,10	0,05	0,10
S	0,55	N.D.	0,07	0,10	0,12
Fe	9,4	7,6	6,5	8,1	6,0
Ti	0,41	0,42	0,38	0,38	0,38
Éléments traces (ppm)					
V	193	180	229	261	196
Cr	68	58	69	85	72
Mn	4509	1760	2100	2534	1953
Co	38	29	41	52	43
Ni	64	61	85	104	77
Se	<5	<5	6	<5	<5
Cd	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Sn	<10	<10	<10	<10	25
Sb	<5	<5	<5	<5	<5
Te	<10	<10	<10	<10	<10
W	16	<10	<10	<10	<10
Bi	4	<2	<2	<2	<2
U	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	27	66	76	67	4
Sr	44	123	160	128	71
Zr	48	61	56	46	54
Y	20	18	21	21	19
B	2500,0	N.D.	83,0	60,0	61,0
Sc	39,0	36,4	41,8	47,9	39,8
Hf	<0,5	-	1,4	1,5	<0,5
Cu	3940	913	389	495	338
Zn	290	141	114	142	306
As	695	158	27	47	11
Mo	34	6	2	3	1
Ag	4,6	1,4	0,6	<0,5	<0,5
Pb	66	48	40	49	79
Au (ppb)	8136	4879	147	327	3

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU A-4 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, forage U-15331 à la mine Cooke

	BD-PB-710-85* Ferrogabbro** à quartz 155.8 m***	BD-PB-712-85 Ferrogabbro à quartz 157.3 m	BD-PB-713-85 Ferrogabbro à quartz 159.4 m	BD-PB-714-85 Ferrogabbro à quartz 160.6 m	BD-PB-716-85 Ferrogabbro à quartz 162.5 m	BD-PB-717-85 Ferrogabbro à quartz 163.1 m
Éléments majeurs (% du poids)						
SiO ₂	51.70	51.30	49.90	50.40	48.80	46.80
Al ₂ O ₃	14.00	14.30	13.90	13.10	12.70	12.70
TiO ₂	1.44	1.51	1.44	1.39	1.29	1.40
Fer total	13.30	13.40	13.20	13.20	16.00	14.60
FeO	9.86	9.66	10.66	10.00	10.08	11.53
MnO	0.39	0.37	0.37	0.38	0.31	0.27
MgO	6.42	6.52	6.12	5.87	4.94	5.20
CaO	7.05	7.21	4.78	7.24	8.61	5.32
Na ₂ O	4.84	4.93	4.44	4.53	3.33	4.75
K ₂ O	0.39	0.44	1.18	0.47	0.89	0.14
P ₂ O ₅	0.29	0.25	0.40	0.37	0.34	0.35
Perte au feu	0.90	0.95	1.80	0.10	0.40	3.05
Total	100.72	101.18	97.53	97.05	97.61	94.58
CO ₂	1.12	0.62	0.70	0.08	0.68	1.48
H ₂ O ⁺	0.10	0.15	0.10	0.15	0.05	0.05
S	0.32	0.12	0.09	0.01	0.29	0.31
Fe	8.4	8.7	8.1	8.2	9.5	9.7
Ti	0.75	0.86	0.83	0.82	0.72	0.86
Éléments traces (ppm)						
V	300	307	272	265	284	313
Cr	17	19	23	13	10	13
Mn	3457	3327	3047	3176	2823	2380
Co	77	54	58	47	50	43
Ni	65	56	53	52	50	54
Se	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cd	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Sn	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sb	6	<5	<5	<5	<5	<5
Te	<10	<10	<10	<10	<10	<10
W	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<2	<2	<2	<2	<2	<2
U	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	9	11	17	9	10	2
Sr	153	127	71	108	238	52
Zr	85	94	81	69	73	83
Y	30	28	31	36	37	38
B	7.3	9.9	5.5	6.1	9.4	3.4
Cu	113	41	130	121	664	1600
Zn	158	174	162	169	157	150
As	372	111	103	49	51	57
Mo	<1	<1	2	2	1	1
Ag	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Pb	17	15	13	15	22	15
Au (ppb)	321	212	65	29	88	141

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU A-4 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, forage U-15331 à la mine Cooke (suite)

	BD-PB-718-85* Ferrogabbro** à quartz 164,0 m***	BD-PB-719-85 Veine minéralisée 164,7 m	BD-PB-720-85 Veine minéralisée 164,9 m	BD-PB-721-85 Veine minéralisée 165,2 m	BD-PB-722-85 Ferrogabbro à quartz 165,5 m
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	41,80	19,20	16,20	50,40	45,40
Al ₂ O ₃	12,20	2,48	0,60	8,29	14,20
TiO ₂	1,34	0,06	0,02	0,77	1,37
Fer total	19,10	21,70	10,80	27,40	16,20
FeO	15,37	2,17	N.D.	5,02	11,09
MnO	0,33	0,08	0,05	0,30	0,32
MgO	5,42	1,16	0,22	3,66	4,51
CaO	3,99	6,72	7,34	6,51	8,16
Na ₂ O	2,40	0,21	0,04	1,58	4,10
K ₂ O	0,29	0,09	0,06	0,18	0,48
P ₂ O ₅	0,41	0,34	0,24	0,17	0,29
Perte au feu	5,45	9,45	15,25	0,15	3,40
Total	92,73	61,49	50,82	99,41	98,43
CO ₂	2,02	4,82	N.D.	3,18	3,46
H ₂ O ⁺	0,15	0,10	N.D.	0,10	0,20
S	0,44	28,20	37,10	2,31	0,26
Fe	13,6	13,0	28,2	19,2	10,0
Ti	0,87	0,07	<0,01	0,49	0,80
Éléments traces (ppm)					
V	284	49	8	232	271
Cr	13	1	6	13	16
Mn	2713	653	520	2187	2666
Co	46	713	632	38	26
Ni	53	345	291	40	41
Se	<5	41	50	<5	<5
Cd	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Sn	<10	<10	15	12	<10
Sb	<5	6	7	<5	<5
Te	<10	42	44	<10	<10
W	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<2	79	179	<2	<2
U	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	4	<1	<1	3	7
Sr	28	32	14	36	111
Zr	74	<1	<1	31	93
Y	35	2	<1	23	34
B	7,6	1200,0	N.D.	7,4	11,0
Cu	101	>20000	>20000	9070	307
Zn	199	759	297	195	165
As	47	1182	1306	206	18
Mo	1	52	<1	<1	<1
Ag	<0,5	23,1	21,3	1,2	<0,5
Pb	16	30	75	39	24
Au (ppb)	18	>30000	>30000	1160	99

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU A-5 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces. coupe de la veine n° 9 réalisée au niveau 5 de la mine Cooke

	BD-PB-255-85* Veine** minéralisée	BD-PB-256-85 Ferrogabbro	BD-PB-257-85 Ferrogabbro	BD-PB-258-85 Ferrogabbro	BD-PB-259-85 Ferrogabbro	BD-PB-260-85 Ferrogabbro
		0,2 m au nord***	0,3 m au nord	1,1 m au nord	0,9 m au sud	1,8 m au sud
Éléments majeurs (% du poids)						
SiO ₂	45,10	47,10	48,70	48,90	50,60	51,20
Al ₂ O ₃	5,26	14,50	14,40	14,30	14,30	13,60
TiO ₂	0,38	1,22	1,26	1,24	1,32	1,16
Fer total	16,30	14,00	13,80	14,10	11,80	12,00
FeO	2,76	8,83	8,89	9,94	8,48	8,59
MnO	0,10	0,38	0,39	0,38	0,35	0,36
MgO	1,46	5,36	5,47	5,63	5,28	5,89
CaO	7,86	8,39	7,91	6,09	6,19	8,18
Na ₂ O	1,09	3,32	3,62	4,11	5,06	4,23
K ₂ O	1,46	0,37	0,39	0,31	0,44	0,44
P ₂ O ₅	<0,01	0,12	0,15	0,16	0,11	0,14
Perte au feu	3,85	2,50	1,90	2,25	2,00	1,65
Total	82,86	97,25	97,98	97,47	97,44	98,84
CO ₂	5,00	0,56	0,34	0,52	0,90	0,04
H ₂ O ⁺	<0,05	0,10	<0,05	0,10	0,10	0,05
S	9,30	0,28	0,03	0,02	0,06	0,06
Fe	10,4	10,9	10,9	10,6	8,9	9,4
Ti	0,15	0,72	0,72	0,70	0,70	0,62
Éléments traces (ppm)						
V	94	318	328	276	298	295
Cr	16	40	36	38	28	27
Mn	1027	4284	4337	4321	3756	4273
Co	402	64	58	49	43	45
Ni	63	70	69	64	60	61
Se	16	<5	7	<5	<5	<5
Cd	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Sn	<10	250	<10	<10	<10	<10
Sb	<5	<5	<5	<5	5	<5
Te	21	<10	<10	<10	<10	<10
W	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<2	<2	<2	<2	<2	<2
U	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	20	7	7	3	6	7
Sr	15	222	210	140	172	215
Zr	11	82	75	89	85	74
Y	9	50	48	29	28	29
Cu	>20000	2790	355	175	79	43
Zn	678	237	237	261	197	247
As	598	25	16	<5	9	<5
Mo	20	2	3	1	1	2
Ag	21,2	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	65	77	61	65	49	55
Au (ppb)	23016	314	38	33	12	18

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la zone minéralisée

TABLEAU A-6 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces. coupe de la veine n° 7 à la mine Cooke au niveau 6

	BD-PB-210-85* Zone** minéralisée	BD-PB-697-85 Zone minéralisée	BD-PB-211-85 Ferrogabbro 0,2 m***	BD-PB-212-85 Porphyre feldspathique 0,6 m au nord
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	63.70	23.70	37.70	52.70
Al ₂ O ₃	5.24	7.26	17.40	13.30
TiO ₂	0.19	0.22	0.71	0.53
Fer total	12.60	26.60	25.00	10.30
FeO	6.04	12.25	18.99	6.85
MnO	0.12	0.22	0.36	0.18
MgO	2.19	3.09	7.50	3.61
CaO	3.07	12.50	1.26	7.10
Na ₂ O	0.25	0.03	0.17	4.75
K ₂ O	0.33	0.13	1.92	0.18
P ₂ O ₅	<0.01	0.25	0.23	0.16
Perte au feu	4.60	2.55	6.05	6.25
Total	92.29	76.55	98.30	99.05
CO ₂	2.08	10.34	0.24	4.72
H ₂ O ⁻	0.05	0.15	0.10	0.10
S	4.01	7.59	0.14	0.25
Fe	9.9	16.1	1.9	8.6
Ti	0.10	0.08	0.36	0.29
Éléments traces (ppm)				
V	86	136	196	151
Cr	33	6	110	78
Mn	1172	2060	3993	1750
Co	279	1640	40	99
Ni	66	107	61	47
Se	<5	6	<5	<5
Cd	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Sn	<10	<10	<10	<10
Sb	6	20	<5	<5
Te	<10	18	16	<10
W	<10	<10	<10	<10
Bi	3	36	3	<2
U	<10	<10	<10	<10
Rb	5	1	71	5
Sr	22	24	15	87
Zr	27	14	69	58
Y	12	16	15	18
Cu	9480	2720	363	160
Zn	160	118	247	111
As	>2000	>2000	82	151
Mo	62	10	2	1
Ag	3.9	6.3	<0.5	
Pb	82	52	102	40
Au (ppb)	2328	21500	65	3466

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la zone minéralisée

TABLEAU A-6 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces. coupe de la veine n° 7 à la mine Cooke au niveau 6 (suite)

