ET 92-01

GEOLOGIE ET GEOCHIMIE DU GISEMENT DE NORBEC, REGION DE ROUYN-NORANDA

Documents complémentaires

Additional Files





Licence



License

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources naturelles
Québec

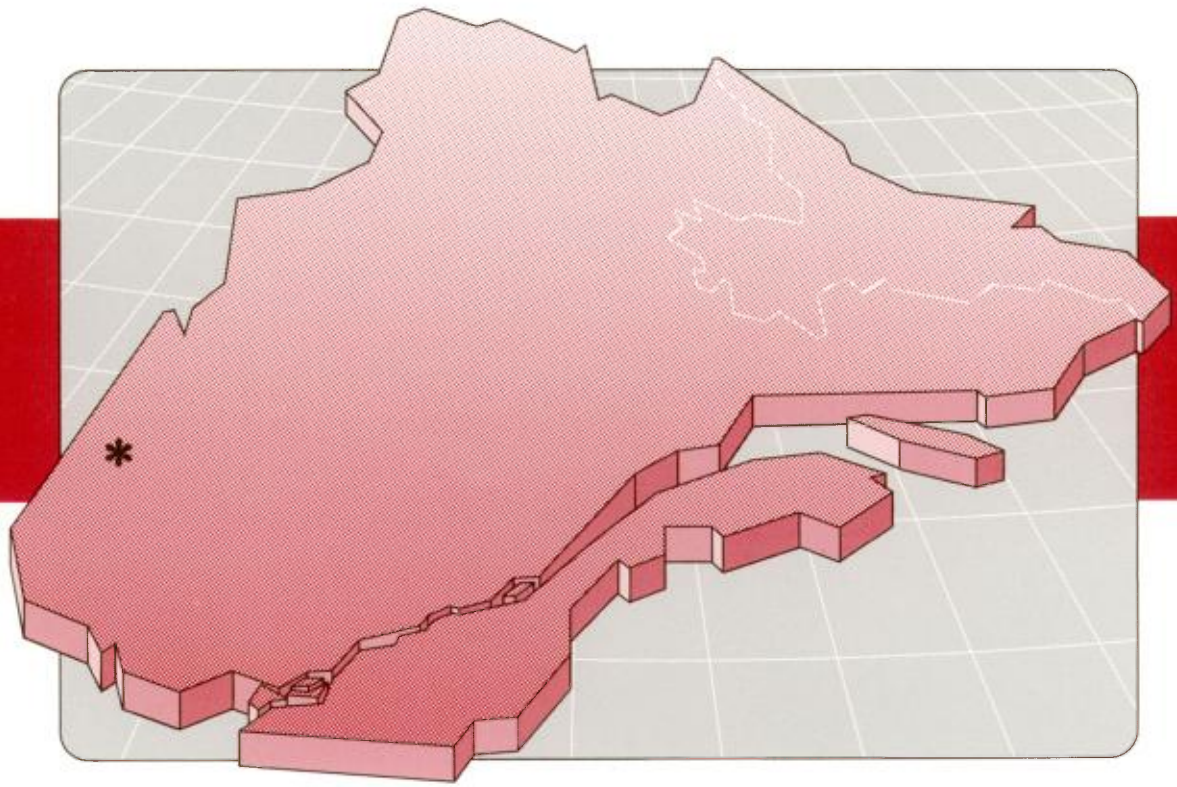
Canada Québec

Travaux réalisés dans le cadre de l'entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement minéral

Géologie et géochimie du gisement de Norbec, région de Rouyn-Noranda

ET 92-01

Sergio Cattalani
Wallace H. MacLean
Timothy J. Barrett
Noelle A. Shriver
Lawrence D. Hoy



1994

Québec

Géologie et géochimie du gisement de Norbec, région de Rouyn-Noranda

ET 92-01

Sergio Cattalani
Wallace H. MacLean
Timothy J. Barrett
Noelle A. Shriver
Lawrence D. Hoy

DIRECTION DE LA RECHERCHE GÉOLOGIQUE
Directeur : J.-L. Caty

SERVICE GÉOLOGIQUE DU NORD-OUEST
Chef : A. Simard

Manuscrit soumis le : 92-02-03
Accepté pour publication le : 93-05-20

Lecteur critique
F. Chartrand

Éditeur
M. Germain

Préparé par la Division de l'édition (Service de la géoinformation, DAEM)

Le présent projet est financé par Ressources naturelles Canada et le ministère des Ressources naturelles du Québec dans le cadre de l'entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement minéral.

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 1993
ISBN : 2-551-13287-8
© Gouvernement du Québec

RÉSUMÉ

Le gîte de sulfures massifs de Norbec a été découvert en 1961 et son exploitation a débuté en 1964. Ce gîte se situe dans la Série centrale des mines du Groupe de Blake River d'âge archéen, au contact entre la rhyolite de Waite du mur et l'andésite d'Amulet du toit. Le gîte consistait en une lentille Principale stratiforme (zone A), un stockwerk fortement minéralisé (zones B et C) et une petite lentille massive (zone D) située à environ 600 m plus loin le long du même contact. La lentille Principale s'étendait sur presque 200 m latéralement, avec une épaisseur maximale de 65 m. Entre 1964 et 1976, le gîte Norbec a produit 4,6 millions de tonnes métriques de minerai contenant 2,61 % Cu, 3,88 % Zn, 43,8 g/t Ag et 0,65 g/t Au. La chalcopyrite est concentrée à la base du gisement alors que la sphalérite, la pyrrhotine et la pyrite sont abondantes dans la partie supérieure.

Le gîte de sulfures masssifs de Norbec se situe au sommet de la rhyolite de Waite et est recouvert par l'andésite d'Amulet. La rhyolite de Waite, dont les textures varient d'aphyrique à porphyrique en quartz et en plagioclase, a une épaisseur d'environ 200 m sous la mine, et repose sur l'andésite de Waite, laquelle montre une puissance d'au moins 500 m. La rhyolite de Waite contient des unités massives et bréchiques, avec localement des lits de tuf. Dans le mur du gisement de sulfures massifs, la rhyolite et l'andésite de Waite sont altérées hydrothermalement et minéralisées de façon variable à l'intérieur d'une zone d'altération en forme de cheminée. Le tuf du contact principal (*main contact tuff*), qui consiste en un tuf cherteux finement lité accompagné d'une minéralisation en sulfures, se situe entre la rhyolite et l'andésite de Waite du toit. L'andésite d'Amulet est d'une puissance supérieure à 800 m (incluant les dykes), et ne montre que peu de signes d'altération hydrothermale. La composition de cette unité varie de basalte à andésite.

Les roches volcaniques les plus fraîches du gîte de Norbec sont des tholéiites à basse teneur en potassium selon le diagramme K_2O-SiO_2. Toutefois, les compositions basaltiques à andésitiques montrent des contenus en Al_2O_3 (d'environ 16 %) plus élevés que la normale pour des tholéiites (13 à 14 %), et présentent seulement un enrichissement modéré en Fe. Les rapports Zr/Y pour les unités volcaniques de Norbec sont d'environ 5,5 c'est-à-dire transitionnels entre des roches tholéiitiques et calco-alcalines, mais typiques des roches volcaniques de la Série centrale des mines. Les profils des ETR montrent des rapports La_N/Yb_N transitionnels entre les roches tholéiitiques (≤ 2) et calco-alcalines (> 4).

La minéralogie de la rhyolite altérée de Waite est constituée de l'assemblage quartz-chlorite-biotite-muscovite-pinite-andalousite-grenat-anthophyllite-gahnite, lequel résulte du métamorphisme de contact des roches altérées hydrothermalement et situées près de la granodiorite du lac Dufault. L'andalousite et la pinite (séricite et chlorite finement enchevêtrées) se présentent sous la forme de masses radiales causées apparemment par le remplacement métamorphique et rétrograde de la cordiérite et exhibent la texture «dalmatianite» distinctive. L'andésite d'Amulet possède un assemblage minéral de hornblende, de plagioclase d'épidote, de quartz et de leucoxène.

À Norbec, les éléments Zr, Y, Nb et les ETR étaient immobiles lors de l'altération. Les diagrammes des éléments immobiles illustrent une seule lignée d'altération pour la rhyolite de Waite, montrant que la composition originelle était homogène. Les changements de masse dans la rhyolite de Waite sont dominés par des gains importants en Si et en Fe, et par une perte importante en Na. Le centre de la zone d'altération est enrichi en Mg et en Fe et est plus pauvre en K que la périphérie, laquelle est enrichie en K et en Si. L'augmentation en Fe est principalement causée par l'addition de sulfure, mais une

certaine partie provient de la formation de chlorite riche en Fe. Une silicification nette caractérise la cheminée d'altération, ce qui s'avère assez inhabituel pour les cheminées d'altération se retrouvant sous les gîtes de sulfures massifs, là où se produit normalement un lessivage de la silice. Environ la moitié des échantillons montrent des gains en K, lequel aurait formé de la séricite à l'origine, mais cet élément a été en grande partie converti en biotite lors du métamorphisme de contact. Il existe une faible augmentation en Ca, laquelle est inhabituelle dans les zones d'altération situées autour des gîtes de sulfures massifs, celle-ci provenant probablement d'une altération en carbonate.

Les minéraux normatifs d'altération ont été calculés à partir des analyses chimiques dans le but d'estimer l'assemblage d'altération prémétamorphique. Les minéraux d'altération silicatés les plus abondants sont les quartz, l'albite, la chlorite et la séricite dont les proportions révèlent les zones d'altération primaires en chlorite avec plus ou moins de quartz et en quartz et séricite. Ces phases ont été converties par le métamorphisme de contact en biotite, chlorite, actinote-hornblende, andalousite, grenat, séricite, carbonate, anthophyllite et pour une faible part en gahnite. La majorité des minéraux mafiques métamorphiques sont riches en Fe et provenaient probablement de la chlorite et de la séricite qui ont des rapports Fe/Fe+Mg semblables. La présence d'andradite, de grenat, d'actinote et de quartz dans les échantillons riches en sulfures est probablement fonction des contenus globaux faibles en Al et élevé en Ca. Un assemblage d'altération primaire en quartz, en calcite et en sulfures peut être démontré pour la cheminée minéralisée. L'assemblage qui consiste en grenat almandin riche en Mn, en biotite, en hornblende, en chlorite et en épidote est caractéristique du faciès des cornéennes du niveau de l'amphibolite inférieure qu'on retrouve également dans les zones d'altération métamorphisées des mines voisines de Millenbach et d'Amulet.

REMERCIEMENTS

Nous avons apprécié l'appui de la compagnie Minnova inc. lors de cette étude et, en particulier, l'aide de Gérald Riverin et de Pierre Bertrand qui nous ont donné accès à tous les documents reliés à la mine. Anne Bertrand est remerciée pour l'effort fourni à la traduction d'une partie de ce rapport. Nous remercions M. Francis Chartrand, docteur en géologie, pour la lecture critique de ce rapport.

Table des matières

Page

GÉNÉRALITÉS 1
Gisements de sulfures massifs volcanogènes 1
Localisation du gisement 1
Historique du gisement 1
Contexte géologique régional du gisement 1
Stratigraphie au voisinage du gisement 2
Andésite d'Amulet 4
«Main contact tuff» 4
Rhyolite de Waite 6
Andésite de Waite 7

GÉOCHIMIE DES ROCHES VOLCANIQUES 9
Généralités 9
Éléments majeurs 9
Éléments en trace 9
Éléments des terres rares 11
Sommaire 11

ALTÉRATION DES ROCHES VOLCANIQUES 13
Généralités 13
Changements de masse 13
Procédure 13
Résultats 14
Minéraux d'altération normatifs 16
Minéraux métamorphiques 16
Diagramme Al-Mg-Fe 16
Diagramme silice-alcalis-mafiques 19
Sommaire 19

GÉOCHIMIE ISOTOPIQUE 21
Méthodologie et résultats 21
Discussion 21
Aspects thermo-isotopiques des fluides 21
Profils de la composition isotopique de l'oxygène 22
Sommaire 23

GÎTOLOGIE, MINÉRALOGIE ET GÉOCHIMIE DES SULFURES 25
Généralités 25
Minéralogie 25
Géochimie des sulfures 26

Données de la compagnie 26
Données de cette étude 26

DISCUSSION ET SOMMAIRE 33
Comparaison avec d'autres amas sulfurés du camp minier de Rouyn-Noranda 33

RÉFÉRENCES 37

ANNEXES

1 – Résultats d'analyse pour les éléments majeurs et en traces des volcanites à la mine Norbec 42

2 – Résultats d'analyse pour les éléments des terres rares des volcanites à la mine Norbec 44

3 – Changements de masse des échantillons altérés de la rhyolite de Waite à la mine Norbec 45

4 – Résultats d'analyse des volcanites pour les isotopes d'oxygène, mine Norbec 46

5 – Composition chimique des échantillons minéralisés, mine Norbec 47

Généralités

Gisements de sulfures massifs volcanogènes

À la fin des années 50, des modèles de processus volcano-exhalatifs ont, pour la première fois, été proposés pour la genèse des gisements de sulfures massifs (Watanabe, 1957 ; Oftedahl, 1958 ; Hawley, 1959). Depuis lors, plusieurs études, combinées à de nouvelles découvertes ont raffiné ce modèle (Hayashi, 1961, 1962 ; Moorhouse, 1965 ; Sharpe, 1965 ; Roscoe, 1965 ; Gilmour, 1965 ; Sato, 1968 ; Tatsumi, 1970 ; Sangster, 1972 ; Lambert et Sato, 1974 ; Sangster et Scott, 1976 ; Solomon, 1976 et plusieurs autres). Plus récemment, des études portant sur les zones minéralisées des fonds marins ont contribué à mieux expliquer les processus responsables de la formation des gisements de sulfures massifs volcanogènes (Corliss *et al.*, 1979 ; CYAMEX Scientific Team 1979 ; Edmond *et al.*, 1979 ; RISE Project Group, 1980, entre autres). Un survol de l'histoire de l'exploration pour ce type de gisement dans le district de Rouyn-Noranda est présenté dans Cattalani *et al.* (1990a).

Le but principal de ce projet, amorcé en 1987, est de procéder à une réévaluation systématique des anciennes mines de métaux usuels, de même que des mines présentement actives. Le présent rapport a pour but de présenter les résultats de l'étude du gisement Norbec. Les objectifs de l'étude sont les suivants : 1) la caractérisation des séquences volcaniques encaissantes selon les variations lithologiques et selon la géochimie lithologique et isotopique des roches fraîches et altérées ; 2) la caractérisation de la minéralogie de la zone d'altération hydrothermale telle qu'imposée par la phase de métamorphisme de contact reliée à l'emplacement du batholite de Flavrian ; 3) la caractérisation des aspects géochimiques des amas minéralisés, et la définition des patrons de distribution métallifère. Le gisement Norbec représente le septième gisement volcanogène de sulfures massifs à être étudié dans le contexte de ce projet. Les gisements étudiés antérieurement incluent ceux de Horne et Quemont (Cattalani *et al.*, 1990a ; Barrett *et al.*, 1991a ; MacLean et Hoy, 1991), d'Aldermac (Cattalani *et al.*, 1990b ; Barrett *et al.*, 1991b), d'Ansil (Cattalani *et al.*, 1990c, 1991c ; Barrett *et al.*, 1991c), Mobrun (Riopel *et al.*, 1991a et b ; Barrett *et al.*, en préparation) et Delbridge (Cattalani *et al.*, 1991a).

Localisation du gisement

Le gisement Norbec (32D/06-050), est situé dans la partie SW du canton de Dufresnoy, à environ 12 km au NW de la ville de Rouyn-Noranda (figure 1). L'accès à partir de Rouyn-Noranda se fait par la route 101 en direction nord et par un chemin partiellement asphalté de direction W, menant directement au sîte de la mine Norbec.

Historique du gisement

La gisement Norbec fut découvert en 1961 durant une campagne de forage dirigée selon une entente partagée entre Mines Lac Dufault ltée et Mines Falconbridge Nickel ltée, et entra en production en octobre 1964 (Purdie, 1967). Les zones exploitées consistent en une lentille principale stratiforme de sulfures massifs (zone A), une zone de stockwerk hautement minéralisée (zones B et C) ainsi qu'une petite lentille satellite (zone D) située à environ 600 m (2000 pieds) au SW de la lentille Principale, sur le même horizon stratigraphique (figure 2). Entre 1964 et 1976, le gisement Norbec a produit 4,6 millions de tonnes métriques de minerai à 2,61 % Cu, 3,88 % Zn, 43,8 g/t Ag et 0,65 g/t Au.

Contexte géologique régional du gisement

Le gisement Norbec est logé dans les roches du Groupe de Blake River, un des complexes volcaniques mafiques à felsiques d'âge archéen (Krough et Davis, 1971) de la zone de roches vertes de l'Abitibi, une Sous-province de la Province du Supérieur du Bouclier Canadien (Gélinas et Ludden, 1984). Les volcanites du Groupe de Blake River sont métamorphisées au faciès des schistes verts à préhnite-pumpellyite (Baragar, 1968). Le gisement Norbec se trouve dans l'auréole métamorphique de contact produite à la suite de l'emplacement du batholithe du Lac Dufault. Les roches affectées par cette phase de métamorphisme atteignent le faciès de l'amphibolite (cornéenne de la hornblende selon la nomenclature de Turner et Verhoogen, 1960 ; Sakrison, 1967 ; de Rosen-Spence, 1969). Pour une discussion plus détaillée du contexte géologique régional du Groupe de Blake River consultez le document de Cattalani *et al.*, (1990a).

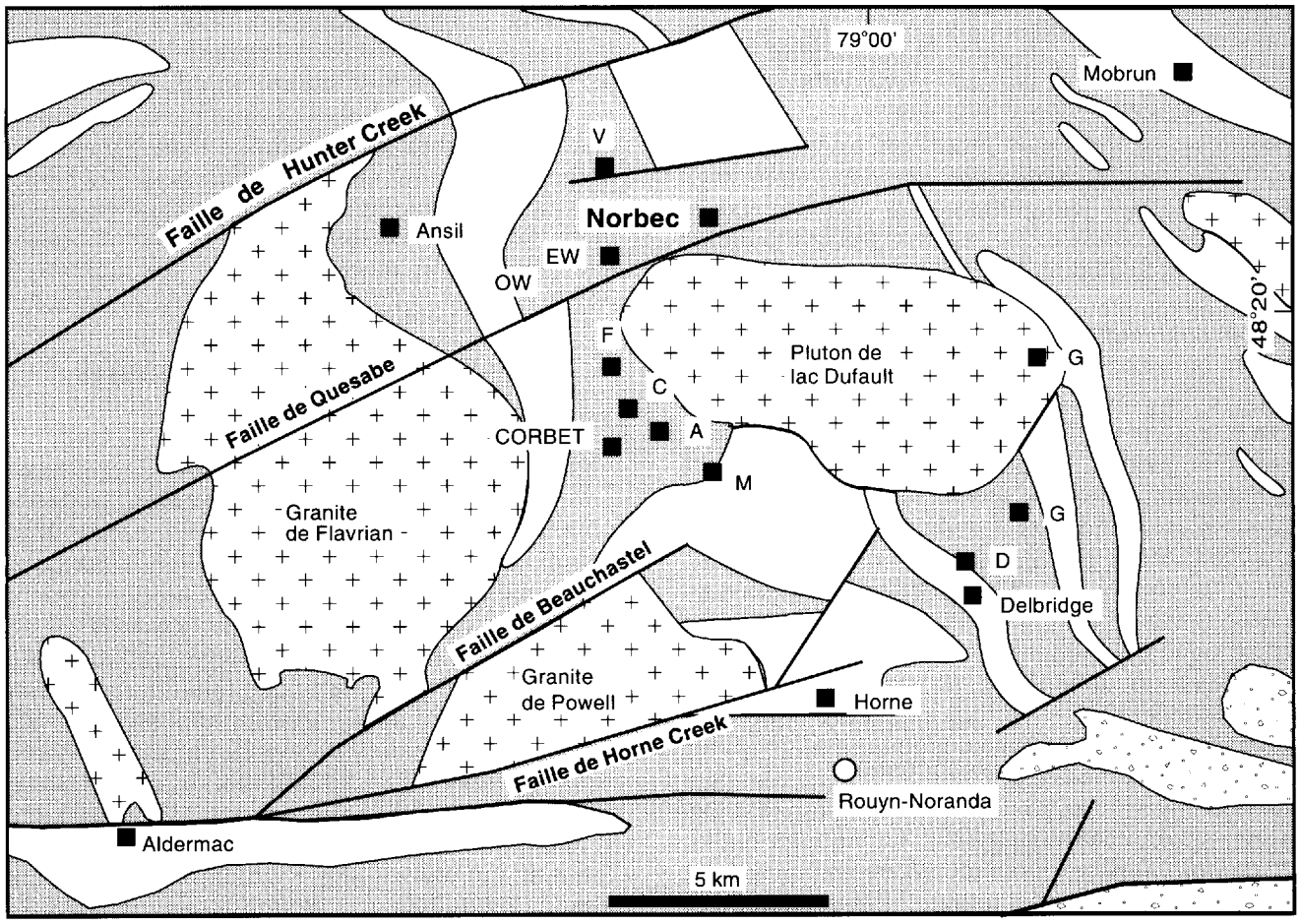
Le gisement Norbec est situé à l'intérieur d'un empilement de roches volcaniques felsiques et mafiques qui correspond à la Série centrale des Mines de Spence et de Rosen-Spence, (1975) et la Série de Dufault de Gélinas *et al.*, (1984) (figure 3). Plus précisément, il se trouve au contact entre l'andésite d'Amulet formant l'éponte supérieure et la rhyolite de Waite, l'éponte inférieure. Le gisement se trouve en corrélation avec un tuf cherteux minéralisé le «*main contact tuff*» de Kalogeropoulos et Scott, 1989) qui représente le même contact stratigraphique sur lequel se trouvent les

gisements de Vauze, Waite et Amulet. Cette séquence est recoupée par des filons-couches de diorite d'épaisseurs variables. Des coupes verticales orientées NE-SW et NW-SE sont présentées aux figures 4 et 5, respectivement.

Stratigraphie au voisinage du gisement

La figure 3 nous montre le gisement de sulfures massifs de Norbec situé au sommet de la rhyolite de Waite, surmontée par l'andésite d'Amulet. Sous la mine, la rhyolite de Waite d'une épaisseur d'environ 200 m, s'amincit à 100 m vers l'ouest, et s'épaissit à nouveau pour atteindre 350 m à l'est de la mine. La rhyolite de Waite recouvre l'andésite de Waite qui, à cet endroit, est d'une épaisseur d'environ 500 m. Stratigraphiquement sous cette dernière unité se trouve la rhyolite d'Amulet qui n'a pas été recoupée par forage sous la mine Norbec. Toutes ces unités ont un faible pendage de 15 à 20° vers le SE.

Cette portion de la stratigraphie est séparée des stratigraphies avoisinantes à l'W par des dykes épais (500 m) de gabbro-diorite à pendage vers l'E (e.g. diorite de Dufresnoy; figure 2). À la mine, l'andésite d'Amulet est d'une épaisseur minimale de 800 m, la portion supérieure étant recoupée par les mêmes dykes que



ARCHÉEN

- Roches intrusives
- Roches volcaniques felsiques
- Roches volcaniques mafiques
- Roches sédimentaires

■ **Gisement de sulfures massifs**

(Abréviations: **M** = Millenbach; **A** = Amulet A; **C** = Amulet C; **F** = Amulet F; **V** = Vauze; **OW** = Old Waite; **EW** = East Waite; Q = Quemont; **D** = D'Eldona; **G** = Mines Gallen)

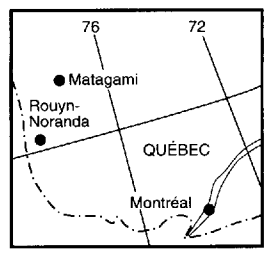


FIGURE 1 – Plan géologique schématique du Groupe de Blake River montrant la localisation de quelques gisements de sulfures massifs du camp minier de Rouyn-Noranda.

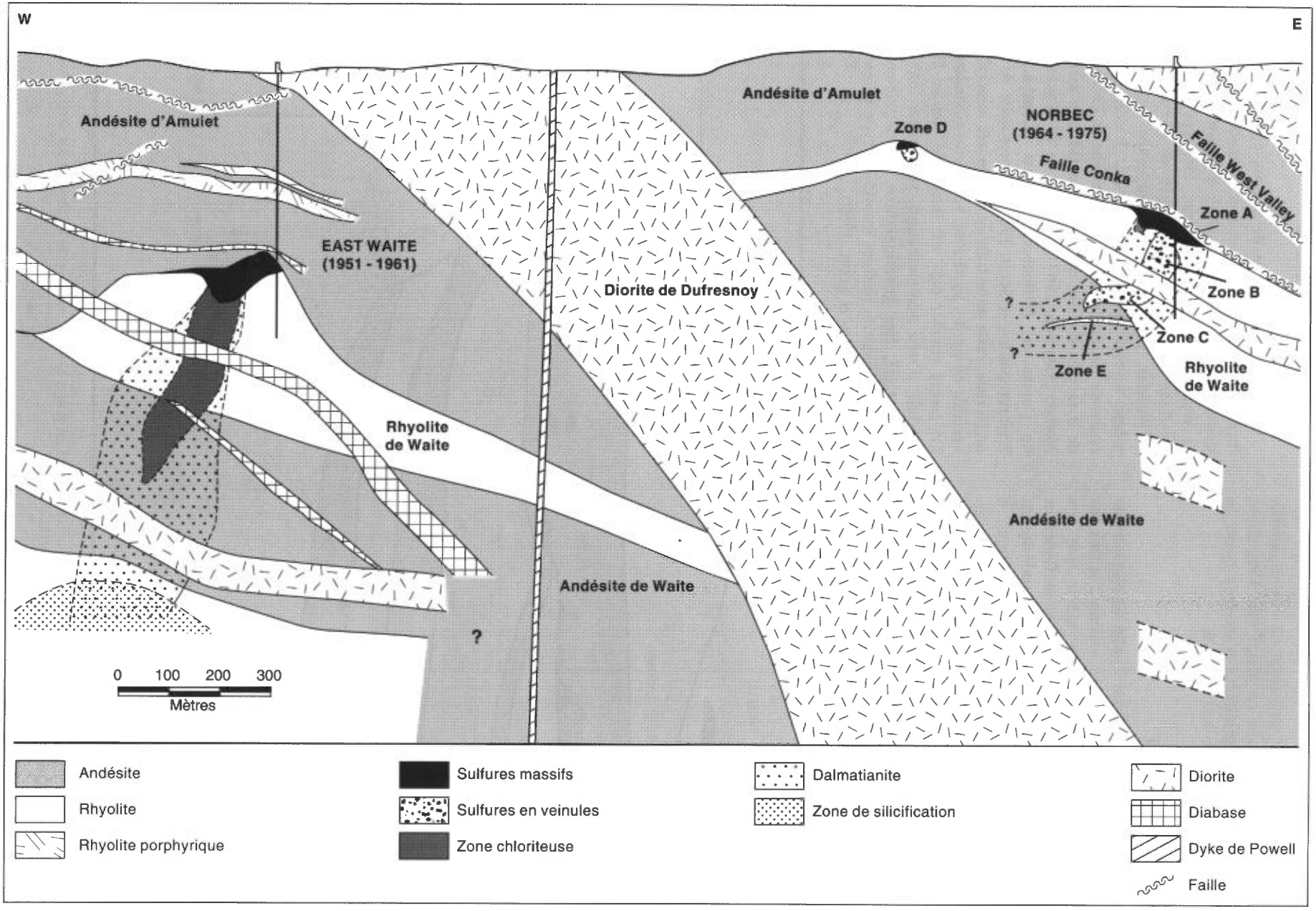


FIGURE 2 – Section géologique E-W à travers les amas Norbec et East Waite (tiré de Bancroft et Atkinson 1981).

ci-haut. À l'ouest, l'andésite et la rhyolite de Waite sont plus minces qu'à Norbec, indiquant un épaississement de l'empilement volcanique en allant vers l'est de la mine. Une colonne stratigraphique ayant pour centre la mine Norbec est présentée à la figure 6.

