

**Caractéristiques pétrologiques et géochimiques de la cheminée
d'altération du gisement Isle-Dieu, Matagami, Québec.**

par



Réal Tanguay

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade
de Maître ès Sciences Appliquées (M. Sc. A)

Département des Sciences Appliquées

Université du Québec à Chicoutimi

Mars 1990



Mise en garde/Advice

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

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

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

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

Résumé

Le gisement Isle-Dieu est situé sur le flanc sud de l'Anticlinal de Galinée. Localement la stratigraphie est constituée, de la base au sommet, de la rhyolite du Groupe de Lac Watson et du basalte du Groupe de Wabassée. Un horizon-repère sédimentaire, siliceux et sulfuré, nommé la "Tuffite Clef", est localisé au sommet du Groupe de Lac Watson et pend à 45° vers le sud.

Le dépôt est constitué de deux lentilles, dont l'une est séparée par un dyke de tonalite. Les lentilles recoupent en partie la "Tuffite Clef". Une coupe issue de données de sondages au diamant, au travers de la rhyolite sous-jacente nous permet d'observer les zonations chimiques et pétrographiques dans et autour de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu.

Ces transformations minéralogiques et chimiques sont caractérisées par des enrichissements en MgO , Fe_2O_3 , MnO et des appauvrissements en CaO , SiO_2 et Na_2O . La zonation spatiale de ces altérations permet de mettre en évidence les géométries et l'étendue des conduits hydrothermaux. L'épaisseur maximale des sulfures massifs au sein de la lentille est en étroite relation avec le maximum d'intensité des zones d'altération. Les patrons de variations chimiques dénotent une orientation préférentielle O-N-O des conduits hydrothermaux. Localement les parties les plus altérées et les plus déformées présentent de fortes variations positives en Zr, Nb et en terres-rares. Ces concentrations sont possiblement imputables à un enrichissement relatif à une diminution de volume lors de l'altération.

L'étude pétrographique indique que la porosité et la perméabilité du milieu a joué un rôle important dans la circulation des fluides, car l'accentuation des phénomènes de dévitrification, la nature bréchique et les phénomènes de microfracturation caractérisent les roches de la cheminée d'altération.

La nature magnésienne de certaines chlorites et la perméabilité accrue du milieu semblent en accord avec le modèle proposé par Roberts et Reardon, (1978).

ABSTRACT

The Isle-Dieu Massive sulphide deposit is located on the south flank of the Galinée anticline. Locally, the stratigraphy includes, from the base to the top, the Watson Lake Group rhyolite and the Wabasse Group basalt. A sedimentary marker horizon, named the Key Tuffite, is located at the top of the Watson Lake Group and dips 45° toward the southwest.

The deposit is composed of two lenses, one of them is cut by a tonalite dyke. The lenses crosscut a part of the Key Tuffite. From diamond drill data, a section through the underlying rhyolite shows the chemical and petrological zonations of the alteration pipe in and around the deposit.

The chemical variations are characterized by MgO, Fe₂O₃ and MnO enrichments and CaO, SiO₂ and Na₂O depletions. These chemical variations help to show the geometry and extent of the hydrothermal alteration pipe. The maximum thickness of the massive sulphides in the overlying lenses is in close relation with the maximum intensity of the alteration zones. The patterns of the chemical variation define a preferred W-N-W orientation of the alteration pipe. Locally, the most altered and deformed parts show enrichments of Zr, Nb and rare-earths. These concentrations are possibly linked to an enrichment caused by a rock volume decrease during the alteration process.

The petrographic study indicates that the permeability and porosity of the rhyolite have played a major role in the fluid circulation. This idea is reinforced by the accentuation of devitrification phenomena, the brecciated nature and extensive development of microfractures which characterize the rocks of the alteration pipe.

The magnesian composition of some chlorites and the increased permeability of the alteration pipe rocks are in agreement with the model previously proposed by Roberts and Reardon (1978).

REMERCIEMENTS

J'aimerais exprimer ma gratitude envers mon directeur de maîtrise, Docteur Jacques Carignan, qui a su susciter mon intérêt tout au long de ce projet ainsi qu'aux professeurs et assistants du département des Sciences de la Terre qui m'ont inculqué une passion pour ce merveilleux monde de la géologie. Je suis également redevable à M. Mathieu Piché pour sa précieuse collaboration.

Je voudrais également remercier la compagnie Explorations Noranda Ltée et Minéraux Noranda Inc., tout particulièrement M. Gilles Bouchard et M. André Bonenfant, pour leur support financier, professionnel et technique. L'Université du Québec à Chicoutimi et le C.E.R.M.(Centre d'Etudes en Ressources Minérales) sont remerciés pour leur appui et soutien financier sous forme de bourses du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Science (Programme d'actions structurantes) et du P.A.I.R.(Programme d'aide institutionnelle à la recherche). La conception finale de certaines figures est due à Claude Dallaire.

Finalement, je voudrais rendre hommage à mes parents ainsi qu'à mon épouse Lucie qui ont été d'un réconfort inestimable et d'une aide précieuse au cours de ces études supérieures. C'est à eux que je dédie ce mémoire.

TABLE DES MATIERES

| | Page |
|---|------|
| RESUME..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| REMERCIEMENTS..... | iii |
| TABLE DES MATIERES..... | iv |
| LISTE DES TABLEAUX..... | vii |
| LISTE DES FIGURES..... | viii |
| LISTE DES PLANCHES..... | xi |
| | |
| CHAPITRE I INTRODUCTION | |
| 1.1 Introduction..... | 2 |
| 1.2 Généralités..... | 2 |
| 1.3 Objet de l'étude..... | 3 |
| 1.4 Méthodologie..... | 3 |
| | |
| CHAPITRE II CADRE GEOLOGIQUE | |
| 2.1 Le gîte Isle-Dieu: localisation et généralités..... | 6 |
| 2.2 Géologie régionale..... | 8 |
| 2.3 Géologie du gîte Isle-Dieu..... | 10 |
| | |
| CHAPITRE III PETROGRAPHIE | |
| 3.1 Généralités..... | 17 |
| 3.2 La rhyolite fraîche..... | 17 |

| | Page |
|--|------|
| 3.3 La rhyolite altérée..... | 22 |
| 3.3.1 La zone de bordure de la cheminée d'altération..... | 22 |
| 3.3.2 La zone intermédiaire de la cheminée d'altération..... | 24 |
| 3.3.3 La zone centrale de la cheminée d'altération..... | 26 |
| 3.4 Pétrographie comparative..... | 31 |

CHAPITRE IV CHIMISME GENERAL DES RHYOLITES

| | |
|--|----|
| 4.1 Généralités..... | 34 |
| 4.2 Echantillonnage..... | 34 |
| 4.3 Caractéristiques de la rhyolite du Groupe de Lac Watson..... | 35 |

CHAPITRE V DISTRIBUTION ET VARIATION DES ELEMENTS

| | |
|--|----|
| 5.1 Généralités..... | 40 |
| 5.2 Distributions des éléments..... | 41 |
| 5.3 Variation des éléments majeurs..... | 48 |
| 5.3.1 A l'échelle du gisement..... | 48 |
| 5.3.1.1 Zone de bordure et zone intermédiaire..... | 48 |
| 5.3.1.2 Zone centrale..... | 52 |
| 5.3.2 A l'échelle de la propriété..... | 55 |
| 5.4 Eléments mineurs et traces..... | 64 |
| 5.4.1 A l'échelle du gisement..... | 65 |
| 5.4.2 A l'échelle de la propriété..... | 65 |
| 5.5 Corrélation entre les éléments..... | 67 |

| | Page |
|---|------|
| 5.5.1 Eléments majeurs et mineurs (N=292)..... | 69 |
| 5.5.2 Eléments majeurs, mineurs, terres rares et densité..... | 70 |
| 5.6 Variation de volume..... | 70 |
| CHAPITRE VI ANALYSE DES CORRESPONDANCES | |
| 6.1 Généralités..... | 74 |
| 6.2 Définitions..... | 74 |
| 6.3 Résultats et interprétations..... | 75 |
| CHAPITRE VII DISCUSSION..... | 83 |
| CHAPITRE VIII CONCLUSION ET APPORT DE L'AUTEUR..... | 91 |
| REFERENCES..... | 94 |
| ANNEXE I LIMITE DE PRECISION DES ANALYSES CHIMIQUES..... | 99 |
| ANNEXE II ANALYSES CHIMIQUES POUR LES ELEMENTS | |
| MAJEURS ET MINEURS (N=292)..... | 101 |
| ANNEXE III ANALYSES CHIMIQUES POUR LES ELEMENTS | |
| MAJEURS, MINEURS ET TRACES (N=39)..... | 113 |
| ANNEXE IV TABLEAU DE CORRELATION POUR LES ELEMENTS | |
| MAJEURS, MINEURS ET TRACES (N=39) (EN POCHETTE)..... | 118 |

LISTE DES TABLEAUX

Page

TABLEAU 1: Résumé des variations minéralogiques et chimiques entre l'équivalent non-altéré de la rhyolite et les différentes zones de la cheminée d'altération.....51

TABLEAU 2: Corrélation entre les éléments majeurs et mineurs-tous les échantillons.....68

TABLEAU 3: Analyse des correspondances des éléments majeurs et mineurs-tous les échantillons.....77

LISTE DES FIGURES

| | Page |
|---|------|
| FIGURE 1: Carte géologique du camp minier de Matagami, modifiée de Beaudry et Gaucher, 1986 et Sharpe, 1968, tirée de Piché et. al., 1990. | 7 |
| FIGURE 2: Section stratigraphique de l'Anticlinal de Matagami tirée de Piché et al, 1990. | 9 |
| FIGURE 3: Section 20+00W typique du gisement Isle Dieu, orientée à 020 degrés nord. Avec la permission d'Explorations Noranda Ltée. Matagami. | 11 |
| FIGURE 4: Carte de localisation des trous de sondage ayant fait l'objet d'échantillonnage sur la propriété Isle-Dieu. Avec la permission d'Explorations Noranda Ltée. Matagami. | 18 |
| FIGURE 5 : Tableau schématique des variations minéralogiques de la rhyolite en fonction de l'intensité de l'altération. | 29 |
| FIGURE 6 : Diagramme ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) vs SiO_2 (% Poids) pour des échantillons de rhyolite "fraiche" localisés à plus de 210 mètres du centre du gisement. | 37 |

| | Page |
|---|------|
| FIGURE 7 : Diagramme AFM pour des échantillons de rhyolite "fraiche". | 38 |
| FIGURE 8 : Diagramme de caractérisation du patron des terres rares normalisées à la chondrite pour des échantillons de rhyolite non altérés. | 38 |
| FIGURE 9 : Histogrammes des éléments majeurs et mineurs. Les éléments majeurs sont en % poids et les éléments traces en ppm. | 42 |
| FIGURE 10 : Diagramme AFM montrant les variations chimiques provoquées par l'altération hydrothermale. | 49 |
| FIGURE 11 : Diagrammes binaires montrant l'évolution des éléments mobiles en fonction du titane que l'on suppose peu mobile. | 50 |
| FIGURE 12 : Contours de variations géochimiques en plan, montrant la géométrie de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu en fonction de l'épaisseur des sulfures sus-jacents. | 53 |
| FIGURE 13 : Contours de variations géochimiques de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu. | 54 |
| FIGURE 14 : Contours de variations géochimiques à l'échelle de la propriété Isle-Dieu. | 56 |