	BD-PB-213-85* Porphyre** feldspathique 1,5 m***	BD-PB-214-85 Ferrogabbro 0,6 m	BD-PB-215-85 Ferrogabbro 1,5 m	BD-PB-216-85 Ferrogabbro 3,1 m
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	49.30	45.70	43.40	49.20
Al ₂ O ₃	15.90	14.70	12.60	16.50
TiO ₂	0.66	1.26	1.46	1.14
Fer total	11.40	18.50	15.90	13.20
FeO	7.74	13.29	11.50	7.79
MnO	0.20	0.30	0.34	0.29
MgO	4.49	3.63	3.95	4.93
CaO	5.10	6.03	11.00	7.36
Na ₂ O	5.15	3.45	3.57	4.81
K ₂ O	0.72	0.29	0.22	0.74
P ₂ O ₅	0.20	0.13	0.12	0.14
Perte au feu	5.50	6.30	8.05	3.30
Total	98.60	100.28	100.61	101.64
CO ₂	2.84	3.16	6.24	1.66
H ₂ O ⁻	0.05	0.10	0.05	0.05
S	0.15	0.22	0.11	0.02
Fe	7.8	1.3	12.3	9.4
Ti	0.44	0.64	0.71	0.68
Éléments traces (ppm)				
V	182	294	296	263
Cr	105	22	19	30
Mn	2061	2967	3791	2998
Co	73	28	38	41
Ni	60	37	49	49
Se	<5	<5	<5	<5
Cd	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Sn	<10	<10	<10	<10
Sb	<5	<5	<5	<5
Te	<10	<10	<10	<10
W	<10	<10	<10	<10
Bi	<2	<2	<2	<2
U	<10	<10	<10	<10
Rb	25	7	5	16
Sr	134	52	82	228
Zr	79	80	79	72
Y	17	30	35	23
Cu	746	901	233	290
Zn	130	158	145	143
As	93	38	28	34
Mo	2	1	1	1
Ag	0.7	0.5	<0.5	<0.5
Pb	45	64	60	49
Au (ppb)	656	399	55	19

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la zone minéralisée

TABLEAU A-7 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, coupe de la veine n° 7 à la mine Cooke au niveau 6

	BD-PB-203-85*	BD-PB-204-85	BD-PB-205A-85	BD-PB-206-85
	Zone** minéralisée	Leucogabbro	Leucogabbro	Leucogabbro
	-	0.9 m***	1.5 m	3.0 m
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	40.70	44.50	46.00	46.00
Al ₂ O ₃	8.01	11.90	13.50	13.70
TiO ₂	0.31	0.49	0.61	0.70
Fer total	23.70	16.10	16.60	16.80
FeO	10.00	12.32	12.90	12.90
MnO	0.09	0.19	0.19	0.19
MgO	3.71	6.48	6.56	7.37
CaO	3.37	8.33	4.82	4.02
Na ₂ O	0.51	0.30	1.78	1.55
K ₂ O	0.25	0.92	0.51	0.72
P ₂ O ₅	0.01	0.05	0.14	0.15
Perte au feu	4.55	8.55	6.45	6.20
Total	85.20	97.81	97.17	97.39
CO ₂	2.26	5.88	3.62	3.14
H ₂ O ⁻	0.05	0.10	0.15	0.20
S	11.40	0.49	0.10	0.02
Fe	16.00	11.50	12.40	11.0
Ti	0.23	0.27	0.37	0.37
Éléments traces (ppm)				
V	77	157	165	195
Cr	94	91	102	97
Mn	796	1840	1840	1677
Co	1960	307	448	38
Ni	282	79	117	88
Se	8	<5	14	7
Cd	12.4	<1.0	<1.0	<1.0
Sn	<10	<10	<10	<10
Sb	9	12	<5	7
Te	10	<10	12	<10
W	320	<10	<10	<10
Bi	42	14	7	<2
U	<10	43	<10	<10
Rb	2	17	10	19
Sr	42	20	29	21
Zr	6	32	33	31
Y	9	26	25	23
Sc	-	44.8	46.8	53.6
Hf	-	1.4	1.0	0.8
Cu	>20000	970	200	100
Zn	1994	191	146	147
As	>2000	1712	1429	102
Mo	160	790	25	5
Ag	>100.0	5.4	<0.5	<0.5
Pb	224	43	30	30
Au (ppb)	6550	825	155	17

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la zone minéralisée

Tableau A-8: Composition chimique du porphyre feldspathique à la mine Cooke

Numéro d'échantillon	BD-PB-280-85
SiO ₂	52.80%
Al ₂ O ₃	13.00
TiO ₂	0.68
Fe ₂ O ₃ *	11.20
FeO	8.23
MnO	0.22
MgO	8.48
CaO	6.55
Na ₂ O	3.95
K ₂ O	1.14
P ₂ O ₅	1.80
Perte au feu	<u>1.80</u>
Total	99.96
<u>éléments traces en ppm</u>	
V	204
Cr	132
Mn	2411
Co	47
Ni	115
Se	6
Cd	<1.0
Sn	<1.0
Sb	<5
Te	<10
W	<10
Bi	<2
U	<10
Rb	31
Sr	92
Zr	92
Y	18
Cu	154
Zn	115
As	42
Mo	2
Ag	<0.5
Pb	48
B	120
Au (ppb)	97

TABLEAU B-1 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Étude pétrochimique du filon-couche de Bourbeau réalisée à la mine Norbeau

	BD-PB-25-86*	MY-PB-145-86	BD-PB-19-86	MY-PB-44-86	MY-PB-45-86
	Péridotite**	Péridotite	Leucogabbro	Leucogabbro	Ferrogabbro
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	39,7	39,6	50,0	46,5	48,2
Al ₂ O ₃	5,08	4,91	12,9	20,0	13,3
TiO ₂	0,60	0,57	0,95	0,78	0,59
Fer total	19,6	18,0	14,0	9,48	10,0
FeO	-	10,8	-	5,9	7,4
MnO	0,19	0,20	0,23	0,15	0,17
MgO	23,6	25,6	8,25	5,08	9,98
CaO	3,02	2,52	7,90	13,4	13,0
Na ₂ O	0,09	0,32	2,05	2,17	0,95
K ₂ O	0,10	0,07	0,16	0,13	0,10
P ₂ O ₅	0,09	0,07	0,10	0,08	0,06
Perte au feu	7,08	7,47	3,08	2,39	2,70
Total	99,6	99,8	99,9	100,2	99,1
CO ₂	0,03	0,02	0,62	0,01	<0,01
H ₂ O ⁺	7,5	7,4	3,2	1,8	2,5
S	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	-	9,5	-	86	190
Zn	-	230	-	77	89
As	-	<2	-	<2	<2
Mo	-	<5	-	<5	<5
Ag	-	<0,5	-	<0,5	<0,5
Pb	-	<2	<2	-	<2
Au (ppb)	-	1	-	<1	8
Éléments traces (ppm)					
B	-	58	-	8,6	6,4
Ba	40	130	60	30	50
Be	-	<10	-	<10	<10
Bi	-	<0,5	-	<0,5	<0,5
Br	-	1	-	2	<1
Cd	-	<0,2	-	<0,2	<0,2
Co	-	120	-	26	40
Cr	3180	2800	20	30	160
Cs	-	<1,7	-	<1,7	<1,8
Ge	-	<10	-	<10	<10
Hf	-	1	-	1	1
Li	-	<10	-	10	<10
Nb	30	<10	20	10	10
Ni	-	840	-	50	120
Rb	20	20	<10	<20	20
Sb	-	<0,2	-	0,2	<0,2
Sc	-	21,8	-	34,0	49,6
Se	-	<3	-	<4	<3
Sr	<10	<10	70	220	130
Ta	-	<1	-	<1	<1
Th	-	<0,5	-	<0,5	<0,5
U	-	<0,5	-	<0,5	<0,5
V	-	130	-	220	190
W	-	<3	-	<3	<3
Y	<10	20	20	20	10
Zr	20	20	40	30	20
Terres rares (ppm)					
La	-	2,7	-	3,2	2,2
Ce	-	15	-	10	5
Nd	-	<5	-	7	<5
Sm	-	1,3	-	1,7	1,3
Eu	-	0,5	-	0,5	0,5
Yb	-	1,3	-	1,6	1,4
Lu	-	0,24	-	0,29	0,23

* N° d'échantillon

** Type de roche

TABLEAU B-1 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Étude pétrochimique du filon-couche de Bourbeau réalisée à la mine Norbeau (suite)

	MY-PB-147-86*	BD-PB-688-85	MY-PB-127-86	MY-PB-128-86	MY-PB-43-86	MY-PB-57-86
	Leucogabbro**	Leucogabbro	Leucogabbro	Leucogabbro	Ferrogabbro à quartz	Ferrogabbro à quartz
Éléments majeurs (% du poids)						
SiO ₂	49,2	48,30	47,2	48,0	41,8	43,3
Al ₂ O ₃	16,5	14,60	15,5	14,7	11,8	10,9
TiO ₂	0,79	0,65	0,73	0,72	2,51	3,28
Fer total	10,2	10,00	9,80	10,8	20,8	22,0
FeO	7,1	7,00	-	-	14,4	15,5
MnO	8,18	0,20	0,17	0,19	0,20	0,27
MgO	6,68	10,00	8,60	10,6	6,17	6,34
CaO	12,0	12,40	14,7	7,91	10,9	9,30
Na ₂ O	1,95	1,87	1,30	1,51	1,51	1,76
K ₂ O	0,18	0,22	0,11	0,27	0,15	0,23
P ₂ O ₅	0,08	0,34	0,08	0,06	0,07	0,10
Perte au feu	2,77	1,55	2,08	4,93	2,47	2,62
Total	100,6	101,13	100,4	99,7	98,4	100,2
CO ₂	0,24	0,46	0,02	1,95	0,08	0,31
H ₂ O ⁻	2,1	0,10	2,2	4,2	2,8	3,1
S	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,19
Éléments traces métalliques (ppm)						
Cu	4,0	127	-	-	340	110
Zn	13	66	-	-	130	210
As	<2	<5	-	-	2	17
Mo	<5	1	-	-	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	-	-	<0,5	<0,5
Pb	<2	<2	251	-	-	<2
Au (ppb)	<1	14	-	-	<1	<1
Éléments traces (ppm)						
B	8,6	-	-	-	4,8	23
Ba	50	-	20	80	70	110
Be	<10	-	-	-	<10	<10
Bi	<0,5	<2	-	-	<0,5	<0,5
Br	1	-	-	-	<1	2
Cd	<0,2	<1	-	-	<0,2	<0,2
Co	35	34	-	-	68	76
Cr	30	108	340	130	40	150
Cs	<1,9	-	-	-	4,1	4,2
Ge	<10	-	-	-	<10	<10
Hf	1	-	-	-	2	1
Li	<10	-	-	-	10	<10
Nb	10	-	20	20	10	10
Ni	2	85	-	-	140	86
Rb	20	1	<10	20	<20	30
Sb	0,3	31	-	-	0,2	<0,2
Sc	40,1	-	-	-	54,0	56,7
Se	<4	<5	-	-	<4	<3
Sr	170	147	250	110	100	70
Ta	<1	-	-	-	<1	<1
Th	<0,5	-	-	-	<0,5	<0,5
U	<0,5	<10	-	-	<0,5	<0,5
V	210	140	-	-	1400	790
W	<3	<10	-	-	<3	<3
Y	20	10	20	10	20	10
Zr	50	35	30	10	30	40
Terres rares (ppm)						
La	3,3	-	-	-	3,6	4,3
Ce	10	-	-	-	10	10
Nd	<5	-	-	-	<5	8
Sm	1,8	-	-	-	1,9	2,0
Eu	0,7	-	-	-	0,8	0,6
Yb	1,9	-	-	-	2,1	2,2
Lu	0,36	-	-	-	0,32	0,39