ANDÉSITE D'AMULET

L'andésite d'Amulet constitue l'unité stratigraphique supérieure de la mine Norbec; elle contient à la fois des coulées massives et coussinées de même que des intrusions sous forme de filons-couches mafiques et felsiques. Bien que l'unité soit appelée une andésite, sa composition chimique varie plutôt de basaltique à andésitique (chapitre suivant). L'assemblage minéralogique composé de hornblende, de plagioclase, d'épidote, de quartz et de leucoxène (figure 7a) est caractéristique du métamorphisme de contact des roches affectées par la granodiorite du Lac Dufault. Les coulées sont surtout à grains fins dont environ 30 % sont porphyriques et contiennent des phénocristaux de plagioclase (figure 7b).

«MAIN CONTACT TUFF»

Cette unité composée de minces couches finement litées de tuf et de chert avec plus ou moins de sulfures se trouve au contact entre l'andésite d'Amulet et la rhyolite de Waite (figure 4). Cette unité, bien que discontinue, est d'une étendue importante de plus de 10 km^2 (Knuckey et Watkins, 1982), et est en continuité latérale et de même niveau que l'amas sulfuré. L'unité varie en épaisseur de quelques centimètres loin de l'amas à plus de 5 m près du site de l'amas de sulfures massifs de Norbec (Sakrison, 1967), et à plus de 20 m près du site de l'amas de Millenbach à l'est (Comba, 1975; Kalogeropoulos et Scott, 1989). À proximité de l'amas de Norbec, cette unité tufacée exhibe une minéralisation variable en pyrite, pyrrhotite, sphalérite et chalcopyrite. Ce «*main contact tuff*» est interprété comme étant le produit d'une sédimentation volcanique exhalative minéralisée, liée génétiquement à l'emplacement de plusieurs amas de sulfures massifs de type volcanogène (Kalogeropoulos et Scott, 1989).

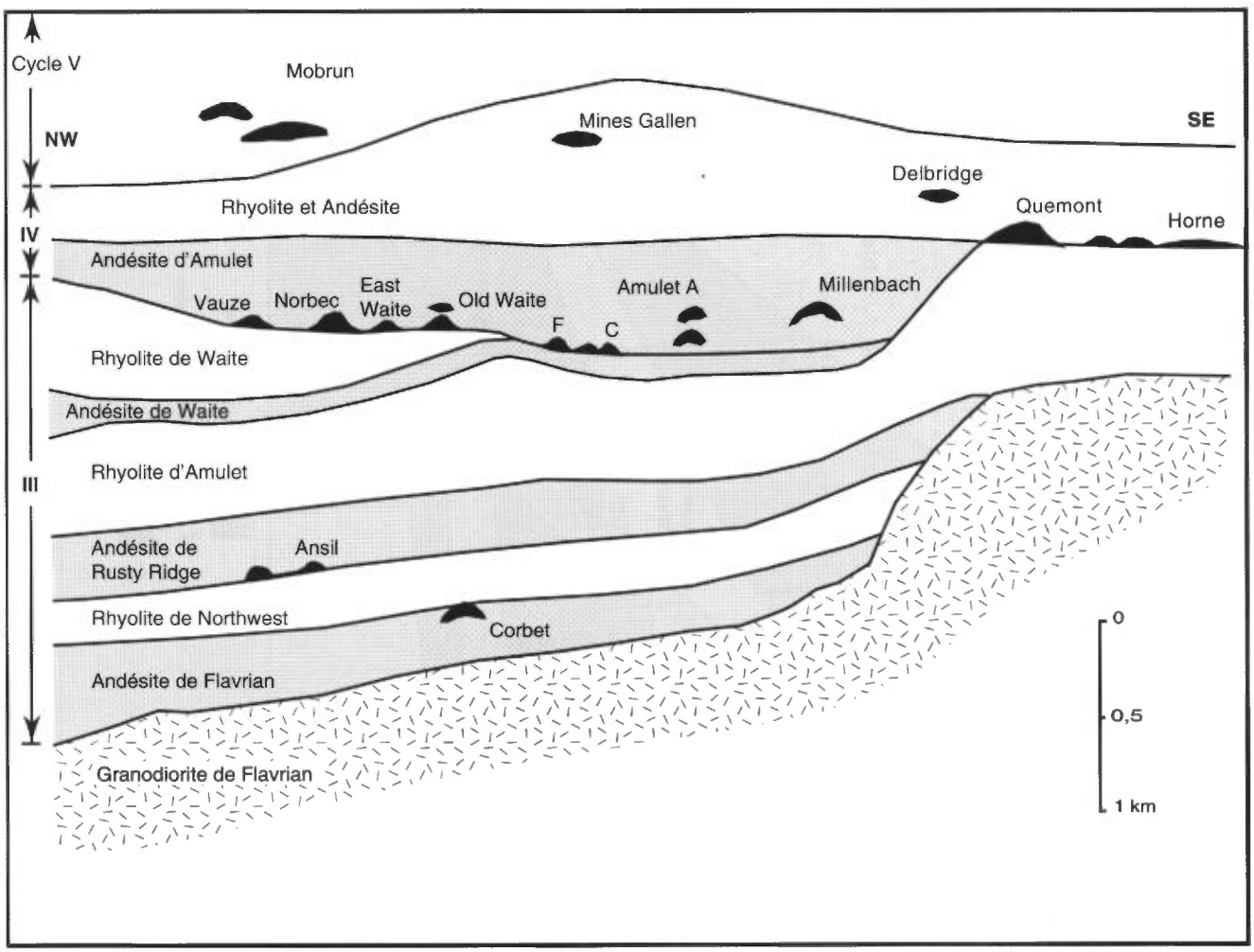


FIGURE 3 – Représentation schématique de la stratigraphie du camp minier de Rouyn-Noranda montrant la localisation des divers gisements de sulfures massifs (modifié de Spence et de Rosen-Spence, 1975).

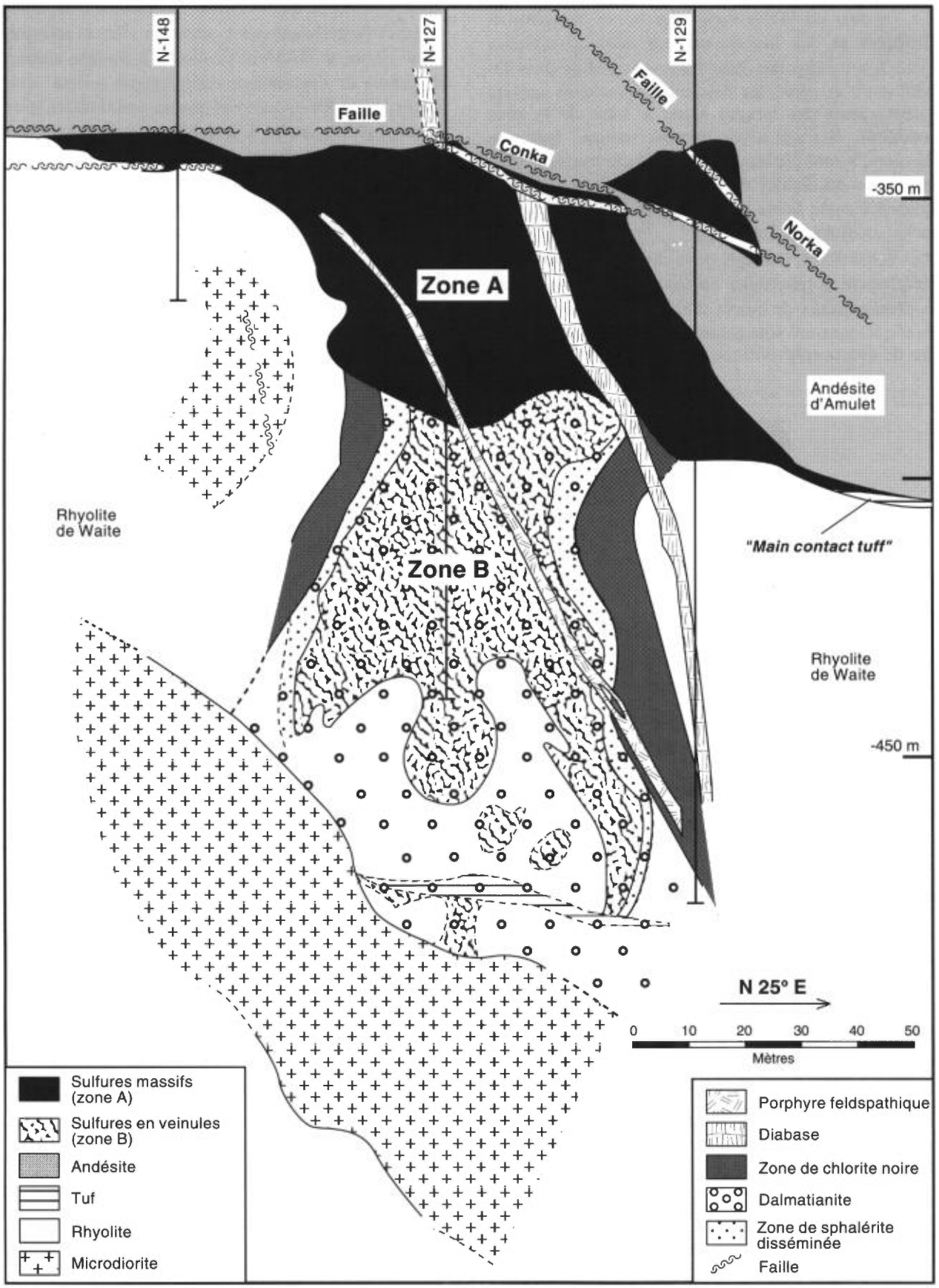


FIGURE 4 – Section géologique NE-SW (N25°E) du gisement Norbec, montrant la localisation de quelques sondages (adapté de Purdie, 1967).

RHYOLITE DE WAITE

La rhyolite de Waite inclut des unités massives et bréchiques et des lits de tufs en quantité moindre (figure 7c). La rhyolite étant fortement altérée dans les environs de la mine, les échantillons inaltérés ont été recueillis dans des forages situés à 1 km de la zone minéralisée. Il s'agit d'une rhyolite sodique, faible en potassium, semblable aux autres rhyolites trouvées dans cette partie du district de Rouyn-Noranda. L'unité est recoupée à angle faible par des dykes et par des filons-couches mafiques et felsiques.

Les échantillons inaltérés de la rhyolite de Waite sont généralement porphyriques en quartz et en plagioclase. Les phénocristaux de quartz sont communément échancrés et quelques-uns sont entourés d'une couronne secondaire de quartz sphérulitique (figure 7d). La rhyolite de Waite démontre aussi, par endroits, une abondance de sphérolites et de micro-sphérolites quartzofeldspathiques (figures 7e et f), qui représentent un effet de refroidissement rapide et de dévitrification. La rhyolite altérée est composée de l'assemblage minéralogique suivant: quartz-chlorite-biotite-muscovite-pinite-andalousite-grenat-anthophyllite-gahnite. L'andalousite et la pinite (un mélange fin de chlorite et de séricite) sont présentes sous forme de masses radiales et auraient remplacé les grains arrondis de cordiérite. Ces masses sphériques forment ainsi la texture dalmatianite, caractéristique du métamorphisme de contact des roches altérées par processus hydrothermal (de Rosen-Spence, 1969). Les filons-couches felsiques (porphyre quartzofeldspathique), moins altérés que la rhyolite, sont de composition analogue, bien que leur texture soit plus grossière.

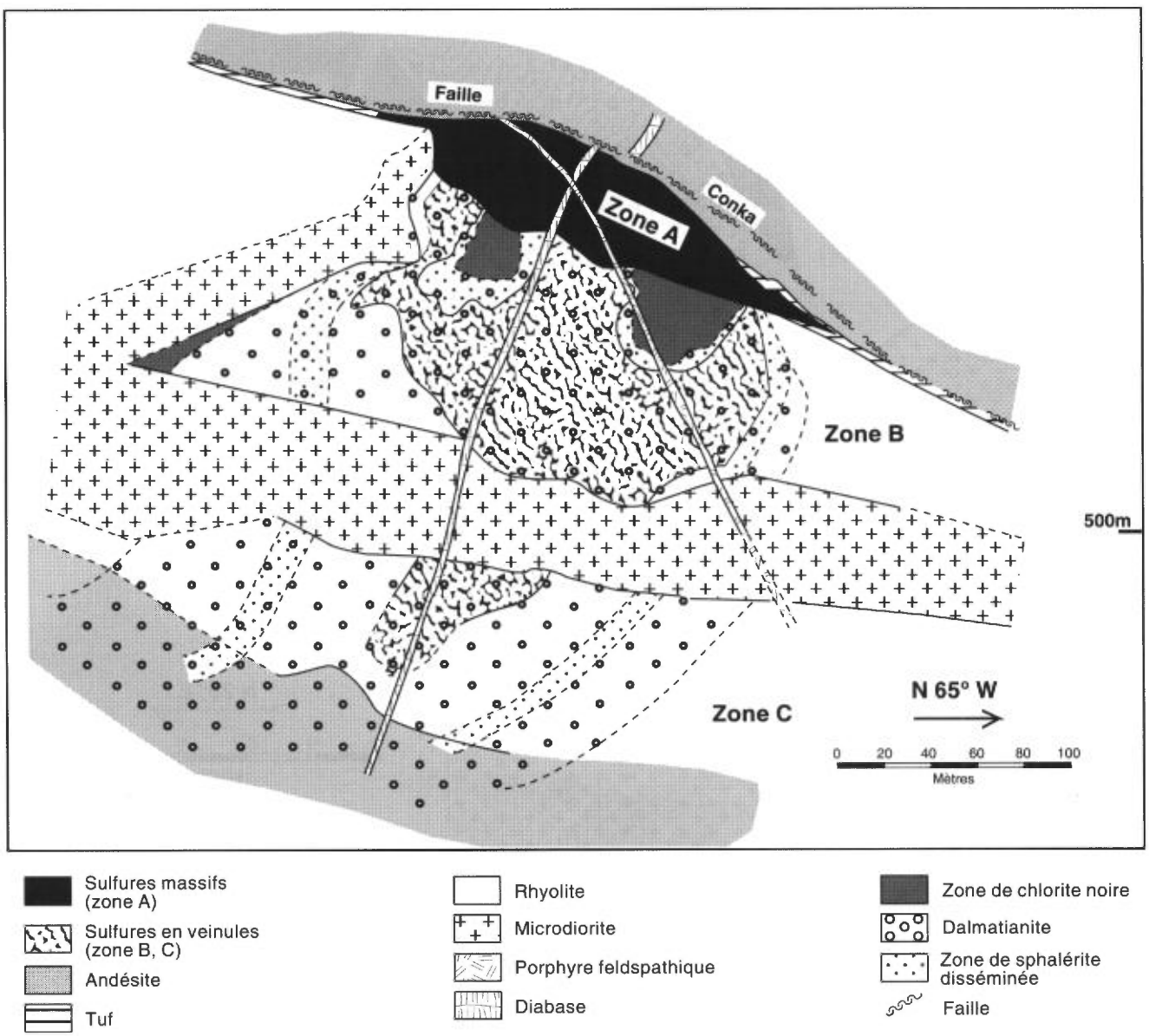


FIGURE 5 – Section géologique NW-SE (N65°W) du gisement Norbec, montrant la localisation de quelques sondages (adapté de Purdie, 1967).

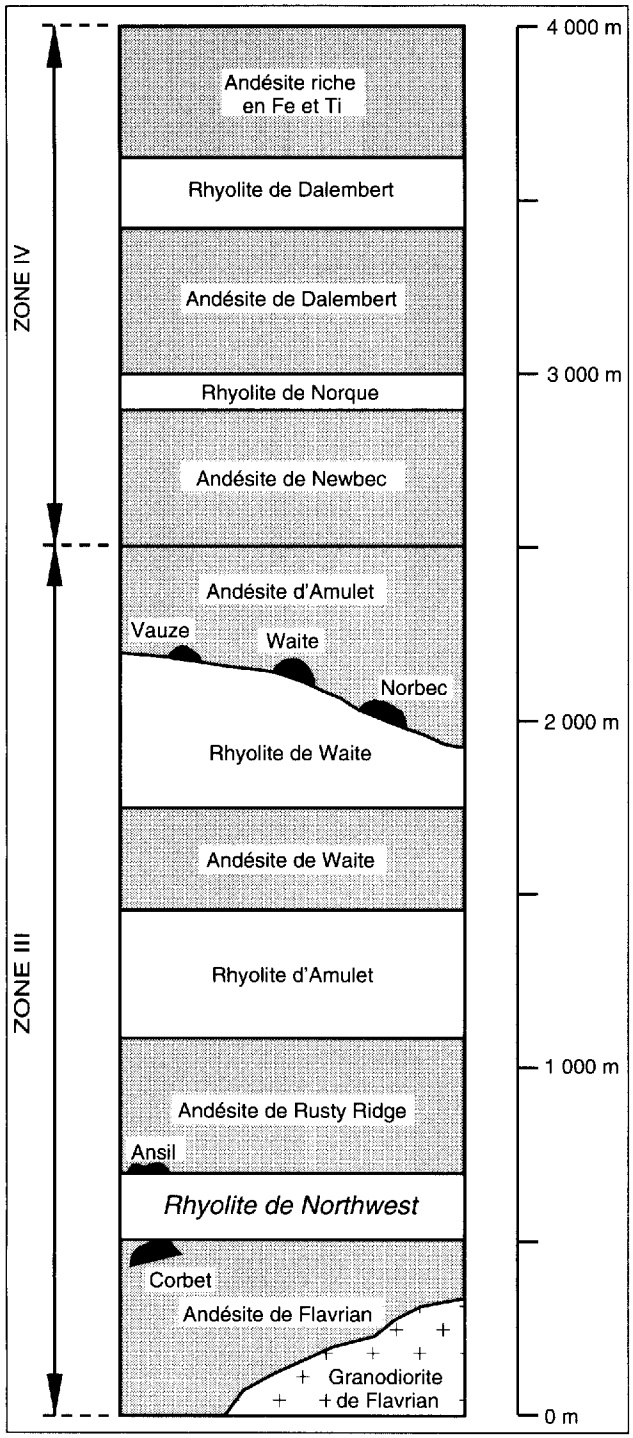


FIGURE 6 – Section stratigraphique schématique à la mine Norbec (adapté de Spence et de Rosen-Spence 1975).

ANDÉSITE DE WAITE

Cette unité est de composition andésitique et, contrairement à l'andésite d'Amulet, ne contient pas de basalte. Toutefois, les deux unités sont composées de coulées massives et coussinées et exhibent des textures aphyriques à porphyriques, à l'instar des autres unités volcaniques mafiques situées dans ce secteur du district de Noranda. Les échantillons d'andésite de Waite inaltérés ont été recueillis dans des forages situés à l'ouest de la mine, là où l'unité de rhyolite de Waite est plus mince. L'andésite de Waite, située directement sous l'amas minéralisé, est fortement altérée et constitue de ce fait une partie de la cheminée d'altération.

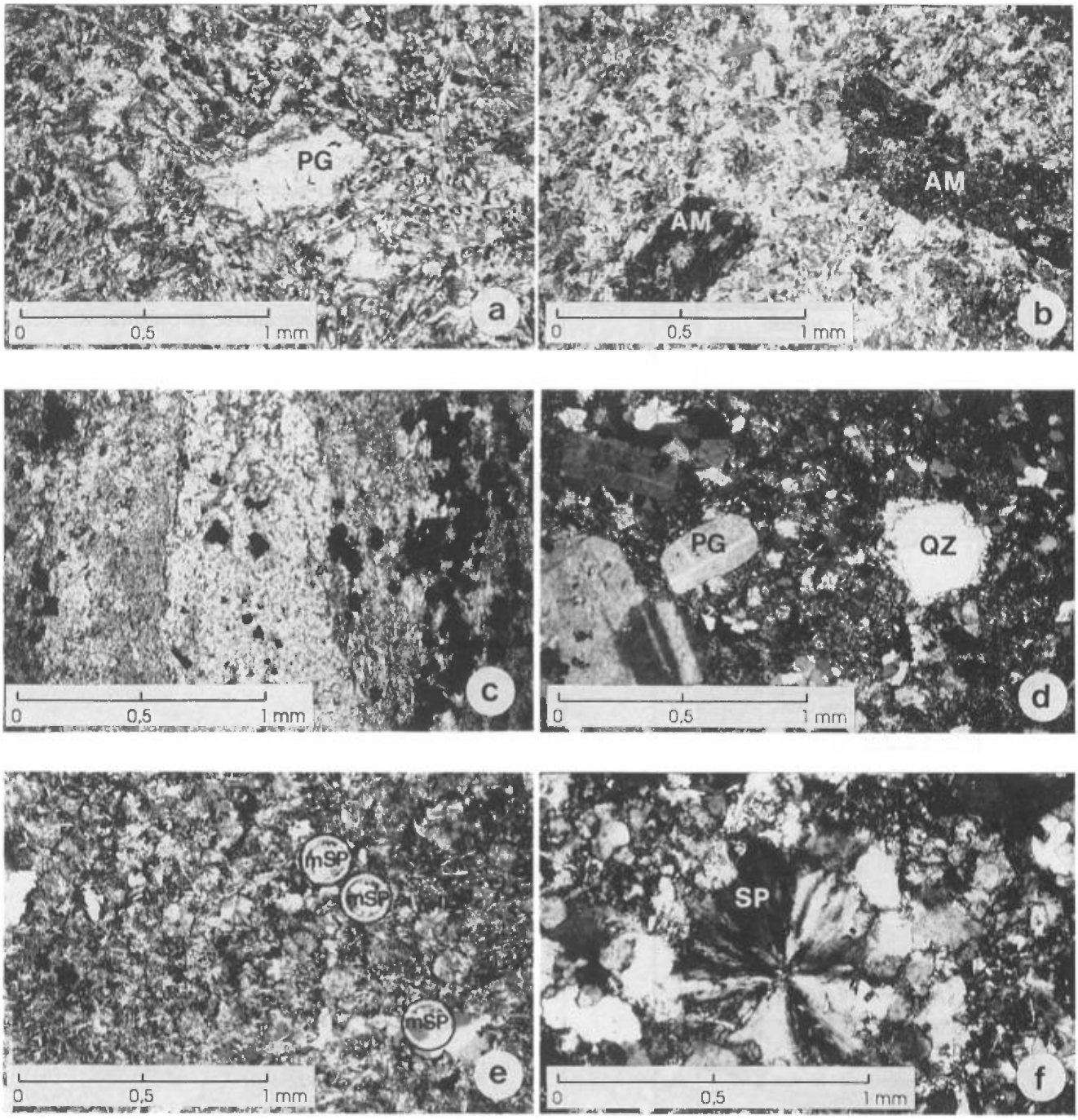


FIGURE 7 – Photomicrographies des volcanites.

a) Andésite d'Amulet. Phénocristal de plagioclase (PG) dans une matrice composée d'amphibole, de chlorite, d'épidote, de quartz, de plagioclase et de leucoxène. Lumière naturelle, grossissement: 10X (N-124-888').

b) Andésite d'Amulet. Aspect porphyrique de l'andésite d'Amulet tel qu'illustré par des phénocristaux de plagioclase altérés dans une matrice fine composée de chlorite, d'amphiboles (AM), de quartz, de plagioclase et de leucoxène. Lumière polarisée, grossissement: 10X (N-127, 644').

c) Rhyolite de Waite. Couches tufacées, laminées et légèrement minéralisées, près du sommet de la rhyolite de Waite. Lumière polarisée, grossissement: 10X (N-108, 1597').

d) Rhyolite de Waite. Aspect porphyrique de la rhyolite tel qu'illustré par des phénocristaux de quartz (QZ) et de plagioclase (PG) dans une matrice fine, peu altérée, et composée surtout de quartz et de plagioclase. Le phénocristal de quartz est ici entouré d'une couronne secondaire de quartz. Lumière polarisée, grossissement: 10X (N-224, 951').

e) Rhyolite de Waite. Matrice quartzofeldspathique aphyrique, légèrement altérée par des phyllosilicates, et montrant d'abondants microsphérolites (mSP). Lumière polarisée, grossissement: 10X (N-181, 1319').

f) Rhyolite de Waite. Vue rapprochée d'un des sphérolites (SP) de la photo précédente. Lumière polarisée, grossissement: 40X (N-181, 1092').

Géochimie des roches volcaniques

Généralités

Des échantillons de carottes de sondage provenant des unités d'andésite d'Amulet et d'andésite et de rhyolite de Waite, de même que des dykes et des filons-couches mafiques et felsiques qui les recoupent, ont été sélectionnés parmi cinq forages pour fin d'études pétrographique et géochimique (N-124, N-127, N-129, N-181, N-224). La localisation des sondages est présentée en plan à la figure 8 et, en coupe E-W, à la figure 9. On compte, parmi les échantillons autant de roches inaltérées, recueillies loin de l'amas, que de roches altérées provenant de la cheminée d'altération. Les échantillons inaltérés retenus pour analyse affichent tous un contenu en Na_2O situé entre 3 et 5 %, une faible perte au feu (moins que 3 %) et n'exhibent aucun développement évident de chlorite ou de séricite ni d'ajouts de quartz, de calcite ou de sulfures. Ces échantillons ont servi à évaluer les compositions des protolithes des unités afin d'établir des lignées de fractionnement igné.

Éléments majeurs

Les résultats d'analyses chimiques des éléments majeurs et en traces sont présentés à l'annexe 1. Une configuration des analyses de roches inaltérées sur un diagramme K_2O-SiO_2 (figure 10) permet de classifier les protolithes et d'en caractériser les affinités chimiques. Toutes les unités se rangent dans le champ des séries tholéiitiques pauvres en K. Elles ressemblent en cela aux volcanites des mines Horne (Cattalani *et al.*, 1990a; Barrett *et al.*, 1991a; MacLean et Hoy, 1991), Ansil (Cattalani *et al.*, 1990c, 1991c; Barrett *et al.*, 1991c), et Mobrun (Riopel *et al.*, 1991a, 1991b; Barrett *et al.*, en préparation). L'andésite d'Amulet varie d'une composition basaltique à andésitique alors que l'andésite de Waite est foncièrement de composition andésitique. L'andésite d'Amulet a un contenu en Al_2O_3 variant de 16 à 19 % (annexe 1) ce qui est considéré élevé pour des tholéiites. Ceci est peut-être causé en partie par une accumulation de plagioclase. D'autre part l'andésite d'Amulet aphyrique moyenne a un contenu en Al_2O_3 d'environ 16,5 %. Le contenu d'Al_2O_3 de l'andésite de Waite est légèrement moins élevé (15,0 à 16,5 %) alors que celui de la rhyolite de Waite est d'environ 12,5 % (annexe 1).