FIGURE 15 : Diagramme de terres rares des rhyolites en fonction de l'intensité de l'altération au sein de la cheminée.....66

FIGURE 16 : Diagrammes de variation de masse en fonction du facteur volume obtenus par les équations de Gresens (1967) qui comparent une roche fraîche avec un équivalent altéré au sein de la cheminée d'altération, A) Zone de bordure, (Ech # 85-10), B) Zone intermédiaire (Ech # 86-31), C) Zone centrale (Ech # 86-26).....72

FIGURE 17 : Analyse des correspondances appliquée à l'ensemble des échantillons (n=292). A) Facteur 2 vs Facteur 1, B) Facteur 3 vs Facteur 1, C) Facteur 3 vs Facteur 2.....78

FIGURE 18 : Modèle schématique montrant la distribution spatiale des zones d'altération autour de conduits hydrothermaux anastomosés.....85

FIGURE 19 : Section 35+00 Sud montrant la zonalité des altérations de la rhyolite sous le gisement de Mine Lac Mattagami.....90

LISTE DES PLANCHES

Page

PLANCHE 1(a) : Photographie d'échantillon de carotte de sondage typique de la rhyolite "fraiche" du Groupe de Lac Watson.....12

PLANCHE 1(b) : Photographie d'échantillon de carotte de sondage de la rhyolite fortement chloritisée qui montre la présence de fragments séricitisés.....12

PLANCHE 2(a) : Photographie de lave coussinée basaltique du groupe de Wabassee sus-jacente à la "Tuffite Clef". Niveau 2 de la mine Isle-Dieu.....13

PLANCHE 2(b) : Photographie du dyke tonalitique qui sépare le gisement en deux parties avec des fractures de tension remplies par du carbonate et quartz.....13

PLANCHE 3(a) : Photographie de la "Tuffite Clef" non-minéralisée qui recouvre la rhyolite du Groupe de Lac Watson.....15

PLANCHE 3(b) : Photographie de la "Tuffite Clef" recoupée par des veinules minéralisées en pyrite et sphalérite.....15

| | Page |
|---|------|
| PLANCHE 4(a) : Photomicrographie de la rhyolite non altérée du Groupe de Lac Watson..... | 19 |
| PLANCHE 4(b) : Photomicrographie d'excroissance à texture granophyrique développée au sein d'un phénocrystal de plagioclase avec texture de dévitrification en périphérie..... | 19 |
| PLANCHE 5(a) : Photomicrographie de la rhyolite montrant la texture sphérulitique constituée d'albite fibroradiée..... | 21 |
| PLANCHE 5(b) : Photomicrographie de rhyolite à texture amygdalaire | 21 |
| PLANCHE 6(a) : Photomicrographie de la rhyolite au sein de la zone de bordure de la cheminée d'altération montrant la fracturation et le démembrement d'un phénocrystal de quartz..... | 23 |
| PLANCHE 6(b) : Photomicrographie de la rhyolite de la zone de bordure de la cheminée d'altération montrant le développement subtil d'une couronne de quartz ou d'albite autour d'un phénocrystal de quartz..... | 23 |
| PLANCHE 7(a) : Photomicrographie de rhyolite de la zone d'altération intermédiaire montrant l'altération séricitique de la mésostase..... | 25 |

| | Page |
|--|------|
| PLANCHE 7(b) : Photomicrographie de rhyolite à texture perlitique typique de bordure de coulée, en partie chloritisée..... | 25 |
| PLANCHE 8(a) : Photomicrographie de rhyolite montrant la forme concentrique des fractures perlitiques remplies de chlorite au sein d'îlots rhyolitiques préservés dans la cheminée d'altération..... | 27 |
| PLANCHE 8(b) : Photomicrographie de rhyolite de la zone centrale de la cheminée d'altération..... | 27 |
| PLANCHE 9(a) : Photomicrographie de rhyolite altérée montrant le développement d'anneaux concentriques autour d'un phénocristal de quartz..... | 30 |

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1 Introduction

Cette étude s'inscrit dans les objectifs d'un projet global de recherche qui vise à modéliser les systèmes hydrothermaux responsables de la mise en place des gîtes de sulfures massifs volcanogènes au sein du camp minier de Matagami. La comparaison de ces systèmes hydrothermaux anciens avec des analogues récents et la définition des contrôles de mise en place constituent les principaux objectifs de recherche. La faisabilité de ce projet repose sur une entente conjointe entre la compagnie Explorations Noranda Ltée, Minéraux Noranda Inc. et l'Université du Québec à Chicoutimi.

1.2 Généralités

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

L'examen des unités, que l'on décrit comme affectées par des circulations hydrothermales, nous démontre que, malgré toutes les transformations physiques

ou chimiques, les signatures sont généralement peu étendues et se retrouvent, dans la majorité des cas cités dans la littérature, contigues aux dépôts. La restriction spatiale des phénomènes inhérents aux circulations hydrothermales devient problématique pour leurs utilisations dans l'exploration de ce type de gisement, en particulier lorsque certains phénomènes géologiques secondaires (métamorphisme, plissement, failles, etc) viennent oblitérer les transformations primaires.

1.3 Objet de l'étude

Le but de cette étude consiste à caractériser l'environnement minéralogique et géochimique immédiat du gîte Isle-Dieu afin de mettre en évidence les patrons d'altération créés par les circulations hydrothermales minéralisatrices.

Nous tenterons de visualiser l'étendue des altérations et de proposer certains guides géochimiques élaborés à partir d'analyses géostatistiques. Ainsi la connaissance de la géométrie des zones d'altération et de la distribution des failles syn-volcaniques devrait permettre la reconstruction du système géothermal responsable de la formation des gisements de sulfures massifs et permettre une recherche beaucoup plus tactique des futures cibles potentielles.

1.4 Méthodologie

Durant les périodes estivales de 1987 et 1988, l'ensemble des trous de forage réalisés sur la propriété Isle-Dieu ont été examinés au niveau

stratigraphique correspondant à l'unité rhyolitique. Les résultats des analyses chimiques ont fait l'objet de traitement pour les rendre compatibles aux logiciels informatiques qui seront employés ultérieurement. Le début de l'exploitation souterraine du gisement, à l'été 1988, a permis la réalisation d'une cartographie de certaines zones de la cheminée d'altération et la cueillette d'échantillons qui serviront de support géologique important aux données géochimiques.

Les sections et vues en plan du gisement, préalablement interprétées, ont été revues et corrigées et subséquemment employées pour la construction d'un modèle schématique.

Les échantillons de roches ou de carottes de forage ont été acheminés à l'Université du Québec à Chicoutimi et au laboratoire X-Ray Assays à Toronto pour la fabrication de sections minces et la réalisation d'analyses chimiques respectivement. L'examen microscopique des sections minces polies ou non a permis la cueillette d'informations minéralogiques et texturales. Le traitement des résultats d'analyses géochimiques au moyen d'outils statistiques sur ordinateur permettra de visualiser les variations des éléments majeurs et mineurs dans et autour de la cheminée d'altération au-delà des phénomènes visibles.

CHAPITRE II

CADRE GEOLOGIQUE

2.1 Le Gîte Isle-Dieu: localisation et généralités

Le gisement Isle-Dieu est localisé à 12 kilomètres au sud-ouest de la ville de Matagami dans le nord-ouest québécois (Figure 1). Le gîte est situé sur le flanc sud de l'anticlinal de Galinée, à l'ouest des mines Lac Mattagami et Orchan.

Ce dépôt, dont la découverte est la plus récente des gîtes du camp minier de Matagami, fût décelé au printemps de l'année 1985 à la suite d'une campagne systématique de sondages. Les gisements du flanc sud de l'Anticlinal de Galinée ont fait l'objet de nombreuses études visant à comprendre la génèse des gîtes de sulfures massifs volcanogènes. Roberts (1966), dans son étude du gisement Lac Mattagami, fût un des premiers à suggérer un modèle de formation des sulfures massifs qui tient compte des zonations géochimiques de la cheminée d'altération de ce type de gisement. La mise en évidence d'un contrôle structural pour la mise en place des lentilles de sulfures fût élaborée par Clark (1983) dans ses travaux sur le gîte de Orchan. L'horizon marqueur, le long duquel se retrouvent tous les gisements de sulfures massifs volcanogènes du flanc sud de l'anticlinal de Galinée, a fait l'objet de caractérisations géochimiques par Davidson (1977).

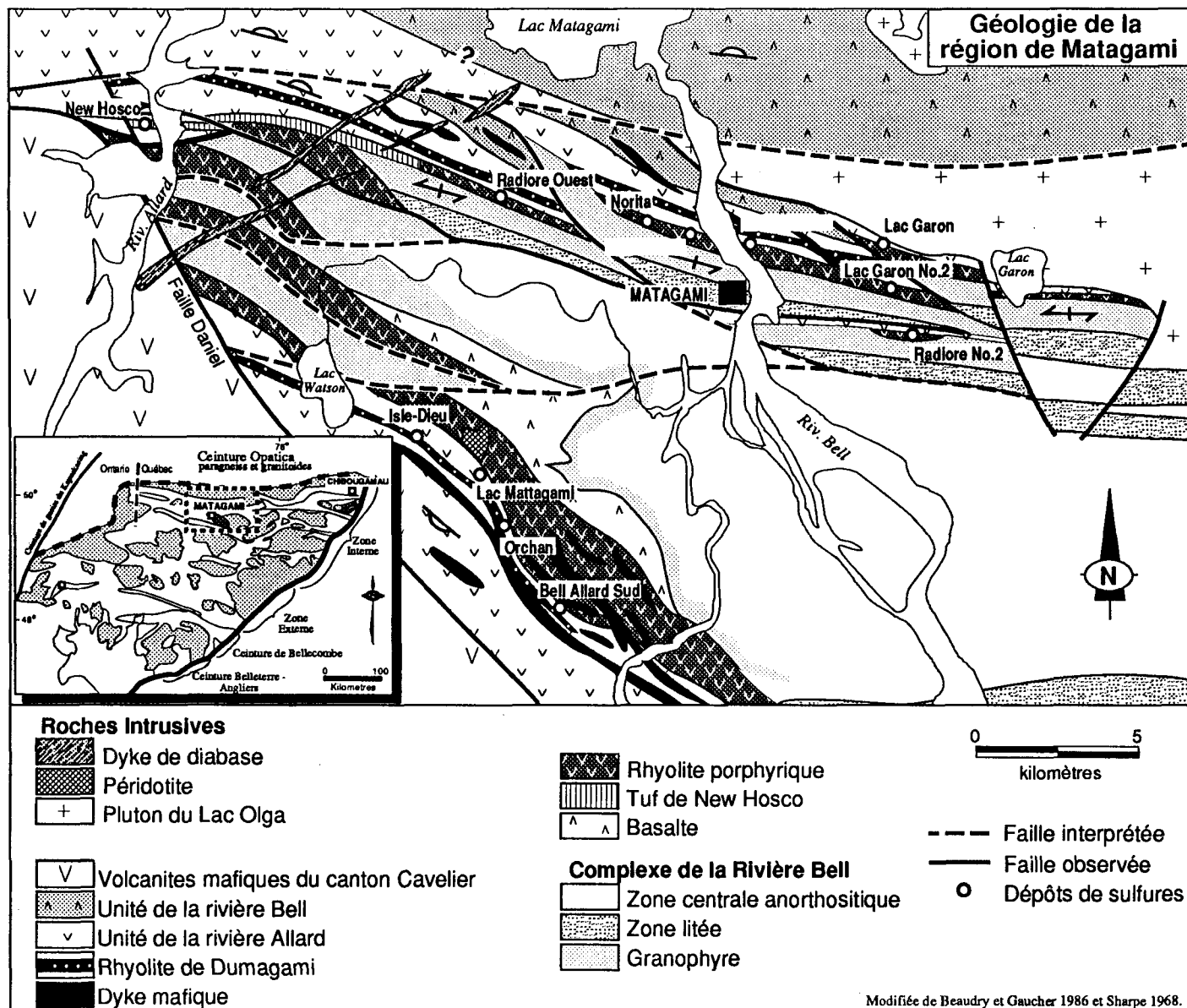


FIGURE 1: Carte géologique du camp minier de Matagami

2.2 Géologie régionale

La stratigraphie (Figure 2) des roches volcaniques du camp minier de Matagami comprend deux groupes: à la base, le Groupe de Lac Watson et au sommet le Groupe de Wabassee. Le Groupe de Lac Watson est bien exposé le long du flanc sud de l'anticlinal de Galinée. D'une épaisseur évaluée à quelque deux(2) kilomètres, ce groupe montre les subdivisions suivantes (Sharpe, 1968): une unité de basalte massif de plusieurs mètres d'épaisseur affectée par une altération stratiforme régionale, une unité de rhyodacite porphyrique à quartz et plagioclase avec une brèche autoclastique à lapillis et à blocs à la base et s'interdigitant avec une brèche hyaloclastique vers le sommet et un horizon sédimentaire siliceux et sulfuré, appelé la "Tuffite Clef".