* N° d'échantillon

** Type de roche

TABLEAU B-1 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Étude pétrochimique du filon-couche de Bourbeau réalisée à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-58-86* Ferrogabbro** à quartz	MY-PB-149-86 Ferrogabbro à quartz	BD-PB-175-86 Ferrogabbro à quartz	BD-PB-469-86 Ferrogabbro à quartz	BD-PB-470-86 Ferrogabbro à quartz
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	44,0	45,0	43,8	47,2	48,6
Al ₂ O ₃	11,3	12,2	11,3	11,2	11,5
TiO ₂	3,45	2,43	3,65	4,37	3,89
Fer total	20,6	19,8	21,3	20,6	19,6
FeO	15,0	14,3	15,5	15,9	14,4
MnO	0,26	0,22	0,28	0,34	0,36
MgO	5,7	6,20	4,50	4,25	3,9
CaO	7,41	8,77	7,98	6,13	7,02
Na ₂ O	2,89	2,30	1,82	2,13	2,40
K ₂ O	0,23	0,19	0,36	0,41	0,45
P ₂ O ₅	0,11	0,08	0,15	0,13	0,18
Perte au feu	3,62	2,54	3,54	3,31	2,77
Total	99,0	99,8	98,7	100,1	100,3
CO ₂	1,17	<0,01	0,91	0,70	0,54
H ₂ O ⁺	3,3	2,7	3,8	3,70	3,0
S	0,14	0,10	0,14	0,10	0,06
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	60	39	80	34	26
Zn	180	130	160	150	120
As	39	11	5	16	4
Mo	<5	18	<5	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	<2	<2	30	<2	<2
Au (ppb)	<1	<1	<1	1	<1
Éléments traces (ppm)					
B	7,2	34,4	42,2	2,6	4,6
Ba	90	70	120	200	210
Be	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Br	3	<6	<1	<1	1
Cd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	68	400	59	51	40
Cr	40	40	40	20	20
Cs	<2,4	<2,2	<2,1	3,9	3,6
Ge	<10	<10	<10	<10	<10
Hf	2	9	3	3	5
Li	10	<10	10	10	<10
Nb	20	10	10	40	30
Ni	6	11	30	3	3
Rb	20	20	30	<20	40
Sb	<0,2	<0,8	<0,2	<0,2	<0,2
Sc	57,8	311	53,0	63	59
Se	<3	30	<3	<5	<5
Sr	50	50	80	110	150
Ta	<1	<1	<1	<1	<1
Th	<0,5	<0,4	<0,5	<0,5	<0,8
U	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
V	700	1200	910	230	140
W	<3	<3	<3	<3	<3
Y	10	20	40	10	30
Zr	40	40	100	60	120
Terres rares (ppm)					
La	4,1	20,3	7,0	6,4	9,6
Ce	12	68	20	17	23
Nd	6	25	11	10	12
Sm	2,4	11,5	3,8	3,1	4,4
Eu	0,9	4,8	1,3	1,2	1,4
Yb	2,4	11,9	4,0	3,3	4,5
Lu	0,45	2,10	0,64	0,56	1,03

* N° d'échantillon

** Type de roche

TABLEAU B-1 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Étude pétrochimique du filon-couche de Bourbeau réalisée à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-562-85* Ferrogabbro** à quartz	BD-PB-563-85 Ferrogabbro à quartz	MY-PB-130-86 Ferrogabbro à quartz	MY-PB-131-86 Ferrogabbro à quartz	BD-PB-10-86 Ferrodiortite à quartz
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	43,30	54,40	43,9	46,8	58,6
Al ₂ O ₃	12,00	12,10	12,0	12,2	12,0
TiO ₂	3,14	1,66	2,48	3,01	1,08
Fer total	22,90	15,50	22,2	20,0	14,6
FeO	14,93	9,95	-	-	-
MnO	0,26	0,20	0,22	0,29	0,26
MgO	6,07	3,71	5,84	4,84	1,68
CaO	9,53	6,27	9,71	7,56	5,55
Na ₂ O	1,96	3,12	1,60	1,93	2,48
K ₂ O	0,19	0,21	0,16	0,29	0,35
P ₂ O ₅	0,27	0,43	0,09	0,15	0,44
Perte au feu	1,45	1,50	2,16	2,47	3,00
Total	101,07	99,15	100,4	99,6	100,4
CO ₂	0,38	0,40	0,02	0,21	<0,1
H ₂ O ⁻	0,10	0,20	2,9	3,2	2,5
S	0,45	0,16	0,13	0,10	0,00
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	77	29	-	-	-
Zn	150	124	-	-	-
As	8	<5	-	-	-
Mo	2	2	-	-	-
Ag	<0,5	<0,5	-	-	-
Pb	27	15	-	-	-
Au (ppb)	7	2	-	-	-
Éléments traces (ppm)					
B	-	-	-	-	-
Ba	-	-	70	80	160
Be	-	-	-	-	-
Bi	<2	<2	-	-	-
Br	-	-	-	-	-
Cd	<1	<1	-	-	-
Co	101	47	-	-	-
Cr	<1	3	30	20	10
Cs	-	-	-	-	-
Ge	-	-	-	-	-
Hf	-	-	-	-	7,8
Li	-	-	-	-	-
Nb	-	-	30	20	20
Ni	5	3	-	-	-
Rb	4	5	20	30	10
Sb	9	<5	-	-	-
Sc	-	-	-	-	26,5
Se	<5	<5	-	-	-
Sr	86	103	70	50	140
Ta	-	-	-	-	-
Th	-	-	-	-	-
U	<10	<10	-	-	-
V	994	120	-	-	-
W	<10	<10	-	-	-
Y	17	61	10	20	90
Zr	34	171	20	80	30
Terres rares (ppm)					
La	-	-	-	-	-
Ce	-	-	-	-	-
Nd	-	-	-	-	-
Sm	-	-	-	-	-
Eu	-	-	-	-	-
Yb	-	-	-	-	-
Lu	-	-	-	-	-

* N° d'échantillon

** Type de roche

TABLEAU B-1 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Étude pétrochimique du filon-couche de Bourbeau réalisée à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-13-86*	BD-PB-74-86	MY-PB-151-86	MY-PB-152-86	MY-PB-153-86
	Ferrodiorite** à quartz	Ferrodiorite à quartz	Ferrodiorite à quartz	Ferrodiorite à quartz	Ferrodiorite à quartz
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	50,8	52,7	53,5	50,2	53,9
Al ₂ O ₃	12,7	12,8	11,9	12,1	14,4
TiO ₂	3,87	1,09	1,97	2,55	2,67
Fer total	17,5	17,8	17,2	16,8	11,4
FeO	-	12,9	11,5	10,5	8,3
MnO	0,34	0,24	0,26	0,33	0,24
MgO	4,02	2,89	1,98	3,29	3,09
CaO	4,18	3,99	5,46	6,91	4,45
Na ₂ O	3,15	3,05	2,91	3,43	4,98
K ₂ O	0,16	0,46	0,92	0,46	0,69
P ₂ O ₅	0,24	0,61	0,44	0,26	0,19
Perte au feu	2,54	3,54	2,62	3,62	3,47
Total	99,6	99,3	99,3	100,0	99,5
CO ₂	0,13	0,03	<0,1	1,4	1,2
H ₂ O ⁺	3,10	3,9	2,4	1,6	2,5
S	0,08	0,10	0,26	0,06	0,02
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	-	40	57	43	2,5
Zn	-	150	99	120	100
As	-	20	<2	<2	<2
Mo	-	<5	<5	<5	<5
Ag	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	-	<2	<2	<2	<2
Au (ppb)	-	<1	1	<1	<1
Éléments traces (ppm)					
B	-	9,0	4,0	3,8	320
Ba	90	200	280	190	150
Be	-	<10	<10	<10	<10
Bi	-	<0,5	<0,5	<0,5	<1,0
Br	-	1	2	<1	<1
Cd	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	-	45	31	52	7
Cr	20	20	20	30	30
Cs	-	5,1	7,5	4,3	<2,0
Ge	-	<10	<10	<10	<10
Hf	4,7	7	7	5	5
Li	-	10	<10	<10	10
Nb	10	50	20	20	10
Ni	-	1	4	16	24
Rb	10	50	70	20	20
Sb	-	<0,2	0,2	<0,2	0,2
Sc	60,6	21,0	35,0	45,6	50,0
Se	-	<4	<3	<4	<3
Sr	80	70	160	90	70
Ta	-	<1	<1	<1	2
Th	-	1,3	1,2	0,8	0,8
U	-	<0,5	0,7	<0,5	<0,5
V	-	10	40	430	470
W	-	<3	<3	<3	<3
Y	30	130	80	50	40
Zr	140	150	200	140	150
Terres rares (ppm)					
La	-	15,6	12,0	9,6	9,9
Ce	-	48	33	28	31
Nd	-	30	26	17	12
Sm	-	11,10	7,6	5,5	4,1
Eu	-	1,9	1,8	1,3	1,2
Yb	-	10,8	6,6	5,1	4,0
Lu	-	1,90	1,15	0,92	0,69

* N° d'échantillon

** Type de roche

TABLEAU B-1 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Étude pétrochimique du filon-couche de Bourbeau réalisée à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-560-85* Ferrodiorite** à quartz	BD-PB-571-85 Ferrodiorite à quartz	BD-PB-21-86 Granophyre	BD-PB-495-85 Granophyre	BD-PB-128-86 Ferrogabbro sommital	BD-PB-130-86 Ferrogabbro sommital
Éléments majeurs (% du poids)						
SiO ₂	57.5	61.8	57.7	58.00	51.1	54.2
Al ₂ O ₃	12.3	11.90	11.4	11.40	12.2	12.3
TiO ₂	1.74	1.13	1.82	1.08	2.38	1.86
Fer total	14.6	14.3	11.0	12.00	17.9	14.9
FeO	-	-	-	8.84	-	-
MnO	0.26	0.28	0.20	0.22	0.25	0.23
MgO	1.74	1.26	1.49	1.62	3.48	4.72
CaO	5.62	2.32	7.18	5.56	7.20	6.12
Na ₂ O	2.77	3.74	3.22	1.98	1.67	2.06
K ₂ O	0.36	0.42	0.25	1.03	0.51	1.33
P ₂ O ₅	0.45	0.30	0.53	0.54	0.30	0.30
Perte au feu	2.85	2.85	4.77	4.30	2.47	2.31
Total	100.5	100.43	99.6	97.73	99.5	100.4
CO ₂	0.89	0.47	0.62	3.66	0.27	0.01
H ₂ O ⁺	2.8	2.8	2.3	0.15	2.9	2.8
S	0.00	0.00	0.00	0.13	0.05	0.08
Éléments traces métalliques (ppm)						
Cu	-	-	-	35	340	110
Zn	-	-	-	118	-	-
As	-	-	-	11	-	-
Mo	-	-	-	1	-	-
Ag	-	-	-	<0.5	-	-
Pb	-	-	-	23	-	-
Au (ppb)	-	-	-	6	-	-
Éléments traces (ppm)						
B	-	-	-	-	-	-
Ba	150	180	80	-	170	360
Be	-	-	-	-	-	-
Bi	-	-	-	<2	-	-
Br	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	<1	-	-
Co	-	-	-	30	-	-
Cr	10	10	<10	<1	40	10
Cs	-	-	-	-	-	-
Ge	-	-	-	-	-	-
Hf	7.6	9.2	-	-	-	-
Li	-	-	-	-	-	-
Nb	30	30	-	-	20	10
Ni	-	-	-	2	-	-
Rb	30	60	20	23	<10	40
Sb	-	-	-	<5	-	-
Sc	32.2	26.5	-	-	-	-
Se	-	-	-	6	-	-
Sr	130	60	60	43	120	100
Ta	-	-	-	-	-	-
Th	-	-	-	-	-	-
U	-	-	-	<10	-	-
V	-	-	-	13	-	-
W	-	-	-	<10	-	-
Y	70	70	80	85	40	70
Zr	300	370	290	264	160	220
Terres rares (ppm)						
La	-	-	-	-	-	-
Ce	-	-	-	-	-	-
Nd	-	-	-	-	-	-
Sm	-	-	-	-	-	-
Eu	-	-	-	-	-	-
Yb	-	-	-	-	-	-
Lu	-	-	-	-	-	-

* N° d'échantillon

** Type de roche

TABLEAU B-2 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Forage SH-8-85 à la mine Norbeau