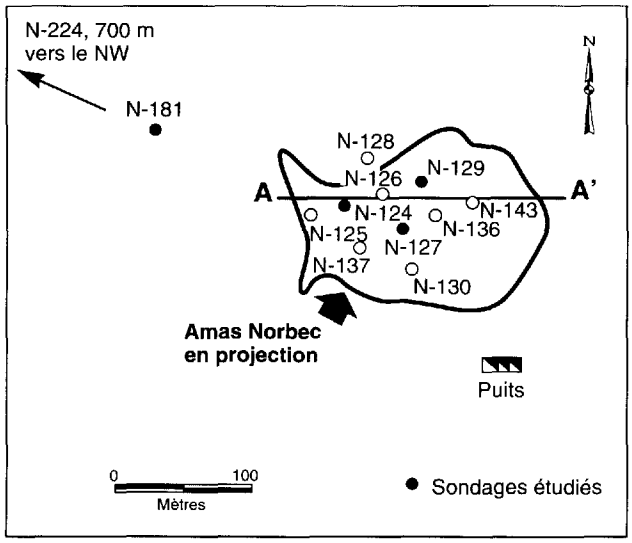


FIGURE 8 – Projection schématique en surface de l'amas Norbec montrant la localisation des sondages échantillonnés lors de cette étude. La section A-A' (figure 19) y est indiquée.

Les échantillons les plus mafiques de l'andésite d'Amulet ont un contenu en FeO d'environ 10 % (FeO équivaut au fer total), qui décroît régulièrement jusqu'à environ 4 % dans la rhyolite de Waite. Le contenu en TiO_2, dans les échantillons basaltiques, atteint 1,3 à 1,5 % mais n'est que de 0,8 à 1,0 % dans les andésites et de 0,3 à 0,4 % dans les rhyolites (annexe 1).

Éléments en trace

Les concentrations de certains éléments de type hygromagmaphile (e.g. Zr, Y, Nb, ETR) augmentent régulièrement des basaltes aux rhyolites en raison de leur grande incompatibilité dans les minéraux cristallisés lors du processus de différentiation. Des mises en plan du Zr en fonction de Y, La et Yb (figure 11) de même que d'autres éléments non illustrés, produisent des patrons linéaires de données dont les coefficients de régression sont élevés (r=0,97-0,98)

Les éléments fortement incompatibles s'avèrent utiles pour quantifier les changements des éléments compatibles lors du fractionnement igné vu qu'ils sont concentrés de façon égale et continue dans le magma (MacLean et Kranidiotis, 1987; MacLean 1988, 1990). Toutefois, cette incompatibilité des éléments hygromagmaphiles se limite surtout aux roches d'affinité tholéiitique. Dans la plupart des magmas calco-alcalins, les éléments hygromagmaphiles sont compatibles et de ce fait, s'appauvrissent durant le fractionnement. L'yttrium étant plus compatible que le Zr dans les roches calco-alcalines, les changements dans le rapport Zr/Y permettent souvent de distinguer entre les deux séries ($Zr/Y<5$ = tholéiitique, $Zr/Y \approx 10$ à 25 = calco-alcalin, Lesher *et al.*, 1986, Bonavia et MacLean, 1976). Les valeurs intermédiaires

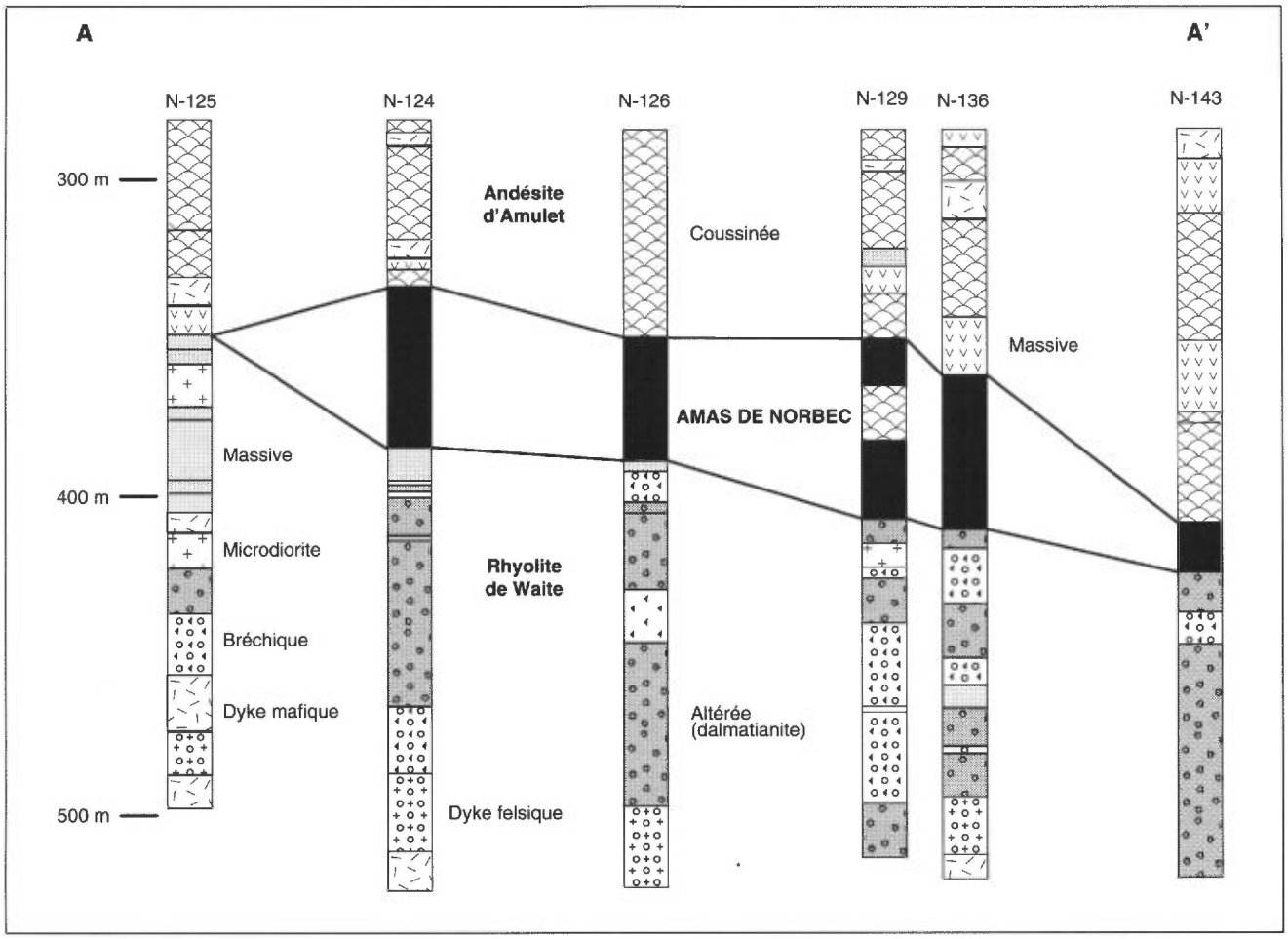


FIGURE 9 – Section verticale A-A' schématique (E-W) (figure 8) de la stratigraphie basée sur quelques sondages de surface.

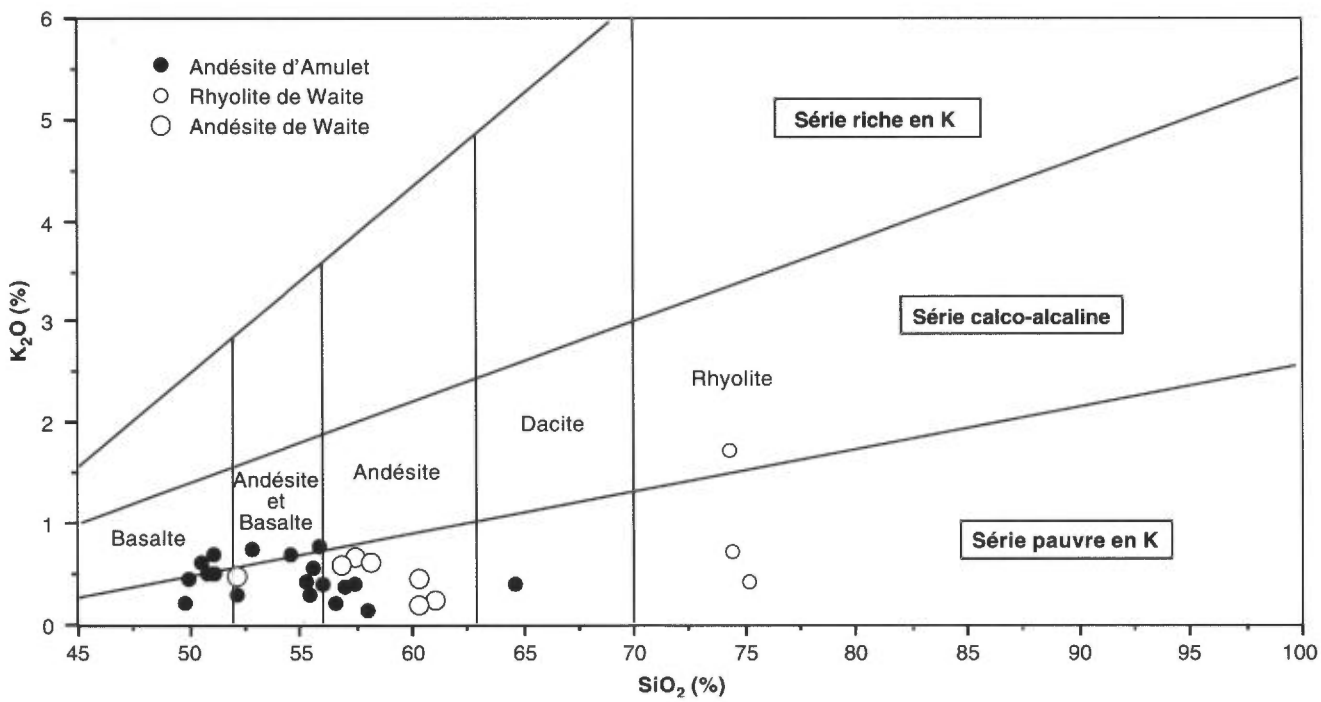


FIGURE 10 – Diagramme K_2O - SiO_2 montrant les champs des diverses lithologies (d'après Peccerillo et Taylor, 1976). Seuls les échantillons non altérés y sont indiqués.

sont dénotées transitionnelles. Le rapport Zr/Y à Norbec est d'environ 5,1 indiquant une affinité tholéiitique à transitionnelle.

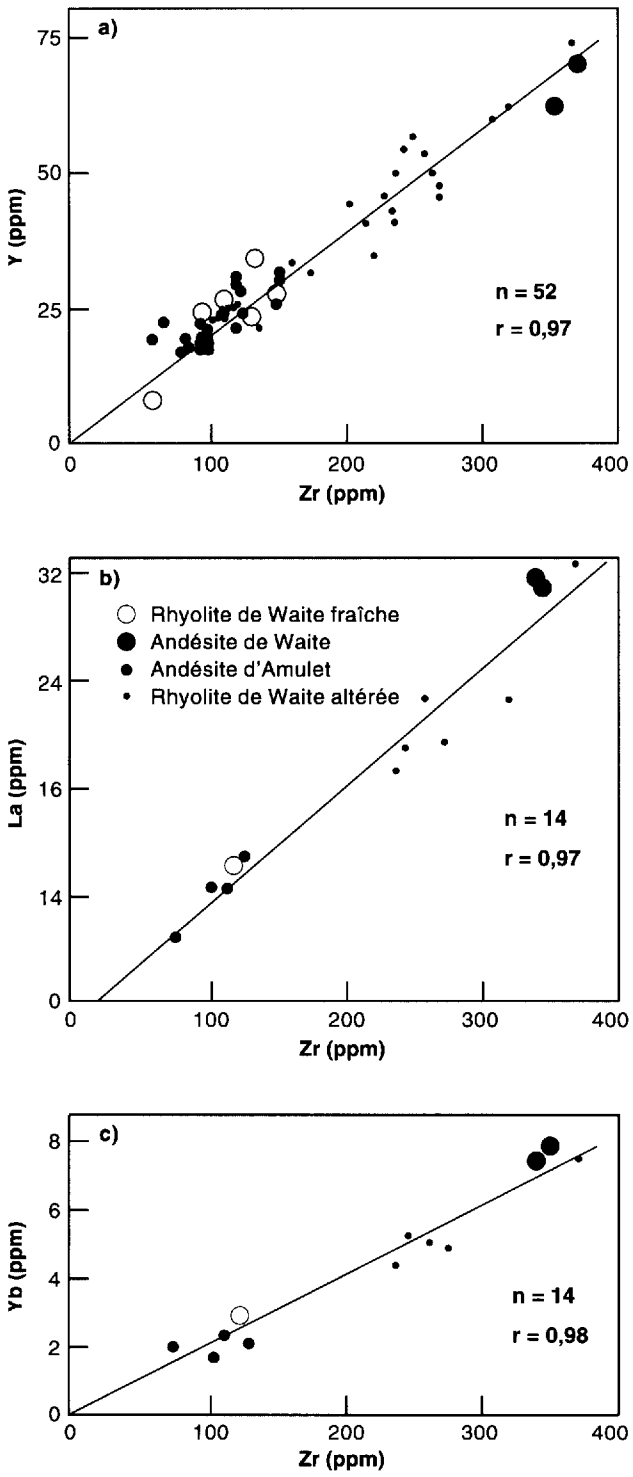


FIGURE 11 – Diagrammes Y, La et Yb en fonction du Zr. Les distributions linéaires indiquent des degrés d'incompatibilité élevés pour ces éléments.

À Norbec, le Rb, tout comme le K, sont présents en faibles quantités à travers la séquence de basalte et de rhyolite. Ces deux éléments étaient relativement compatibles et appauvris durant le fractionnement magmatique, contrairement à leur comportement incompatible dans les roches calco-alcalines et ultrapotassiques. Ainsi, à travers les unités volcaniques encaissantes de Norbec, le contenu du Rb varie de 4 à 20 ppm, semblablement au patron établi par le K avec lequel il partage une affinité géochimique.

Éléments des terres rares

Des profils des éléments des terres rares (ETR) normalisés par rapport à la chondrite pour les trois unités volcaniques sont illustrés à la figure 12. Tous les profils accusent des enrichissements modérés bien que constants des ETR lourds à légers dont les rapports La_N/Yb_N varient de 1,5 à 3,5 (annexe 2). Les profils obtenus pour les unités d'andésite de Waite et d'Amulet correspondent à ceux obtenus pour les échantillons inaltérés et affichent une gamme plus large de valeurs La_N/Yb_N, alors que les échantillons altérés de rhyolite d'Amulet affichent une gamme plus étroite (La_N/Yb_N = 2,2-3,0). Les profils légèrement inclinés obtenus pour toutes les unités indiquent une affinité pétrologique entre les tholéiites (La_N/Yb_N < 2) et les unités calco-alcalines (La_N/Yb_N = 4 à >25) (Lesher *et al.*, 1986). En ce qui a trait à ce rapport, les volcanites encaissantes de Norbec se rangent plus près des séries tholéiitiques que des séries calco-alcalines. La plupart des échantillons de la rhyolite de Waite ont des anomalies en Eu négatives qui varient entre Eu/Eu*=0,55-0,85 à l'exception d'un échantillon à Eu/Eu*=-0,3 sans doute causé par le lessivage lors de l'altération (MacLean, 1988). Un échantillon d'andésite affiche une légère anomalie positive, soit Eu/Eu* = 1,2 causée probablement par une accumulation de plagioclase puisque l'Eu^{+2} partage une affinité géochimique avec le Ca^{+2}.

Sommaire

Selon leur disposition sur un diagramme K_2O-SiO_2, les volcanites sont des tholéiites pauvres en K. Cependant, dans les échantillons de basalte-andésite, les valeurs en Al_2O_3 sont plus élevées (environ 16 %) que la normale (13 à 14 %) des tholéiites et n'exhibent aucun enrichissement ferrifère anomal. Les valeurs de Zr/Y et de La_N/Yb_N se situent surtout à la limite supérieure du champ tholéiitique, alors que d'autres ont des valeurs transitionnelles situées entre les roches tholéiitiques et calco-alcalines.

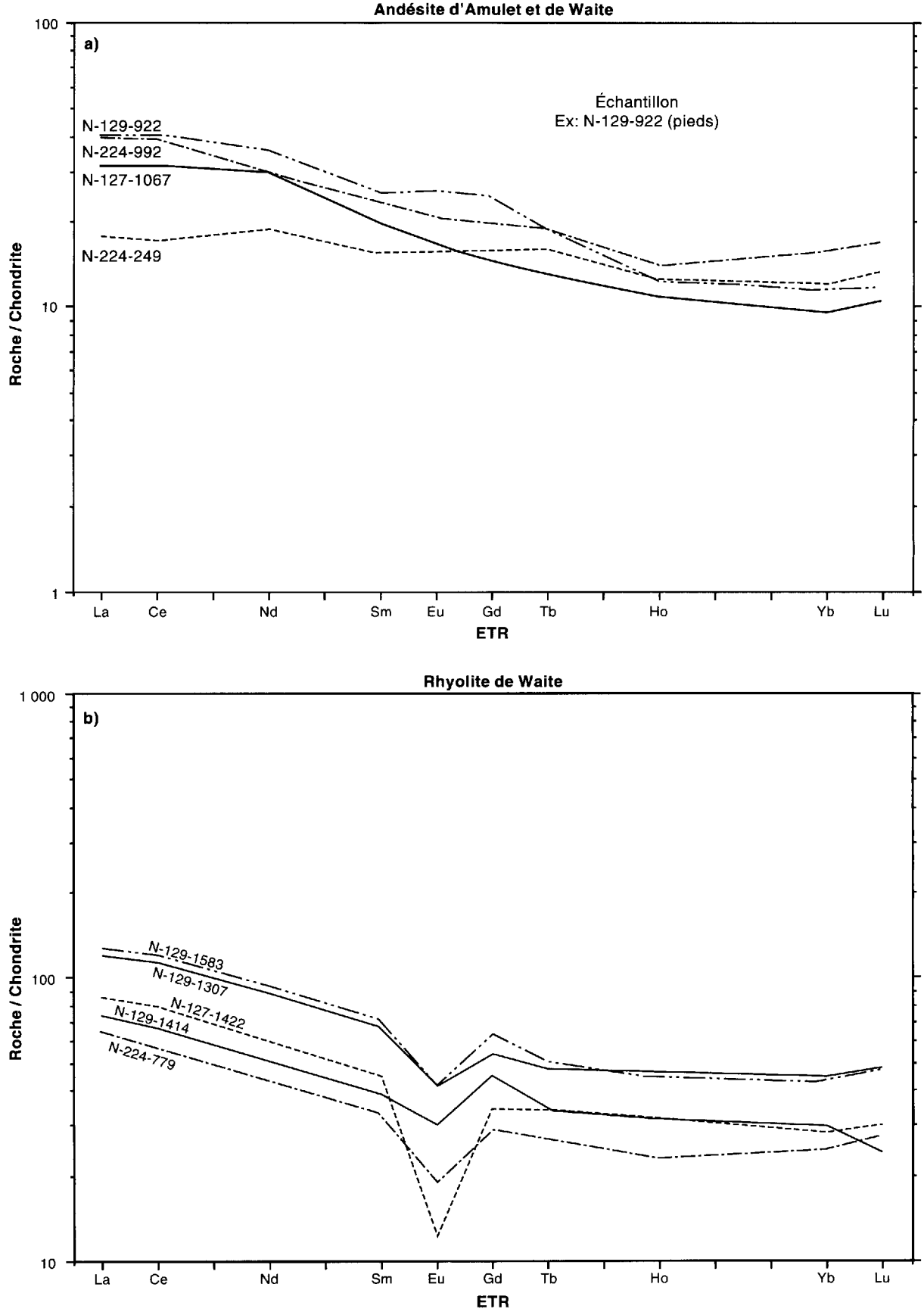


FIGURE 12 – Patrons de distributions des éléments des terres rares normalisés à la chondrite (Evensen *et al.*, 1978) a) pour les échantillons d'andésite d'Amulet et de Waite et b) de la rhyolite de Waite.

Altération des roches volcaniques

Généralités

La rhyolite et l'andésite de Waite sont toutes deux sous-jacentes à l'amas de sulfures massifs (figure 2) et exhibent une altération par processus hydrothermal et une minéralisation à degré variable, qui décrivent une zone en forme de cheminée (Purdie, 1967; Sakrison, 1967). Une partie de ces roches altérées et minéralisées a déjà été exploitée en tant que minerai de cuivre. Cependant, l'andésite d'Amulet superposée à l'amas de sulfures, ne présente aucun effet d'altération. Dans la cheminée d'altération du mur, les changements chimiques les plus évidents, à l'exception de ceux reliés à l'ajout de sulfures, sont d'importantes pertes en Na, et des gains variables en Si, en Fe, en K et en Mg. Le centre de la zone d'altération est riche en Mg et en Fe mais plus pauvre en K que la zone périphérique, qui elle, est riche en K et en Si. Ces zones représentent une zone centrale de chlorite avec plus ou moins de quartz et une zone externe de quartz et de séricite. L'intrusion subséquente de la granodiorite du Lac Dufault a converti la plupart des minéraux altérés primaires en minéraux métamorphiques de contact moins hydratés.

Les changements subis par la rhyolite de Waite lors de l'altération seront présentés selon l'ordre suivant: a) en tant que changements chimiques et de masse, b) en tant que minéralogie d'altération prémétamorphique normative et c) en tant que minéralogie métamorphique.

Changements de masse

PROCÉDURE

Une mise en plan schématique d'une composante compatible et immobile par opposition à une composante incompatible et immobile, illustrant une lignée de fractionnement ignée primaire dans une séquence mafique à felsique de même que des patrons d'altération superposés à celle-ci, est illustrée à la figure 13. Les patrons de fractionnement reflètent le comportement compatible et incompatible de ces composantes lors du fractionnement igné (figure 13a). Une séquence complète comprendrait une gamme de laves variant en composition de basalte-andésite (composante compatible élevée, composante incompatible faible) jusqu'à dacite-rhyolite (composante compatible faible, composante incompatible élevée). La figure 13 illustre aussi des lignées d'altération superposées qui résultent de l'immobilité de ces composantes durant le processus d'altération hydrothermale. Ainsi, si la roche volcanique primaire subit un gain de masse durant l'altération, la composition de la roche se déplacera le long d'une lignée reliant sa position originelle sur la courbe de fractionnement à l'origine (les composantes immobiles sont diluées mais non lessivées). Advenant une perte de masse, la composition de la roche se déplacera le long de cette même lignée, mais dans la direction opposée, soit en s'éloignant de la courbe de fractionnement (les composantes immobiles sont concentrées résiduellement). Les pertes de masse sont causées par certains processus dont le lessivage de la silice (par exemple lors d'une chloritisation intense) tandis qu'un gain de masse se produit lors de l'addition de silice, de sulfures ou de carbonates. Il est important

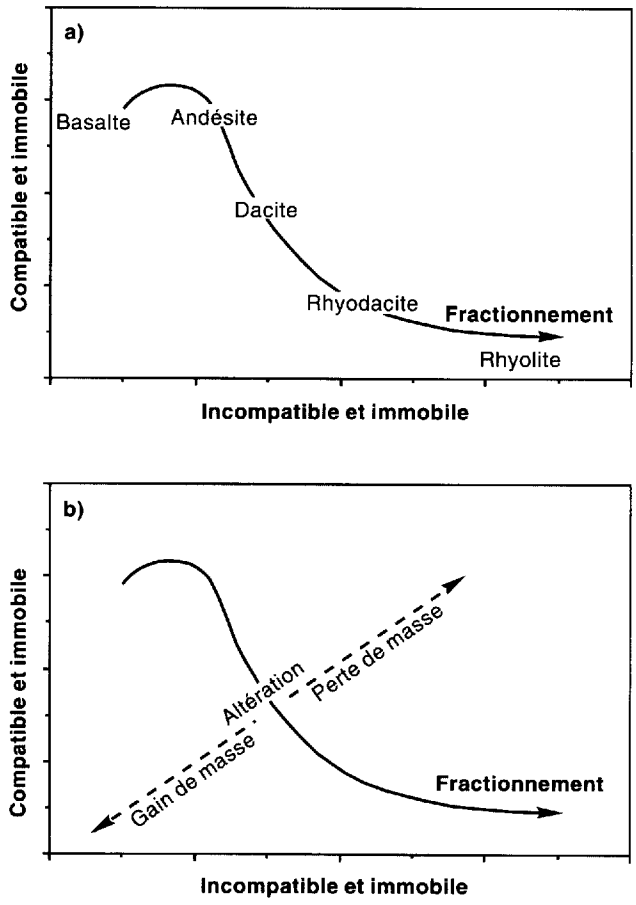


FIGURE 13 –

a) Diagramme schématique illustrant le comportement d'une lignée de fractionnement igné pour une séquence volcanique basalte-rhyolite idéale dans une mise en plan d'un élément immobile compatible en fonction d'un élément immobile incompatible.

b) Le même que a) mais superposant des lignées d'altération (traits pointillés qui s'étendent de l'origine) pour une composition initiale dacitique. Ce diagramme illustre aussi le comportement des points de données qui subissent un gain ou une perte de masse causée par l'altération hydrothermale. Une fois le précurseur établi, ces changements de masse peuvent être quantifiés avec précision (MacLean, 1990).

de souligner que les processus d'altération affectent la chimie de la roche de façon cumulative. Or, la position d'un échantillon sur une lignée d'altération peut représenter un effet de processus d'altération simple ou multiple.

Les calculs de changements de masse se font selon la méthode décrite par MacLean et Kranidiotis (1987) et MacLean (1990). On obtient les changements de masse en calculant la différence entre la composition du protolithe (normalisée à 100 %) et la masse totale de l'échantillon après l'altération (composition reconstituée). Cette procédure est illustrée schématiquement par la figure 14.

RÉSULTATS

Bien que les changements chimiques importants, tels la perte de Na et la silicification intense peuvent être évalués de façon qualitative à partir des tableaux obtenus par analyses chimiques, les changements plus subtils et une évaluation quantitative ne sont possibles qu'à l'aide d'éléments immobiles (MacLean et Kranidiotis, 1987). Ainsi le Zr, l'Y, le La et l'Yb sont demeurés très immobiles lors de l'altération (figure 11). Les données des échantillons tant inaltérés qu'altérés définissent des patrons linéaires à forte corrélation, ce qui indique que les paires d'éléments ont été enrichies et lessivées à des taux constants, donc que ces éléments sont restés immobiles durant l'altération. Ce comportement immobile est également observé pour les autres ETR et le Nb bien que les diagrammes ne soient pas illustrés.