Le Groupe de Wabassee est principalement constitué de laves à caractère mafique subdivisées en deux unités (Beaudry et Gaucher, 1986., Beaudry, 1984) suivant des critères chimiques et structuraux: l'unité de la Rivière Bell constituée de basalte tholéiitique, coussiné et massif ainsi que l'unité mafique de la Rivière Allard à faible contenu en fer. Ces unités surmontent les volcanites felsiques du Groupe de Lac Watson. L'intrusion gabbroïque litée de la Rivière Bell recoupe la base de la séquence.

Les roches de la région sont plissées en une large structure anticlinale, appelée anticlinal de Galinée dont le plan axial est orienté ouest-nord-ouest. Les roches du flanc sud pendent à 45 degrés vers le sud et sont très peu déformées. Toutes les roches sont métamorphisées au faciès schiste vert. Sur le flanc

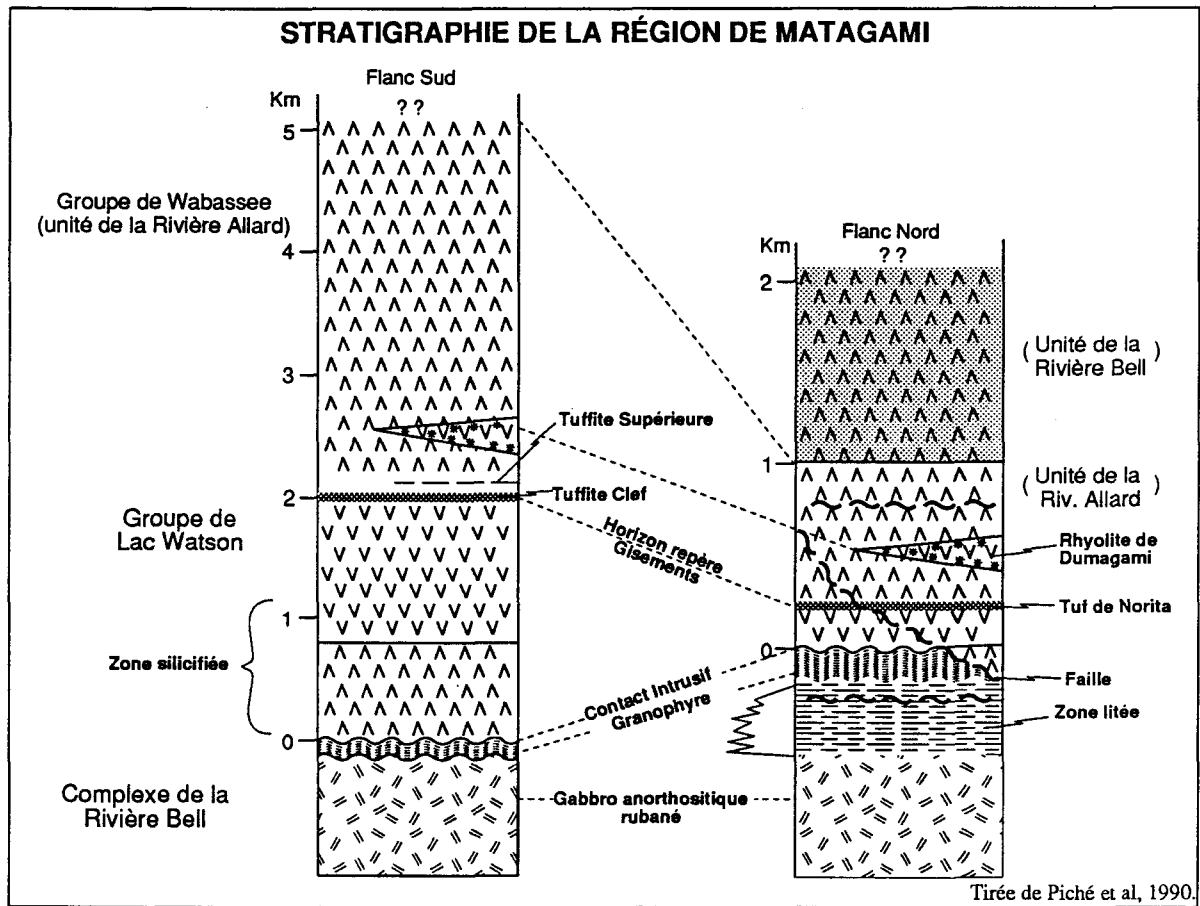


FIGURE 2: Section stratigraphique de l'Anticlinal de Matagami.

opposé, les laves sont fortement affectées par une série de failles anastomosées et leur attitude diffère du flanc sud soit par leur orientation ouest-nord-ouest et la verticalité du pendage.

2.3 Géologie du gîte Isle-Dieu

Localement, le gisement (Figure 3) se situe au sommet du Groupe de Lac Watson (Planche 1a), plus précisément, au niveau de la "Tuffite Clef", avec laquelle il s'interdigite latéralement et verticalement. La cheminée d'altération du gisement (Planche 1b) recoupe la rhyolite porphyrique à quartz, massive et bréchique de la partie supérieure du Groupe de Lac Watson.

La lentille de sulfures massifs ainsi que la "Tuffite Clef" sont recouvertes par le basalte coussiné (Planche 2a) et massif du Groupe de Wabasse. Une série de dykes gabbroïques sub-concordants recoupe la stratigraphie volcanique. Un dyke tonalitique altéré (Planche 2b) recoupe l'ensemble des unités et sépare en deux le gisement de sulfures massifs. Le contact entre la tonalite et les roches encaissantes est très net et relativement peu cisailé. Les roches ont un pendage de 45 degrés vers le sud et sont non-déformées. Toutefois, la présence de failles à faible déplacement affectent la roche localement.

Les réserves délimitées du gisement sont évaluées à 2,060,810 tonnes à une teneur de 17.9% zinc, 1.0% cuivre, 0.37% plomb, 66.68 grammes d'argent et 0.34 grammes d'or par tonne métrique. En plan, la géométrie de la lentille de

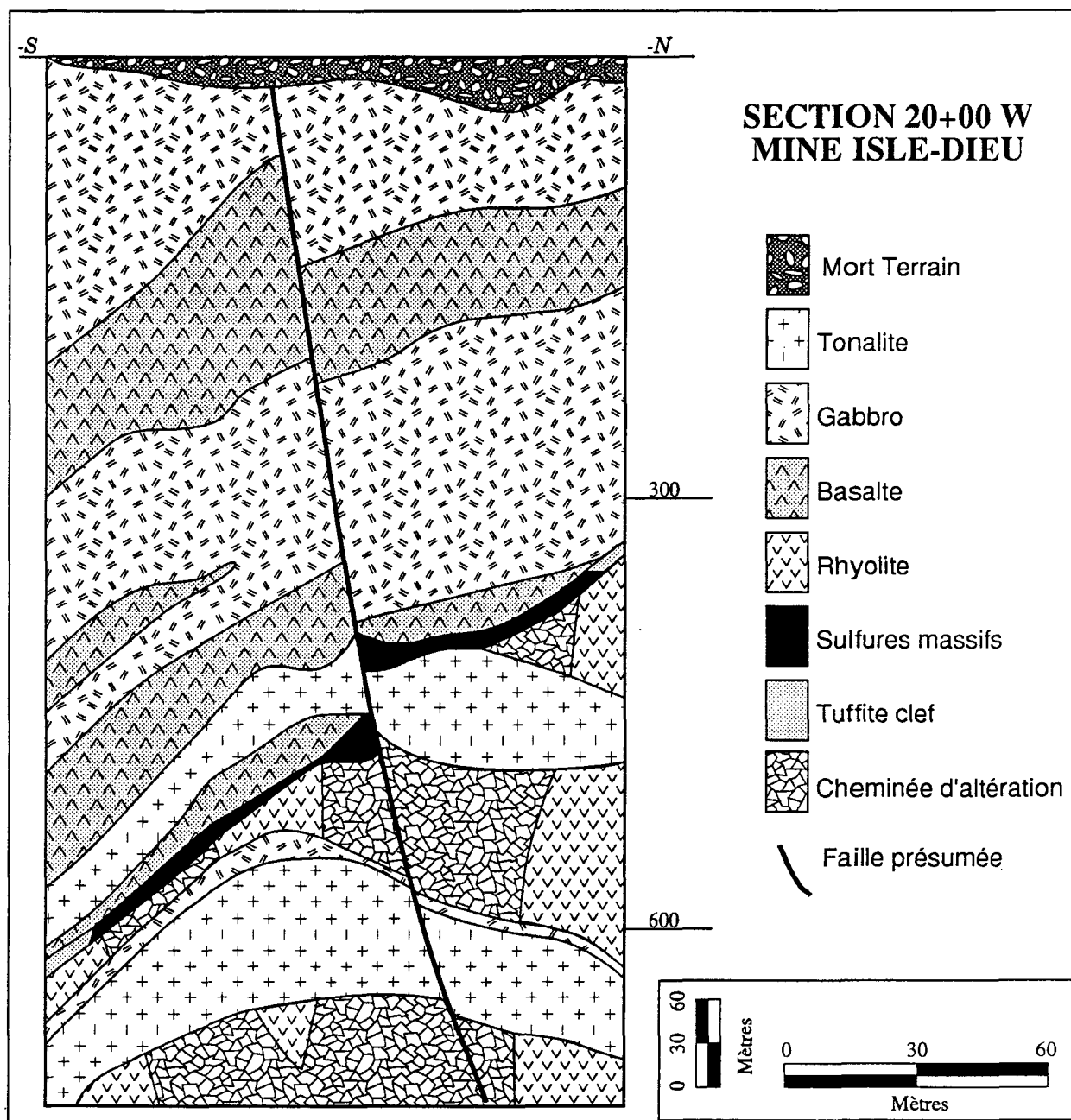


FIGURE. 3. Section 20+00W typique du gisement Isle-Dieu, orientée à 020 degrés nord.
Avec la permission d'Exploration Noranda Ltée. Matagami.