	BD-PB-57-86* Ferrogabbro** à quartz 9,8 m***	BD-PB-58-86 Ferrogabbro à quartz 22,3 m	BD-PB-60-86 Ferrogabbro à quartz 26,7 m	BD-PB-62-86 Ferrogabbro à quartz 29,1 m	BD-PB-64-86 Ferrogabbro à quartz 32,4 m	BD-PB-65-86 Veine de quartz 34,0 m
Éléments majeurs (% du poids)						
SiO ₂	43,3	44,0	37,8	36,3	39,9	46,7
Al ₂ O ₃	10,9	11,3	11,1	9,64	10,9	12,8
TiO ₂	3,28	3,45	3,84	3,22	3,63	3,24
Fer total	22,0	20,6	22,2	21,2	22,2	16,7
FeO	15,5	15,0	18,2	16,9	18,1	9,0
MnO	0,27	0,26	0,25	0,28	0,25	0,14
MgO	6,34	5,07	5,40	4,65	4,53	2,25
CaO	9,30	7,41	8,96	11,4	8,44	4,77
Na ₂ O	1,76	2,89	0,40	0,01	0,37	3,83
K ₂ O	0,23	0,23	0,04	0,04	0,04	0,67
P ₂ O ₅	0,10	0,11	0,08	0,09	0,10	0,25
Perte au feu	2,62	3,62	8,39	9,31	9,00	7,70
Total	100,2	99,0	98,5	97,2	99,4	99,1
CO ₂	0,31	1,7	5,0	7,5	5,8	3,4
H ₂ O ⁺	3,1	3,3	5,6	5,1	5,1	2,5
S	0,19	0,14	0,36	0,60	0,26	1,98
Éléments traces métalliques (ppm)						
Cu	110,0	60	99	96	110	210
Zn	210	180	220	170	170	90
As	17	39	91	310	88	20000
Mo	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Au (ppb)	<1	<1	3	9	<1	2400
Éléments traces (ppm)						
B	23	7,2	15	3,0	5,4	230
Ba	110	90	70	60	60	150
Be	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,0
Br	2	3	1	<1	2	<4
Cd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	76	68	94	94	64	82
Cr	150	40	40	30	30	30
Cs	4,2	<2,4	<2,1	2,4	<2,0	<2,1
Ge	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Hf	1	2	2	1	2	5
Li	<10	10	20	10	20	10
Nb	10	20	20	30	10	30
Ni	86	6	8	5	3	4
Rb	30	20	<20	40	20	30
Sb	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	19
Sc	56,7	57,8	58,2	61,0	51,0	45,0
Se	<3	<3	<5	<3	<4	6
Sr	70	50	20	30	10	20
Ta	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Th	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2
U	<0,5	<0,5	<0,6	<0,5	<0,5	3,1
V	790	700	870	880	740	990
W	<3	<3	<3	<3	<3	3
Y	10	10	10	<10	20	40
Zr	40	40	40	50	40	180
Terres rares (ppm)						
La	4,3	4,1	3,9	4,2	3,0	12,7
Ce	10	12	18	17	12	25
Nd	8	6	5	8	8	<16
Sm	2,0	2,4	1,9	2,4	1,8	4,7
Eu	0,6	0,9	0,5	0,5	0,4	2,6
Yb	2,2	2,4	1,9	2,1	2,1	4,7
Lu	0,39	0,45	0,36	0,41	0,35	0,61

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU B-2 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Forage SH-8-85 à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-66-86* Veine** de quartz 34,4 m***	BD-PB-67-86 Ferrodlorite à quartz 35,0 m	BD-PB-68-86 Ferrodlorite à quartz 35,5 m	BD-PB-69-86 Ferrodlorite à quartz 36,0 m
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	97,4	43,7	48,8	45,1
Al ₂ O ₃	0,14	12,0	12,0	11,2
TiO ₂	0,06	2,28	2,44	4,43
Fer total	0,15	16,2	17,9	18,2
FeO	0,1	10,6	10,4	15,3
MnO	0,01	0,19	0,12	0,25
MgO	0,05	2,50	3,03	2,90
CaO	0,10	8,46	4,51	7,99
Na ₂ O	0,01	0,73	2,83	1,54
K ₂ O	0,02	1,72	0,45	0,21
P ₂ O ₅	0,01	0,08	0,35	0,17
Perte au feu	0,54	5,85	6,23	8,00
Total	98,5	93,81	98,7	100,0
CO ₂	0,04	6,6	3,0	6,0
H ₂ O ⁺	<0,1	2,8	3,3	4,0
S	-	1,22	2,20	0,04
Éléments traces métalliques (ppm)				
Cu	2,5	160	92	22
Zn	3,0	97	110	130
As	170	1500	7400	86
Mo	<5	<5	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	6	<2	<2	<2
Au (ppb)	9	180	230	<1
Éléments traces (ppm)				
B	24	26	9,2	3,2
Ba	110	140	120	100
Be	10	10	10	10
Bi	0,5	0,5	0,5	0,5
Br	4	2	2	1
Cd	0,2	0,2	0,2	0,2
Co	1	28	31	42
Cr	30	20	30	20
Cs	0,6	2,2	1,8	2,2
Ge	10	10	10	10
Hf	1	4	9	4
Li	10	20	10	20
Nb	10	20	40	40
Ni	3	2	1	4
Rb	20	50	20	20
Sb	0,2	0,6	1,7	0,2
Sc	0,6	53,0	36,0	55,0
Se	3	6	22	5
Sr	10	30	20	30
Ta	1	1	3	1
Th	0,5	0,5	0,5	0,5
U	0,5	0,5	0,5	0,5
V	10	50	70	130
W	3	12	8	3
Y	10	40	50	50
Zr	10	150	210	90
Terres rares (ppm)				
La	0,5	7,1	10,8	7,7
Ce	3	32	37	28
Nd	5	11	27	14
Sm	0,1	5,8	5,9	5,0
Eu	0,2	0,9	1,8	1,7
Yb	0,2	6,5	7,3	4,6
Lu	0,05	1,00	1,13	0,76

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU B-2 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Forage SH-8-85 à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-71-86* Ferrodiorite** à quartz 39,3 m***	BD-PB-72-86 Ferrodiorite à quartz 41,1 m	BD-PB-73-86 Ferrodiorite à quartz 42,9 m	BD-PB-74-86 Ferrodiorite à quartz 46,5 m
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	49,9	51,4	47,3	52,7
Al ₂ O ₃	13,9	11,8	12,3	12,8
TiO ₂	2,54	2,22	3,74	1,09
Fer total	19,1	15,9	21,1	17,8
FeO	15,6	12,9	17,1	12,9
MnO	0,22	0,23	0,33	0,24
MgO	4,06	3,38	4,08	2,89
CaO	2,25	5,17	2,54	3,99
Na ₂ O	3,09	2,89	3,10	3,05
K ₂ O	0,08	0,12	0,41	0,46
P ₂ O ₅	0,47	0,21	0,17	0,61
Perte au feu	3,93	5,16	4,08	3,54
Total	99,6	98,5	99,2	99,3
CO ₂	0,61	3,0	0,33	0,03
H ₂ O ⁺	4,5	3,8	4,9	3,9
S	0,00	0,00	0,00	0,10
Éléments traces métalliques (ppm)				
Cu	11	33	13	40
Zn	150	130	180	150
As	45	31	52	20
Mo	7	<5	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	<2	<2	<2	<2
Au (ppb)	6	6	<1	<1
Éléments traces (ppm)				
B	1,0	1,6	5,2	9,0
Ba	110	120	200	200
Be	10	10	<10	<10
Bi	0,5	0,5	<0,5	<0,5
Br	1	2	<1	
Cd	0,2	0,2	<0,2	<0,2
Co	30	28	52	45
Cr	30	20	30	20
Cs	1,7	2,0	4,4	5,1
Ge	10	10	<10	<10
Hf	9	6	4	7
Li	30	20	10	10
Nb	40	30	10	50
Ni	2	2	5	1
Rb	20	20	20	50
Sb	0,2	0,2	<0,2	<0,2
Sc	37,6	43,1	62,0	21,0
Se	3	3	<5	<4
Sr	10	20	10	70
Ta	1	1	<1	<1
Th	1,2	1,1	<0,5	1,3
U	0,8	0,6	<0,5	<0,5
V	50	70	310	10
W	3	3	<3	<3
Y	50	40	40	130
Zr	280	170	180	150
Terres rares (ppm)				
La	13,9	8,8	8,0	15,6
Ce	33	28	22	48
Nd	18	13	14	30
Sm	6,9	4,9	4,5	11,0
Eu	1,1	0,9	1,8	1,9
Yb	7,8	5,2	4,6	10,8
Lu	1,30	0,86	0,80	1,90

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU B-3 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Forage N-81-11 à la mine Norbeau

	BD-PB-469-86* Ferrogabbro** à quartz 4,3 m***	BD-PB-470-86 Ferrogabbro à quartz 8,8 m	BD-PB-471-86 Ferrogabbro à quartz 14,6 m	BD-PB-472-86 Ferrogabbro à quartz 16,8 m	BD-PB-476-86 Ferrodiorite à quartz 21,0 m
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	47,2	48,6	49,4	49,6	47,8
Al ₂ O ₃	11,2	11,5	11,4	11,5	11,0
TiO ₂	4,37	3,89	3,14	3,03	1,30
Fer total	20,6	19,6	17,9	18,1	17,9
FeO	15,9	14,4	14,5	14,7	14,2
MnO	0,34	0,36	0,31	0,27	0,23
MgO	4,25	3,49	2,92	3,04	1,75
CaO	6,13	7,02	6,00	6,72	8,50
Na ₂ O	2,13	2,40	3,06	2,15	0,93
K ₂ O	0,41	0,45	0,27	0,05	0,79
P ₂ O ₅	0,13	0,18	0,22	0,22	0,54
Perte au feu	3,31	2,77	5,00	5,54	7,31
Total	100,1	100,3	99,7	100,1	98,1
CO ₂	0,70	0,54	3,6	4,3	6,2
H ₂ O ⁺	3,70	3,0	3,5	3,9	3,1
S	0,10	0,06	0,18	0,04	0,40
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	34,0	26	27	15	18
Zn	150	120	140	140	120
As	16	4	23	36	21
Mo	<5	<5	<5	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	<2	<2	<2	<2	<2
Au (ppb)	1	<1	6	<1	110
Éléments traces (ppm)					
B	2,6	4,6	6,00	<0,5	12
Ba	200	210	230	80	140
Be	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Br	<1	1	<1	3	1
Cd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	51	40	41	42	19
Cr	20	20	20	20	20
Cs	3,9	3,6	<2,9	<2	<1,7
Ge	<10	<10	<10	<10	<10
Hf	3	5	4	4	7
Li	10	<10	10	10	<10
Nb	40	30	20	20	40
Ni	3	3	3	3	3
Rb	<20	40	30	30	30
Sb	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sc	63	59	48	47,4	29,0
Se	<5	<5	<3	<3	<3
Sr	110	150	30	10	60
Ta	<1	<1	<1	2	<1
Th	<0,5	0,8	0,5	0,9	1,1
U	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
V	230	140	80	60	<10
W	<3	<3	<3	<3	<3
Y	10	30	40	30	60
Zr	60	120	150	170	210
Terres rares (ppm)					
La	6,4	9,6	6,9	7,6	13
Ce	17	23	22	23	42
Nd	10	12	13	16	27
Sm	3,1	4,4	4,5	4,9	8,2
Eu	1,2	1,4	1,2	2,2	1,5
Yb	3,3	4,5	4,4	4,6	7,2
Lu	0,56	1,03	0,85	0,83	1,30