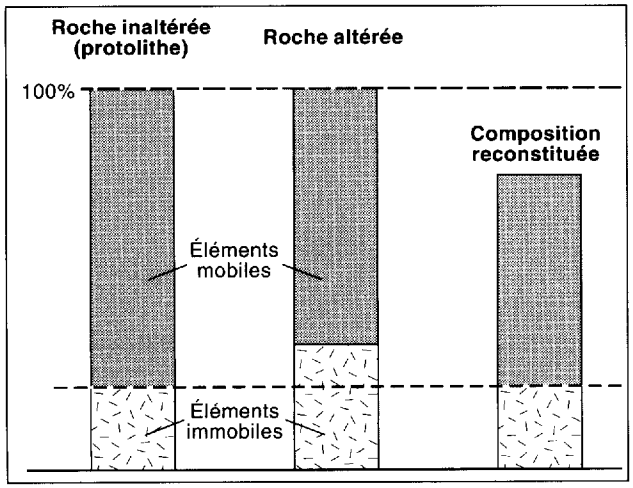


FIGURE 14 – Diagramme schématique illustrant la méthode de calcul des changements de masse d'une roche altérée. La colonne de gauche représente la roche inaltérée (protolithe), dont la composition chimique se voit normalisée à 100 % (PAF = 0 %). La colonne du centre représente la roche altérée qui aurait perdu de la masse par un processus de lessivage de quelques composantes mobiles (zone grise). La colonne de droite représente la composition chimique reconstituée, après le rétablissement des composantes immobiles (zone pointillée) à leurs taux initials. Les changements de masse égalent la différence entre la composition du protolithe et celle de la roche reconstituée. Modifié de MacLean (1990).

Les configurations des éléments compatibles ignés sont encore plus démonstratifs du processus d'altération facilitant ainsi une évaluation de son effet sur des séries de roches (MacLean, 1990). Au cours de cette évaluation, un élément incompatible igné (le Zr ou autre) sert d'indice de différenciation ou de moniteur du fractionnement igné. Les changements de masse, causés soit par des gains ou des pertes d'éléments mobiles, font en sorte que les échantillons altérés définissent des patrons linéaires qui recoupent les lignées de fractionnement pour ensuite rejoindre l'origine (figure 13). Les unités chimiquement homogènes produisent des patrons d'altération linéaires et uniques qui recoupent les lignées de fractionnement donnant ainsi la composition du protolithe. Cette relation, pour les roches encaissantes de Norbec, est démontrée sur les diagrammes TiO_2-Zr et Al_2O_3-Zr aux figures 15a et b, respectivement. La lignée d'altération générée par les échantillons de la rhyolite de Waite confirme la très grande immobilité de ces éléments, de même que l'homogénéité initiale de cette rhyolite.

Les calculs de changements de masse pour les échantillons de la rhyolite de Waite ont été réalisés selon la méthode décrite par MacLean et Kranidiotis (1987) et sont présentés à l'annexe 3. On observe, à la figure 15, que les échantillons qui sont situés entre les rhyolites inaltérées et le point d'origine ont accusé un gain de masse causé probablement par la silicification, la carbonatisation ou l'addition de sulfures. Par contre, les échantillons situés au-delà de la composition du protolithe ont accusé des pertes de masse causées par le lessivage du sodium et de la silice. La composition du protolithe de la rhyolite de Waite, la composition moyenne de la rhyolite altérée, de même que les changements de masse moyens sont résumés au tableau 1. Les changements sont dominés, d'une part, par d'importants gains de Si et de Fe, et d'autre part, par une perte de la majorité du Na de la roche. Les légers gains de Ca, contrairement à ce qui a été observé aux mines Horne et Ansil (Cattalani *et al.*, 1990 a et c), résultent probablement à la mine Norbec

TABLEAU 1 – Analyses chimiques moyennes d'échantillons frais et altérés de la rhyolite de Waite et changements de masse moyenne impliqués dans la zone d'altération de la mine Norbec.

Éléments	moins altérés	altérés	Changement de masse
SiO_2	73,50	70,32	19,9
TiO_2	0,31	0,24	0,0
Al_2O_3	12,56	10,12	0,0
FeO	4,61	10,01	9,4
MnO	0,05	0,22	0,2
MgO	0,87	1,45	1,1
CaO	0,87	2,46	2,2
Na_2O	5,19	1,13	– 4,0
K_2O	0,70	1,02	0,5
P_2O_5	0,04	0,02	0,0
LOI	1,32	2,35	—
Total	**100,02**	**99,32**	**29,3**

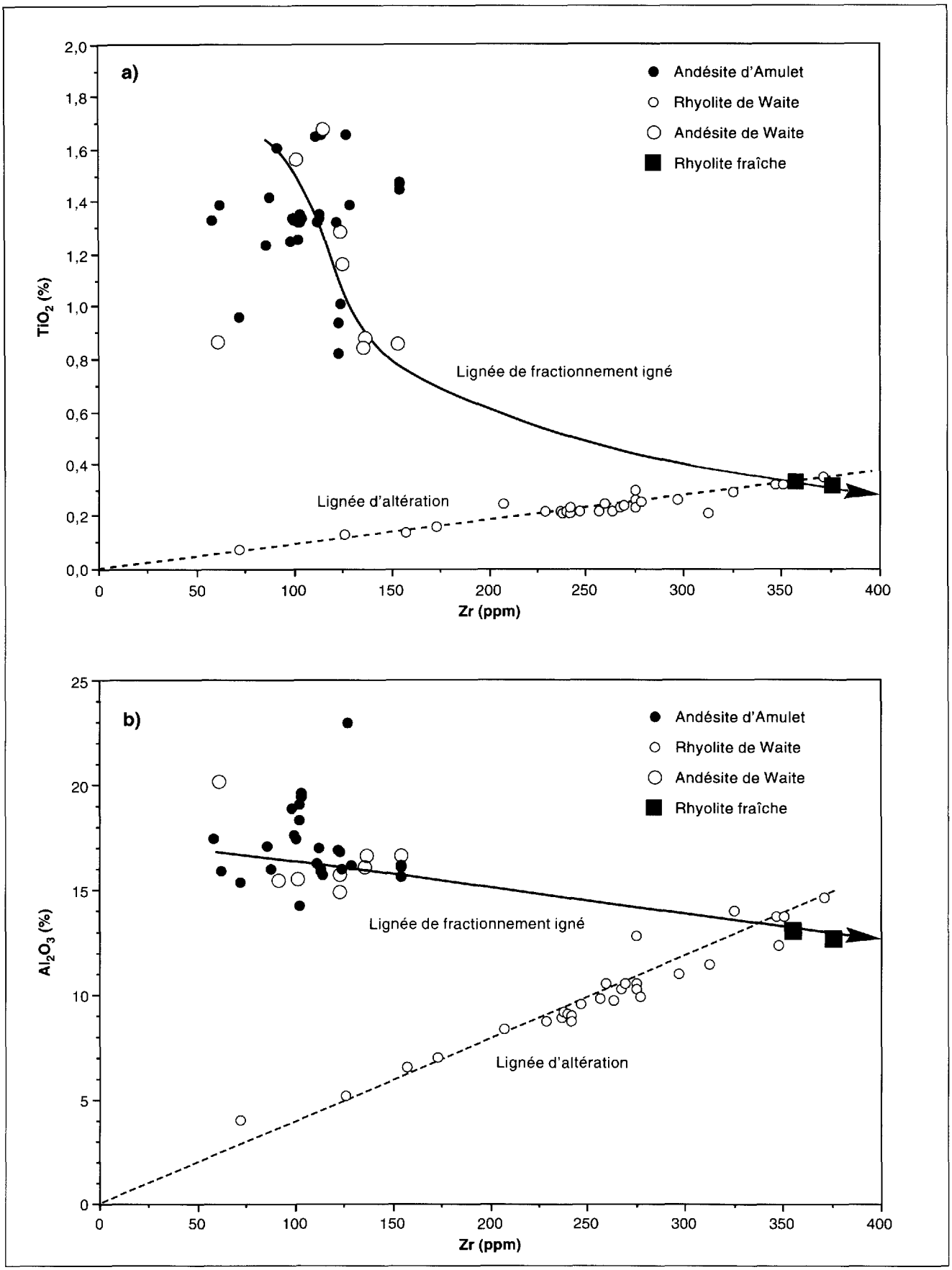


FIGURE 15 – a) Diagrammes de TiO_2 en fonction de Zr et b) Al_2O_3 en fonction du Zr pour les échantillons des roches encaissantes de l'amas Norbec.

d'un ajout de carbonate. Le gain de Fe provient surtout d'une addition de sulfures, et moindrement de chlorite riche en fer. Le gain de Si représente une silicification de la roche dans la cheminée d'altération.

Les changements de masse impliquant le Fe et le Mg (composantes des sulfures et de la chlorite) et le K (composante de la séricite) sont configurés contre la Si à la figure 16a. On remarque pour la plupart des échantillons des augmentations en Fe et en Mg. Les changements de Si sont aussi causés par des gains, à l'exception de quelques échantillons qui exhibent de faibles pertes. Environ la moitié des échantillons ont subi des gains en K (figure 16b) qui, suite au métamorphisme de contact, a été presqu'entièrement converti de la séricite hydrothermale à la biotite métamorphique.

Minéraux d'altération normatifs

Une suite de minéraux d'altération normatifs a été calculée à partir des analyses chimiques. Il est utile, cependant, de formuler un estimé de la minéralogie normative prémétamorphique afin de comparer les effets de l'altération à ceux des autres gisements de sulfures massifs du district. Les minéraux suivants ont servi aux calculs : le quartz, l'albite, la séricite, la chlorite, l'épidote, la kaolinite, le carbonate, l'apatite, le rutile, la magnétite et la pyrite.

Les minéraux d'altération en silice les plus abondants, soit le quartz, l'albite, la chlorite et la séricite sont configurés sur des diagrammes ternaires présentés à la figure 17. Sur le diagramme quartz-séricite-albite (figure 17a), la majorité des échantillons sont situés entre la rhyolite inaltérée et le sommet du quartz. Ce regroupement de points atteste que des réactions chimiques sont à l'origine de la décomposition de l'albite (avec lessivage du Na) et de la production de la séricite, de la chlorite et du quartz. Ce diagramme n'indique pas, en soi, l'addition de silice au système ; le lessivage du Na abaisse la quantité d'albite et fait en sorte que les échantillons se retrouvent plus près du sommet du quartz.

Étant donné que l'Al était immobile, la quantité de séricite et de chlorite formée est limité à la quantité initiale d'Al présente dans la rhyolite. Les concentrations de ces deux minéraux peuvent être quantifiées à partir du diagramme quartz-séricite-chlorite (figure 17b). Dans tous les échantillons, le quartz s'avère le minéral le plus abondant, et la chlorite s'avère le minéral porteur d'Al dominant dans la plupart des échantillons. Ces échantillons définissent la zone d'altération de la chlorite (chlorite avec plus ou moins de quartz).

Un regroupement d'échantillons de la figure 17b contient des montants égaux de chlorite et de séricite. Un regroupement plus restreint ne contient pas ou presque pas de chlorite et apparaît, sur le diagramme, du côté du quartz et de la séricite ; ces échantillons constituent la zone d'altération en quartz et séricite. Les échantillons qui sont localisés entre la rhyolite inaltérée et le sommet de quartz ont été silicifiés. Par contre, nos échantillons n'ont pas fourni d'évidence de la présence d'une zone d'altération riche en chlorite, et pauvre en quartz (zone chloritique) souvent présente au coeur de ces cheminées d'altération. Ainsi, à la mine Norbec, le lessivage du quartz ne semble pas avoir été un des processus d'altération les plus importants.

Les changements minéralogiques illustrés à la figure 17 le sont également aux diagrammes cationiques majeurs de la figure 18. La silicification de plusieurs échantillons apparaît également sur les diagrammes de l'Al en fonction de la Si et de la Si en fonction de Fe+Mg+Mn. Les trainées qui s'étendent vers la chloritisation, sur ces deux diagrammes, sont en partie causées par l'ajout de minéraux de sulfures.

Minéraux métamorphiques

La plupart des minéraux d'altération à Norbec ont été convertis en assemblages métamorphiques (Machairas et Blais, 1966 ; de Rosen-Spence, 1969), et ont acquis une granulométrie plus grossière. Les minéraux métamorphiques les plus communs sont la biotite, la chlorite, l'actinote-hornblende, l'andalousite, le grenat, la séricite, le carbonate, l'anthophyllite et la gahnite en quantité moindre. Les compositions chimiques de ces minéraux apparaissent au tableau 2. La chlorite et la séricite recristallisées, à grain grossier, semblent, dans la plupart des échantillons, en équilibre avec les autres minéraux métamorphiques. Plusieurs échantillons contiennent des grains arrondis assez grands et de couleur pâle caractéristiques de la texture de la dalmatianite rapportée à la mine Millenbach (Riverin et Hodgson, 1980) et à d'autres gisements de sulfures massifs du district de Rouyn-Noranda (e.g. Vauze : Lickus, 1965 ; Amulet : Hall, 1982). À la mine Norbec, ces grains arrondis représentent soit de la pinite, un enchevêtrement à grains fins de chlorite et de séricite, soit de l'andalousite à grains fins dotée parfois de textures radiales. Ces minéraux semblent avoir remplacé la cordiérite, et auraient été formés durant une phase de métamorphisme rétrograde.

DIAGRAMME Al-Mg-Fe

Les minéraux métamorphiques des roches altérées sont configurés sur un diagramme cationique ternaire Al-Mg (Fe+Mn+Zn) (figure 19). Les autres composantes des cations majeurs dans la zone d'altération sont la Si (le quartz est présent dans tous les échantillons) et le K présent dans la séricite et la biotite. Les champs CHL.-1 et CHL.-2 (de même que leurs pendants ferrifères) définissent les champs qui contiennent la majorité des chlorites trouvées autour des gisements de sulfures massifs. La plupart des chlorites métamorphiques provenant de Norbec se situent dans ce champ et présentent des rapports élevés en Fe/Fe+Mg situés entre 0,65 et 0,80.

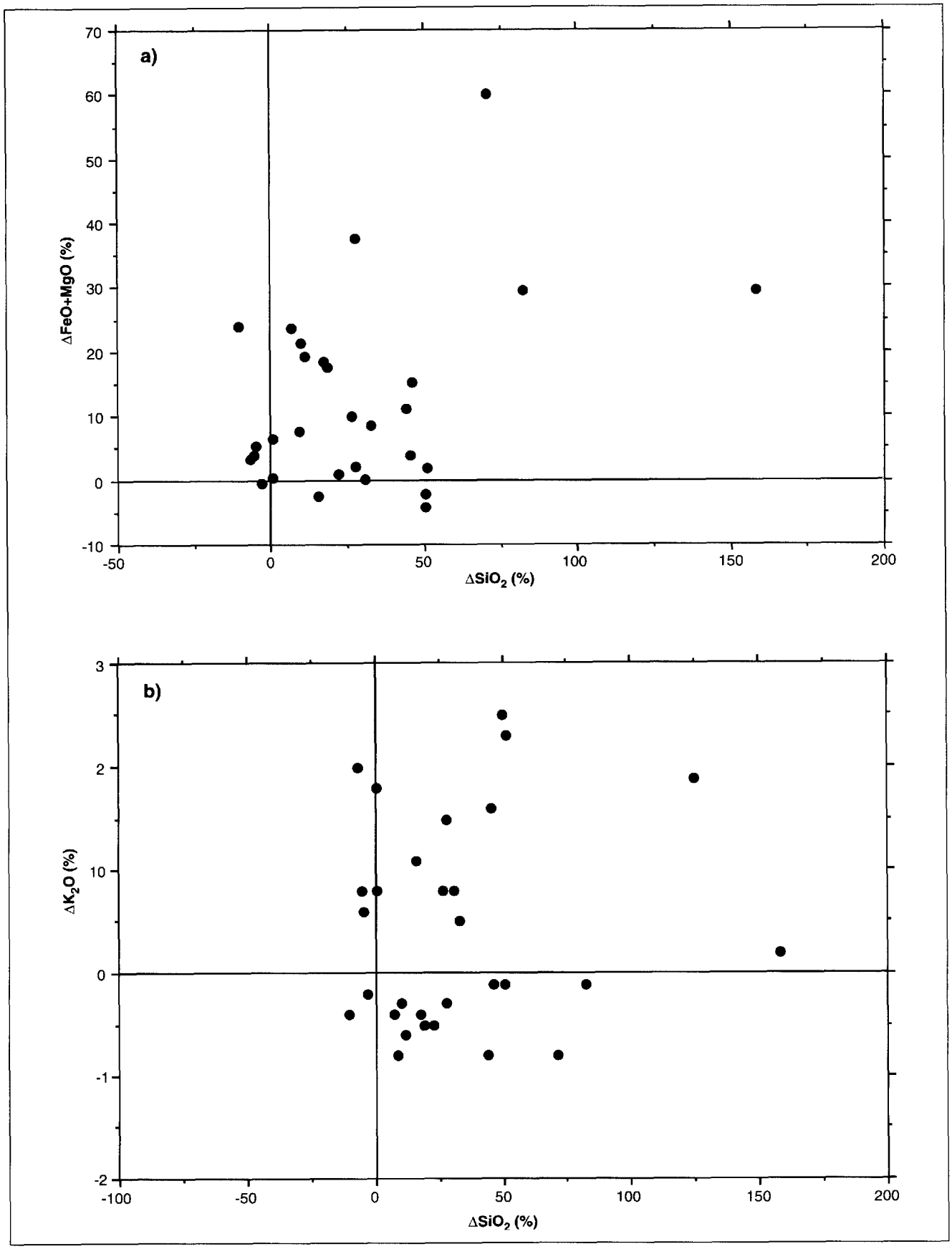


FIGURE 16 – Diagrammes des changements de masse a) du Fe+Mg en fonction de Si et du K en fonction de Si pour les échantillons des roches encaissantes de l'amas Norbec.

TABLEAU 2 – Résultats d'analyses par microsonde de la composition chimique des minéraux métamorphiques et d'altération, mine Norbec.

Échantillon	N–129	N–127	N–129	N–129	N–127	N–4a	N–4b
Profondeur (pieds)	1441	1369	1375	1468	1443	—	—
Nombre	(7)	(13)	(1)	(5)	(3)	(3)	(3)
	%	%	%	%	%	%	%
SiO_2	24,68	29,25	25,51	23,25	23,66	28,86	24,53
TiO_2	0,08	0,35	0,05	0,03	0,14	0,01	0,01
Al_2O_3	20,54	18,88	20,30	23,72	23,34	17,86	20,35
FeO	35,28	29,59	30,52	35,70	34,65	33,25	35,49
MnO	0,96	0,29	2,42	0,49	0,13	0,11	0,10
MgO	7,08	9,44	10,10	6,06	7,83	9,69	8,36
ZnO	0,05	0,05	0,00	0,11	0,05	0,05	0,07
CaO	0,01	0,04	0,05	0,01	0,01	0,05	0,03
Na_2O	0,05	0,08	0,01	0,01	0,01	0,04	0,03
K_2O	0,25	2,39	0,01	0,05	0,01	0,00	0,01
H_2O	10,87	11,40	11,10	10,95	11,09	11,28	10,90
Total	**99,85**	**101,78**	**100,07**	**100,36**	**100,92**	**101,21**	**99,87**

	Séricite				Épidote	
Échantillon	N–129	N–129	N–127	N–127	N–129	N–129
Profondeur (pieds)	1357	1441	1369	1433	1357	1441
Nombre	(3)	(10)	(5)	(2)	(2)	(1)
	%	%	%	%	%	%
SiO_2	49,84	47,31	44,59	46,87	38,95	8,79
TiO_2	0,00	0,02	0,28	0,32	0,04	0,00
Al_2O_3	29,72	32,30	32,82	35,47	26,44	25,43
FeO	2,87	3,47	3,14	2,80	7,51	10,53
MnO	0,20	0,15	0,03	0,03	0,58	0,47
MgO	1,28	0,80	0,92	0,37	0,00	0,11
ZnO	0,00	0,02	0,04	0,07	0,00	0,00
CaO	0,12	0,07	0,08	0,00	22,62	21,85
Na_2O	1,03	0,33	0,76	0,77	0,23	0,05
K_2O	10,82	10,28	10,42	9,88	0,03	0,07
H_2O	4,49	4,45	4,33	4,55	1,89	1,86
Total	**100,37**	**99,67**	**97,41**	**101,12**	**99,19**	**98,95**

	Biotite			Amphibole			
				Act.		Hb.	Anth.
Échantillon	N–129	N–129	N–129	N–127	N–127	N–129	N–129
Profondeur (pieds)	1369	1441a	1441b	1229	1243	1357	1441
Nombre	(2)	(2)	(4)	(6)	(2)	(6)	(1)
	%	%	%	%	%	%	%
SiO_2	36,01	32,40	34,52	54,67	54,98	43,46	51,41
TiO_2	0,14	1,17	0,91	0,03	0,02	0,31	0,05
Al_2O_3	19,72	15,80	21,85	1,32	0,67	10,34	2,11
FeO	19,00	31,56	25,65	14,98	14,29	24,25	29,80
MnO	0,14	0,61	0,11	1,29	2,20	2,41	4,68
MgO	11,83	6,56	4,64	13,19	14,24	5,33	10,41
ZnO	0,07	0,03	0,02	0,07	0,06	0,08	0,11
CaO	0,02	0,03	0,00	12,15	10,87	10,95	0,61
Na_2O	0,12	0,03	0,11	0,13	0,11	1,05	0,42
K_2O	8,48	7,13	8,83	0,00	0,02	0,64	0,01
H_2O	3,99	3,70	3,90	2,06	2,06	1,94	1,98
Total	**99,50**	**99,02**	**100,53**	**99,89**	**99,51**	**100,76**	**101,60**

	Grenat		Andalousite
Échantillon	N–129	N–129	N–127
Profondeur (pieds)	1357	1441	1433
Nombre	(1)	(1)	(3)
	%	%	%
SiO_2	38,95	38,79	37,01
TiO_2	0,04	0,00	0,02
Al_2O_3	26,44	25,23	62,21
FeO	7,51	10,53	0,85
MnO	0,58	0,47	0,02
MgO	0,00	0,11	0,01
ZnO	0,00	0,00	0,03
CaO	22,62	21,85	0,01
Na_2O	0,23	,05	0,01
K_2O	0,03	0,07	0,01
H_2O	1,89	1,86	—
Total	**99,19**	**98,95**	**100,18**

Act. = actinote Hb. = hornblende Anth. = anthophyllite

Les rapports en Fe/Fe+Mg d'environ 0,5 obtenus pour quelques échantillons de chlorite et de biotite ressemblent à ceux de la rhyolite inaltérée. La biotite, le grenat et la séricite phengitique ont également des rapports en Fe/Fe+Mg élevés. Ainsi, les minéraux mafiques originaux de la zone d'altération étaient surtout riches en fer, ce qui correspond aux données des autres gisements du district de Rouyn-Noranda (Cattalani *et al.*, 1990 a et c).

Dans la zone d'altération, les grenats constituent des phases mineures, dont deux types ont été identifiés: l'andradite dans les échantillons riches en sulfures et pauvres en Al, et la spessartite-almandine, présente dans les échantillons riches en Al. Les amphiboles calciques sont des actinotes avec une gamme variable de rapports Fe/Fe+Mg; ils sont surtout présents dans les échantillons riches en sulfures et dans la hornblende avec des rapports de Fe/Fe+Mg semblables à ceux des chlorites. L'anthophyllite n'a été identifiée que dans un échantillon analysé au moyen de la microsonde, alors que la cordiérite n'a été observée dans aucun de ces échantillons du fait qu'elle a été altérée en pinite ou en andalousite.

DIAGRAMME SILICE-ALCALIS-MAFIQUES

Les minéraux métamorphiques ont également été tracés sur un diagramme cationique ternaire de Si-5(Na+K)-(Mg+Fe+Mn+Zn) (figure 20) afin de souligner les tendances compositionnelles des amphiboles calciques et celles qui existent entre la chlorite et la biotite. Les amphiboles forment une série de solution solide avec augmentations dans les pourcentages d'alcalis qui coïncident avec des augmentations de l'Al, tel que démontré à la figure 19. Les échantillons situés le long du patron de chlorite-biotite peuvent être ou bien des enchevêtrements à grains très fins de ces minéraux ou bien probablement une solution solide. Ce diagramme indique clairement que le patron est situé entre la chlorite et la biotite, et non pas entre la chlorite et la séricite. Cet aspect minéralogique est présenté dans l'étude de Shriver (1992).

Sommaire

La majorité des minéraux métamorphiques mafiques sont riches en fer; ils ont probablement été convertis à partir de la chlorite et de la séricite dont les rapports Fe/Fe+Mg étaient égaux ou du moins semblables. À partir de la présence de grains de dalmatianite arrondis, et de leurs assemblages secondaires de pinite et d'andalousite, de même qu'à partir de la composition des minéraux mafiques coexistants, on peut conclure que ces grains étaient, à l'origine, des cordiérites. Leur altération représente un remplacement métamorphique rétrograde. La formation d'importantes masses d'andalousite est rarement observée dans des cordiérites rétrogradées. Sa présence témoigne donc du lessivage local, du moins, du Fe et du Mg lors du métamorphisme rétrograde.

La présence d'andradite, d'actinote et de quartz dans les échantillons riches en sulfures résulte probablement des contenus faibles en Al et élevés en Ca. Ceci suggère un assemblage d'altération original qui comprenait le quartz, la calcite et des sulfures.