PLANCHE 1

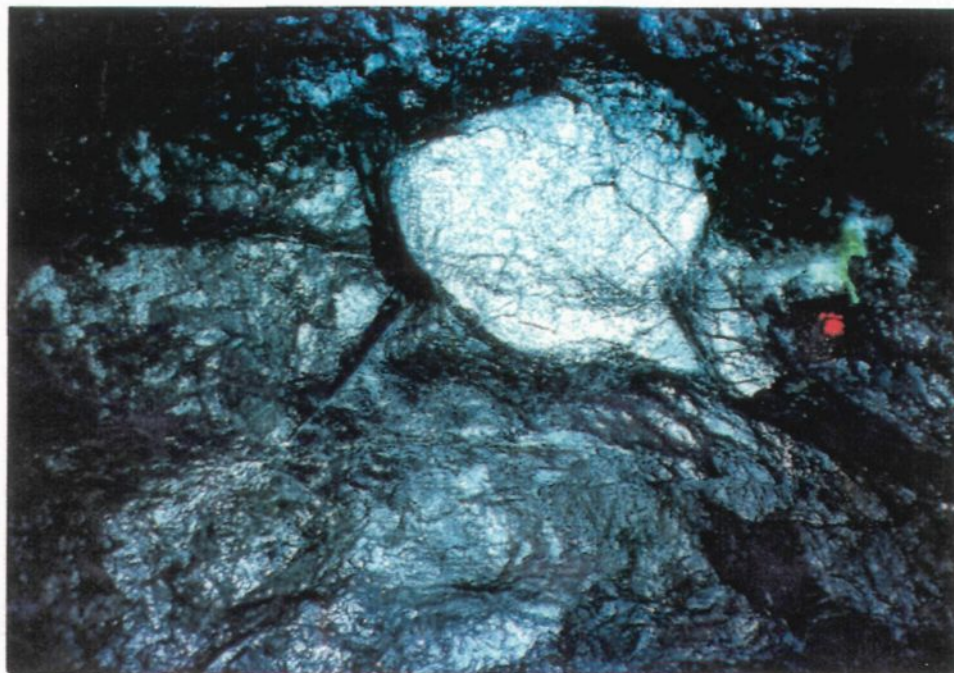


A) Photographie d'échantillon de carotte de sondage typique de la rhyolite fraîche du Groupe de Lac Watson.



B) Photographie d'échantillon de carotte de sondage de la rhyolite fortement chloritisée qui montre la présence de fragments séricitisés.

PLANCHE 2



A) Photographie de lave coussinée basaltique du Groupe de Wabassee sus-jacente à la "Tuffite Clé". Niveau 2 de la mine Isle-Dieu.

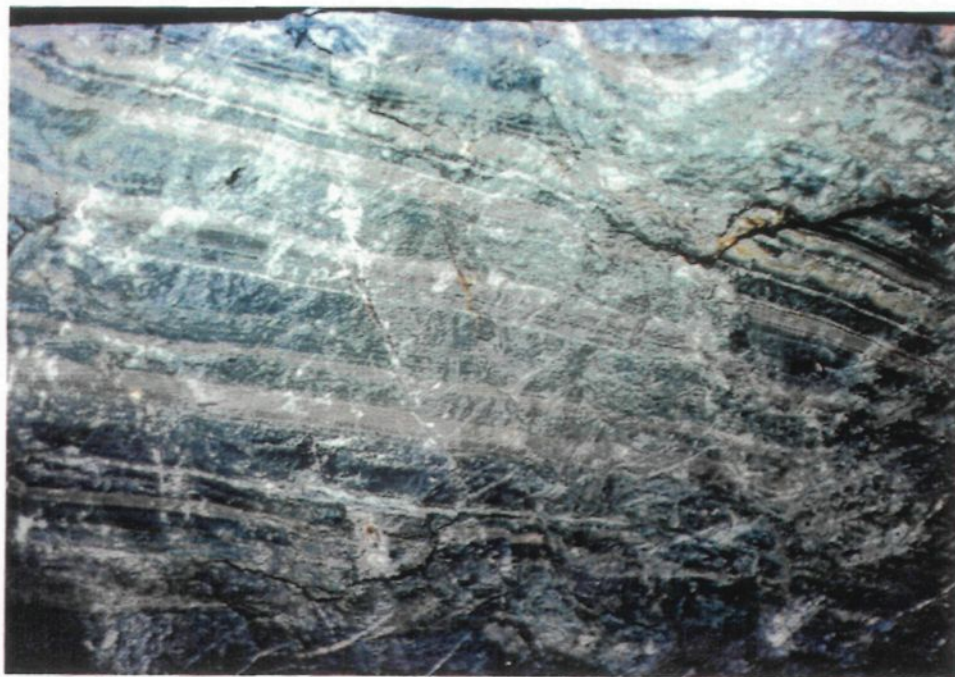


B) Photographie du dyke tonalitique qui sépare le gisement en deux parties avec des fractures de tension remplies par du carbonate et quartz.

sulfures du gisement a une étendue de 700 par 215 mètres avec un grand axe orienté sud-est. En section, la partie supérieure de la lentille se situe à 411 mètres sous la surface alors que l'extrémité inférieure se trouve à plus de 700 mètres de profondeur. L'épaisseur maximale du dépôt est de 33 mètres près de sa portion supérieure et décroît graduellement en profondeur.

La masse sulfurée présente une variation verticale de composition définie à la base par la présence de filonets de pyrite-pyrrhotite-chalcopryrite et localement avec des zones à magnétite, le tout en interdigitation avec la rhyolite. La partie médiane de la lentille est composée d'un mélange riche en chalcopryrite-pyrrhotite avec de faibles quantités de pyrite, sphalérite et magnétite. La partie sommitale, appelée communément le "chapeau", est la plus volumineuse et représente la zone riche en sphalérite. On rencontre également à l'intérieur de la lentille des niveaux cherteux représentatifs de la Tuffite Clef (Planche 3a), laquelle montre un recoupement (Planche 3b) par les veinules minéralisées.

PLANCHE 3



A) Photographie de la "Tuffite Clef" non-minéralisée qui recouvre la rhyolite du Groupe de Lac Watson



B) Photographie de la "Tuffite Clef" recoupée par des veinules minéralisées en pyrite et sphalérite.

CHAPITRE III

PETROGRAPHIE DES ROCHES ENCAISSANTES

3.1 Généralités

La minéralogie de la zone d'altération et de la roche encaissante a été déterminée par l'examen pétrographique d'une cinquantaine de sections minces. Le choix des échantillons fût réalisé de façon à permettre la visualisation des transformations minéralogiques entre la roche "fraîche" et la cheminée d'altération. Le prélèvement des échantillons (Figure 4) a été effectué au sein des trous d'exploration et de délimitation du gisement au niveau de l'unité rhyolitique.

Trois paragenèses minérales caractérisent la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu. Ces paragenèses définissent des zones en relation avec l'intensité de l'altération associée aux conduits hydrothermaux. A l'intérieur de la zone qui est définie comme la "cheminée d'altération", des îlots de rhyolite "fraîche" sont préservés à travers la rhyolite fortement altérée. La cheminée d'altération apparaît aujourd'hui sous la forme d'un réseau anastomosé de petits conduits hydrothermaux à partir desquels l'altération a progressé dans la roche hôte.

3.2 La rhyolite fraîche

La roche sous-jacente au gisement est une lave rhyolitique porphyrique à quartz, massive et bréchique. La lave non-altérée (Planche 4a) contient de 5 à 10% de phénocristaux de quartz bipyramidaux de 1 à 3 mm de diamètre avec par endroits des textures squelettiques ou de résorption (cristaux évidés) ou des excroissances à texture granophyrique (Planche 4b) ou sphérulitique de quartz

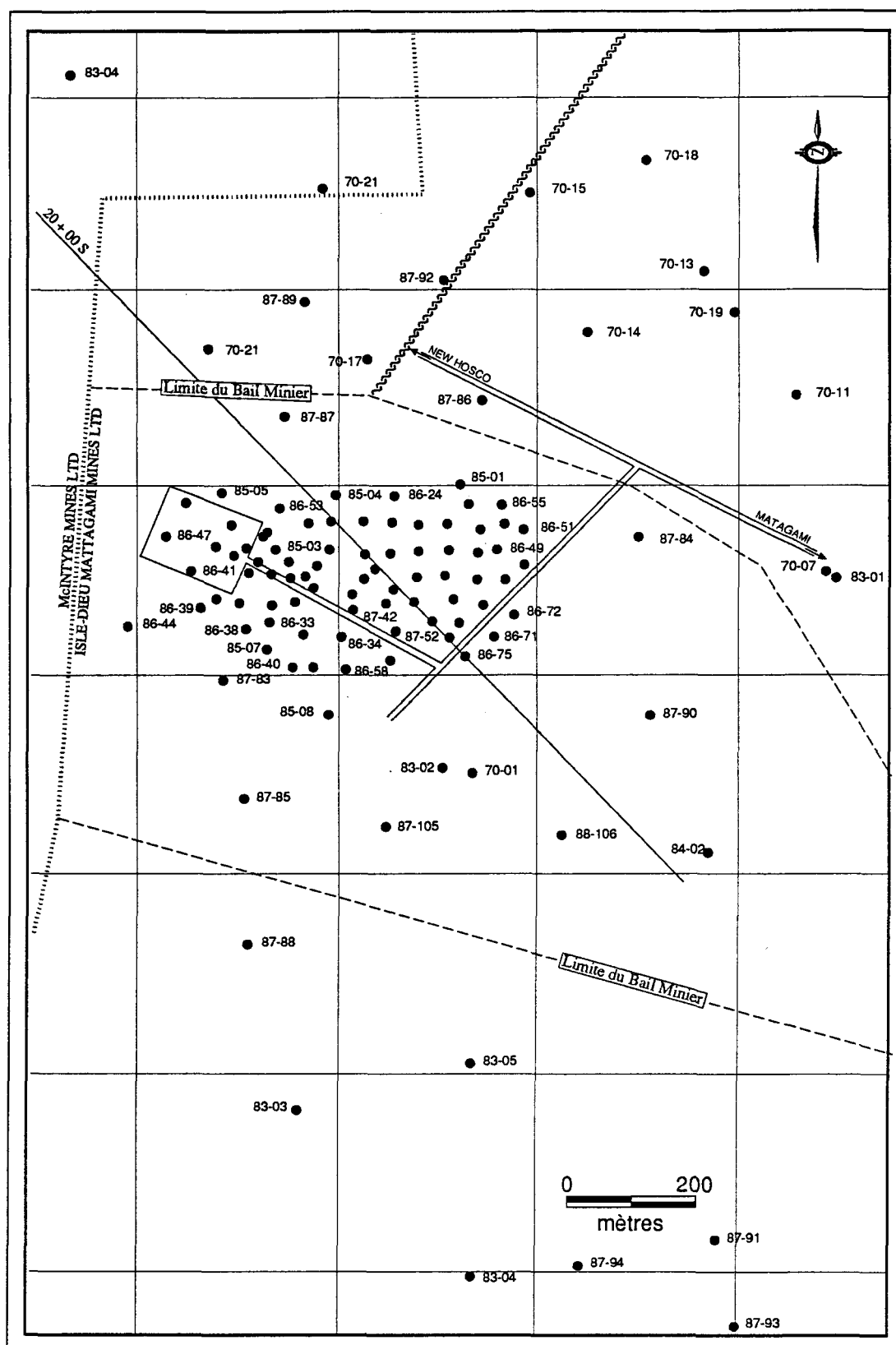
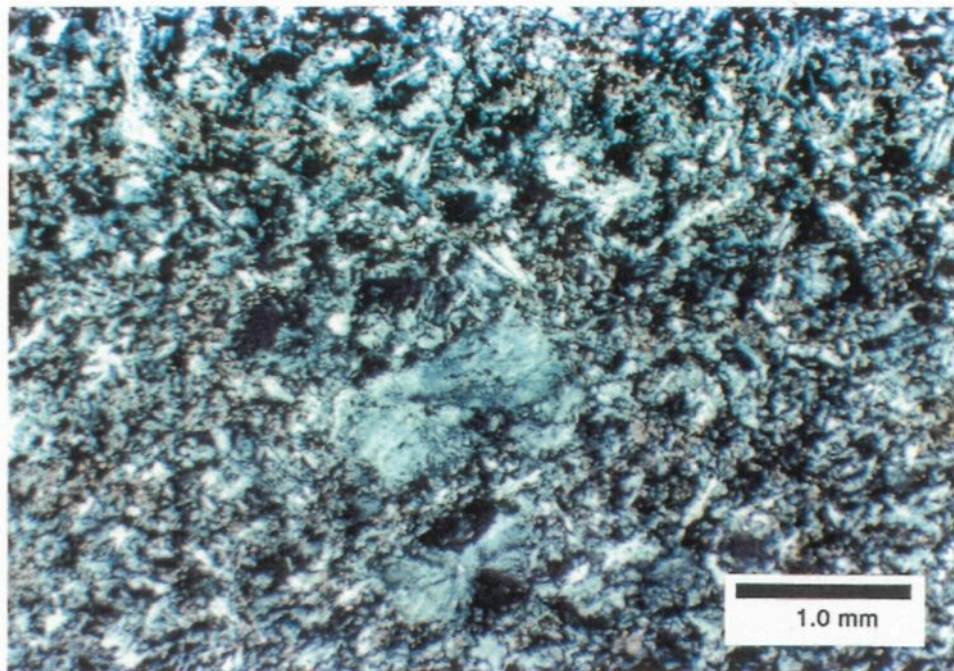