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU B-3 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Forage N-81-11 à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-477-86* Ferrodiorite** à quartz 21,9 m***	BD-PB-478-86 Ferrodiorite à quartz 22,9 m	BD-PB-479-86 Veine de quartz 23,4 m	BD-PB-480-86 Ferrodiorite à quartz 24,4 m	BD-PB-481-86 Ferrodiorite à quartz 25,5 m
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	58,8	58,2	66,7	48,8	58,9
Al ₂ O ₃	12,8	13,3	4,08	10,7	11,6
TiO ₂	0,96	1,11	0,44	0,94	0,95
Fer total	9,32	6,36	11,8	13,9	13,0
FeO	7,6	5,1	1,3	5,6	10,5
MnO	0,15	0,13	0,05	0,20	0,10
MgO	0,75	0,25	0,28	0,95	1,15
CaO	6,01	7,12	2,53	7,61	5,04
Na ₂ O	4,05	5,06	1,29	2,14	2,80
K ₂ O	1,31	1,66	0,65	2,17	0,59
P ₂ O ₅	0,29	0,36	0,13	0,09	0,32
Perte au feu	4,08	5,39	10,7	11,5	4,31
Total	98,6	99,1	98,7	99,3	98,9
CO ₂	4,3	5,1	2,1	8,1	2,1
H ₂ O ⁺	1,5	0,6	0,3	0,8	2,6
S	0,98	1,52	2,59	3,22	0,00
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	37	63	31	120	2,5
Zn	52	15	9,5	21	93
As	2	<2	63000	3300	42
Mo	<5	<5	<22	7	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	<2	<2	4	<2	<2
Au (ppb)	770	4	100000	1600	5
Éléments traces (ppm)					
B	27	37	34	38	9,6
Ba	200	240	150	260	160
Be	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<0,5	<0,5	1,5	<0,5	<0,5
Br	<1	2	<1	2	2
Cd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	6	4	36	13	13
Cr	20	20	30	20	20
Cs	<1,9	<2	<4,4	<2,2	<1,8
Ge	<10	<10	<10	<10	<10
Hf	12	10	4	8	10
Li	<10	<10	<10	10	<10
Nb	40	30	20	30	40
Ni	2	1	<1	<1	<1
Rb	60	60	<20	40	40
Sb	<0,2	<0,2	20	3,1	<0,2
Sc	22,4	28	7,2	22,1	23,0
Se	6	<3	<27	<7	<6
Sr	90	100	20	60	50
Ta	<1	<1	<3	<1	<1
Th	1,9	1,7	2,7	1,5	1,8
U	0,6	<0,5	2,7	<1,1	0,6
V	10	<10	10	10	<10
W	24	19	<3	19	<3
Y	90	120	20	80	90
Zr	400	350	170	330	420
Terres rares (ppm)					
La	21	17,6	17	17,5	20
Ce	73	52	<7	49	71
Nd	33	29	<14	30	32
Sm	10	9,9	1,6	9,2	9,9
Eu	1,4	1,3	1,5	1,6	1,6
Yb	9,4	9,1	<0,2	9,6	10,0
Lu	1,60	1,70	0,61	1,50	1,70

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU B-3 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Forage N-81-11 à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-486-86* Ferrodiorite** à quartz 32,5 m***	BD-PB-488-86 Ferrodiorite à quartz 34,7 m	BD-PB-490-86 Ferrodiorite à quartz 37,5 m	BD-PB-491-86 Ferrodiorite à quartz 41,1 m	BD-PB-493-86 Ferrodiorite à quartz 49,4 m
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	47,4	50,6	56,6	57,3	59,1
Al ₂ O ₃	11,0	11,1	12,0	12,4	11,8
TiO ₂	1,50	1,57	1,64	1,81	1,96
Fer total	21,4	15,8	12,9	14,8	14,0
FeO	18,2	12,9	10,8	12,2	11,5
MnO	0,10	0,09	0,21	0,19	0,25
MgO	0,71	0,54	1,54	1,98	1,97
CaO	5,73	6,40	4,71	3,27	2,85
Na ₂ O	1,91	2,38	3,81	3,31	3,21
K ₂ O	1,67	3,08	0,15	0,07	0,14
P ₂ O ₅	0,39	0,46	0,50	0,56	0,54
Perte au feu	6,31	6,62	4,16	3,39	2,70
Total	98,2	98,7	98,3	99,2	98,5
CO ₂	4,0	4,5	3,0	1,4	1,1
H ₂ O ⁺	1,7	1,0	2,5	3,2	2,8
S	4,52	4,16	0,02	0,00	0,00
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	98	110	1,5	1,5	1,5
Zn	62	92	82	95	95
As	260	4700	24	12	<2
Mo	<5	<5	<22	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	2	10	<2	<2	<2
Au (ppb)	24	900	4	3	<1
Éléments traces (ppm)					
B	21	40	11	3,6	5,2
Ba	180	280	90	120	120
Be	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Br	2	<0,1	2	1	2
Cd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	27	17	12	21	14
Cr	20	20	20	30	30
Cs	<1,9	<0,9	<2,0	<2,0	<1,9
Ge	<10	<10	<10	<10	<10
Hf	9	8	10	10	8
Li	<10	<10	<10	10	10
Nb	40	40	40	10	30
Ni	<1	2	2	1	2
Rb	50	50	20	20	<20
Sb	<0,2	<0,4	<0,2	<0,2	<0,2
Sc	26,0	27,5	27,0	31,6	28,7
Se	16	9	<3	<3	<3
Sr	40	50	50	30	30
Ta	<1	<1	<3	<1	2
Th	1,7	1,3	2,6	1,4	1,3
U	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,6
V	10	20	<10	10	20
W	13	<3	<3	<3	<3
Y	60	50	100	70	50
Zr	310	240	350	310	240
Terres rares (ppm)					
La	17,1	8,2	14,3	10,1	14,4
Ce	59	23	46	35	37
Nd	33	22	29	20	24
Sm	8,9	<0,1	10,1	7,5	6,8
Eu	1,6	<0,2	2,1	1,5	1,4
Yb	8,6	6,6	9,9	7,6	6,3
Lu	1,40	1,19	1,60	1,20	1,00

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU B-4 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, coupe à travers la veine New Vein à la mine Norbeau

	BD-PB-509-85*	BD-PB-510-85	BD-PB-511-85	BD-PB-512-85	BD-PB-514-85	BD-PB-515-85
	Veine** de quartz	Veine de quartz	Veine de quartz	Veine de quartz et fragments de ferrogabbro 0,3 m au sud***	Ferrogabbro à quartz 0,4 m au sud	Ferrogabbro à quartz 2 4 m au sud
Éléments majeurs (% du poids)						
SiO ₂	-	-	-	55,60	52,70	51,60
Al ₂ O ₃	-	-	-	7,74	12,20	13,10
TiO ₂	-	-	-	1,24	2,76	3,16
Fer total	-	-	-	12,50	17,90	20,60
FeO	-	-	-	7,83	14,31	16,17
MnO	-	-	-	0,19	0,27	0,30
MgO	-	-	-	1,41	2,88	4,77
CaO	-	-	-	10,70	5,19	1,16
Na ₂ O	-	-	-	1,67	2,56	2,19
K ₂ O	-	-	-	0,16	0,07	0,11
P ₂ O ₅	-	-	-	0,25	0,23	0,07
Perte au feu	-	-	-	5,80	4,20	3,75
Total	-	-	-	97,46	100,95	100,60
CO ₂	-	-	-	7,60	3,24	0,13
H ₂ O ⁺	-	-	-	0,10	0,15	0,35
S	1,99	1,10	1,55	1,80	0,13	<0,01
Fe	-	-	-	9,5	13,0	16,6
Ti	-	-	-	0,51	1,14	1,50
Éléments traces (ppm)						
V	-	-	-	11	22	120
Cr	-	-	-	2	2	<1
Mn	-	-	-	1646	2134	2320
Co	-	-	-	11	39	26
Ni	-	-	-	<1	<1	3
Se	-	-	-	6	9	<5
Cd	-	-	-	<1	<1	<1
Sn	-	-	-	<10	<10	<10
Sb	-	-	-	5	<5	<5
Te	-	-	-	<10	16	15
W	-	-	-	<10	<10	<10
Bi	-	-	-	2	<2	<2
U	-	-	-	<10	<10	<10
Rb	-	-	-	3	<1	<1
Sr	-	-	-	31	32	11
Zr	-	-	-	60	131	80
Y	-	-	-	25	54	38
Sc	-	-	-	-	-	-
Hf	-	-	-	-	-	-
Cu	67	39	12	115	16	2
Zn	96	158	59	112	146	193
As	>2000	>2000	>2000	230	88	34
Mo	<5	7	<5	2	2	2
Ag	1,1	>100,5	0,8	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	56	18	13	39	32	27
Au (ppb)	12000	327	5350	109	6	5

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la zone minéralisée

TABEAU S-4 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, coupe à travers la veine New Vein à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-516-85* Ferrogabbro** à quartz 7,0 m***	BD-PB-518-85 Ferrodiorite à quartz 0,6 m au nord	BD-PB-520-85 Ferrodiorite à quartz 0,9 m au nord	BD-PB-521-85 Ferrodiorite à quartz 3,0 m au nord	BD-PB-523-85 Ferrodiorite à quartz 6,7 m au nord	BD-PB-524-85 Ferrodiorite à quartz 7,6 m au nord
Éléments majeurs (% du poids)						
SiO ₂	46,30	48,30	53,50	53,20	52,90	53,80
Al ₂ O ₃	11,00	12,30	11,10	10,90	12,70	11,40
TiO ₂	4,04	1,85	1,43	1,43	2,16	2,54
Fer total	22,00	13,50	11,00	14,30	18,20	16,70
FeO	13,70	8,73	7,83	11,38	13,20	13,15
MnO	0,33	0,25	0,26	0,21	0,19	0,27
MgO	4,32	2,54	1,34	1,77	2,54	2,14
CaO	6,04	9,84	7,79	5,24	2,97	4,04
Na ₂ O	2,20	2,22	2,03	2,06	2,80	2,74
K ₂ O	0,25	1,24	2,11	1,03	0,25	0,06
P ₂ O ₅	0,03	0,58	0,52	0,40	0,24	0,28
Perte au feu	3,55	6,85	6,45	7,05	3,95	3,10
Total	100,06	99,47	97,53	97,60	98,90	97,07
CO ₂	2,31	6,82	8,02	6,04	1,90	2,74
H ₂ O ⁺	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,25
S	0,96	1,14	1,48	0,07	0,16	0,03
Fe	17,2	9,6	7,8	11,0	12,2	12,0
Ti	2,17	0,80	0,65	0,77	1,23	1,13
Éléments traces (ppm)						
V	167	22	3	3	23	159
Cr	5	<1	<1	<1	4	<1
Mn	3403	2091	2229	1611	1862	2105
Co	71	14	8	11	19	12
Ni	4	2	<1	3	3	1
Se	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cd	<1	3,1	<1	<1	<1	<1
Sn	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sb	<5	<5	<5	8	<5	5
Te	<10	11	13	<10	<10	11
W	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<2	<2	<2	<2	<2	<2
U	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	5	19	30	13	3	<1
Sr	60	74	63	57	32	34
Zr	65	183	240	242	207	155
Y	29	77	87	85	77	59
Sc	-	33,0	24,6	24,8	37,0	44,1
Hf	-	7,4	7,6	7,9	6,4	5,6
Cu	121	15	36	3	17	11
Zn	195	378	41	113	121	93
As	<5	1345	1433	5	<5	27
Mo	12	1	2	1	5	2
Ag	<0,5	<0,5	4,9	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	106	24	22	22	42	27
Au (ppb)	237	235	255	3	23	4

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la zone minéralisée

TABLEAU B-5 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, coupe à travers la veine Sharpe à la mine Norbeau