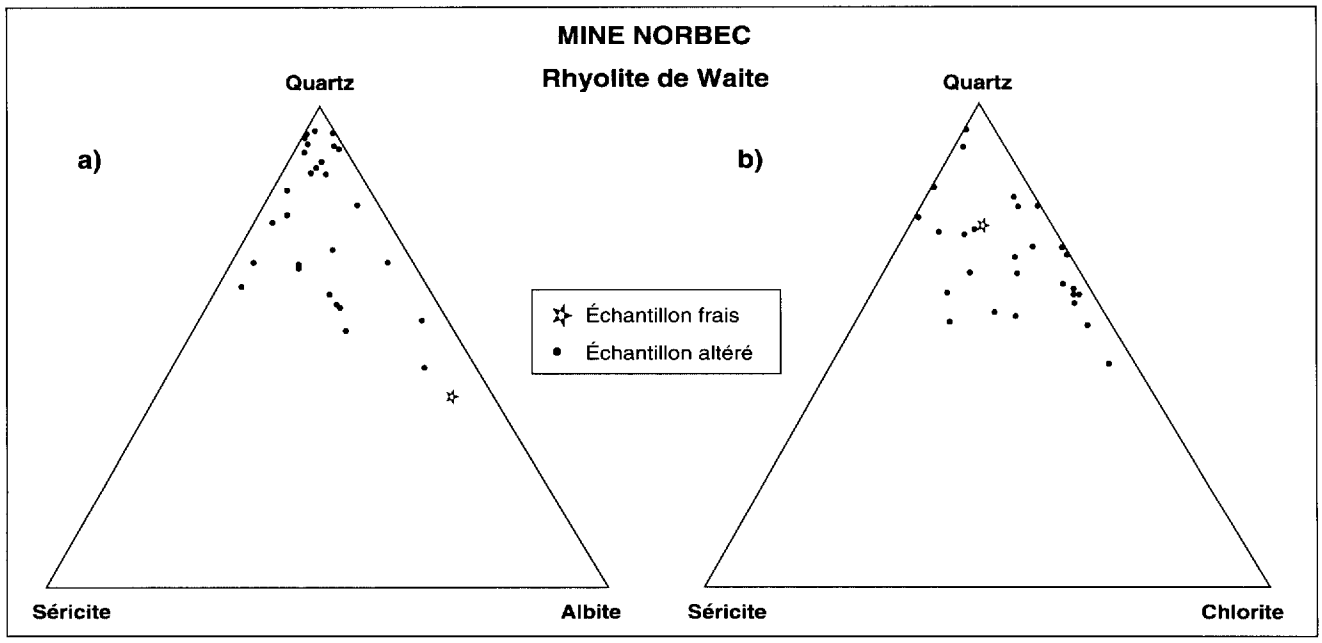
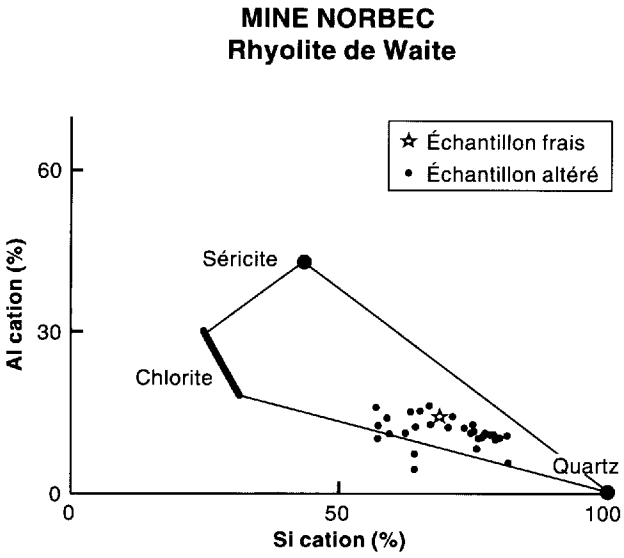


FIGURE 17 – Diagrammes cationiques ternaires des minéraux d'altération prémétamorphiques, normatifs: a) quartz-séricite-albite, et b) quartz-séricite-chlorite.

L'assemblage métamorphique comprenant le grenat almandin, la biotite, la hornblende, la chlorite et l'épidote riches en Mn est caractéristique du métamorphisme de contact du faciès amphibolite inférieur. Il s'agit du même faciès trouvé dans la zone d'altération métamorphosée des mines Millenbach (Riverin et Hodgson, 1980) et Amulet (Hall, 1982) avoisinantes.



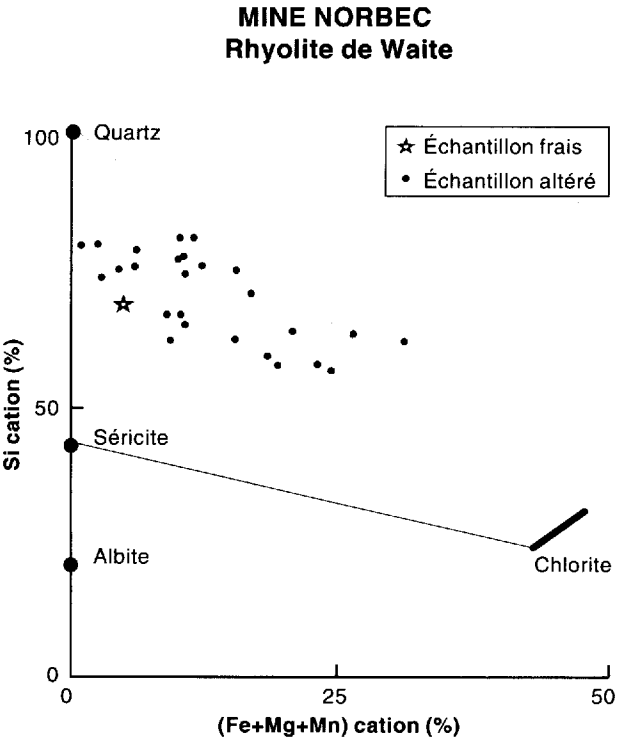


FIGURE 18 – Diagrammes cationiques binaires de l'Al en fonction du Si et du Si en fonction de Fe+Mg+Mn. Les compositions de la chlorite résultent d'analyses par microsonde.

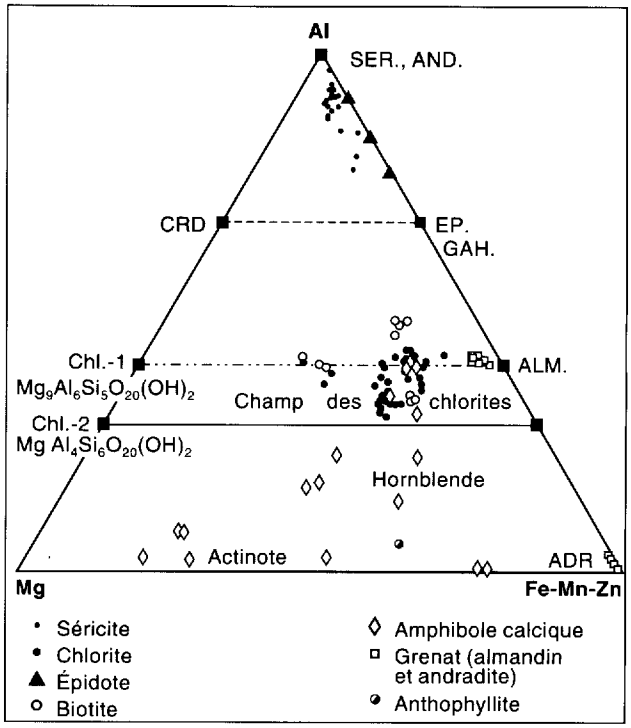


FIGURE 19 – Diagramme cationique ternaire Al-Mg-(Fe+Mn+Zn) des minéraux normatifs. SER. = séricite, AND. = andalusite, EP. = épidote, GAH = gahnite, ALM. = almandine, ADR = andradite, CRD = cordiérite, CHL. = chlorite.

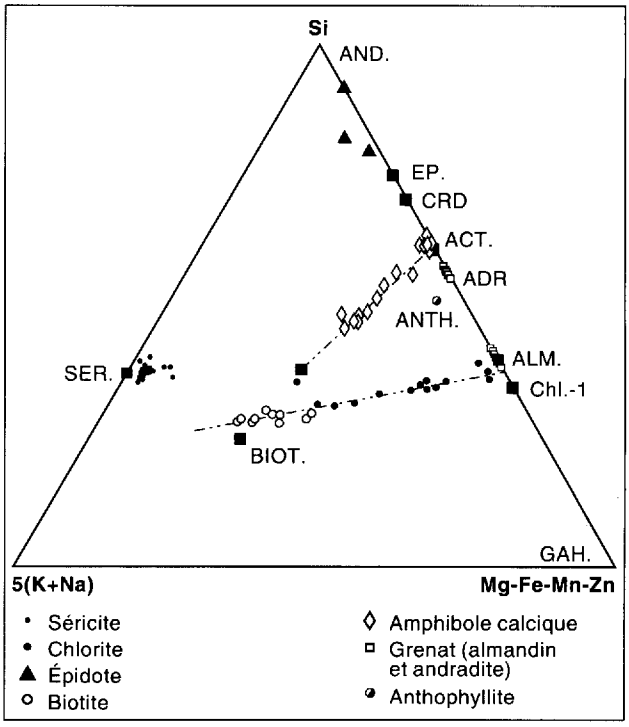


FIGURE 20 – Diagramme cationique ternaire Si-5(K+Na)-(Mg+Fe+Mn+Zn) des minéraux normatifs. SER. = séricite, AND. = andalousite, EP. = épidote, GAH. = gahnite, ALM. = almandine, ADR = andradite, CRD = cordiérite, CHL. = chlorite.

Méthodologie et résultats

Des analyses d'isotopes d'oxygène ont été réalisées sur 26 échantillons de volcanites provenant de forages qui recoupaient la stratigraphie volcanique attenante à l'amas sulfuré de Norbec. L'oxygène a été extrait au moyen de la méthode BrF_5 (Clayton et Mayeda, 1963). Les analyses isotopiques de l'oxygène ont été effectuées par Lawrence D. Hoy à l'Université de Montréal.

Les échantillons de volcanites proviennent de la formation de rhyolite de Waite et des formations d'andésite de Waite et d'Amulet. Comme que la plupart des échantillons sont altérés, il est nécessaire d'estimer les valeurs isotopiques de la roche totale pour les équivalents non altérés. Les rhyolites non altérées ont des valeurs isotopiques d'oxygène de 7 à 9 ‰ de même que les rhyolites les moins altérées de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, tandis que les andésites varient de 5,5 à 7,0 ‰ (Taylor, 1968; Beaty *et al.*, 1988; Cattalani *et al.*, 1990a). Ces valeurs ont servi de point de départ pour nos échantillons de rhyolites et d'andésites.

Les résultats des analyses isotopiques de l'oxygène sont donnés à l'annexe 4 et sont résumés à la figure 21. Les valeurs isotopiques de l'oxygène obtenues pour les volcanites échantillonnées à Norbec montrent une distribution normale, sans déviations vers des valeurs basses, tel qu'on le remarque pour d'autres gisements de la région de Rouyn-Noranda (e.g. Horne: Cattalani *et al.*, 1990a; MacLean et Hoy, 1991; Mobrun: Riopel *et al.*, 1991b; Barrett *et al.*, 1992; Corbet: Cattalani *et al.*, 1991b). À l'exception d'un échantillon de l'andésite de Waite altérée en dalmatianite ($\partial^{18}O$=3,6 ‰), tous les échantillons ont des valeurs isotopiques entre 5,1 et 10,5 ‰. Des valeurs isotopiques plus basses pour les échantillons du toit ($\partial^{18}O$=6,8-8,4 ‰) reflètent un degré d'altération clairement inférieur à celui indiqué par les volcanites du mur.

Discussion

ASPECTS THERMO-ISOTOPIQUES DES FLUIDES

Tel que discuté préalablement, les assemblages hydrothermaux à la mine Norbec ont pour la plupart été convertis en assemblages métamorphiques (Machairas et Blais, 1966; de Rosen-Spence, 1969). Pour cette raison, des conclusions basées sur le fractionnement isotopique de l'oxygène entre les divers minéraux s'avèrent inutiles pour une caractérisation précise des conditions isotopiques et thermiques des fluides hydrothermaux. Cette phase de métamorphisme de contact aurait pu affecter également la composition isotopique de la roche totale. Par contre, les assemblages minéralogiques actuels n'impliquent pas une importante migration de fluides, mais témoignent de réactions métamorphiques prograde de déshydratation suivies par des réactions rétrogrades d'hydratation. L'effet sur la composition isotopique de l'oxygène de la roche totale par de telles réactions est considéré comme très minime (Valley, 1986). Les valeurs isotopiques de l'oxygène de la roche totale peuvent donc être considérées comme étant un indicateur fiable des conditions thermiques et isotopiques présentes durant la phase d'altération hydrothermale associée à l'emplacement de l'amas sulfuré de la mine Norbec.

Dans ce gisement, les assemblages hydrothermaux, prémétamorphiques consistaient surtout en quartz, chlorite, albite, séricite et calcite (voir le chapitre traitant de l'altération des roches volcaniques). Les valeurs en $\partial^{18}O$ de ces minéraux peuvent être estimées et les valeurs d'oxygène de la roche totale peuvent être calculées en utilisant les pourcentages normatifs des différents minéraux d'altération (Barrett *et al.*, 1991c; Cattalani *et al.*, 1990c; MacLean et Hoy, 1991). Si les valeurs ainsi calculées s'accordent bien avec les valeurs isotopiques mesurées, on peut donc considérer les estimations au sujet des compositions et des proportions isotopiques des minéraux comme étant fiables.

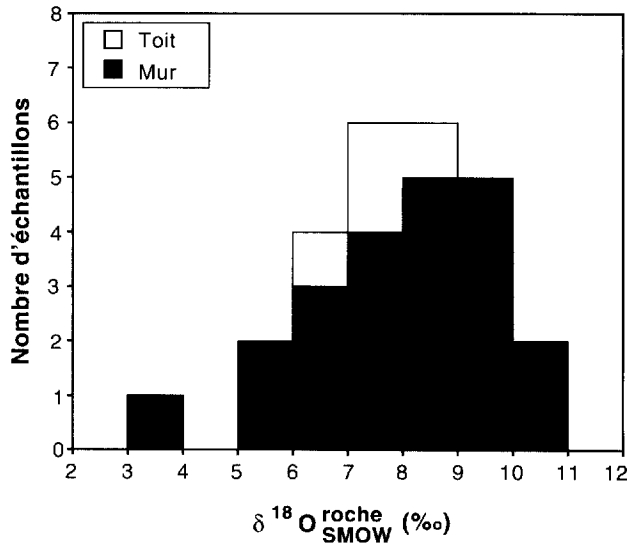


FIGURE 21 – Histogramme montrant la distribution de la composition isotopique de l'oxygène pour des échantillons de volcanites provenant de la mine Norbec. En noir: volcanites du mur. En blanc: volcanites du toit.

La minéralogie normative calculée à partir des échantillons prélevés à la mine Norbec est présentée à l'annexe 5. Les compositions isotopiques de la roche totale calculées sont généralement conformes à celles mesurées, bien qu'on y observe des déviations appréciables (figure 22). Ces déviations reflètent peut-être des incertitudes quant à l'estimation de la proportion des divers minéraux et dans l'estimation de leur composition isotopique. Par ailleurs, on ne peut pas assumer que chaque minéral se soit formé à des températures constantes à partir de fluides de composition isotopique constante. Néanmoins, la coïncidence générale entre les valeurs calculées et celles mesurées pour la plupart des échantillons appuie les hypothèses relatives aux températures d'altération et aux compositions isotopiques des minéraux individuels.

Des études récentes sur plusieurs gisements de sulfures massifs volcanogènes de la région de Rouyn-Noranda indiquent que les fluides hydrothermaux sont généralement caractérisés par des températures de l'ordre de 200 à 400° C et par des compositions isotopiques de l'oxygène variant de -2 à +4 ‰ (Barrett *et al.*, 1991c; Cattalani *et al.*, 1990a, 1990c; Franklin *et al.*, 1981; MacLean et Hoy, 1991). Les conditions thermiques et isotopiques pour lesquelles ont obtient la meilleure corrélation entre les valeurs mesurées et celles calculées, et donc des conditions sous lesquelles le gisement Norbec est présumé s'être formé sont celles d'un fluide minéralisateur de $\partial^{18}O$ 0 ‰ , et sujet à des températures

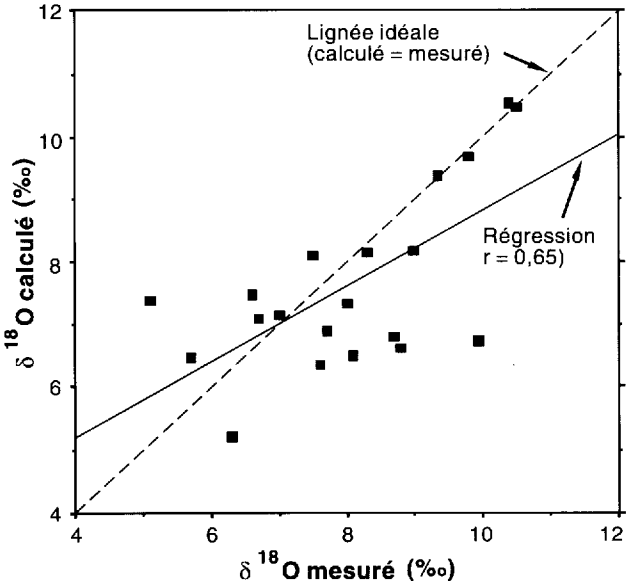


FIGURE 22 – Diagramme de $\partial^{18}O$ mesuré en fonction de $\partial^{18}O$ calculé pour les échantillons de la figure 21. La lignée solide représente les données de cette étude; la lignée pointillée représente la pente idéale obtenue si les valeurs calculées étaient en accord parfait avec les valeurs mesurées. Les valeurs d'oxygène de la roche totale peuvent être calculées en utilisant les pourcentages normatifs des minéraux et des valeurs de $\partial^{18}O$ estimées pour les différents minéraux (MacLean et Hoy, 1991).

approximatives de 200° C dans les parties distales et d'environ 250° C dans les parties proximales de l'amas. De plus, des températures de près de 300° C sont probables pour les zones de forte chloritisation du mur immédiat, tel qu'indiqué par le rapport entre la minéralogie normative et la composition isotopique de l'oxygène de la roche totale.

PROFILS DE LA COMPOSITION ISOTOPIQUE DE L'OXYGÈNE

Les variations des valeurs en $\partial^{18}O$ de 5 sondages situés le long d'une section verticale orientée NW-SE qui recoupent la stratigraphie des volcanites dans la région de l'amas Norbec sont illustrées à la figure 23. Les sondages N-124, N-127 et N-129 recoupent l'amas directement alors que les sondages N-181 et N-224 recoupent la stratigraphie à 200 m et à 700 m, respectivement, au NW de l'amas (figure 8). Les sondages sont orientés perpendiculairement à l'orientation de la stratigraphie. En débutant en profondeur dans le mur jusqu'au contact rhyolite de Waite – andésite d'Amulet, la composition isotopique de l'oxygène pour la roche totale montre généralement une augmentation pour ensuite décroître dans le toit. On observe également un léger décroissement des valeurs maximales des volcanites distales ($\partial^{18}O$=10,5 ‰) par rapport au volcanites proximales ($\partial^{18}O$ 9 ‰).

Ces variations en $\partial^{18}O$ reflètent la minéralogie des volcanites analysées, tout comme l'augmentation verticale de cette valeur, observée dans les forages proximaux, correspond à un changement d'assemblages dominés par la chlorite plutôt que d'assemblages dominés par le quartz (annexe 4). Le décroissement des valeurs isotopiques de l'oxygène pour les échantillons du toit reflète davantage sa lithologie (andésite contre rhyolite), que son degré d'altération qui est considérablement plus faible.

Les données minéralogiques et isotopiques à la mine Norbec impliquent la circulation d'un volume important de fluides hydrothermaux, et les fluides les plus chauds étaient concentrés directement sous la position de l'emplacement actuel de l'amas sulfuré. Des fluides, de températures moins élevées, étaient présents latéralement au gisement de même que près de l'interface volcanites-eau de mer, ce qui impliquait un entraînement d'eau de mer froide dans la partie supérieure de la stratigraphie. Ce mélange d'eau de mer froide et de fluides hydrothermaux est probablement la cause de la zone de la silicification observée près du sommet de la rhyolite de Waite, à proximité de l'amas de Norbec. La diminution abrupte des valeurs en $\partial^{18}O$ des volcanites du toit, de même que le degré d'altération beaucoup plus faible, impliquent une cessation presque complète de l'activité hydrothermale suite à la mise en place des volcanites représentées actuellement par l'andésite d'Amulet.

Sommaire

La composition isotopique de l'oxygène des volcanites encaissantes de l'amas de Norbec indique qu'elles ont subi une altération par des fluides hydrothermaux d'origine marine ($\delta^{18}O$=0 ‰). Ces fluides auraient circulé dans les volcanites du mur par voie d'une cellule de convection de taille importante. Les données isotopiques et minéralogiques indiquent que les fluides les plus chauds (environ 250 à 300° C) se trouvaient directement sous l'amas sulfuré, et qu'un entraînement d'eau marine plus froide dans les parties supérieures du fond sous-marin, a résulté en des températures plus basses près de l'interface eau de mer-volcanites (environ 250° C), et dans les zones latéralement distancées de l'amas (environ 200° C). La cessation de l'activité hydrothermale avant ou peu après la mise en place des volcanites du toit est indiquée par un degré d'altération considérablement plus faible pour l'andésite d'Amulet.

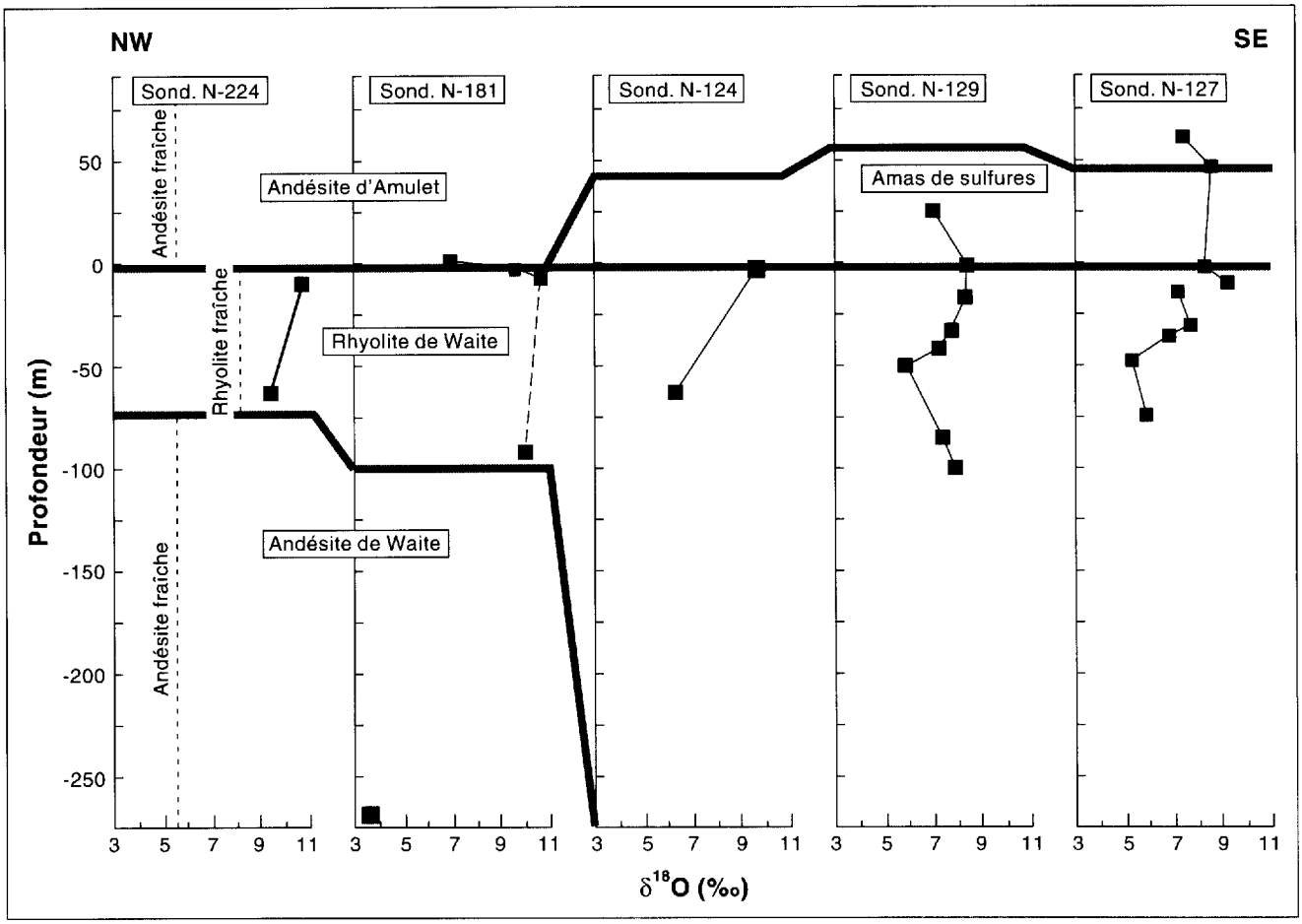


FIGURE 23 – Diagramme schématique montrant la distribution des compositions isotopiques de l'oxygène de quelques roches volcaniques intersectées par divers sondages près de l'amas Norbec. Les sondages N-124, N-127 et N-129 recoupent l'amas directement alors que les sondages N-181 et N-224 recoupent la stratigraphie à 200 m et à 700 m, respectivement au NW de l'amas. Les profondeurs qui figurent sur l'axe Y représentent les distances le long des sondages. La position approximative de l'amas est indiquée. Les lignes verticales en tirets légers représentent les valeurs moyennes de $\delta^{18}O$ pour des rhyolites et des andésites fraîches.

Gîtologie, minéralogie et géochimie des sulfures

Généralités

Le gisement Norbec inclut cinq zones minéralisées (zones A à E; figure 2), dont trois (A, B et C; figure 5) ont été exploitées entre 1964 et 1976 pour une production totale de 4,6 millions de tonnes métriques de minerai à 2,61 % Cu, 3,88 % Zn, 43,80 g/t Ag et 0,65 g/t Au. Le gisement consiste en une lentille Principale stratiforme de sulfures massifs (zone A) et une zone de stockwerk hautement minéralisée (zones B et C). Une petite lentille satellite (zone D) se situe à environ 600 m (2000 pieds) au SW de la lentille Principale sur le même horizon stratigraphique (figure 2). En profondeur, la zone E consiste en une mince zone subhorizontale et subéconomique de stockwerk, située directement en dessous des zones B et C (figure 2), et représente l'extension de cette zone de stockwerk dans l'andésite de Waite.

L'amas de sulfures massifs principal est stratiforme, lenticulaire, et représente une minéralisation de type proximal à haute teneur en Cu (jusqu'à 20 % ou plus). L'étendue latérale de l'amas atteint près de 200 m, avec une épaisseur maximale de près de 65 m. Le sommet de l'amas à été déplacé d'environ 30 m vers le NE par la faille subhorizontale Conka (figure 4). Les sulfures massifs se composent surtout de pyrite (30 %), de sphalérite (20 %), de chalcopyrite (15 %), de pyrrhotite (11 %), et de magnétite (4 %) avec de la galène en moindres quantités (Johnson, 1966). La gangue constitue près de 20 % et est formée de silicates et de carbonates. Habituellement, la chalcopyrite se concentre surtout vers la base de la lentille, particulièrement là où la zone de stockwerk vient se joindre aux sulfures massifs. Des sulfures massifs laminés, composés de sphalérite, de pyrrhotite et de pyrite forment la partie supérieure de l'amas. Ceci résulte en une zonation grossière des métaux avec un rapport Cu/Zn diminuant vers le sommet de l'amas (Sakrison, 1967). L'altération reliée à l'emplacement des sulfures est très fortement développée et forme une quille à la base de la lentille Principale. Cette zone est constituée principalement de proportions variables de chlorite noire, de magnétite, de grenat, d'anthophyllite, de biotite, d'andalousite et de pinite (produits d'altération de la cordiérite), de séricite, de gahnite, de calcite et de quartz, ainsi que de sphalérite et de pyrite disséminées (Machairas et Blais, 1966; Sakrison, 1967; de Rosen-Spence, 1969; voir la section sur les minéraux métamorphiques du présent rapport). Celle-ci est recoupée par une zone de veinules riches en chalcopyrite et pyrrhotine qui forme une cheminée de 35 m de diamètre, orientée perpendiculairement à l'horizon minéralisé et qui se poursuit, en profondeur, pour au moins 150 m. Le développement de dalmatianite (roche d'origine métamorphique) dans la zone d'altération est relié à l'emplacement du batholithe du Lac Dufault (de Rosen-Spence, 1969).