FIGURE. 4. Carte de localisation des trous de sondage ayant fait l'objet d'échantillonnage sur la propriété Isle-Dieu. Avec la permission d'Exploration Noranda Ltée. Matagami

PLANCHE 4



A) Photomicrographie de la rhyolite non-altérée du Groupe de Lac Watson. Lumière polarisée.



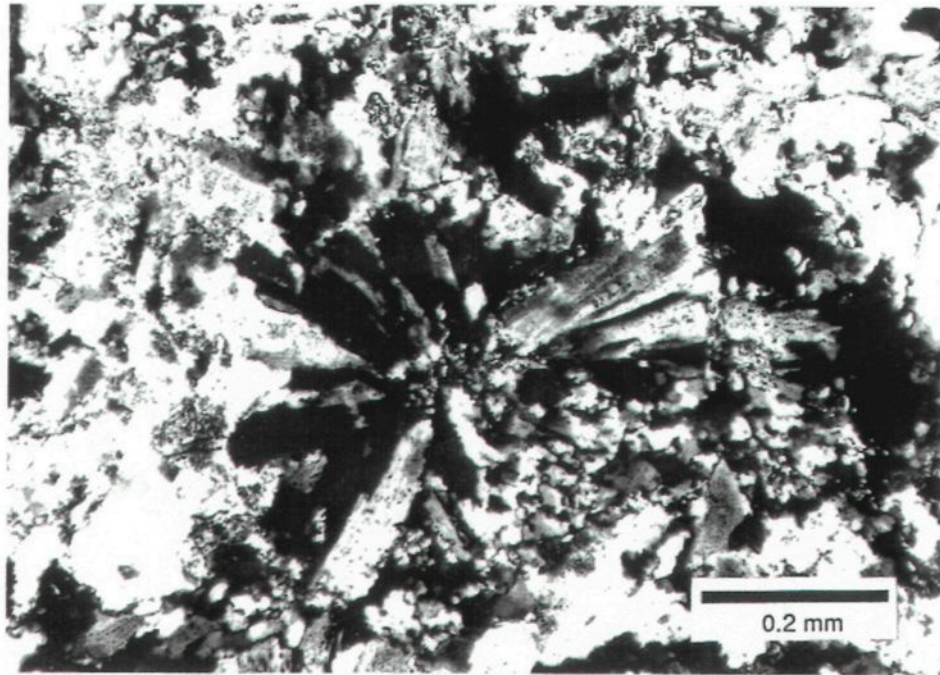
B) Photomicrographie d'excroissances à texture granophyrique développées au sein d'un phénocrystal de plagioclase avec texture de dévitrification en périphérie. Lumière polarisée.

ou d'albite. La roche contient également des phénocristaux de plagioclase (albite) tabulaires avec des excroissances aciculaires aux extrémités.

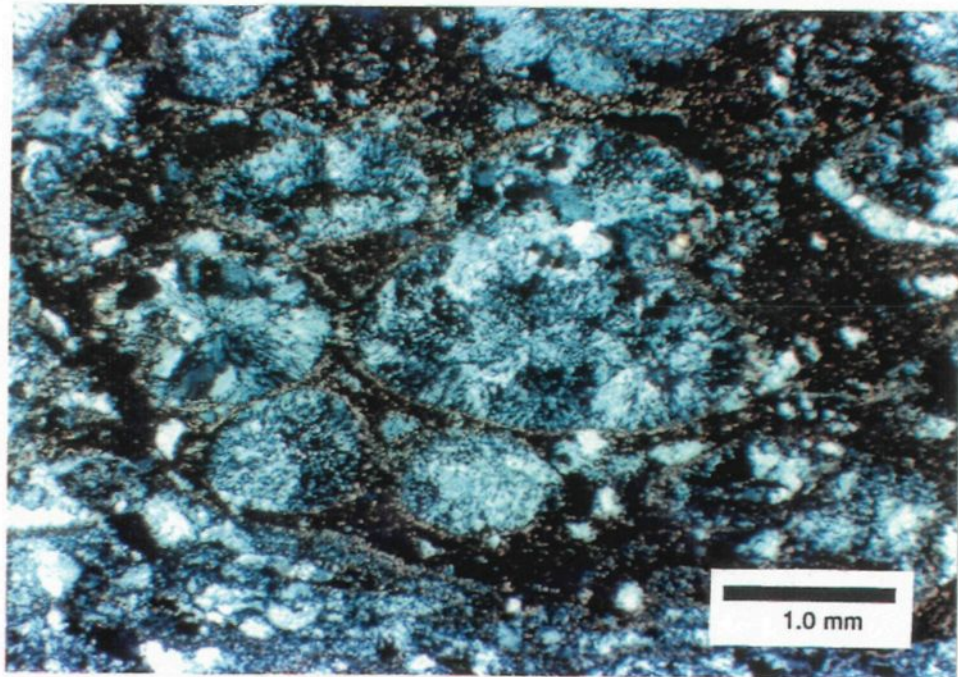
La mésostase de la lave est composée d'un assemblage microcristallin de quartz et de plagioclase légèrement séricitisé avec de 1 à 3% de chlorite interstitielle de teinte verdâtre en nicols croisés. Celle-ci contient par endroits des sphérules de 1 à 5mm de diamètre, constituées par des agrégats sphériques d'albite fibroradiée (Planche 5a) ou encore par des excroissances en forme de gerbe aux extrémités d'un cristal. Les sphérules montrent parfois de la coalescence entre elles et sont l'équivalent de la texture orbiculaire décrite par Lofgren (1971). Un cristal de feldspath, quartz ou rutile sert régulièrement de nucléus autour duquel se développe la texture sphérolitique ou le phénomène de dévitrification.

Des amygdules (Planche 5b) remplies de quartz et/ou carbonate et/ou biotite, de forme ovale à lenticulaire, sont présentes en quantité variable. La forme lenticulaire des amygdules est probablement imputable à l'échappement des gaz lors de la mise en place de la lave ou à la déformation. Quelques veinules de quartz-carbonate et chlorite recoupent cet assemblage par endroits. Une légère carbonatation imprègne la rhyolite au sein de certains échantillons, en particulier ceux localisés au Nord-Est du gisement.

PLANCHE 5



A) Photomicrographie de la rhyolite montrant la texture sphérulitique constituée d'albite fibroradiée. Lumière polarisée.



B) Photomicrographie de rhyolite à texture amygdalaire. Lumière polarisée.

3.3 La rhyolite altérée

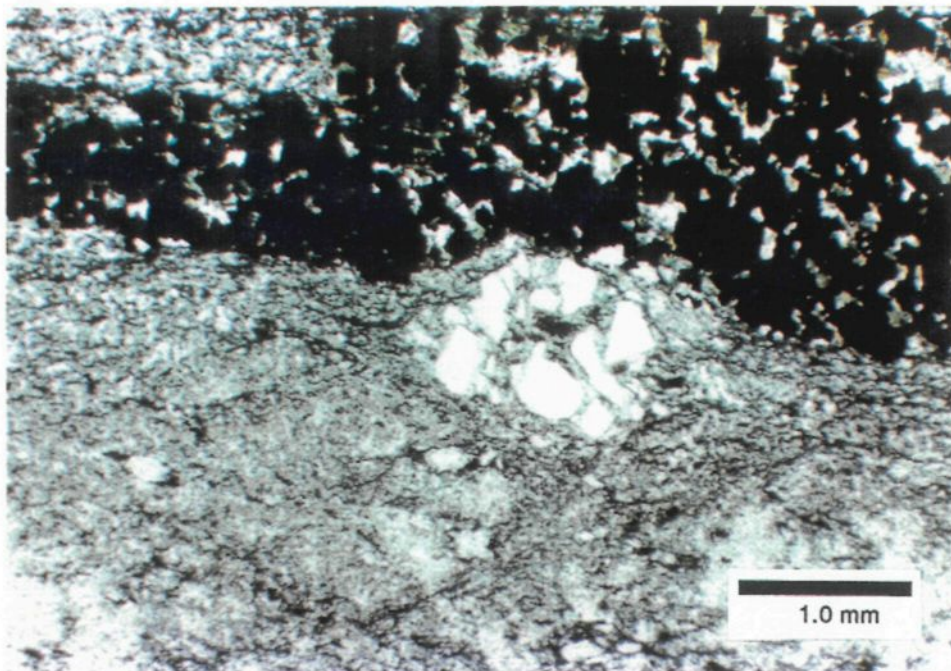
L'examen microscopique de l'ensemble des sections minces provenant de la zone de la cheminée d'altération, permet de caractériser une zonalité horizontale. Ainsi par ordre d'intensité croissante, l'altération à l'intérieur de la cheminée est subdivisée en une zone de bordure, une zone intermédiaire et une zone centrale.