	BD-PB-538-85*	BD-PB-537-85	BD-PB-538-85	BD-PB-539-85
	Veine** de quartz	Veine de quartz	Ferrogabbro à quartz 0,2 m au sud***	Ferrodiorite à quartz 0,2 m au nord
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	-	-	27,50	29,00
Al ₂ O ₃	-	-	11,70	12,20
TiO ₂	-	-	2,37	2,41
Fer total	-	-	21,10	17,60
FeO	-	-	10,29	11,67
MnO	-	-	0,22	0,29
MgO	-	-	5,13	5,59
CaO	-	-	11,20	17,80
Na ₂ O	-	-	0,21	0,39
K ₂ O	-	-	1,39	0,80
P ₂ O ₅	-	-	0,35	0,09
Perte au feu	-	-	4,65	11,45
Total	-	-	85,82	97,61
CO ₂	-	-	8,88	13,84
H ₂ O ⁺	-	-	0,05	0,10
S	0,94	15,30	4,49	2,23
Fe	-	-	14,4	10,1
Ti	-	-	1,04	1,17
Éléments traces (ppm)				
V	134	149	494	791
Cr	<1	<1	7	5
Mn	549	115	2207	2989
Co	15	67	79	69
Ni	3	2	4	4
Se	<5	<5	7	13
Cd	<1	<1	<1	<1
Sn	<10	<10	<10	<10
Sb	<5	7	9	<5
Te	10	20	13	14
W	<10	<10	<10	36
Bi	<2	3	<2	<2
U	<10	<10	<10	<10
Rb	5	<1	16	8
Sr	32	36	53	85
Zr	34	48	72	45
Y	13	13	31	23
Sc	-	-	-	65,0
Hf	-	-	-	<0,5
Cu	3	63	55	78
Zn	28	24	133	141
As	>2000	>2000	>2000	>2000
Mo	<1	<1	2	3
Ag	<0,5	3,4	<0,5	<0,5
Pb	9	36	30	29
Au (ppb)	2330	>30000	2760	558

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la veine

TABLEAU B-5 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, coupe à travers la veine Sharpe à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-540-85* Ferrodiorite** à quartz 0,3 m au nord***	BD-PB-542-85 Ferrogabbro à quartz 0,3 m au sud	BD-PB-543-85 Ferrogabbro à quartz 1,5 m au sud	BD-PB-545-85 Ferrogabbro à quartz 4,6 m au sud	BD-PB-546-85 Ferrodiorite à quartz 0,9 m au nord
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	25,50	30,00	40,20	36,80	40,90
Al ₂ O ₃	13,80	15,90	11,70	11,60	11,90
TiO ₂	3,25	3,64	3,81	4,17	1,88
Fer total	23,40	23,60	20,30	21,70	17,20
FeO	11,82	14,43	17,54	13,48	14,06
MnO	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28
MgO	5,63	5,93	5,00	5,33	5,48
CaO	9,24	10,10	10,00	8,54	9,68
Na ₂ O	0,33	0,32	1,07	0,72	0,11
K ₂ O	1,46	1,42	0,11	0,03	0,66
P ₂ O ₅	0,26	0,10	0,19	0,16	0,23
Perte au feu	3,85	7,45	7,50	10,90	10,40
Total	87,02	98,69	100,13	100,21	98,72
CO ₂	7,19	6,54	5,60	9,46	7,32
H ₂ O ⁺	0,20	0,10	0,05	0,10	0,10
S	4,68	0,56	0,37	0,21	0,14
Fe	15,3	14,8	15,9	15,2	11,2
Ti	1,78	1,40	1,51	0,85	0,76
Éléments traces (ppm)					
V	895	730	958	1070	451
Cr	8	2	<1	1	<1
Mn	2049	2221	2420	2042	2360
Co	80	93	112	63	44
Ni	6	5	3	30	3
Se	8	<5	<5	<5	<5
Cd	<1	<1	<1	<1	<1
Sn	<10	<10	<10	<10	<10
Sb	<5	<5	<5	7	<5
Te	14	<10	<10	15	<10
W	60	<10	<10	<10	<10
Bi	<2	<2	<2	<2	<2
U	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	19	1	<1	<1	10
Sr	43	36	34	56	81
Zr	66	46	41	25	68
Y	28	22	21	14	23
Sc	70,4	-	-	-	47,5
Hf	2,0	-	-	-	1,9
Cu	72	77	116	418	12
Zn	148	165	181	196	116
As	>2000	356	113	38	48
Mo	5	7	2	2	1
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	34	31	30	25	24
Au (ppb)	782	33	10	9	9

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la veine

TABLEAU B-5 — Analyse des éléments majeurs et des éléments traces, coupe à travers la veine Sharpe à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-547-85* Ferrodlorite** à quartz 1,8 m au nord***	BD-PB-548-85 Ferrodlorite à quartz 3,0 m au nord	BD-PB-549-85 Ferrodlorite à quartz 6,1 m au nord	BD-PB-550-85 Ferrodlorite à quartz 7,6 m au nord
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	39,00	39,50	49,60	51,00
Al ₂ O ₃	12,80	11,40	12,50	11,50
TiO ₂	2,99	3,30	3,33	2,18
Fer total	17,30	18,70	18,20	15,80
FeO	14,06	16,24	14,64	9,21
MnO	0,29	0,30	0,26	0,24
MgO	4,83	5,46	3,98	3,23
CaO	10,00	8,47	4,49	7,19
Na ₂ O	1,05	0,31	2,33	2,75
K ₂ O	0,76	0,28	0,11	0,35
P ₂ O ₅	0,16	0,17	0,29	0,35
Perte au feu	10,00	9,60	2,50	3,10
Total	99,18	97,50	97,59	97,69
CO ₂	7,66	6,38	1,98	3,28
H ₂ O ⁺	0,15	0,10	0,15	0,15
S	0,26	0,14	0,04	0,04
Fe	11,9	12,6	11,7	10,3
Ti	1,15	1,26	1,33	0,91
Éléments traces (ppm)				
V	555	648	250	115
Cr	<1	<1	<1	2
Mn	2436	2655	1813	2044
Co	64	65	47	35
Ni	3	2	4	2
Se	<5	<5	15	<5
Cd	<1	<1	<1	<1
Sn	<10	<10	<10	<10
Sb	<5	<5	7	<5
Te	13	12	17	<10
W	<10	<10	<10	<10
Bi	<2	<2	<2	<2
U	<10	<10	<10	<10
Rb	11	4	1	8
Sr	75	63	30	87
Zr	50	47	103	108
Y	21	23	41	63
Sc	61,0	62,9	63,0	46,0
Hf	1,9	1,7	4,6	4,3
Cu	46	24	13	2
Zn	116	138	142	118
As	84	61	37	16
Mo	<1	2	4	4
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	21	25	20	19
Au (ppb)	16	5	3	9

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la veine

TABLEAU B-6 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Veine Mann et roches encaissantes à la mine Norbeau

	BD-PB-453-86* Leucogabbro**	BD-PB-454-86 Veine de quartz	BD-PB-456-86 Leucogabbro	BD-PB-457-86 Leucogabbro	BD-PB-459-86 Leucogabbro
	6,1 m au nord***	-	0,3 m au sud	1,2 m au sud	1,2 m au nord
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	46,5	-	22,2	46,3	47,3
Al ₂ O ₃	17,5	-	13,2	5,36	13,8
TiO ₂	0,66	-	0,61	0,56	0,84
Fer total	9,19	-	9,21	14,5	10,5
FeO	6,10	-	7,80	12,1	8,60
MnO	0,15	-	0,18	0,20	0,84
MgO	7,80	-	8,35	18,5	9,62
CaO	13,6	-	23,1	9,31	6,80
Na ₂ O	1,58	-	<0,01	<0,01	<0,01
K ₂ O	0,08	-	1,48	0,08	1,53
P ₂ O ₅	0,07	-	0,05	0,04	0,04
Perte au feu	2,9	-	21,9	4,8	9,5
Total	100,2	-	100,4	100,1	100,3
CO ₂	0,58	-	18	0,52	4,9
H ₂ O ⁺	2,1	-	3,5	3,3	3,2
S	0,00	1,99	0,00	0,00	0,00
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	30	49	42	<0,5	3,5
Zn	83	100	87	96	100
As	16	400	100	98	20
Mo	<5	<10	<5	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	10	45	4	2	<2
Au (ppb)	1	170000	170	4	3
Éléments traces (ppm)					
B	10	-	50	<10	10
Ba	40	<4000	120	70	210
Be	<10	-	<10	<10	<10
Bi	<0,5	-	<0,5	<0,5	<0,5
Br	2	6	<01	<01	<01
Cd	<0,2	<2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	47	<5	48	110	40
Cr	310	30	510	2400	560
Cs	<0,5	<2	<0,5	<0,5	<0,5
Ge	<10	-	<10	<10	<10
Hf	1	<2	1	<1	4
Li	10	-	40	<10	30
Nb	20	-	<20	20	20
Ni	120	5	110	580	81
Rb	20	<100	30	<20	50
Sb	0,8	<1	0,3	0,2	0,3
Sc	54,0	0,5	48,0	37,3	63,0
Se	<4	50	<4	<4	<3
Sr	310	<1000	40	<20	<20
Ta	<1	<2	<1	<1	18
Th	<0,5	<2	<0,5	<0,5	<0,5
U	<0,6	<5	<0,6	<0,5	<0,5
V	200	-	170	160	160
W	<3	<10	9	<3	<4
Y	<20	-	<20	20	<20
Zr	30	-	<20	20	120
Terres rares (ppm)					
La	3,1	2	3,2	2,4	3,3
Ce	4	<13	20	19	20
Nd	6	<20	6	6	6
Sm	1,9	<0,5	1,9	2,0	1,9
Eu	0,7	0,9	0,4	0,6	0,6
Yb	2,3	1,1	2,1	1,7	2,2
Lu	0,32	<0,3	0,35	0,24	0,34

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la veine

TABLEAU B-7 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Veine n° 1 à la mine Norbeau

	BD-PB-433-86* Ferrodiorite** à quartz 0,9 m à l'ouest***	BD-PB-434-86 Ferrodiorite à quartz 4,6 m à l'ouest	BD-PB-435-86 Ferrodiorite à quartz 9,1 m à l'ouest	BD-PB-436-86 Ferrodiorite à quartz 13,7 m à l'ouest	BD-PB-437-86 Ferrodiorite à quartz 22,9 m à l'ouest	BD-PB-438-86 Ferrogabbro à quartz 0,6 m à l'est
Éléments majeurs (% du poids)						
SiO ₂	21,1	39,2	49,8	56,2	58,0	46,7
Al ₂ O ₃	11,4	10,9	12,7	13,0	12,0	13,6
TiO ₂	3,20	2,97	2,47	1,47	1,07	1,91
Fer total	20,3	15,9	20,0	13,8	18,4	21,4
FeO	9,10	12,9	16,3	11,1	14,9	17,5
MnO	0,35	0,29	0,17	0,16	0,22	0,16
MgO	4,01	3,86	3,42	3,01	2,25	7,73
CaO	12,0	9,50	4,50	4,27	2,57	2,47
Na ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	2,24	1,93	0,35
K ₂ O	3,53	2,58	1,21	0,66	0,09	0,06
P ₂ O ₅	0,08	0,11	0,27	0,43	0,30	0,08
Perte au feu	20,3	14,4	6,0	5,1	3,4	6,0
Total	96,3	99,8	100,5	100,4	100,4	100,5
CO ₂	19,0	14,0	3,3	2,8	1,6	0,91
H ₂ O ⁺	0,80	1,9	3,6	3,7	3,9	5,6
S	4,04	0,13	0,07	0,14	0,00	0,00
Éléments traces métalliques (ppm)						
Cu	23,0	56	16	10	0,5	230
Zn	47	200	170	110	100	140
As	5200	170	72	160	16	100
Mo	<27	<5	<5	6	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	<2	<2	8	2	<2	4
Au (ppb)	1000	20	1	10	8	6
Éléments traces (ppm)						
B	50	40	20	<10	<10	<10
Ba	190	130	170	140	100	80
Be	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Br	5	<1	<1	<1	1	<1
Cd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	88	78	56	53	21	90
Cr	<10	10	10	10	20	30
Cs	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ge	<10	10	<10	<10	<10	<10
Hf	<5	2	4	8	8	1
Li	<10	20	20	10	10	20
Nb	20	20	<20	40	30	20
Ni	3	3	4	2	2	70
Rb	90	80	30	20	<20	30
Sb	1,1	0,4	0,4	0,4	0,2	0,3
Sc	75,9	69,9	60,9	46,7	34,7	62,0
Se	33	<5	<3	<3	<3	<5
Sr	80	50	30	20	<20	<20
Ta	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Th	<2,7	0,5	0,9	1,6	1,6	0,5
U	<2,7	0,7	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6
V	590	530	130	80	10	940
W	55	5	<3	<3	<3	9
Y	<20	30	50	60	50	<20
Zr	30	40	140	300	280	50
Terres rares (ppm)						
La	4,9	5,6	9,5	10,6	14,6	3,3
Ce	<16	33	60	62	75	25
Nd	<27	7	18	17	23	7
Sm	2,2	3,0	6,4	6,5	7,9	1,8
Eu	1,6	1,1	1,6	1,1	1,9	0,7
Yb	2,7	3,5	7,0	8,7	9,6	2,4
Lu	0,44	0,53	1,11	1,38	1,57	0,36