Minéralogie

Un total de 40 lames minces polies représentant des sulfures massifs, filoniens et disséminés ont été étudiées sous le microscope. Les minéraux de sulfures principaux sont la pyrite, la sphalérite, la chalcopyrite et la pyrrhotite, avec la magnétite et la galène en quantités moindres (Johnson, 1966).

La pyrite forme communément des cristaux idiomorphes qui exhibent des angles interfacials de 120° qui représentent des porphyroblastes d'origine clairement métamorphique (figure 24a). La croissance de ces porphyroblastes résulte en l'isolement de reliquats sous forme de taches de sphalérite et de chalcopyrite, ou des deux (figure 24a). Certains de ces cristaux idiomorphes de pyrite ont des bordures composées elles-même de cristaux disposés radialement autour d'un coeur de sulfures massifs à semi-massifs de chalcopyrite, sphalérite et pyrrhotite (figure 24b).

La chalcopyrite se présente surtout sous forme massive (figure 24c), ou encore sous forme de veinules et disséminations fines à grenues, accompagnées de pyrrhotite, de pyrite et de sphalérite (figure 24d). Elle contient souvent de petites inclusions de gangue ou d'autres sulfures. Ces inclusions de gangue sont parfois bordées ou couronnées par de la chlorite très fine (figure 25a) qui semble remplacer la chalcopyrite le long des contacts intercristallins. Dans les zones de minéralisation disséminée, la chalcopyrite forme souvent des grains interstitiels à des porphyroblastes de pyrite. La chalcopyrite se trouve aussi sous forme de petites disséminations ou de bulles dans la sphalérite.

La sphalérite se présente en zones de minéralisation massive (figure 25b) ou sous forme de disséminations fines à grenues dans une matrice volcanique altérée (figure 25d). La sphalérite massive contient souvent des disséminations d'autres sulfures (chalcopyrite, pyrite et pyrrhotite ou les deux) de même que d'abondants porphyroblastes de silicates (e.g amphibole; figures 25b et c). La sphalérite existe aussi sous forme d'agglomérations botryoïdales qui sont souvent bordées par des porphyroblastes grenues de pyrite (figure 25d).

La pyrrhotite et la magnétite n'ont été observées qu'en quantités mineures dans les sections étudiées. La galène n'a pas été observée.

Géochimie des sulfures

Cette section présente les résultats d'analyses chimiques d'échantillons minéralisés provenant de la mine Norbec. Ces résultats sont présentés sous la forme de deux bases de données distinctes, soit les données provenant de la compagnie Minnova, soit celles provenant d'analyses effectuées durant cette étude. Les données de la compagnie proviennent toutes de deux sondages: (N-126; 97 analyses et N-127; 84 analyses). Le sondage N-127 est situé directement au-dessus du centre de l'amas et, de ce fait, représente une section verticale à travers la partie la plus épaisse de l'amas et de la cheminée d'altération sous-jacente. Les analyses de la compagnie comprennent les teneurs en or, en cuivre, en zinc et en argent, sur des intersections continues, généralement d'une longueur de 0,5 à 1,5 m. À la figure 26 les données tirées des analyses du sondage N-127 sont présentées par profils de concentration accompagnés de la colonne stratigraphique du sondage montrant la géologie des roches encaissantes.

La deuxième base de données provient d'analyses chimiques pour 24 échantillons de sulfures massifs à disséminés effectuées durant le cours de cette étude pour les éléments suivants: As, Sb, W, U, Co, Cu, Pb, Zn, Ag et Au (annexe 5). Ces échantillons proviennent de trois sondages verticaux, soit les sondages N-124, N-127 et N-129 (figure 8).

DONNÉES DE LA COMPAGNIE

Les corrélations principales qui ressortent de la compilation des données de la compagnie sont celles établies entre l'Ag et le Cu, de même qu'une corrélation moyenne entre l'Ag et l'Au pour le sondage N-126 seulement (figure 27). Dans le sondage N-127, la corrélation entre l'Ag et le Cu se maintient sur toute la longueur de la section minéralisée, autant dans la partie massive que dans la zone de veinules sous-jacentes. Les valeurs maximales de l'Ag et du Cu sont voisines de 250 g/t et 25 %, respectivement, correspondant à un rapport Cu/Ag d'environ 1000 pour le sondage N-127 et d'environ 500 pour le sondage N-126. Les valeurs maximales d'Au et de Zn sont de 3 à 4 g/t et 22 à 27 %, respectivement (figures 27 et 28).

DONNÉES DE CETTE ÉTUDE

Un total de 24 échantillons de carottes provenant de sondages de surface ont été analysés pour certains éléments précieux, usuels et en traces (annexe 5). Les valeurs moyennes des métaux usuels et en traces pour ces échantillons sont résumées au tableau 3. La corrélation entre le Cu et l'Ag observée pour les analyses de la compagnie demeure évidente pour les échantillons analysés au cours de cette étude avec des rapports Cu/Ag semblables (figure 28a). Tout comme pour les analyses de la compagnie, une corrélation entre le Zn et l'Ag ne semble pas exister (figure 28b). Par contre, de faibles corrélations existent entre l'Au et l'As, de même qu'entre l'As et le Sb et entre l'Ag et le W (figure 29). La corrélation entre le Sb et l'As avec l'Au reflète probablement l'association de ce dernier avec la présence de la tétrahédrite et de l'arsénopyrite.

TABLEAU 3 – Teneurs moyennes des échantillons minéralisés provenant de cette étude.

Cu	Zn	Au	Ag	Pb	As	Sb	Co	Ni	Se	U	W
%	%	g/t	g/t	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
7,94	9,26	2,35	146,1	0,56	242,4	20,5	216	9,8	110	1,2	7,1

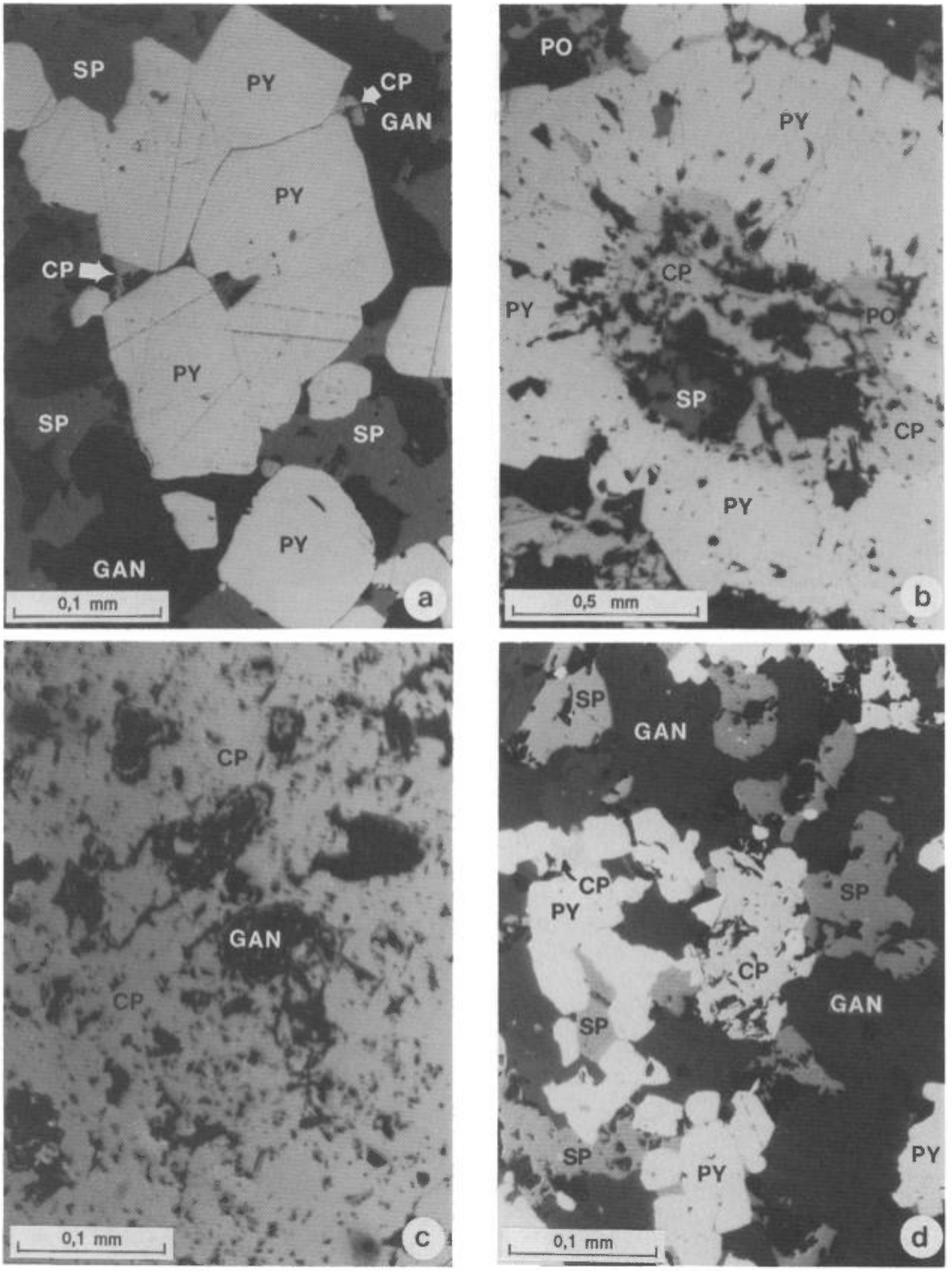


FIGURE 24 – Photomicrographies des sulfures.

a) Porphyroblastes idiomorphes de pyrite (PY) montrant des jonctions triples à des angles interfacials de 120°. La croissance des cristaux de pyrite résulte en l'isolement de reliquats sous forme de taches de sphalérite (SP) et de chalcopyrite (SP). Lumière réfléchie, grossissement: 64X (N-124, 1163').

b) Cristaux de pyrite orientés radialement autour d'un coeur composé de chalcopyrite (CP), de sphalérite (SP) et d'un peu de pyrrhotite (PO). Lumière réfléchie, grossissement: 64X (N-127, 1208').

c) Chalcopyrite (CP) massive avec quelques inclusions de gangue (GAN). Lumière réfléchie, grossissement: 16X (N-127, 1317').

d) Sulfures disséminés, composés de chalcopyrite, de sphalérite et de pyrite, dans une matrice amphibolitisée et grenue. Lumière réfléchie, grossissement: 64X (N-124, 163').

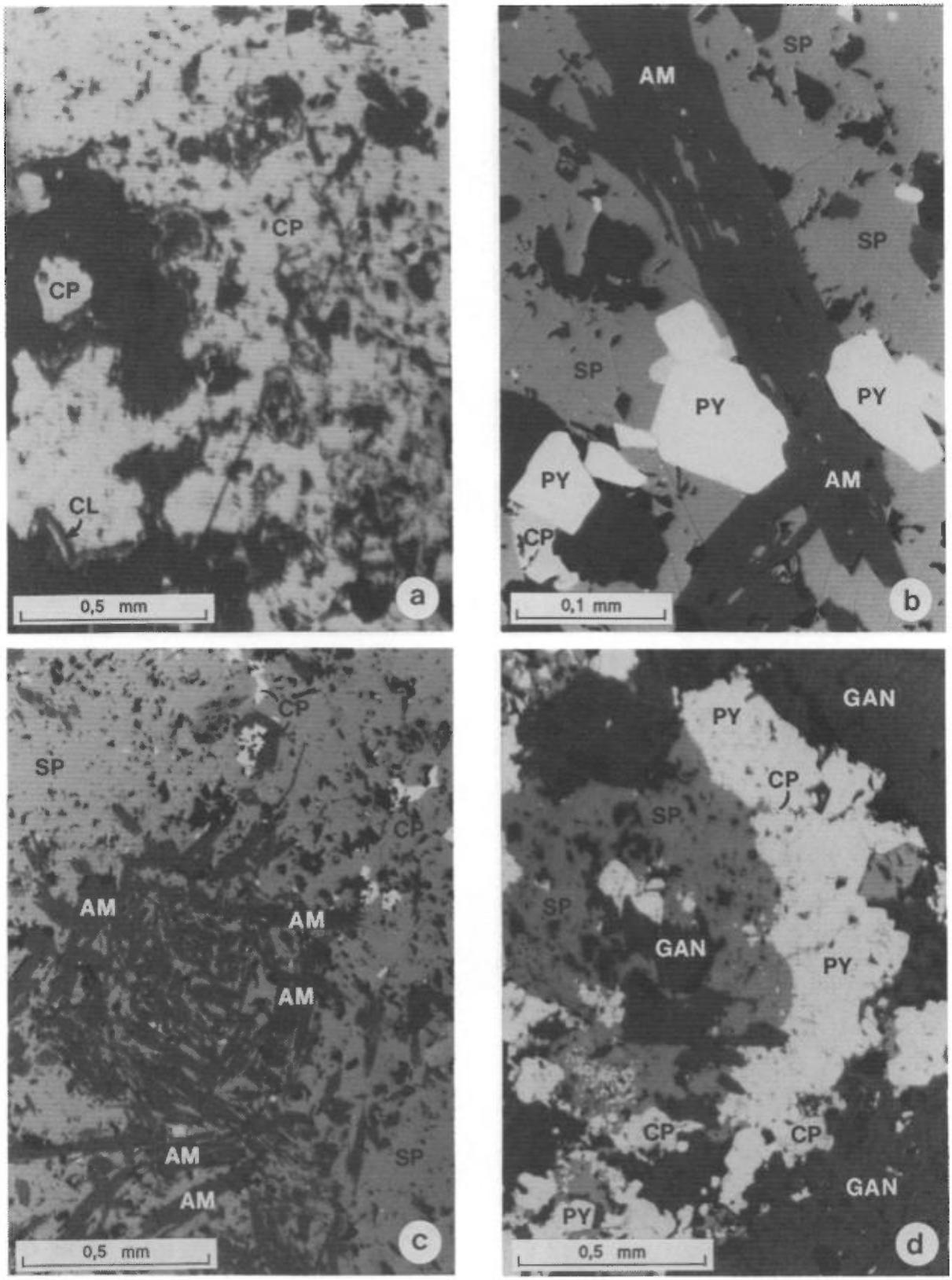


FIGURE 25 – Photomicrographies des sulfures.

a) Chalcopyrite semi-massive à veinules montrant plusieurs inclusions de gangue (GAN) avec bordures de chlorite (CL) très fines. Lumière réfléchie, grossissement: 16X (N-127, 1385').

b) Sphalérite massive avec quelques grains de pyrite idiomorphes et un peu de chalcopyrite, incluant des porphyroblastes d'amphibole (AM). Lumière réfléchie, grossissement: 64X (N-124, 1163').

c) Sphalérite massive avec quelques grains de chalcopyrite et un amas d'amphibole (AM) disposés de façon concentrique. Lumière réfléchie, grossissement: 16X (N-127, 1178').

d) Sphalérite d'aspect botryoïdale, bordée par une carapace de porphyroblastes de pyrite. Lumière réfléchie, grossissement: 16X (N-127, 1208').

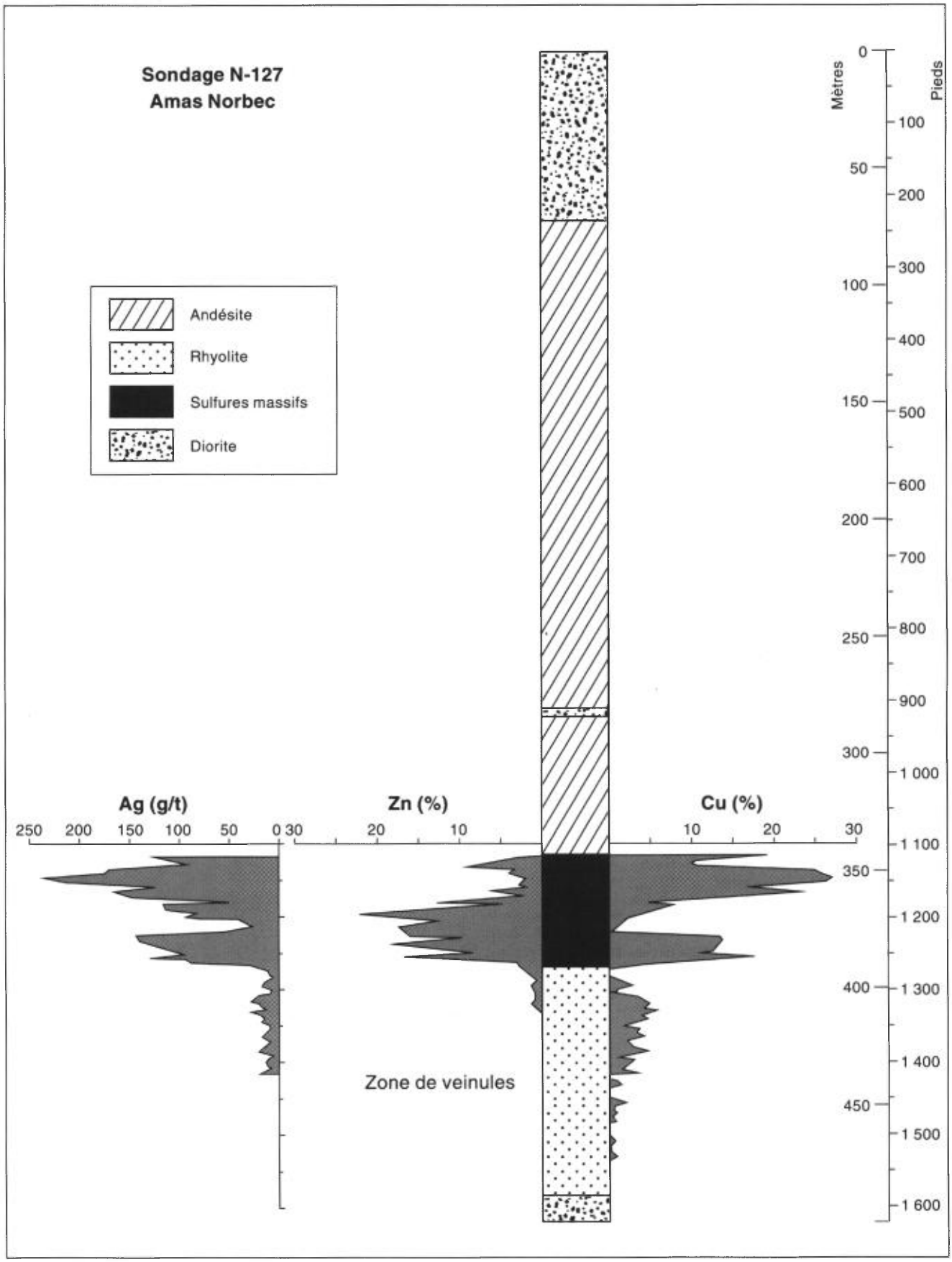


FIGURE 26 – Séquence lithologique et profils de concentration en Cu, Zn et Ag pour les sulfures massifs recoupés dans le sondage N-127 de l'amas sulfuré Norbec.

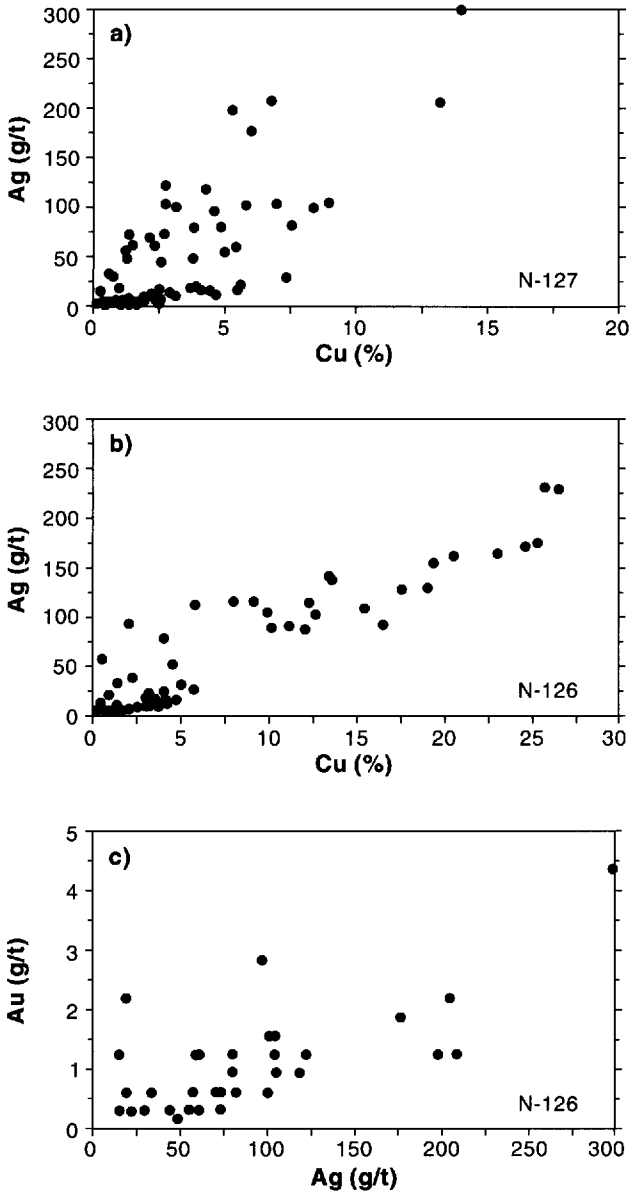


FIGURE 27 –

a) Ag en fonction du Cu pour les sulfures massifs intersectés par le sondage N-127 (données de la compagnie).

b) Ag en fonction du Cu pour les sulfures massifs intersectés par le sondage N-126 (données de la compagnie).

c) Au en fonction de l'Ag pour les sulfures massifs intersectés par le sondage N-126 (données de la compagnie).

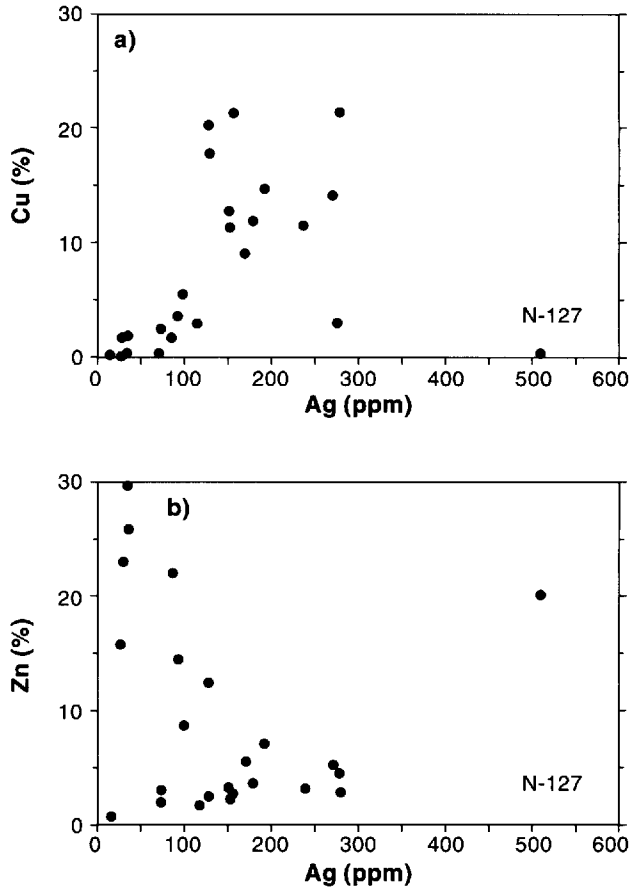


FIGURE 28 –

a) Cu en fonction de l'Ag pour les sulfures massifs intersectés par le sondage N-127 (données de la présente étude).

b) Zn en fonction de l'Ag pour les sulfures massifs intersectés par le sondage N-127 (données de la présente étude).

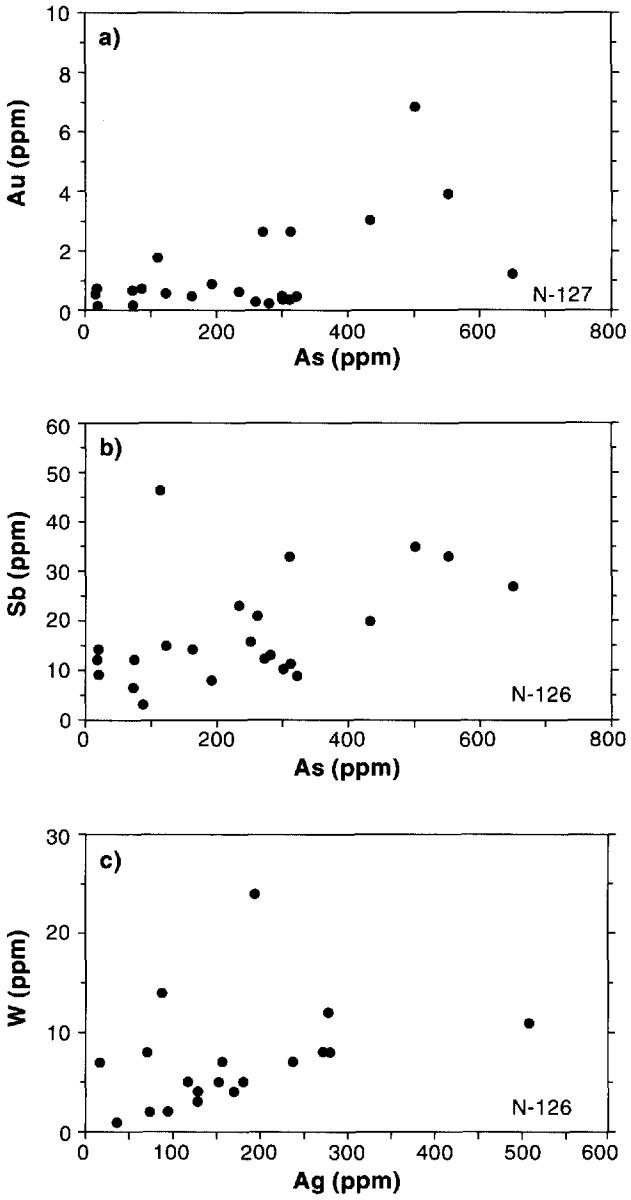


FIGURE 29 –

a) Au en fonction de l'As pour les sulfures massifs intersectés par le sondage N-127 (données de la compagnie).

b) Sb en fonction de l'As pour les sulfures massifs intersectés par le sondage N-126 (données de la compagnie).