3.3.1 La zone de bordure

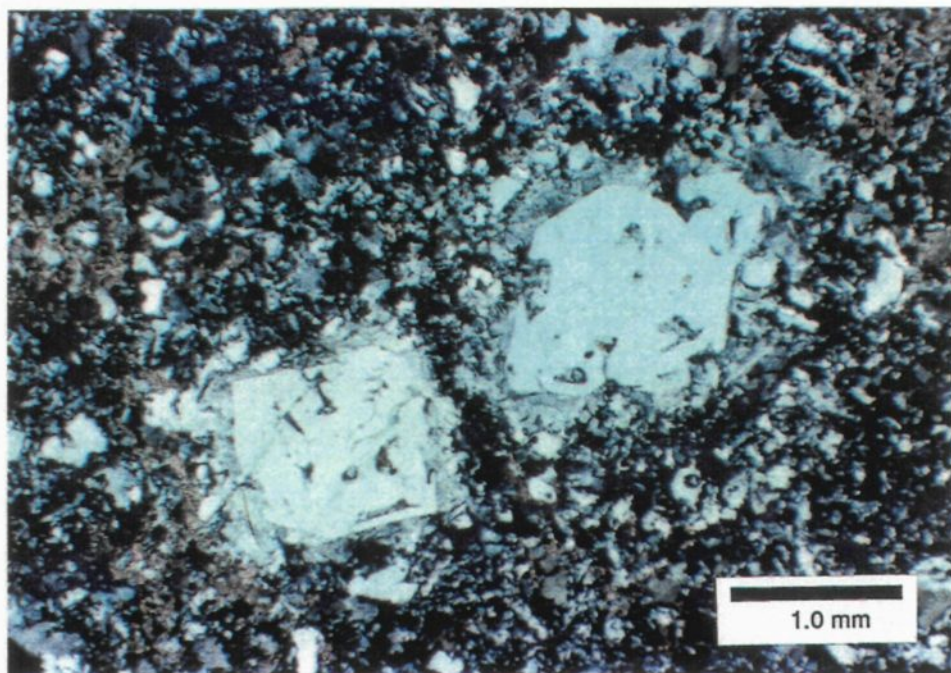
La zone de bordure est caractérisée par un assemblage de quartz-plagioclase-séricite-chlorite et de quelques minéraux accessoires. Le quartz se présente en cristaux isolés de forme bipyramidale, regroupés en amas ou éclatés. Ce phénomène d'éclatement ou fragmentation "in-situ", observé à quelques reprises, pourrait être d'origine magmatique (protoclase) ou relié à des contraintes ultérieures. Toutefois à cause de la déformation tectonique, plusieurs phénocristaux sont intensément fracturés et partiellement démembrés (Planche 6a) avec recristallisation inter-fragments. La fracturation de ces phénocristaux contribue à rehausser l'apparence clastique et granulaire de ces zones.

Ces phénocristaux de quartz présentent une extinction ondulatoire avec un pourtour jonché de petites baies résorbées. Le développement subtil d'une couronne de quartz ou d'albite amorphe (Planche 6b) apparaît autour de certains cristaux de quartz de 1 à 3 mm. Cette cristallisation de bordure est en continuité optique avec le cristal de quartz. La croissance annulaire autour de phénocristaux

PLANCHE 6



A) Photomicrographie de la rhyolite au sein de la zone de bordure de la cheminée montrant la fracturation et le démembrement d'un phénocrystal de quartz. Lumière naturelle.



B) Photomicrographie de la rhyolite en bordure de la cheminée d'altération montrant le développement subtil d'une couronne de quartz ou d'albite autour de phénocristaux de quartz. Lumière polarisée.

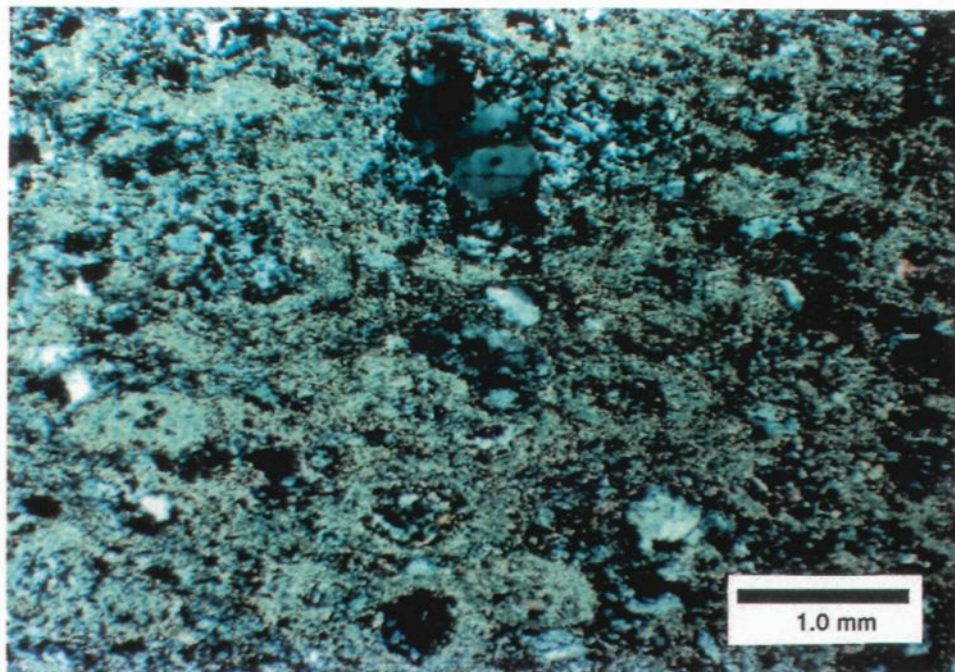
de quartz a également été observée au sein de matériel hydrothermal formant les monticules de sulfures récents de la région de "East Pacific Rise" (Alt et al, 1987).

Des vestiges de phénocristaux de plagioclase partiellement séricitisés baignent également dans la mésostase composée de quartz et plagioclase (An₇) dont la séricitisation est très prononcée. La séricite, terme généralement utilisé pour décrire un agrégat finement grenu de mica blanc, se retrouve généralement en fines paillettes légèrement pseudomorphosées par de la chlorite de teinte verdâtre.

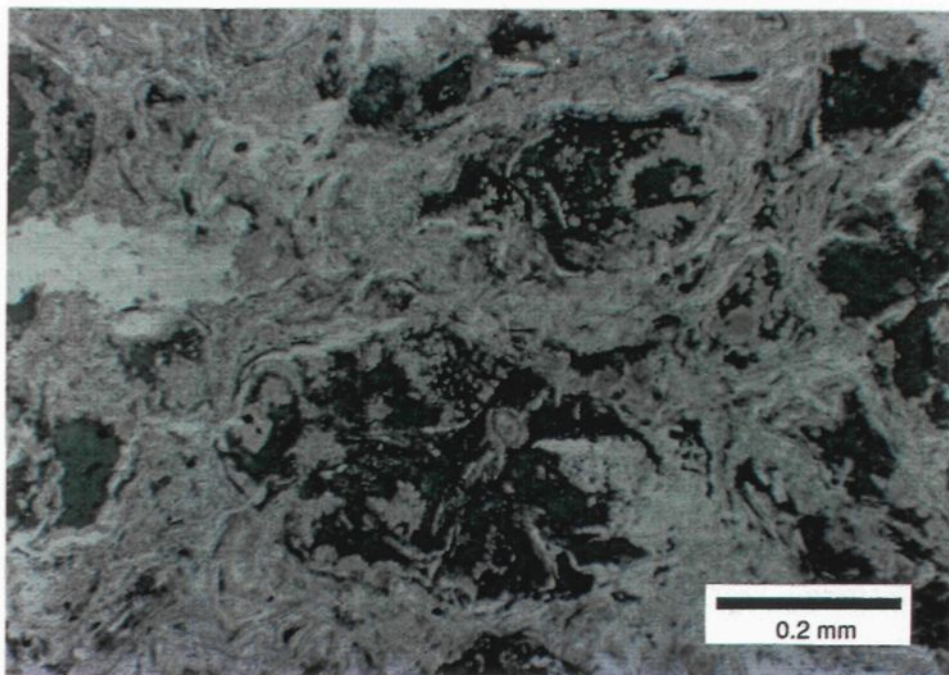
3.3.2 La zone intermédiaire

La zone intermédiaire est constituée d'un assemblage de séricite-chlorite-calcite ainsi que des vestiges de quartz et plagioclase. La séricitisation (Planche 7a) de la mésostase est quasi complète. Toutefois la chlorite semble pseudomorphoser, à degré variable, la séricite. Les amygdules de quartz et/ou de carbonate, lorsque présentes, sont généralement de forme sigmoïdale. C'est avec un arrangement interne de cristaux à jonctions triples que la majorité des amygdules peuvent être observées. La multiplication de couronnes autour d'un cristal de quartz se poursuit et l'individualisation de celles-ci semble limitée par la présence d'un mince horizon d'aspect détritique et de teinte plus foncée.

PLANCHE 7



A) Photomicrographie de la rhyolite de la zone intermédiaire montrant l'altération séricitique de la mésostase. Lumière polarisée.



B) Photomicrographie de la rhyolite à texture perlitique, typique de bordure de coulée, totalement chloritisée. Lumière polarisée.

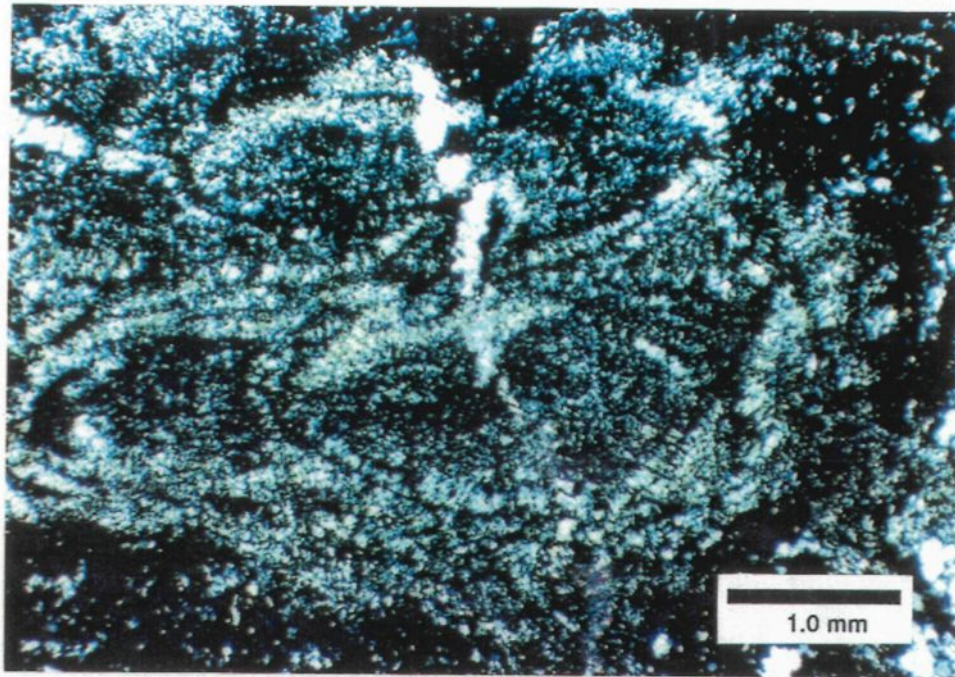
3.3.3 La zone centrale

Le coeur de la cheminée, ou zone centrale, est caractérisée par un assemblage de chlorite, sericite, de petites quantités de talc, leucoxène, des reliques de phénocristaux de quartz et des veinules de sulfures. Mégascopiquement, la rhyolite de couleur grisâtre lorsque "fraiche" est devenue de teinte verte et très schisteuse. C'est à l'intérieur de cette zone que l'on peut également observer la présence de fragments de rhyolite entièrement séricitisée .