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la veine

TABLEAU B-7 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Veine n° 1 à la mine Norbeau (suite)

	BD-PB-439-86* Ferrogabbro** à quartz 1,5 m à l'est***	BD-PB-440-86 Ferrogabbro à quartz 3,0 m à l'est	BD-PB-441-86 Veine de quartz -	BD-PB-420-86 Veine de quartz -	BD-PB-420B-86 Veine de quartz avec sulfures -
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	41,8	41,1	-	-	-
Al ₂ O ₃	12,1	12,0	-	-	-
TiO ₂	2,48	2,37	-	-	-
Fer total	20,0	20,0	-	-	-
FeO	16,2	15,7	-	-	-
MnO	0,17	0,20	-	-	-
MgO	6,40	7,32	-	-	-
CaO	7,72	7,82	-	-	-
Na ₂ O	0,69	0,85	-	-	-
K ₂ O	0,04	0,10	-	-	-
P ₂ O ₅	0,07	0,08	-	-	-
Perte au feu	7,7	8,0	-	-	-
Total	92,2	99,9	-	-	-
CO ₂	4,7	4,7	-	-	-
H ₂ O ⁺	4,2	3,9	-	-	-
S	8,08	8,10	0,01	0,00	2,61
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	96	460	1,5	240	85
Zn	110	110	10	8	26
As	53	59	610	410	3000
Mo	<5	<5	<10	<10	<50
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5
Pb	<2	6	15	10	5
Au (ppb)	<1	8	1200~	940	200
Éléments traces (ppm)					
B	<10	<10	-	-	-
Ba	100	120	<1000	<1000	<4000
Be	<10	<10	-	-	-
Bi	<0,5	<0,5	-	-	-
Br	2	1	5	6	<11
Cd	<0,2	<0,2	<2	<2	<2
Co	88	94	<5	<5	65
Cr	30	30	<10	<10	140
Cs	<0,5	<0,5	<2	<2	<26
Ge	<10	<10	-	-	-
Hf	1	1	<1	<1	<14
Li	10	10	-	-	-
Nb	20	<20	-	-	-
Ni	60	57	<5	<5	20
Rb	30	<20	<100	<100	<300
Sb	0,2	0,3	<1	<1	15
Sc	57,0	61,0	0,6	0,7	17,1
Se	<5	<5	<10	<10	<160
Sr	<20	30	<1000	<1000	<6000
Ta	<1	<1	<2	<2	<14
Th	<0,5	<0,5	<1	<1	<11
U	<0,6	<0,7	<5	<5	<14
V	1300	1200	-	-	-
W	6	<3	<10	<10	<10
Y	20	<20	-	-	-
Zr	<20	40	-	-	-
Terres rares (ppm)					
La	2,8	3,4	<1	<1	7
Ce	19	19	<5	<10	<70
Nd	<5	5	-	-	-
Sm	1,9	1,9	<0,5	<0,5	<0,5
Eu	0,9	0,7	<0,5	<0,5	<0,5
Yb	2,0	2,3	<0,5	<0,5	<15,5
Lu	0,35	0,40	<0,2	<0,2	1,1

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la veine

TABLEAU B-8 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Veine de quartz découverte à la mine Norbeau

	BD-PB-193-86*	BD-PB-311-86	BD-PB-312-86	BD-PB-313-86	BD-PB-314-86
	Veine** de quartz	Veine de quartz	Ferrogabbro à quartz 0,2 m au nord***	Ferrogabbro à quartz 0,2 m au sud	Ferrogabbro à quartz 1,2 m au sud
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	-	-	32,7	25,3	39,0
Al ₂ O ₃	-	-	8,78	11,9	13,0
TiO ₂	-	-	1,53	3,74	3,42
Fer total	-	-	12,5	19,1	15,3
FeO	-	-	10,1	10,4	11,7
MnO	-	-	0,32	0,30	0,18
MgO	-	-	4,12	3,88	3,37
CaO	-	-	16,7	11,8	11,3
Na ₂ O	-	-	2,68	0,31	0,08
K ₂ O	-	-	0,29	2,73	1,79
P ₂ O ₅	-	-	0,07	0,12	0,19
Perte au feu	-	-	18,6	16,7	8,5
Total	-	-	98,3	98,9	96,1
CO ₂	-	-	20,0	15,0	8,0
H ₂ O ⁺	-	-	1,2	1,0	3,8
S	0,30	0,04	0,22	2,86	0,62
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	17	-	7,5	270	74
Zn	50	50	48	61	100
As	1200	100	790	3000	180
Mo	<10	<10	<5	<27	<27
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	10	10	4	8	2
Au (ppb)	240	120	80	380	20
Éléments traces (ppm)					
B	-	-	270	30	30
Ba	<1000	<1000	30	170	160
Be	-	-	<10	<10	<10
Bi	-	-	<0,5	<0,5	<0,5
Br	<5	<5	<1	<1	<1
Cd	<2	<2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	<5	6	18	100	120
Cr	<10	<10	<10	<10	10
Cs	<2	<2	<0,5	<0,5	<0,5
Ge	-	-	<10	<10	<10
Hf	<1	<1	<1	5	5
Li	-	-	<10	<10	10
Nb	-	-	20	20	<20
Ni	<5	<5	3	3	7
Rb	<100	<100	20	40	40
Sb	<1	<1	<0,2	<1,1	<1,1
Sc	6,9	<0,5	34,1	89,6	86,9
Se	<10	<10	5	<16	33
Sr	<1000	<1000	160	100	<20
Ta	<2	<2	<1	<1	<1
Th	<1	<1	<0,5	<2,7	<2,7
U	<5	<5	<0,6	<2,7	<2,1
V	-	-	150	470	830
W	<10	<10	54	33	99
Y	-	-	<20	20	20
Zr	-	-	<20	110	120
Terres rares (ppm)					
La	<1	<1	<3,1	11,5	9,3
Ce	<5	<5	19	38	27
Nd	<10	<10	6	<27	<27
Sm	<0,5	<0,5	2,1	3,3	3,3
Eu	<0,5	<0,5	1,1	2,2	1,1
Yb	0,7	<0,5	2,3	4,9	3,3
Lu	<0,2	<0,2	0,33	0,77	0,66

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Distance de la veine

TABLEAU C-1 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Forage S-1003 de l'Indice Chibougamau Copper

	BD-PB-638-86* Ferrogabbro** à quartz 217,9 m***	BD-PB-640-86 Ferrogabbro à quartz 221,3 m	BD-PB-643-86 Ferrogabbro à quartz 223,0 m	BD-PB-645-86 Ferrogabbro à quartz 1225,2 m	BD-PB-648-86 Ferrogabbro à quartz 227,1 m	BD-PB-651-86 Ferrogabbro à quartz 228,3 m
Éléments majeurs (% du poids)						
SiO ₂	52,2	54,4	51,1	50,4	46,7	53,9
Al ₂ O ₃	13,2	13,5	13,1	12,9	10,1	13,5
TiO ₂	1,98	2,11	2,06	1,95	1,58	1,97
Fer total	12,5	10,4	12,7	11,5	14,2	12,6
FeO	6,4	5,7	7,9	5,9	6,9	7,4
MnO	0,26	0,23	0,27	0,26	0,23	0,25
MgO	3,91	4,06	4,14	4,14	3,64	4,05
CaO	8,95	7,92	7,45	12,6	9,26	6,23
Na ₂ O	2,98	2,99	2,78	1,42	1,96	2,06
K ₂ O	0,24	0,33	0,26	0,39	0,66	0,27
P ₂ O ₅	0,23	0,23	0,26	0,24	0,21	0,22
Perte au feu	1,70	2,47	4,27	2,47	5,70	3,47
Total	98,2	98,8	98,5	98,4	94,3	98,6
CO ₂	0,12	0,36	2,0	0,24	6,0	0,72
H ₂ O ⁺	1,5	2,0	2,9	1,5	2,7	2,8
S	0,00	0,10	0,10	0,00	2,24	0,24
Éléments traces métalliques (ppm)						
Cu	76	120	82	20	210	26
Zn	130	110	130	110	190	160
As	11	11	14	2	86	15
Mo	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	<2	4	<2	4	12	2
Au (ppb)	<1	2	61	<1	330	2
Éléments traces (ppm)						
B	7,8	7,6	4,0	<0,5	5,2	0,8
Ba	110	110	100	120	240	110
Be	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	4,0	<0,5
Br	<1	<1	<1	1	<1	1
Cd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	42	33	39	24	150	37
Cr	30	30	30	20	20	30
Cs	<2,0	3,3	<2,0	<1,9	<1,9	<1,9
Ge	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Hf	5	5	5	4	4	4
Li	<10	10	10	<10	20	10
Nb	30	30	20	30	30	30
Ni	33	39	32	25	37	35
Rb	50	40	40	30	30	<20
Sb	0,5	<0,2	0,3	0,5	<0,2	0,3
Sc	49,0	48,0	46,3	42,0	33,2	41,1
Se	<3	<5	<4	<3	<3	<4
Sr	340	890	500	710	100	630
Ta	<1	<1	<1	<1	2	<1
Th	0,8	0,6	1,2	0,6	0,5	0,7
U	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
V	400	440	380	340	240	300
W	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Y	60	30	40	50	30	30
Zr	140	120	130	110	110	120
Terres rares (ppm)						
La	11,0	11,8	11,1	18,5	7,9	9,6
Ce	34	31	30	50	23	25
Nd	17	18	17	26	12	21
Sm	6,2	5,3	5,0	8,0	3,8	4,6
Eu	1,5	1,9	1,2	1,7	1,6	1,2
Yb	5,6	4,3	4,5	6,1	3,4	4,3
Lu	0,93	0,78	0,75	1,00	0,58	0,76

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU C-2 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Indice Bourbeau west-1

	MY-PB-30-86* Leucogabbro**	BD-PB-103-86 Veine de quartz	BD-PB-104A-86 Leucogabbro	BD-PB-104B-86 Leucogabbro
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	48,0	-	50,7	32,8
Al ₂ O ₃	15,6	-	15,8	15,6
TiO ₂	1,12	-	1,12	1,02
Fer total	11,6	-	11,0	10,3
FeO	7,70	-	7,90	-
MnO	0,20	-	0,15	0,17
MgO	7,52	-	6,83	6,31
CaO	9,79	-	6,32	13,4
Na ₂ O	1,59	-	1,84	<0,01
K ₂ O	0,47	-	0,59	3,27
P ₂ O ₅	0,14	-	0,14	0,12
Perte au feu	3,2	-	5,6	13,9
Total	99,4	-	100,1	97,0
CO ₂	0,11	-	1,9	13
H ₂ O ⁺	3,1	-	4,1	1,3
S	0,06	1,09	0,00	0,77
Éléments traces métalliques (ppm)				
Cu	61	7,0	85	15
Zn	110	32	140	54
As	44	6300	32	2000
Mo	<5	<10	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	14	10	6	14
Au (ppb)	<20	320	12	28
Éléments traces (ppm)				
B	<10	-	10	100
Ba	150	<1000	230	610
Be	<10	-	<10	<10
Bi	<0,5	-	<0,5	<0,5
Br	<1	<5	<1	7
Cd	<0,2	<2	<0,2	<0,2
Co	41	31	51	49
Cr	210	280	230	180
Cs	<0,5	<6	<0,5	0,5
Ge	<10	-	<10	<10
Hf	2	<2	2	2
Li	<10	-	10	10
Nb	20	-	<20	20
Ni	85	70	92	91
Rb	20	100	40	100
Sb	0,4	<2	0,5	<0,3
Sc	50,9	35,3	53,3	50,6
Se	<4	<30	<3	<5
Sr	340	<1000	160	120
Ta	<1	<3	<1	<1
Th	<0,5	<2	<0,5	0,5
U	<0,6	<5	<0,6	<0,7
V	240	-	240	240
W	<3	<10	<3	<12
Y	<20	-	<20	20
Zr	50	-	60	60
Terres rares (ppm)				
La	5,4	4	5,3	5,6
Ce	34	17	32	23
Nd	9	<10	6	9
Sm	3,2	1,6	3,1	3,2
Eu	1,2	2,2	1,2	1,2
Yb	3,4	3,7	3,2	3,4
Lu	0,53	0,3	0,48	0,48