Discussion et sommaire

Comparaison avec d'autres amas sulfurés du camp minier de Rouyn-Noranda

Le gisement Norbec est une lentille de sulfures concordante logée dans une séquence volcanique bimodale, plus précisément au contact de la rhyolite de Waite du mur et de l'andésite d'Amulet du toit. De ce fait, il est comparable aux autres gisements de la région de Noranda à l'exception des gisements de Horne (Cattalani *et al.*, 1990a; Barrett *et al.*, 1991a; MacLean et Hoy, 1991), d'Aldermac (Cattalani *et al.*, 1990b; Barrett *et al.*, 1991b) et de Delbridge (Cattalani *et al.*, 1991a). Les roches encaissantes les plus fraîches se classent dans les champs définis par les rhyolites pauvres en K. Sur un diagramme binaire Y-Zr, les roches encaissantes forment une lignée possédant un rapport Zr/Y d'environ 5,1, ce qui indique une affinité pétrologique pour les volcanites de tholéiitique à transitionnelle. Le rapport $(La/Yb)_N$ des volcanites de Norbec (La_N/Yb_N = 1,5 à 3,5), correspond également à des valeurs tholéiitiques à transitionnelles. De ce fait, les volcanites encaissantes à Norbec ressemblent davantage aux autres unités volcaniques de la Série centrale des mines (Cattalani *et al.*, 1990c, 1991; Barrett *et al.*, 1991c), et diffèrent considérablement des volcanites qui encaissent les gisements de Horne et de Delbridge (figure 30).

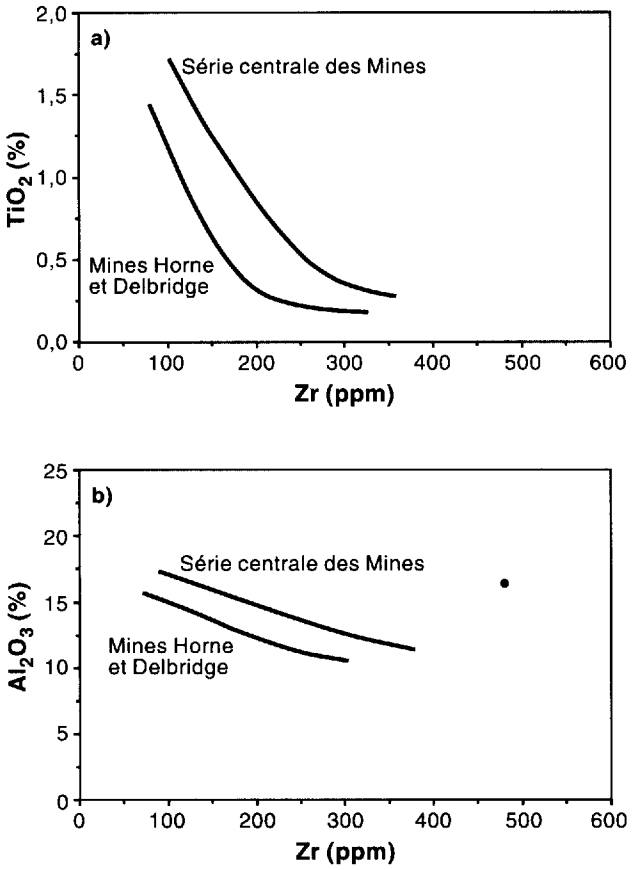


FIGURE 30 –

a) Diagrammes TiO_2 en fonction du Zr et

b) Al_2O_3 en fonction du Zr montrant les lignées de fractionnement établies pour les volcanites de la mine Horne (Cattalani *et al.*, 1990a) et Delbridge (Cattalani *et al.*, 1991a) et les volcanites de la Série centrale des Mines (Cattalani *et al.*, 1990c, Riopel *et al.*, 1991b). Les volcanites encaissantes du gisement Norbec correspondent aux lignées de fractionnement établies pour la Série centrale des Mines.

Le gisement Norbec a subi une altération hydrothermale typique pour ce type de gisement, soit le développement d'une cheminée d'altération discordante dans laquelle s'est développé un assemblage séricite-chlorite avec plus ou moins de carbonate et de quartz. À la suite de la mise en place de l'intrusion du Lac Dufault, cet assemblage hydrothermal a subi un métamorphisme de contact au faciès de l'amphibolite inférieure, tel que trouvé aux mines Vauze (Lickus, 1965), Millenbach (Riverin et Hodgson, 1980) et Amulet (Hall, 1982) avoisinantes. Ce métamorphisme a induit le développement de cordiérite, de grenat, de biotite, et d'amphiboles, qui ont, par la suite, rétrogradé en des assemblages de pinite, d'andalousite, d'amphiboles et de quartz (de Rosen-Spence, 1969). La formation d'andalousite est rarement observée dans les cordiérites rétrogradées présentes dans d'autres gisements. Sa présence à Norbec témoigne donc d'un lessivage local du Fe et du Mg lors de la phase de métamorphisme rétrograde.

L'amas de Norbec est de taille comparable aux amas de Corbet, Millenbach et Waite-Amulet (4,3 Mt de minerai à 2,8 % Cu, 4,7 % Zn, 43,0 g/t Ag et 0,9 g/t Au). Le minerai du gisement de Norbec contient les mêmes métaux (Cu-Fe-Au-Ag) et une minéralogie semblable (pyrite-sphalérite-chalcopyrite-pyrrhotite) à celle de plusieurs autres gisements de la région de Noranda. Les sulfures massifs de l'amas de Norbec contiennent des teneurs en métaux usuels et précieux comparables aux autres gisements de la Série centrale des Mines. Les teneurs et les tonnages des anciens producteurs les plus importants et des mines actuelles de cuivre, de zinc, d'or et d'argent de la région de Noranda sont présentés au tableau 4, et illustrés à la figure 31a.

Il ne semble pas exister de rapport entre la taille et la teneur des amas minéralisés individuels du district de Rouyn-Noranda. Cependant, les sulfures massifs peuvent être partagés en deux groupes selon leur contenu moyen en cuivre et en or (figure 32a). D'une part, les amas dont

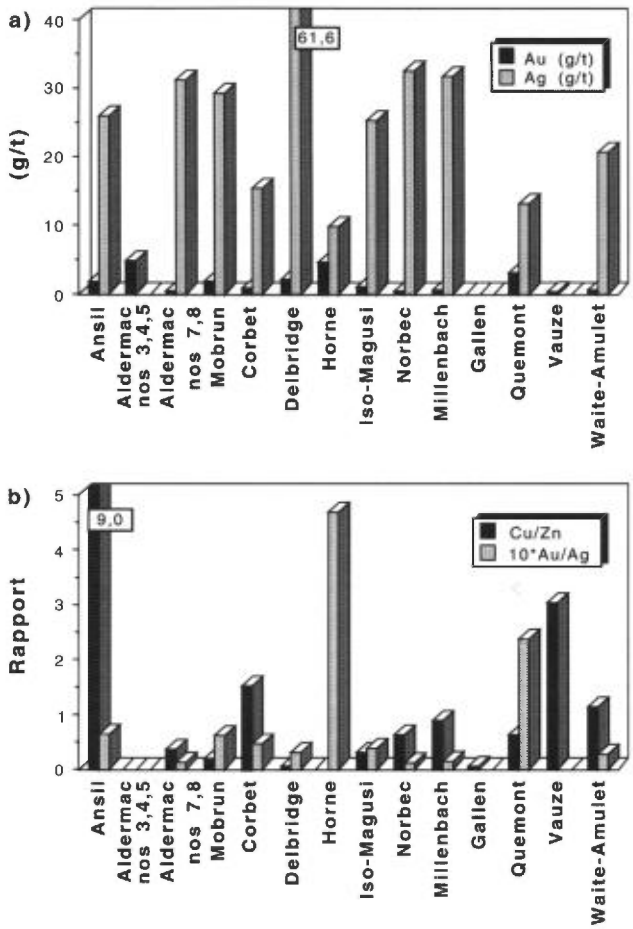


FIGURE 31 –

a) Graphique comparatif des teneurs moyennes en Au et en Ag des divers gisements de sulfures massifs dans le camp minier de Rouyn-Noranda.

b) Graphique comparatif des rapports Cu/Zn et Au/Ag des divers gisements de sulfures massifs dans le camp minier de Rouyn-Noranda.

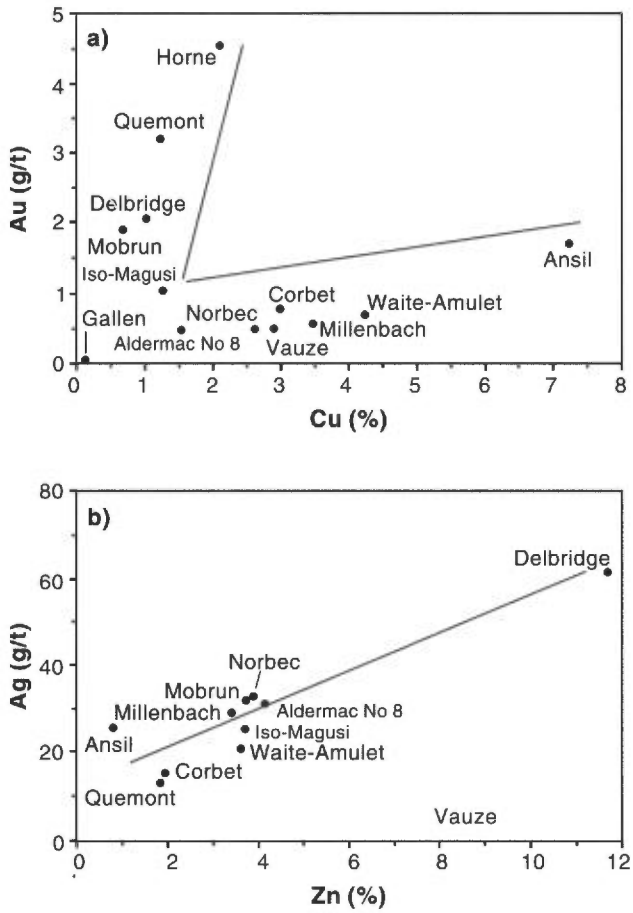


FIGURE 32 –

a) Diagrammes de l'Au en fonction du Cu et

b) de l'Ag en fonction du Zn pour les divers gisements de sulfures massifs dans le camp minier de Rouyn-Noranda. Notez la relation apparemment inverse entre l'Au et le Cu et la relation directe entre l'Ag et le Zn. À noter aussi que les gisements riches en Cu se trouvent tous dans un intervalle stratigraphique restreint (andésite de Flavrian à andésite d'Amulet inclusivement), dans la partie centrale du camp minier, tandis que les gisements riches en Au se trouvent près des marges nord et sud du Groupe de Blake River.

TABLEAU 4 – Tableau comparatif des tonnages et teneurs des gisements de sulfures massifs de Rouyn-Noranda.

Gisement	Tonnes (Mt)	Cu (%)	Zn (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)
Mobrun (Lentille Principale)	3,3	0,8	2,4	30,3	2,2
Mobrun (Lentille 1100)	25,0	0,7	5,4	39,4	1,5
Ansil	1,4	7,2	0,8	25,9	0,7
Aldermac					
Nos 3,4,5	1,9	1,7	—	—	—
Nos 7,8	1,2	1,6	4,0	34,0	0,3
Corbet	2,7	2,9	2,0	20,0	0,9
Delbridge	0,4	0,6	8,7	61,6	2,1
Horne	54,0	2,2	—	13,0	6,1
Horne No 5	24,0	0,1	1,2	—	1,4
Iso-Magusi	5,8	1,1	2,7	28,0	0,8
New Insco	1,0	2,5	—	15,0	0,9
Norbec	4,3	2,8	4,7	43,0	0,9
Millenbach	3,5	3,5	4,5	48,0	0,9
Mines Gallen	3,2	0,01	4,7	19,0	0,6
Quemont	15,0	1,22	1,9	19,0	4,9
Vauze	0,4	2,9	1,4	25,0	0,8
Waite Amulet	9,8	4,2	3,6	28,0	0,9

tiré de Chartrand et Cattalani (1990)

la valeur en cuivre est supérieure à 2,5 % contiennent moins que 2 g/t d'Au. D'autre part, les amas dont la valeur en cuivre est moindre que 2 % contiennent de 1 à 5 g/t d'Au (à l'exception de la Mine Gallen). Ces regroupements pourraient refléter la proportion de pyrite trouvée dans les sulfures massifs car celle-ci dilue les concentrations moyennes de cuivre tout en augmentant les valeurs d'or. Par exemple, le gisement Aldermac est riche en pyrite avec un contenu moyen en cuivre (Barrett *et al.*, 1991b; Cattalani *et al.*, 1990b); par ailleurs, à la mine Horne, les parties inférieures des amas H étaient riches en cuivre tandis que les parties supérieures étaient riches en pyrite et des zones riches en or étaient présentes dans les deux parties de l'amas (Cattalani *et al.*, 1990a). Or, la teneur moyenne résultante du cuivre est moyenne alors que celle de l'or est élevée. Cependant, le gisement d'Ansil contient de la pyrrhotite au lieu de la pyrite en tant que sulfure principal. La pyrrhotite dilue la teneur en cuivre sans toutefois en augmenter les valeurs d'or.

Il est intéressant de noter que tous les amas contenant plus de 2,5 % de cuivre correspondent plus ou moins au même intervalle stratigraphique (i.e. l'intervalle entre l'andésite de Flavrian et l'andésite d'Amulet inclusivement). Le contact inférieur de l'andésite correspond à la position stratigraphique d'une unité de tuf importante (Kalogeropoulos et Scott, 1989) ce qui pourrait indiquer un important déclin ou un changement de l'activité volcanique. Les amas dont le contenu en cuivre est moindre que 2 % se trouvent en dehors de la Série centrale des Mines, soit près de la bordure de la structure anticlinale régionale formant le Groupe de Blake River.

Références

BANCROFT, W.L. – ATKINSON, I., 1982 – Generalized geological section through the Norbec and East waite mines. Unpublished compilation report, Noranda Mines ltd.

BARAGAR, W.R.A., 1968 – Major-element geochemistry of the Noranda volcanic belt, Quebec-Ontario. Canadian Journal of Earth Sciences; 5, pages 773-790.

BARRET, T.J. – CATTALANI, S. – MacLEAN, W.H., 1991a – Massive sulfide deposits of the Noranda area, Quebec. I. The Horne Mine. Canadian Journal of Earth Sciences; 28, pages 465-488.

BARRETT, T.J. – CATTALANI, S. – CHARTRAND, F. – JONES, P., 1991b – Massive sulfide deposits of the Noranda area, Quebec. II. The Aldermac Mine. Canadian Journal of Earth Sciences; 28, pages 1301-1327.

BARRETT, T.J. – MacLEAN, W.H. – CATTALANI, S. – HOY, L. – RIVERIN, G., 1991 – Massive sulfide deposits of the Noranda area, Quebec. III. The Ansil Mine. Canadian Journal of Earth Sciences; Volume 28, pages 1699-1730.

BARRETT, T.J. – CATTALANI, S. – HOY, L. – RIOPEL, J. – HUBERT, C. – HOY, L., 1992 – Massive sulfide deposits of the Noranda area, Quebec. IV. The Mobrun Mine. Canadian Journal of Earth Sciences; Volume 29, pages 1349-1374.

BEATY, D.W. – TAYLOR, H.P., Jr. – COAD, P.R., 1988 – An oxygen isotope study of the Kidd Creek, Ontario, volcanogenic massive sulphide deposit: evidence for a high $^{18}0$ ore fluid. Economic Geology; 83, pages 1-17.

BONAVIA, F.F. – MacLEAN, W.H., 1986 – Geology and ore enrichment factors at the Radiore Mine, Quebec. Mineralium Deposita; 21, pages 137-146.

CATTALANI, S. – BARRETT, T.J. – MacLEAN, W.H. – HOY, L. – HUBERT, C. – FOX, J.S., 1990a – La métallogénie des sulfures massifs: Les mines Horne et Quemont, district de Noranda, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 90-07.

CATTALANI, S. – BARRETT, T.J. – CHARTRAND, F., 1990b – Géologie et géochimie du gisement d'Aldermac, Rouyn-Noranda, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 90-13.

CATTALANI, S. – BARRETT, T.J. – MacLEAN, W.H. – HOY, L., 1990c – Géologie et géochimie du gisement d'Ansil, Rouyn-Noranda, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 91-03.

CATTALANI, S. – MacLEAN, W.H. – BARRETT, T.J., 1991a – Géologie et géochimie du gisement Delbridge, Rouyn-Noranda, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 91-08.

CATTALANI, S. – BARRETT, T.J. – MacLEAN, W.H. – HOY, L.H., 1991b – Géologie et géochimie du gisement de Corbet, Rouyn-Noranda, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 92-07.

CHARTRAND, F. – CATTALANI, S., 1990 – Massive sulfide deposits in Northwestern Quebec. *In*: The Northwestern Quebec Polymetallic Belt (Rive, M. – Verpaelst, P. – Gagnon, Y. – Lulin, J.M. – Riverin, G. – Simard, A, éditeurs). Canadian Institute of Mining and Metallurgy; Special Volume 43, pages 77-91.

CLAYTON, R.N. – MAYEDA, T.K., 1963 – The use of bromine pentaflouride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis. Geochimica et Cosmochimica Acta; 27, pages 43-52.

CORLISS, J.B. – DYMOND, J. – GORDON, L.I. – EDMOND, J.M. – von HERZEN, R.P. – BALLARD, R.D. – GREEN, K. – WILLIAMS, D. – BAINBRIDGE, A. – CRANE, K. – van ANDEL, T.H., 1979 – Submarine thermal springs on the Galapagos rift. Science; 203, pages 1073-1083.

CYAMEX SCIENTIFIC TEAM (FRANCHETEAU, J. – NEEDHAM, H.D. – CHOUKROUNE, P. –JUTEAU, T. – SEGURET, M. – BALLARD, R.D. – FOX, P.J. – NORMARK, W.R. – CARRANZA, A. – CORDOBA, D. – GUERRERO, J. – RANGIN, C.), 1979 – Massive deep-sea sulfide ore deposits discovered on the East Pacific Rise. Nature; 277, pages 523-528.

de ROSEN-SPENCE, A.F., 1969 – Genèse des roches à cordiérite-anthophyllite des gisements cupro-zincifères de la région de Rouyn-Noranda, Québec, Canada. Canadian Journal of Earth Sciences; Volume 6, pages 1339-1345.

EDMOND, J.M. – MEASURES, C. – MAGNUM, B. – GRANT, B. – SCLATER, F.R. – COLLIER, R. – HUDSON, A. – GORDON, L.I. – CORLISS, J.B., 1979 – On the formation of metal-rich deposits at ridge crests. Earth and Planetary Science Letters; 46, pages 19-30.

EVENSON, N.M. – HAMILTON, P.J. – O'NIONS, R.K., 1978 – Rare-earth abundance in chondritic meteorites. Geochimica et Cosmochimica Acta; 42, pages 1199-1212.

FRANKLIN, J.M. – SANGSTER, D.M. – LYDON, J.W., 1981 – Volcanic associated massive sulfide deposits.

Economic Geology; 75th Anniversary Volume, pages 485-627.

GÉLINAS, L. – LUDDEN, J.N., 1984 – Rhyolitic volcanism and the geochemical evolution of an Archean central ring complex: the Blake River Group volcanics of the southern Abitibi belt, Superior province. Physics of the Earth and Planetary Interiors; 35, pages 77-88.

GILMOUR, P.C., 1965 – The origin of the massive sulphide mineralization in the Noranda district, northwestern Quebec. Geological Association of Canada Proceedings; 16, pages 63-81.

HALL, B.V., 1982 – Geology of the alteration pipe at the Amulet Upper A deposit, Noranda, Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences; 19, pages 2060-2084.

HAWLEY, J.E., 1959 – *In*: Contributed discussion to symposium on the genesis of massive sulfide deposits. Canadian Institute of Mining and Metallurgy: Transactions; 62, page 354.

HAYASHI, S., 1961 – Mineralogical study on alteration products from altered aureoles of some Kuroko deposits. Journal of the Mineralogical Society of Japan; 5, pages 101-125. (en japonais).

_____ 1962 – On the genetic relation between the Baramori volcanic rocks and ore deposits of the Kosaka mine, Akita Prefecture, Japan. Mining Geology; 12, pages 84-92. (en japonais).

JOHNSON, A.E., 1966 – Mineralogy and textural relationships in the Lake Dufault ores, Northwestern Quebec. University of Western Ontario; unpublished M.Sc. Thesis.

KALOGEROPOULOS, S.I. – SCOTT, S.D., 1989 – Mineralogy and geochemistry of an Archean tuffaceous exhalite: the main contact tuff, Millenbach Mine area, Noranda, Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences; 26, pages 88-105.

KNUCKEY, M.J. – WATKINS, J.J., 1982 – The geology of the Corbet massive sulphide deposit, Noranda district, Quebec, Canada. *In*: Precambrian Sulphide Deposits (Hutchinson, R.W. – Spence, C.D. – Franklin, J.M., editors).

KROUGH, T.E. – DAVIS, G.L., 1971 – Zircon, U-Pb ages of Archean metavolcanic rocks in the Canadian Shield. Carnegie Institution of Washington, Geophysical Laboratory; Year Book 70, pages 241-270.

LAMBERT, I.B. – SATO, T., 1974 – The Kuroko and associated ore deposits of Japan: A review of their features and metallogenesis. Economic Geology; 69, pages 1215-1239.

LESHER, C.M. – GOODWIN, A.M. – CAMPBELL, I.H. – GORTON, M.P., 1976 – Trace-element geochemistry of ore-associated and barren, felsic metavolcanic rocks in the Superior Province, Canada. Canadian Journal of Earth Sciences; 23, pages 222-237.

LICKUS, R.J., 1965 – Geology and geochemistry of the ore deposits at the Vauze mine, Noranda district, Quebec. McGill University; Ph. D. Thesis, 135 pages.

MACHAIRAS, G. – BLAIS, R.A., 1966 – La transformation de l'hédenbergite manganésifère en ilvaïte dans les sulfures de cuivre et de zinc de la région de Noranda. Société Française Minéralogique; Bulletin LXXIX, pages 372-376.

MacLEAN, W.H., 1988 – Rare earth element mobility at constant inter-REE ratios in the alteration zone at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. Mineralium Deposita, 23, pages 231-238.

_____ 1990 – Mass change calculations in altered rock series. Mineralium Deposita; 25, pages 44-49.

MacLEAN, W.H. – HOY, L.H., 1991 – Geochemistry of hydrothermally altered rocks at the Horne mine, Noranda, Quebec. Economic Geology; 86, pages 506-528.

MacLEAN, W.H. – KRANIDIOTIS, P., 1987 – Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. Economic Geology, 82, pages 951-962.

MOORHOUSE, W.W., 1965 – Stratigraphic position of sulfides in the Archean. Canadian Institute of Mining and Metallurgy; Transactions. LXVIII, pages 261-264.

OFTEDAHL, C., 1958 – On exhalative-sedimentary ores. Geol. Foren. Stockholm Forh.; 80, pages 1-19.

PECCERILLO, A. – TAYLOR, S.R., 1976 – Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology; 68, pages 61-81.

PURDIE, J.J., 1967 – Lake Dufault Mines, Limited. *In*: Centennial Field Excursion, Northwestern Quebec - Northern Ontario. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, pages 53-57.

RIOPEL, J. – HUBERT, C. – CATTALANI, S. – BARRETT, T.J., 1991a – Géologie, structure et géochimie du gisement de sulfures massifs de Mobrun, Noranda, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MB 91-05, 153 pages.

RIOPEL, J. – HUBERT, C. – CATTALANI, S. – BARRETT, T.J., – HOY, L., 1991b – Gîtologie, structure et géochimie du gisement de sulfures massifs de Mobrun, Noranda, Québec. Ministère des Ressources naturelles, Québec. ET (en préparation).

RISE PROJECT GROUP (SPIESS, F.N. – MacDONALD, K.C. – ATWATER, T. – BALLARD, R. – CARRANZA, A. – CORDOBA, D. – COX, C. – DIAZ GARCIA, V.M. – FRANCHETEAU, J. – GUERRERO, J. – HAWKINS, J. – HAYMAN, R. –

HESSLER, R. – JUTEAU, T. – KASTNER, M. – LARSON, R. – LUYENDYK, B. – MacDOUGALL, J.D. – MILLER, S. – NORMARK, W. – ORCUTT, J. – RANGIN, C.), 1980 – East Pacific Rise: Hot springs and geophysical experiments. Science, 207, pages 1421-1444.

RIVERIN, G. – HODGSON, C.J., 1980 – Wall rock alteration at the Millenbach Cu-Zn mine, Noranda, Quebec. Economic Geology; 75, pages 424-444.

ROSCOE, S.M., 1965 – Geochemical and isotopic studies, Noranda and Matagami areas; Bulletin of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy; 58, Number 641, pages 965-971.

SAKRISON, H.C., 1967 – Geochemical studies of the host rocks of the Lake Dufault mine, Quebec. McGill University; unpublished Ph. D. Thesis, 147 pages.

SANGSTER, D.F., 1972 – Precambrian volcanogenic massive sulphide deposits in Canada: a review. Commission Géologique du Canada; 72-22, 44 pages.

SANGSTER, D.F. – SCOTT, S.D., 1976 – Precambrian stratabound massive Cu-Zn-Pb sulphide ores of North America. *In*: Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits (Wolf, K.H., editor). Amsterdam, Elsevier; 6, pages 129- 222.

SATO, T., 1968 – Ore deposit and mechanism of its formation of Uchinotai Western ore body, Kosaka mine, Akita Prefecture, Japan. Mining Geology; 18, pages 241-256, (en japonais).

SHARPE, J.I., 1965 – Field relations of Matagami sulfide masses bearing on their disposition in time and space. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Transactions; LXVIII, pages 265-278.

SHRIVER, N. A., 1992 – A geochemical evaluation of the alteration zone at the Norbec mine, Noranda, Quebec; bulk chemical composition, mass and volume changes, flux of elements. McGill University; M.Sc. Thesis, 83 pages.

SOLOMON, M., 1976 – Volcanic massive sulphide deposits and their host rocks - a review and an explanation. *In*: Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits: II, Regional studies and specific deposits (Wolf, K.H., editor). Amsterdam, Elsevier, pages 21-50.

SPENCE, C.D. – de ROSEN-SPENCE, A.F., 1975 – The place of sulphide mineralization in the volcanic sequence at Noranda, Quebec. Economic Geology; 70, pages 90-101.

TATSUMI, T., editor, 1970 – Volcanism and Ore Genesis. Tokyo, University Tokyo Press, 488 pages.

TAYLOR, H.P. Jr., 1968 – The oxygen isotope geochemistry of igneous rocks. Contributions to mineralogy and Petrology; Volume 19, pages 1-71.

TURNER, F.J. – VERHOOGEN, J., 1960 – Igneous and Metamorphic Petrology, 2nd edition. Mc-Graw-Hill Book Company, New York, 694 pages.

VALLEY, J.W., 1986 – Stable isotope geochemistry of metamorphic rocks. *In*: Stable Isotopes In High Temperature Geological Processes (Valley, J.W. – Taylor, H.P.Jr – O'Neill, J.R., editors). Mineralogical Society of America; Reviews in Mineralogy, 16, pages 445-489.