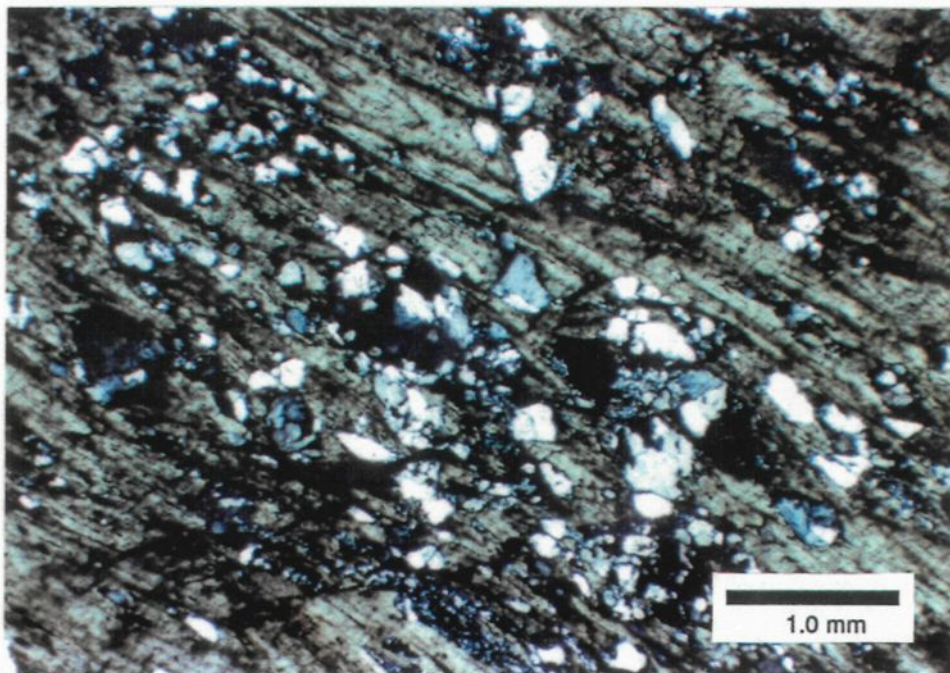
Des îlots de rhyolite particulièrement bien conservées montrent la présence de fractures perlitiques (Planche 7b) et de fragments de verre (0.5-1.0 mm) totalement chloritisés. Les fractures perlitiques sont majoritairement de forme concentrique (Planche 8a). Ces textures perlitiques et de dévitrification sont typiques des bordures de lobes rhyolitiques et sont, par surcroit, une indication de la nature initiale de la roche. La formation de ces fractures résulte de l'expansion du verre lors de l'hydratation et des contraintes résiduelles produites par le refroidissement. Ultérieurement, le mouvement de fluides le long de ces plans de faiblesse a favorisé l'altération du verre.

Les roches les plus altérées de la zone centrale semblent être systématiquement plus tectonisées que celles des zones externes et intermédiaires des conduits hydrothermaux. Ces zones tectonisées sont caractérisées par le développement d'une schistosité verticale qui oblitère les textures volcaniques primaires (Planche 8b). La comparaison entre une roche peu altérée et un équivalent très altéré est, dès lors, une tâche ardue. Toutefois la

PLANCHE 8



A) Photomicrographie montrant la forme concentrique des fractures perlitiques remplies de chlorite au sein d'îlots rhyolitiques préservés dans la cheminée d'altération. Lumière naturelle.



B) Photomicrographie de la rhyolite de la zone centrale de la cheminée d'altération. Notez l'apparence clastique et la forte shistosité de la lave chloritisée. Lumière polarisée.

préservation des textures perlitiques et de rares phénocristaux de quartz suggèrent que ces cas extrêmes sont représentatifs d'une même lithologie.

La figure 5 est un tableau qui résume les changements minéralogiques en fonction de l'intensité de l'altération.

Ainsi de la zone de bordure vers la zone centrale, la couleur de biréfringence de la chlorite passe graduellement d'une teinte verdâtre (chlorite magnésienne) à une couleur brunâtre puis bleutée (chlorite ferrifère). La chlorite associée aux veinules de sulfures est également de teinte bleutée et semble en certains endroits être pseudomorphosée par la chlorite magnésienne. Le contenu élevé en chlorite de la zone centrale donne un aspect feutré à la roche au microscope.

Des modifications texturales importantes sont également associées aux phénomènes d'altération. Ainsi les textures de dévitrification semblent s'intensifier avec l'altération par le développement de couronnes superposées de quartz ou d'albite autour d'un cristal de quartz. Le nombre de couronnes augmente avec l'intensité de l'altération. La planche 9(a) montre le phénomène de couronnes. L'augmentation de l'altération a aussi pour effet de rendre la texture de la roche moins homogène et lui donne ainsi un aspect pseudo-bréchique.

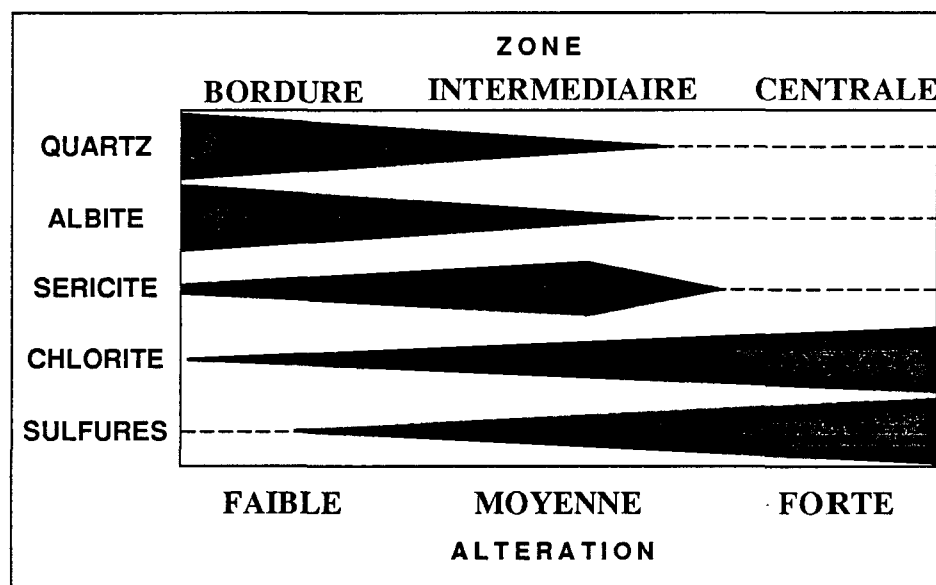
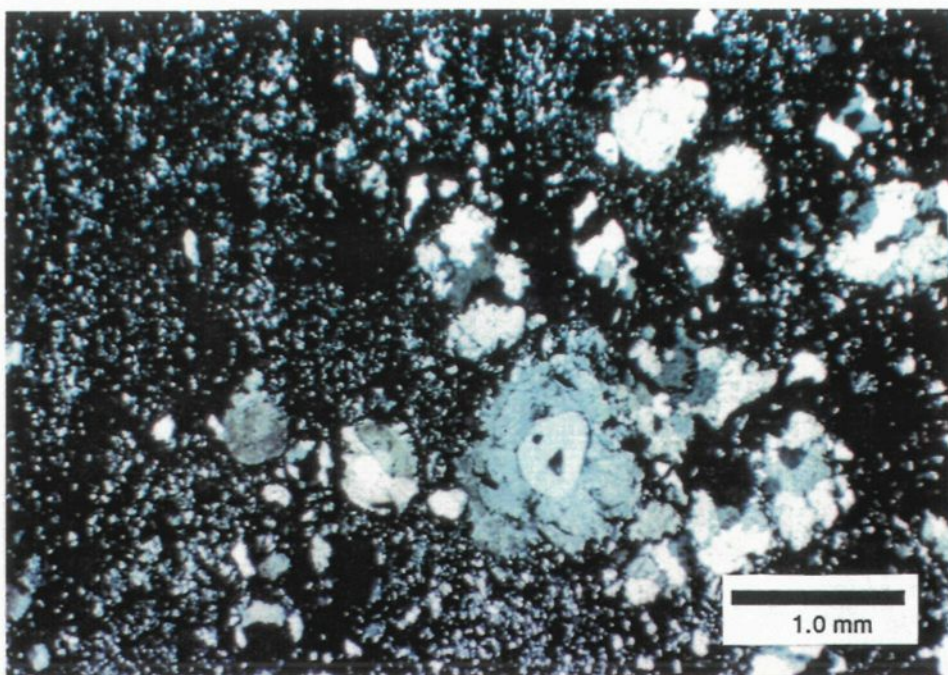


FIGURE. 5. Tableau schématique des variations minéralogiques de la rhyolite en fonction de l'intensité d'altération.

PLANCHE 9



A) Photomicrographie de la rhyolite altérée montrant le développement d'anneaux concentriques autour d'un phénocristal de quartz. Lumière polarisée.

3.4 Pétrographie comparative

Les cheminées d'altération qui sont associées au gisement de sulfures massifs volcanogènes de type Zn-Cu, montrent généralement un coeur chloritisé avec une enveloppe séricitisée (Franklin et al., 1981). Le gisement Isle-Dieu se conforme à ce modèle établi avec quelques variations. Une revue de la littérature concernant le camp minier de Matagami (Maclean, 1984) indiquent que les altérations associées à la formation de certains gîtes, tels Orchan (Clark, 1983), Mine Lac Mattagami (Roberts, 1966, Roberts, 1975, Costa et al., 1983), Bell Allard (Davidson, 1977, Maclean et Davidson, 1977), Radiore No 2 (Bonavia, 1981), Norita (MacGeehan et al., 1981), Lac Garon (Aftabi, 1980) et Phelps Dodge (Kranodiotis, 1985, Maclean et Kranodiotis, 1987, Maclean, 1988), sont similaires dans l'ensemble à celles faisant l'objet de cette présente étude.

Toutefois aucune évidence pétrographique ou analytique ne tend à confirmer les réactions de remplacement de la chlorite par le talc dans la cheminée, tel que suggéré par Roberts and Reardon (1978) pour le gisement Mine Lac Mattagami. Le talc y est généralement observé avec les veinules de sulfures ou dissimulé au sein de la minéralisation.

Le gîte Isle-Dieu montre des signes évidents de déformation au même titre que les gîtes Orchan, Lac Mattagami et Bell-Allard qui sont localisés sur le flanc sud de l'anticlinal de Galinée. Les cheminées d'altération associées à ces gisements sont orientées parallèlement à des structures de direction ouest-sud-ouest (Clark, 1983). L'intensité de la déformation est variable selon les gîtes respectifs.

ouest (Clark, 1983). L'intensité de la déformation est variable selon les gîtes respectifs.

La transposition des gisements sur le flanc nord, le long d'un grand couloir de déformation (Piché et al, 1990), rend difficile la comparaison de leurs cheminées d'altération respectives avec celle du gisement Isle-Dieu. Les différentes études menées dans ce secteur montrent des similitudes stratigraphiques et minéralogiques liées à la circulation de solutions hydrothermales minéralisatrices.

CHAPITRE IV

Chimisme général des rhyolites

4.1 Généralités

La présente étude a été centrée sur la variation des éléments majeurs et mineurs, dans et autour de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu. La géochimie des rhyolites sera donc employée pour visualiser la mobilité ou l'immobilité des éléments lors de l'interaction solution hydrothermale/rhyolite.