* N° d'échantillon

** Type de roche

TABLEAU C-3 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Indice Bourbeau west-2 (forage BO-20)

	BD-PB-681-86* Leucogabbro**	BD-PB-683-86 Leucogabbro	BD-PB-685-86 Leucogabbro	BD-PB-688-86 Leucogabbro
	261,8 m***	266,5 m	269,4 m	271,2 m
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	50,5	41,8	46,5	47,0
Al ₂ O ₃	16,0	14,7	14,6	14,5
TiO ₂	1,05	1,09	1,04	1,22
Fer total	8,19	12,0	9,22	8,57
FeO	5,40	9,60	7,60	7,00
MnO	0,23	0,25	0,20	0,17
MgO	5,86	7,18	5,42	5,30
CaO	11,6	10,4	10,6	10,1
Na ₂ O	2,39	0,57	<0,01	0,02
K ₂ O	0,13	1,12	2,07	2,27
P ₂ O ₅	0,12	0,13	0,13	0,15
Perte au feu	3,7	11,3	9,9	10,8
Total	99,8	100,8	99,8	100,2
CO ₂	1,7	7,8	8,1	7,6
H ₂ O ⁺	1,0	4,5	1,7	2,9
S	0,01	0,01	0,00	0,00
Éléments traces métalliques (ppm)				
Cu	31	4,5	36	9,0
Zn	71	76	60	61
As	25	22	49	80
Mo	<5	<5	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	<2	<2	14	10
Au (ppb)	9	2	1	33
Éléments traces (ppm)				
B	<10	10	30	30
Ba	90	450	550	720
Be	<10	<10	<10	<10
Bi	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Br	<1	1	10	<1
Cd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	61	95	37	44
Cr	210	170	130	110
Cs	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ge	10	<10	<10	<10
Hf	3	2	2	3
Li	10	40	40	40
Nb	<20	<20	<20	<20
Ni	89	63	88	71
Rb	20	20	60	80
Sb	0,5	0,3	0,2	0,2
Sc	55,1	54,2	44,7	53,8
Se	<4	<3	<3	<3
Sr	220	40	50	50
Ta	18	18	17	18
Th	0,7	0,6	<0,5	0,6
U	<0,5	<0,6	<0,5	<0,5
V	230	220	220	230
W	<4	<4	<3	<4
Y	20	20	20	40
Zr	60	60	60	80
Terres rares (ppm)				
La	5,2	5,0	4,8	5,7
Ce	32	29	25	34
Nd	9	10	6	12
Sm	3,3	2,8	2,7	3,4
Eu	0,9	0,6	0,6	1,2
Yb	3,7	5,0	3,2	3,8
Lu	0,53	0,80	0,50	0,57

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU C-3 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Indice Bourbeau west-2 (forage BO-20) (suite)

	BD-PB-691-86* Leucogabbro**	BD-PB-86-86 Leucogabbro	BD-PB-88-86 Leucogabbro
	274,0 m***	-	-
Éléments majeurs (% du poids)			
SiO ₂	50,4	43,1	45,2
Al ₂ O ₃	15,1	14,0	13,2
TiO ₂	1,30	1,63	1,32
Fer total	10,2	9,10	7,36
FeO	6,50	5,80	5,80
MnO	0,19	0,36	0,30
MgO	5,21	5,05	4,00
CaO	9,73	9,69	13,08
Na ₂ O	1,84	0,46	<0,01
K ₂ O	0,10	2,07	2,09
P ₂ O ₅	0,16	0,18	0,15
Perte au feu	6,1	14,3	13,0
Total	100,4	100,0	100,5
CO ₂	2,9	12,0	10,0
H ₂ O ⁺	1,4	1,6	1,7
S	0,00	0,74	0,06
Éléments traces métalliques (ppm)			
Cu	56	93	130
Zn	150	41	65
As	3	1400	110
Mo	<5	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	<2	8	6
Au (ppb)	3	33	2
Éléments traces (ppm)			
B	<10	30	40
Ba	90	450	510
Be	<10	<10	<10
Bi	<0,5	<0,5	<0,5
Br	<1	<1	<1
Cd	<0,2	<0,2	<0,2
Co	46	45	37
Cr	120	50	60
Cs	11,3	<0,5	<0,5
Ge	<10	<10	<10
Hf	3	3	3
Li	20	10	40
Nb	20	<20	30
Ni	65	54	46
Rb	20	60	70
Sb	0,3	<0,2	0,2
Sc	59,2	51,5	53,7
Se	<3	<5	<4
Sr	220	70	80
Ta	17	<1	<1
Th	0,7	0,7	0,5
U	<0,5	<0,8	<0,6
V	280	330	310
W	<4	7	<4
Y	40	20	30
Zr	70	100	70
Terres rares (ppm)			
La	7,8	8,8	7,5
Ce	37	46	39
Nd	11	10	10
Sm	3,8	4,3	3,9
Eu	1,4	1,7	0,7
Yb	3,7	4,1	3,6
Lu	0,58	0,62	0,55

* N° d'échantillon

** Type de roche

*** Profondeur

TABLEAU C-4 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Indice du ruisseau Leclerc

	MY-PB-05-86* Ferrogabbro** à quartz	BD-PB-06-86 Ferrogabbro à quartz	BD-PB-08-86 Ferrogabbro à quartz	BD-PB-09-86 Ferrogabbro à quartz
Éléments majeurs (% du poids)				
SiO ₂	31,5	-	51,3	50,4
Al ₂ O ₃	16,8	-	13,3	12,8
TiO ₂	1,29	-	1,90	1,79
Fer total	14,6	-	12,5	14,5
FeO	7,80	-	9,80	11,2
MnO	0,19	-	0,17	0,16
MgO	5,63	-	3,41	4,20
CaO	7,68	-	6,39	5,96
Na ₂ O	1,92	-	2,68	2,14
K ₂ O	3,28	-	0,51	0,33
P ₂ O ₅	0,12	-	0,24	0,23
Perte au feu	12,1	-	6,1	6,4
Total	95,1	-	98,5	98,9
CO ₂	12,0	-	4,7	4,3
H ₂ O ⁺	2,1	-	3,4	3,9
S	2,24	1,25	0,39	0,30
Éléments traces métalliques (ppm)				
Cu	42	20	210	87
Zn	86	40	88	95
As	650	370	21	38
Mo	6	<10	<5	5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	24	20	12	14
Au (ppb)	62	67	24	4
Éléments traces (ppm)				
B	20	<1000	<10	<10
Ba	320	-	130	140
Be	<10	-	<10	<10
Bi	<0,5	-	<0,5	<0,5
Br	2	<5	1	<1
Cd	<0,2	<2	<0,2	<0,2
Co	38	27	42	61
Cr	20	20	20	20
Cs	<0,5	<2	<0,5	<0,5
Ge	<10	-	<10	<10
Hf	3	2	4	4
Li	<10	-	10	20
Nb	20	-	20	<20
Ni	46	35	33	38
Rb	90	<100	20	20
Sb	<0,2	<1	0,2	0,4
Sc	49,4	26,7	54,4	52,8
Se	<5	<10	<3	7
Sr	300	<1000	160	160
Ta	<1	<2	<1	<1
Th	0,7	<1	0,7	0,8
U	<0,7	<5	<0,6	<0,5
V	380	-	330	360
W	15	<10	3	<3
Y	<20	-	40	30
Zr	90	-	150	130
Terres rares (ppm)				
La	7,2	4	9,7	8,0
Ce	42	29	57	52
Nd	9	<10	16	12
Sm	3,3	2,1	5,2	5,1
Eu	0,9	<0,5	1,7	1,4
Yb	3,5	2,3	5,6	5,5
Lu	0,53	0,3	0,89	0,90

* N° d'échantillon

** Type de roche

TABLEAU C-5 — Analyse des éléments majeurs, des éléments traces métalliques, des éléments traces et des terres rares. Indice Springer

	BD-PB-271-86* Ferrogabbro** à quartz	MY-PB-274-86 Ferrogabbro à quartz	BD-PB-275-86 Ferrogabbro à quartz	BD-PB-276-86 Ferrogabbro à quartz	BD-PB-281-86 Ferrogabbro à quartz
Éléments majeurs (% du poids)					
SiO ₂	48,8	47,3	49,0	51,2	51,2
Al ₂ O ₃	12,4	15,8	13,7	13,3	13,5
TiO ₂	1,67	2,20	1,93	1,72	1,71
Fer total	12,1	18,1	4,7	14,5	11,5
FeO	9,50	14,8	1,40	9,70	9,30
MnO	0,20	0,24	0,04	0,23	0,16
MgO	4,65	6,32	1,13	4,38	5,11
CaO	8,71	2,03	3,02	10,2	6,10
Na ₂ O	2,91	2,81	6,36	2,42	2,55
K ₂ O	0,12	0,17	0,39	0,30	0,60
P ₂ O ₅	0,21	0,24	0,24	0,21	0,19
Perte au feu	7,8	4,4	9,2	1,3	7,4
Total	99,6	99,6	99,7	99,8	100,0
CO ₂	5,6	0,02	1,7	0,06	4,3
H ₂ O ⁺	3,6	3,8	2,0	1,7	3,2
S	0,06	0,07	5,98	0,00	0,00
Éléments traces métalliques (ppm)					
Cu	300	20	35	5,0	47
Zn	95	130	21	94	66
As	12	16	33	17	5
Mo	<5	<6	10	<5	<5
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	4	10	14	20	4
Au (ppb)	1	1	48	40	79
Éléments traces (ppm)					
B	<10	<10	70	<10	<10
Ba	80	140	180	120	140
Be	<10	<10	<10	<10	<10
Bi	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Br	<1	<5	<5	2	<1
Cd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	35	44	71	47	21
Cr	20	40	30	10	30
Cs	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ge	<10	<10	10	<10	<10
Hf	4	5	5	4	3
Li	10	10	30	20	20
Nb	<20	30	20	30	20
Ni	39	45	36	34	44
Rb	<20	<20	<20	20	30
Sb	0,3	1,1	1,1	2,1	0,2
Sc	52,8	63,2	39,0	55,5	51,5
Se	<3	<16	<7	<3	<3
Sr	50	<20	50	160	60
Ta	<1	<1	<1	<1	<1
Th	0,8	1,1	1,4	1,1	0,9
U	<0,6	<1,0	<1,9	0,8	<0,5
V	330	400	150	350	310
W	<3	16	27	<3	<3
Y	30	30	40	30	50
Zr	100	180	140	120	120
Terres rares (ppm)					
La	7,8	9,3	7,7	7,3	7,1
Ce	48	38	44	47	41
Nd	13	18	<27	11	11
Sm	4,9	4,9	4,9	4,7	4,1
Eu	2,0	1,6	2,7	1,5	0,8
Yb	5,0	6,6	4,4	5,6	5,1
Lu	0,80	0,93	0,77	0,86	0,78

* N° d'échantillon

** Type de roche