WATANABE, T., 1957 – Genesis of bedded manganese deposits and cupriferous pyrite deposits in Japan. Mining Geology; 7, pages 1-11, (en japonais).

Annexes

Résultats des analyses chimiques

ANNEXE 1 – Résultats d'analyse pour les éléments majeurs et en traces des volcanites à la mine Norbec (début).
(Normalisées à PAF = 0)

Forage	Prof. (pieds)	SiO_2 %	TiO_2 %	Al_2O_3 %	FeO %	MnO %	MgO %	CaO %	Na_2O %	K_2O %	P_2O_5 %	Ga ppm	Nb ppm	Zr ppm	Y ppm	Sr ppm	Rb ppm	Ba ppm
N–124	62	54,55	1,48	16,13	10,08	0,13	5,31	8,33	3,01	0,68	0,30	18,5	7,2	154,1	26,7	328,7	16,4	—
	306	56,04	1,32	17,02	9,17	0,15	4,68	7,37	3,69	0,40	0,16	17,3	4,1	112,1	24,5	163,0	12,2	—
	888	51,48	1,33	17,47	10,05	0,13	8,67	8,13	2,27	0,29	0,17	20,7	6,2	100,3	17,6	165,4	9,3	—
	1233	78,43	0,23	10,29	3,38	0,19	0,98	3,74	1,48	1,27	0,02	14,4	11,3	267,6	49,4	48,4	38,1	—
	1236	58,74	0,25	8,34	23,09	0,58	1,96	6,17	0,44	0,37	0,05	—	15,9	207,1	43,5	64,8	6,4	69
	1249	58,56	0,25	10,57	19,10	0,70	2,08	8,10	0,27	0,34	0,03	—	13,4	259,0	48,5	74,3	3,1	5
	1284	61,02	0,22	9,83	13,66	0,88	4,31	8,83	0,99	0,24	0,02	16,4	11,3	256,4	56,4	82,0	5,1	—
	1429	75,79	0,24	10,57	10,45	0,05	1,25	0,18	0,17	1,30	0,01	23,8	12,4	269,6	40,4	7,3	25,9	—
N–127	644	57,96	1,34	15,87	8,43	0,16	4,35	8,21	2,91	0,60	0,15	16,4	5,1	112,6	24,6	143,4	17,4	—
	785	56,96	0,94	16,84	7,57	0,14	4,02	8,83	4,19	0,36	0,14	18,4	5,1	122,5	21,4	214,4	10,2	—
	964	52,84	1,32	19,05	7,58	0,20	3,75	10,01	4,32	0,74	0,18	15,4	7,2	102,4	20,5	194,6	20,5	—
	1015	50,43	1,35	19,63	8,68	0,25	4,25	10,95	3,68	0,62	0,16	16,5	7,2	103,3	19,6	155,0	16,5	—
	1067	49,73	1,32	19,50	9,57	0,28	3,29	13,55	2,34	0,22	0,19	18,8	6,3	103,2	18,8	229,4	7,3	—
	1115	51,32	1,34	17,67	9,66	0,29	4,45	9,49	4,18	1,41	0,20	23,6	7,9	99,0	22,5	112,5	43,9	—
	1280	72,43	0,32	12,33	10,16	0,07	1,55	0,16	0,27	2,67	0,03	—	13,6	347,9	58,7	19,9	54,5	238
	1300	82,97	0,22	8,95	4,01	0,45	0,96	0,02	0,25	2,16	0,02	—	10,3	237,3	33,9	15,4	42,1	77
	1320	63,59	0,14	6,52	25,75	0,11	3,00	0,56	0,26	0,05	0,02	—	3,5	157,0	34,0	21,1	3,5	6
	1334	62,06	0,07	4,01	31,61	0,07	1,95	0,16	0,01	0,04	0,02	—	3,5	71,5	22,3	18,8	3,5	6
	1371	81,66	0,13	5,15	11,25	0,07	1,14	0,20	0,02	0,38	0,01	—	7,6	125,7	21,7	18,4	11,9	5
	1387	75,24	0,16	6,99	15,38	0,04	1,48	0,02	0,01	0,42	0,24	—	9,9	172,6	31,9	17,6	12,1	5
	1422	78,37	0,22	9,70	9,11	0,04	1,30	0,06	0,14	1,05	0,01	17,9	12,6	263,0	51,5	7,4	23,1	—
	1460	76,93	0,22	8,74	11,55	0,08	1,81	0,06	0,05	0,54	0,01	—	16,1	228,8	40,3	17,1	9,1	128
	1485	79,17	0,22	9,13	9,70	0,07	1,40	0,10	0,12	0,06	0,02	—	17,6	239,4	45,6	18,7	12,4	221
	1512	71,18	0,23	10,30	15,04	0,10	2,70	0,07	0,01	0,36	0,01	23,3	12,7	275,0	46,5	0,0	8,5	—
	1560	57,98	1,61	15,42	11,12	0,15	4,32	6,12	2,86	0,13	0,28	—	9,1	91,4	24,4	174,7	3,0	12
N–129	306	55,47	1,47	16,16	9,35	0,14	5,43	8,38	2,74	0,55	0,31	21,6	6,2	154,4	28,8	360,2	13,4	—
	936	56,56	1,01	16,04	8,07	0,17	4,90	7,93	4,95	0,21	0,16	14,4	7,2	123,4	24,7	133,7	8,2	—
	992	44,44	1,66	22,96	9,40	0,24	6,31	11,64	2,04	1,08	0,22	25,4	8,5	127,0	23,3	232,8	39,2	—
	1067	49,95	1,39	15,92	11,89	0,22	7,66	10,04	2,36	0,44	0,12	14,6	4,2	62,4	18,7	135,3	13,5	—
	1114	50,72	1,25	18,90	9,64	0,20	3,32	11,87	3,44	0,50	0,16	21,0	6,3	98,7	16,8	189,0	14,7	—
	1173	50,79	1,42	15,99	10,50	0,30	5,48	10,92	3,10	1,31	0,18	31,3	5,4	87,5	19,5	118,9	33,5	—
	1222	52,13	1,24	17,07	9,07	0,39	4,79	10,94	3,99	0,28	0,10	16,4	5,1	85,9	17,4	143,1	10,2	—
	1307	68,10	0,32	13,74	8,78	0,48	1,98	3,45	1,59	1,53	0,03	20,7	14,5	351,3	72,3	72,3	42,4	—
	1329	46,61	1,33	17,43	12,30	0,72	9,31	10,18	0,22	1,74	0,15	—	7,3	57,7	11,5	129,0	67,1	233
	1377	68,72	0,26	11,04	9,51	0,58	1,51	7,82	0,46	0,07	0,04	—	18,9	296,6	95,4	197,0	3,1	67

ANNEXE 1 – Résultats d'analyse pour les éléments majeurs et en traces des volcanites à la mine Norbec (suite et fin).
(Normalisées à PAF = 0)

Forage	Prof.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Ga	Nb	Zr	Y	Sr	Rb	Ba
	(pieds)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
N–129	1357	66,62	0,32	13,69	7,41	0,65	1,81	5,59	2,20	1,69	0,02	19,4	13,3	347,4	77,7	112,4	53,1	—
	1414	63,01	0,22	9,58	15,45	0,93	1,16	8,94	0,35	0,34	0,02	19,5	10,3	246,7	53,5	70,9	5,1	—
	1441	64,51	0,26	10,50	18,46	1,60	2,33	1,49	0,34	0,48	0,03	16,9	14,8	275,0	45,5	13,7	20,1	—
	1468	57,75	0,29	13,98	24,77	0,23	2,06	0,18	0,23	0,50	0,01	23,8	10,8	325,1	60,7	8,7	14,1	—
	1583	70,02	0,35	14,67	7,41	0,11	1,84	2,21	0,30	3,04	0,05	16,5	15,5	371,8	72,3	20,7	99,1	—
	1612	80,79	0,23	8,77	5,56	0,06	0,87	1,57	0,43	1,71	0,02	—	12,4	242,1	37,1	35,0	60,8	131
	1632	78,42	0,24	9,94	4,84	0,06	1,24	1,16	2,21	1,88	0,01	14,4	12,3	276,8	46,1	52,3	41,0	—
N–181	28	55,18	1,32	16,94	10,32	0,17	4,90	6,70	3,88	0,43	0,17	19,3	5,1	121,7	29,4	162,3	13,2	—
	250	55,89	1,45	15,67	10,02	0,15	4,78	6,33	4,61	0,77	0,30	18,6	8,2	154,7	29,9	257,8	17,5	—
	496	57,37	1,35	16,01	9,61	0,15	5,82	5,72	3,43	0,40	0,14	14,4	5,1	112,9	23,6	143,7	14,4	—
	800	51,02	1,33	18,34	9,22	0,20	4,45	11,78	2,82	0,68	0,15	18,4	6,1	102,5	17,4	194,7	18,4	—
	1010	55,37	1,65	16,30	8,10	0,21	4,90	7,87	5,01	0,29	0,30	15,2	6,1	111,3	23,3	222,7	6,1	—
	1024	59,56	1,39	16,20	10,14	0,10	5,90	3,14	1,19	2,17	0,20	19,3	8,6	128,8	27,9	37,6	63,3	—
	1042	84,11	0,21	9,03	0,79	0,02	0,18	0,87	4,23	0,54	0,02	11,1	12,1	242,1	40,3	44,4	17,1	—
	1065	74,35	0,33	13,06	5,38	0,13	0,52	2,42	2,05	1,72	0,04	—	14,3	356,0	58,3	84,9	48,1	298
	1319	74,45	0,32	12,73	4,67	0,05	0,89	0,89	5,26	0,71	0,04	17,3	16,3	376,8	69,3	45,8	19,4	—
	1367	57,25	1,56	15,53	9,78	0,13	5,71	5,38	3,73	0,64	0,27	21,7	6,2	101,5	23,8	196,7	16,6	—
	1685	56,81	1,66	15,73	10,06	0,13	3,94	7,28	3,52	0,57	0,30	19,7	6,2	113,8	25,9	217,3	17,6	—
	1898	60,29	0,87	15,97	14,75	0,74	4,96	0,55	0,20	1,49	0,19	20,0	7,4	136,6	24,2	6,3	23,1	—
	1940	60,19	0,82	15,83	16,59	0,22	4,58	0,40	0,04	1,15	0,17	—	10,6	122,6	20,1	23,3	24,3	408
	2002	52,10	0,86	20,15	8,23	0,12	5,81	9,61	2,53	0,49	0,10	18,3	4,1	61,0	8,1	264,5	15,3	—
	2033	61,43	0,84	16,33	8,53	0,50	8,08	0,64	0,83	2,64	0,19	17,8	8,4	136,0	23,0	18,8	55,5	—
	2111	60,48	0,86	16,50	6,99	0,13	4,50	5,72	4,44	0,18	0,18	21,5	7,2	153,8	26,7	246,0	7,2	—
N–224	43	64,70	1,26	14,29	6,08	0,18	3,22	5,60	4,12	0,39	0,15	13,3	6,1	102,1	23,5	112,3	14,3	—
	249	51,02	0,96	15,34	10,89	0,19	7,72	11,48	1,81	0,51	0,08	17,7	5,2	72,0	21,9	135,6	15,7	—
	531	49,80	1,34	19,50	9,10	0,20	5,87	9,77	3,14	1,10	0,18	19,7	8,3	103,7	21,8	197,1	33,2	—
	779	82,59	0,21	9,17	1,84	0,04	0,50	2,19	1,17	2,29	0,01	10,4	11,4	238,1	41,4	17,6	67,3	—
	951	78,35	0,21	11,41	2,44	0,05	0,24	0,77	4,74	1,77	0,02	16,2	13,1	313,0	60,6	73,7	38,4	—
	992	60,30	1,29	14,95	8,42	0,25	4,08	5,47	4,64	0,44	0,17	15,4	7,2	122,8	28,7	122,8	13,3	—
	1180	73,89	0,30	12,86	4,47	0,06	0,71	5,20	2,13	0,33	0,05	—	12,4	274,9	49,8	174,3	6,2	32

ANNEXE 2 – Résultats d'analyse pour les éléments des terres rares des volcanites à la mine Norbec.

Forage	Profondeur (pieds)	La ppm	Ce ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Tb ppm	Ho ppm	Yb ppm	Lu ppm	
Résultats bruts											
N–127	644	8,1	20	14	3,2	1,2	0,5	0,7	2,2	0,36	
	1067	7,7	20	14	3,1	1,0	0,5	0,6	1,5	0,25	
	1422	21,0	51	29	7,0	0,7	1,3	1,8	4,7	0,77	
N–129	992	9,9	26	17	3,9	1,5	0,7	0,7	1,9	0,30	
	1307	29,0	73	42	10,0	2,4	1,8	2,7	7,4	1,20	
	1357	30,0	73	42	10,0	2,6	1,8	2,5	7,1	1,20	
	1414	18,0	42	25	6,6	1,7	1,3	1,8	5,0	0,60	
	1441	18,0	44	25	6,5	1,9	1,2	1,6	4,6	0,77	
	1468	20,0	53	32	7,4	1,5	1,6	2,1	6,0	0,98	
	1583	31,0	77	45	11,0	2,4	1,9	2,5	7,1	1,20	
	1632	18,0	45	27	6,8	2,5	1,2	1,8	4,6	0,73	
N–224	249	4,4	11	9	2,4	0,9	0,6	0,7	2,0	0,34	
	779	16,0	37	21	5,1	1,1	1,0	1,3	4,1	0,71	
	992	9,7	25	14	3,6	1,2	0,7	0,8	2,6	0,43	
		La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Ho	Yb	Lu	
	chondrite*	0,245	0,638	0,474	0,154	0,058	0,038	0,057	0,165	0,025	
											(La/Yb)N
Valeurs normalisées											
N–127	644	33,1	31,3	29,5	20,8	20,7	13,3	12,3	13,3	14,2	2,48
	1067	31,4	31,3	29,5	20,1	17,2	13,3	10,6	9,1	9,8	3,46
	1422	85,7	79,9	61,2	45,5	12,1	34,7	31,7	28,5	30,3	3,01
N–129	992	40,4	40,8	35,9	25,3	25,9	18,7	12,3	11,5	11,8	3,51
	1307	118,4	114,4	88,6	64,9	41,4	48,0	47,6	44,8	47,2	2,64
	1357	122,4	114,4	88,6	64,9	44,8	48,0	44,1	43,0	47,2	2,85
	1414	73,5	65,8	52,7	42,9	29,3	34,7	31,7	30,3	23,6	2,42
	1441	73,5	69,0	52,7	42,2	32,8	32,0	28,2	27,9	30,3	2,64
	1468	81,6	83,1	67,5	48,1	25,9	42,7	37,0	36,4	38,6	2,24
	1583	126,5	120,7	94,9	71,4	41,4	50,7	44,1	43,0	47,2	2,94
	1632	73,5	70,5	57,0	44,2	43,1	32,0	31,7	27,9	28,7	2,64
N–224	249	18,0	17,2	19,0	15,6	15,5	16,0	12,3	12,1	13,4	1,48
	779	65,3	58,0	44,3	33,1	19,0	26,7	22,9	24,8	28,0	2,63
	992	39,6	39,2	29,5	23,4	20,7	18,7	14,1	15,8	16,9	2,51
										moyenne	**2,67**

Note: Valeurs de la chondrite tirées de Evensen *et al.*

ANNEXE 3 – Changements de masse des échantillons altérés de la rhyolite de Waite, à la mine Norbec.

Forage	Profondeur (pieds)	SiO_2 %	TiO_2 %	Al_2O_3 %	FeO %	MnO %	MgO %	CaO %	Na_2O %	K_2O %	P_2O_5 %	Ga ppm	Nb ppm	Y ppm	Sr ppm	Rb ppm
N–124	1233	34,0	– 0,02	0,5	– 2,0	– 0,1	0,0	1,9	– 0,8	0,3	0,0	0,2	0,5	– 3,3	– 14,2	10,2
	1236	30,6	0,12	1,1	33,3	0,7	2,1	7,6	– 2,0	– 0,8	0,1	—	12,9	5,9	33,1	– 29,7
	1249	10,0	0,02	1,3	19,8	0,6	1,6	8,1	– 2,4	– 0,9	0,0	—	3,9	– 2,4	23,8	– 36,4
	1284	14,3	– 0,02	0,4	12,5	0,9	4,7	9,2	– 1,4	– 1,1	0,0	3,8	1,1	9,3	35,6	– 33,5
	1429	29,7	0,00	0,7	7,3	– 0,3	0,4	– 2,9	– 2,5	0,3	0,0	12,6	1,9	– 15,7	– 69,3	– 6,3
N–127	1280	3,6	0,01	– 0,6	3,9	– 0,3	0,3	– 2,9	– 2,5	1,3	0,0	—	– 0,6	– 9,0	– 58,4	15,4
	1300	54,2	0,01	0,2	– 0,5	0,4	0,1	– 3,1	– 2,4	1,8	0,0	—	0,9	– 18,3	– 55,7	22,8
	1320	74,1	0,00	1,5	52,1	– 0,1	5,5	– 1,8	– 2,2	– 1,3	0,0	—	– 6,6	8,1	– 30,8	– 32,7
	1334	239,8	0,03	6,8	151,7	0,0	8,4	– 2,3	– 2,7	– 1,2	0,1	—	3,0	42,1	15,0	– 23,1
	1371	161,7	0,05	1,3	25,5	– 0,1	1,9	– 2,5	– 2,7	– 0,3	0,0	—	7,0	– 7,7	– 26,4	– 6,8
	1387	85,2	0,02	1,2	25,3	– 0,2	1,8	– 3,0	– 2,7	– 0,5	0,5	—	5,9	– 3,3	– 42,4	– 15,6
	1422	35,8	– 0,02	– 0,1	5,8	– 0,3	0,5	– 3,0	– 2,6	0,0	0,0	5,2	2,6	0,7	– 68,9	– 9,2
	1460	49,5	0,03	0,4	11,5	– 0,2	1,5	– 3,0	– 2,7	– 0,6	0,0	—	10,6	– 6,3	– 52,1	– 26,5
	1485	47,5	0,01	0,3	7,9	– 0,2	0,8	– 2,9	– 2,6	– 1,3	0,0	—	11,7	– 1,2	– 51,0	– 22,1
	1512	21,8	– 0,02	0,1	13,0	– 0,2	2,2	– 3,0	– 2,8	– 0,9	0,0	11,2	1,9	– 8,8	– 78,9	– 29,7
N–129	1307	– 1,5	0,01	0,7	2,4	0,2	0,7	0,4	– 1,1	0,1	0,0	2,0	0,1	4,3	– 5,2	2,5
	1357	– 2,2	0,01	0,8	1,1	0,3	0,6	2,7	– 0,5	0,3	0,0	0,9	– 0,9	10,6	36,9	14,0
	1377	12,0	0,00	0,0	4,9	0,4	0,5	6,3	– 2,2	– 1,3	0,0	—	8,2	45,7	159,0	– 36,9
	1414	20,5	– 0,01	0,6	15,9	1,0	0,4	9,9	– 2,3	– 0,9	0,0	9,2	0,3	8,1	24,0	– 33,2
	1441	13,1	0,02	0,4	17,5	1,7	1,7	– 1,1	– 2,3	– 0,8	0,0	2,9	4,7	– 10,2	– 61,0	– 14,5
	1468	– 7,3	0,00	2,1	20,7	– 0,1	1,0	– 2,9	– 2,5	– 0,9	0,0	7,1	– 2,7	– 2,6	– 69,4	– 25,2
	1583	– 3,5	0,02	0,8	0,6	– 0,2	0,5	– 1,0	– 2,5	1,5	0,0	– 3,2	0,3	0,2	– 59,0	54,7
	1612	48,6	0,02	– 0,3	1,7	– 0,2	0,0	– 0,8	– 2,1	1,1	0,0	—	3,7	– 14,6	– 27,1	49,2
	1632	30,5	– 0,02	– 0,5	– 0,3	– 0,3	0,3	– 1,6	0,1	1,0	0,0	– 0,5	1,3	– 9,8	– 11,3	12,3
N–181	1042	53,5	– 0,01	0,0	– 5,4	– 0,3	– 1,0	– 1,8	3,5	– 0,6	0,0	– 2,7	3,3	– 9,8	– 13,3	– 15,3
	1065	3,9	0,01	– 0,2	– 1,2	– 0,2	– 0,8	– 0,7	– 0,7	0,3	0,0	—	– 0,2	– 10,8	6,5	7,6
	1319	– 0,2	– 0,02	– 1,2	– 2,1	– 0,3	– 0,5	– 2,2	2,2	– 0,7	0,0	– 2,7	0,9	– 3,6	– 35,4	– 22,3
N–224	779	53,3	– 0,01	0,5	– 3,8	– 0,3	– 0,6	0,2	– 1,0	2,0	0,0	– 3,5	2,5	– 7,2	– 52,4	60,4
	951	18,7	– 0,08	– 0,3	– 3,8	– 0,3	– 1,0	– 2,2	2,6	0,6	0,0	– 0,6	0,4	– 0,1	5,4	3,2
	1180	25,3	0,07	3,4	– 0,7	– 0,2	– 0,4	3,7	0,0	– 1,0	0,0	—	1,6	– 4,6	148,0	– 32,6

ANNEXE 4 – Résultats d'analyse des volcanites pour les isotopes d'oxygène, mine Norbec.

Échantillon	mesuré		calculé	Lithologie	Proportions normatives des minéraux					
					Albite	Séricite	Chlorite	Calcite	Pyrite	Quartz
Proximal (en pieds)	%		%		(+9,5)	(+5,0)	(+0,5)	(+7,0)	—	(+9,5)
N–124-1233	9,9	10,0	6,72	Rhyolite, dalmatianite	4,29	3,32	25,33	6,57	11,43	48,75
1429	6,7		7,09	Rhyolite, dalmatianite	1,59	11,43	23,36	0,13	0,00	63,08
N–127-1067	7,2			Andésite épidotisée						
1115	8,3	8,4		Andésite épidotisée						
1277	8,0		7,34	Rhyolite, dalmatianite	2,56	23,33	12,39	0,13	5,04	56,25
1300	9,0		8,16	Rhyolite silicifiée	2,37	18,96	5,88	0,00	2,07	70,51
1317	7,0		7,14	Rhyolite chloritisée	2,56	0,38	23,70	0,58	15,77	56,86
1369	7,5		8,09	Rhyolite, dalmatianite	0,20	3,38	15,33	0,19	4,28	76,49
1387	6,6		7,47	Rhyolite sulfurée	0,00	3,75	22,31	0,00	5,16	68,61
1422	5,1		7,37	Rhyolite altérée	1,34	9,26	21,01	0,00	0,00	66,64
1512	5,7		6,46	Rhyolite	0,00	3,19	35,63	0,06	0,51	60,41
N–129-1222	7,4			Andésite peu altérée						
1307	8,8		6,61	Rhyolite chloritisée	14,83	13,14	22,84	3,43	0,00	45,12
1357	8,7		6,80	Rhyolite altérée	20,31	14,36	17,24	5,68	1,24	40,89
1414	8,1		6,50	Rhyolite altérée	3,37	3,01	30,87	9,50	1,43	51,62
1441	7,6		6,35	Rhyolite altérée	3,27	4,24	32,93	1,55	5,38	52,36
1468	6,3		5,20	Rhyolite altérée	2,21	4,47	47,24	0,18	2,76	42,89
1583	7,7		6,89	Rhyolite, dalmatianite	2,81	26,21	16,37	2,22	1,35	50,67
1632	8,2	8,4	8,14	Rhyolite, dalmatianite	20,60	16,08	0,79	1,18	3,88	53,85
Distal (en pieds)					**(+9,5)**	**(+7,0)**	**(+2,0)**	**(+9,5)**	—	**(+12,0)**
N–181-1010	6,8			Andésite fraîche						
1024	9,4			Andésite séricitisée						
1042	10,4		10,54	Rhyolite silicifiée	38,76	4,60	1,14	0,85	0,38	54,07
1319	9,8		9,67	Rhyolite peu altérée	47,59	5,95	6,50	0,83	2,00	36,83
1898	3,6			Andésite, dalmatianite						
N–224-779	10,5		10,47	Rhyolite silicifiée	10,96	19,27	0	2,27	1,48	64,04
951	9,3	9,4	9,37	Rhyolite silicifiée	43,03	9,33	0	0,74	1,91	43,13

N.B. Les chiffres en caractères gras, entre parenthèses représentent la valeur estimée isotopique de l'oxygène pour les divers minéraux.

ANNEXE 5 – Composition chimique des échantillons minéralisés, mine Norbec.

Forage	Profondeur pieds	Cu %	Zn %	Pb %	Au ppm	Ag ppm	As ppm	Sb ppm	Co ppm	Ni ppm	Se ppm	Tm ppm	U ppm	W ppm
N–124	1082	2,83	4,48	0,19	28,00	277	250	16,0	63	8	110	12	0,8	12
	1102	0,30	0,70	0,12	0,13	16	18	9,2	21	30	50	16	0,4	7
	1123	0,08	15,80	0,38	0,28	27	310	33,0	38	10	20	31	0,3	—
	1143	11,40	2,25	0,09	2,60	152	310	11,0	339	5	70	9	0,2	5
	1163	1,69	22,00	0,03	0,19	86	280	13,0	148	—	—	14	—	14
	1172	11,50	3,13	0,10	3,80	239	550	33,0	456	2	240	10	2,7	7
	1183	9,10	5,48	0,14	1,70	170	110	46,0	580	—	260	22	2,4	4
	1203	14,90	7,16	0,16	6,80	192	500	35,0	134	—	100	16	1,3	24
	1227	0,48	25,80	0,03	0,56	35	230	23,0	243	6	20	20	0,5	1
N–127	1123	20,30	2,51	0,02	0,84	127	190	7,6	416	—	150	6	1,3	4
	1178	5,47	8,69	0,04	2,60	99	270	12,0	434	14	300	19	3,0	—
	1198	0,41	2,04	0,25	0,26	70	300	10,0	102	—	—	22	—	8
	1208	1,67	23,00	0,03	0,39	28	320	8,6	136	—	—	22	0,4	—
	1229	21,50	2,86	0,25	0,50	279	120	15,0	60	—	—	9	—	8
	1248,5	17,90	12,50	0,03	0,60	128	70	6,3	93	—	140	10	1,6	3
	1261	21,30	2,82	0,00	0,11	156	71	12,0	61	—	20	9	0,2	7
N–129	1127	14,10	5,27	0,55	0,67	271	17	14,0	59	—	20	12	0,3	8
	1157	1,83	29,50	0,02	3,00	35	430	20,0	338	—	60	29	1,2	—
	1172	12,80	3,14	0,30	0,49	150	16	12,0	64	2	20	9	0,2	5
	1227	2,91	1,73	0,75	0,40	116	160	14,0	243	6	90	20	0,8	5
	1245	3,45	14,50	0,05	0,22	93	260	21,0	230	1	50	21	0,9	2
	1262	0,25	20,30	9,89	0,39	509	300	91,0	86	—	50	130	1,8	11
	1283	2,46	3,03	0,06	1,20	72	650	27,0	474	10	140	20	1,2	2
	1299	11,90	3,63	0,01	0,67	179	86	3,1	367	24	290	15	3,6	5

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Secteur des mines