4.2 Echantillonnage

Préliminairement, quelques 253 échantillons ont été prélevés au sein de 114 trous de sondage qui se retrouvent sur la propriété de Isle-Dieu (Figure 4). Ils ont fait l'objet d'analyses chimiques par fluorescence-X (XRF) au laboratoire X-Ray Assays de Toronto pour les éléments majeurs et quelques éléments traces. L'annexe I présente les limites de précision analytique. Un second échantillonnage, au nombre de 39 échantillons, fût effectué de façon à permettre la visualisation des variations chimiques au travers de la cheminée d'altération et à l'extérieur de celle-ci. Tous ces échantillons ont été analysés au laboratoire précédemment cité pour les éléments majeurs, mineurs et terres rares.

La totalité des échantillons provient de l'unité rhyolitique sous-jacente à la "Tuffite Clef". La région ainsi échantillonnée couvre une superficie approximative de 1,6 kilomètres carrés. La maille d'échantillonnage dans la région étudiée est de 30 mètres pour l'environnement immédiat du gisement. Elle s'agrandit à plus de 240 mètres en s'éloignant de la masse minéralisée.

La position des échantillons a été reporté sur un plan horizontal sous le gisement afin de faciliter la mise en plan des résultats. Nous tenons également à souligner que des échantillons-témoins ont été insérés aux différents envois effectués au laboratoire afin de vérifier la justesse des analyses et obtenir un niveau de confiance satisfaisant des résultats.

Les résultats analytiques sont retrouvés respectivement à l'Annexe II et III pour les échantillons provenant des première et deuxième collectes respectivement. Le contenu de ces annexes n'a aucunement été filtré. Le traitement des données qui suivra est élaboré à partir des données brutes provenant du laboratoire afin que les résultats obtenus puissent être applicables par tout autre intervenant.

4.3 Caractéristiques de la rhyolite du Groupe de Lac Watson

La majorité des roches volcaniques et intrusives de la région de Matagami sont reconnues pour être d'affinité tholéiitique. Les travaux de Macgeehan, (1979), MacGeehan et Maclean, (1980a), Beaudry, (1984), Maclean, (1984) et Kranodiotis, (1985) ont permis de faire cette démonstration pour le camp minier de Matagami.

Le tri des résultats analytiques en relation avec certains critères pétrographiques, tels la préservation des textures ignées, le degré minimal d'altération et l'absence de veinules ou d'amygdules, ont permis d'isoler un groupe d'échantillons qui définit le caractère "frais" de la rhyolite. Le groupe d'échantillons est relativement éloigné(> 210 mètres) de la masse minéralisée.

Le diagramme $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ versus SiO_2 montre que le groupe d'échantillons de rhyolite se situe dans le champ des roches sub-alkalines (Figure 6). Sur le diagramme ternaire A-F-M (Figure 7), on les retrouve dans le champ tholéitique, près du pôle des alcalis. Le patron des terres rares permet de faire les mêmes constatations (Figure 8). Les éléments de terres rares normalisés à la chondrite des roches sous-jacentes au gisement sont caractérisés par un patron plat autour de 100 fois la chondrite, légèrement appauvri en terres rares lourdes avec une anomalie négative en Eu. Ce type de patron est typique des laves felsiques tholéitiques selon Leshner et. al. (1985).

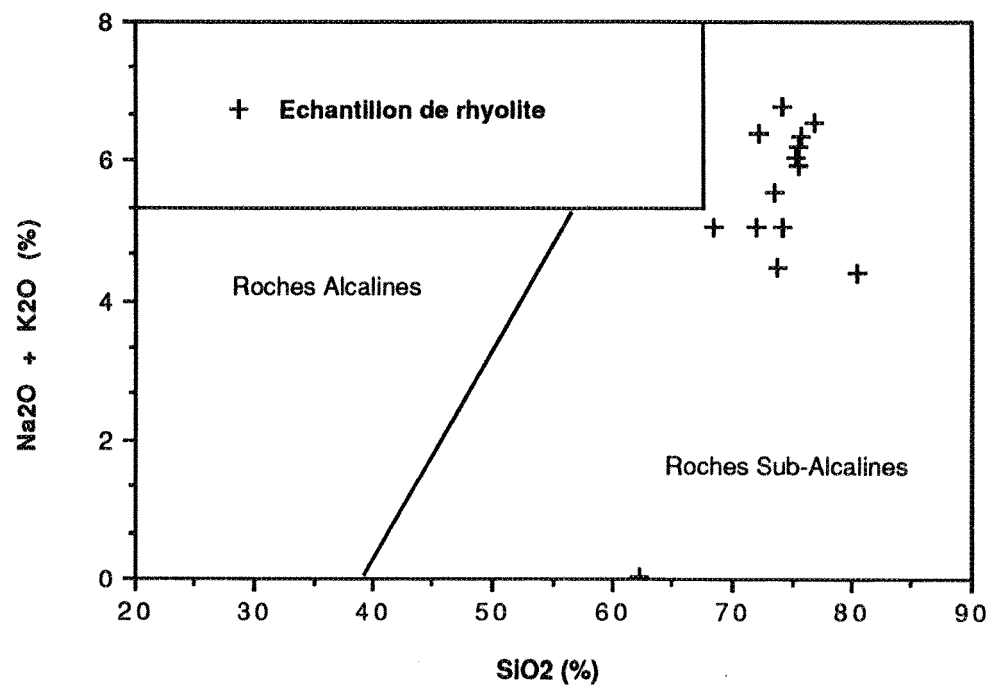


FIGURE. 6. Diagramme ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) vs SiO_2 (% poids) pour des échantillons de rhyolite localisés à plus de 210 mètres du gisement.

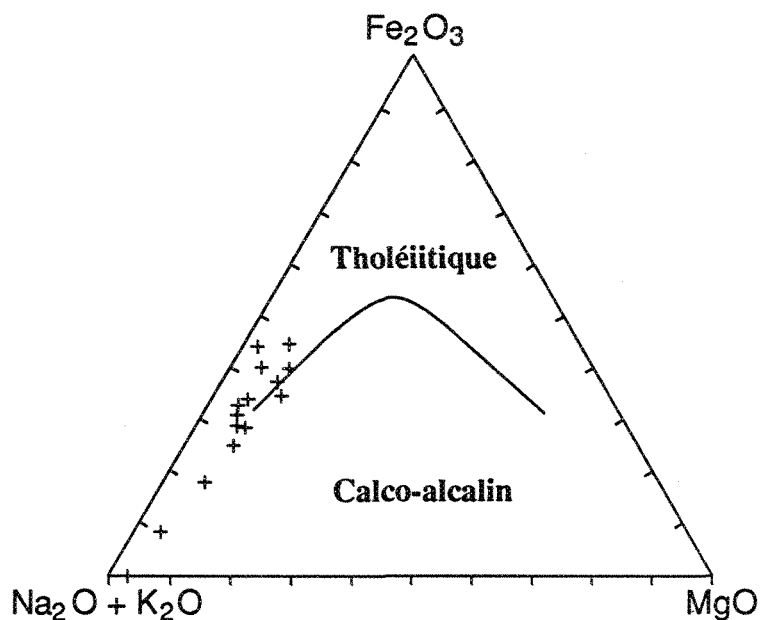


FIGURE. 7. Diagramme AFM pour des échantillons de rhyolite "fraiche". La ligne qui divise les champs tholéitique et calco-alcalin est d'après Irvine et Baragar (1971).

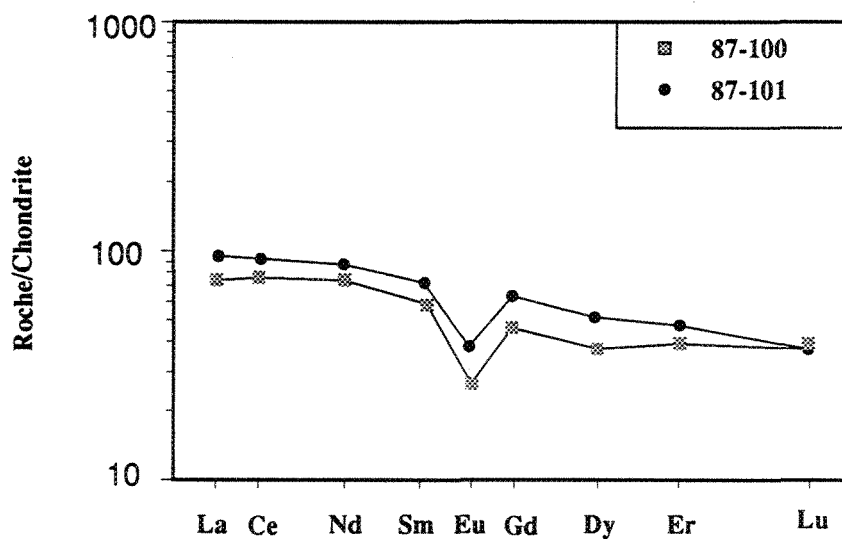


FIGURE. 8. Diagramme de caractérisation du patron des terres rares normalisées à la chondrite pour des échantillons de rhyolite non-altérées.

CHAPITRE V

Distribution et variation des éléments géochimiques

5.1 Généralités

L'altération des roches encaissantes qui accompagne la formation d'un dépôt minéralisé est un processus irréversible d'échanges chimiques entre les solutions hydrothermales et la roche hôte. Un nombre de composantes sont sélectivement lessivées de la roche encaissante et additionnées à la solution et vice-versa pour un groupe différent d'éléments chimiques. Il est évident que ce processus peut n'être canalisé que dans une seule direction. L'intensité des changements dépendra alors des compositions initiales la roche et du fluide et de la manière avec laquelle le fluide interagira avec la roche.

Plusieurs études relativement récentes (ex., Riverin et Hodgson, 1980; Franklin et al, 1981; Costa et al, 1983; Larson, 1984; Vance et Condie, 1987; Ashley et al, 1988; Peterson, 1988) ont fait état de ces transformations et ont reconnu leur utilité pour l'exploration.

La recherche de dépôts minéralisés est, dans la majorité des cas, gouvernée par des considérations qui permettent de croire au potentiel de la région investiguée. Il est reconnu que la géochimie des éléments majeurs et traces s'est avérée utile à l'exploration à l'échelle régionale. Toutefois à l'échelle du gisement, en particulier pour les gîtes du camp minier de Mattagami, il est difficile d'identifier clairement un ou des éléments qui pourraient être révélateurs de la proximité d'une minéralisation de type Zn-Cu.

5.2 Distribution des éléments

Les histogrammes de chacun des éléments majeurs et traces sont donnés à la figure 9. Pour les éléments mineurs, les histogrammes ont été tracés après transformation logarithmique des résultats en ppm. On reconnaît généralement une distribution lognormale pour ces éléments.

Un examen approfondi des histogrammes obtenus permet d'établir les constatations suivantes;

A) Bimodalité de certaines distributions (Ex: SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Na_2O , Sr).

B) Déformation de certaines distributions avec "skewness" positif indiqué par un appendice de la distribution logé du côté des hautes valeurs (Ex: Fe_2O_3 , MgO , MnO) et négatif lorsque l'appendice se retrouve du côté des basses valeurs (Ex: SiO_2).

C) Les éléments non-métalliques montrent des distributions régulières (Ex: Ba , Nb).

Il est à remarquer que les déformations de certaines distributions sont indubitablement reliées à l'altération qui, par conséquent, ajoute un mode à la distribution originale (Ex: Na_2O , SiO_2 , MgO)

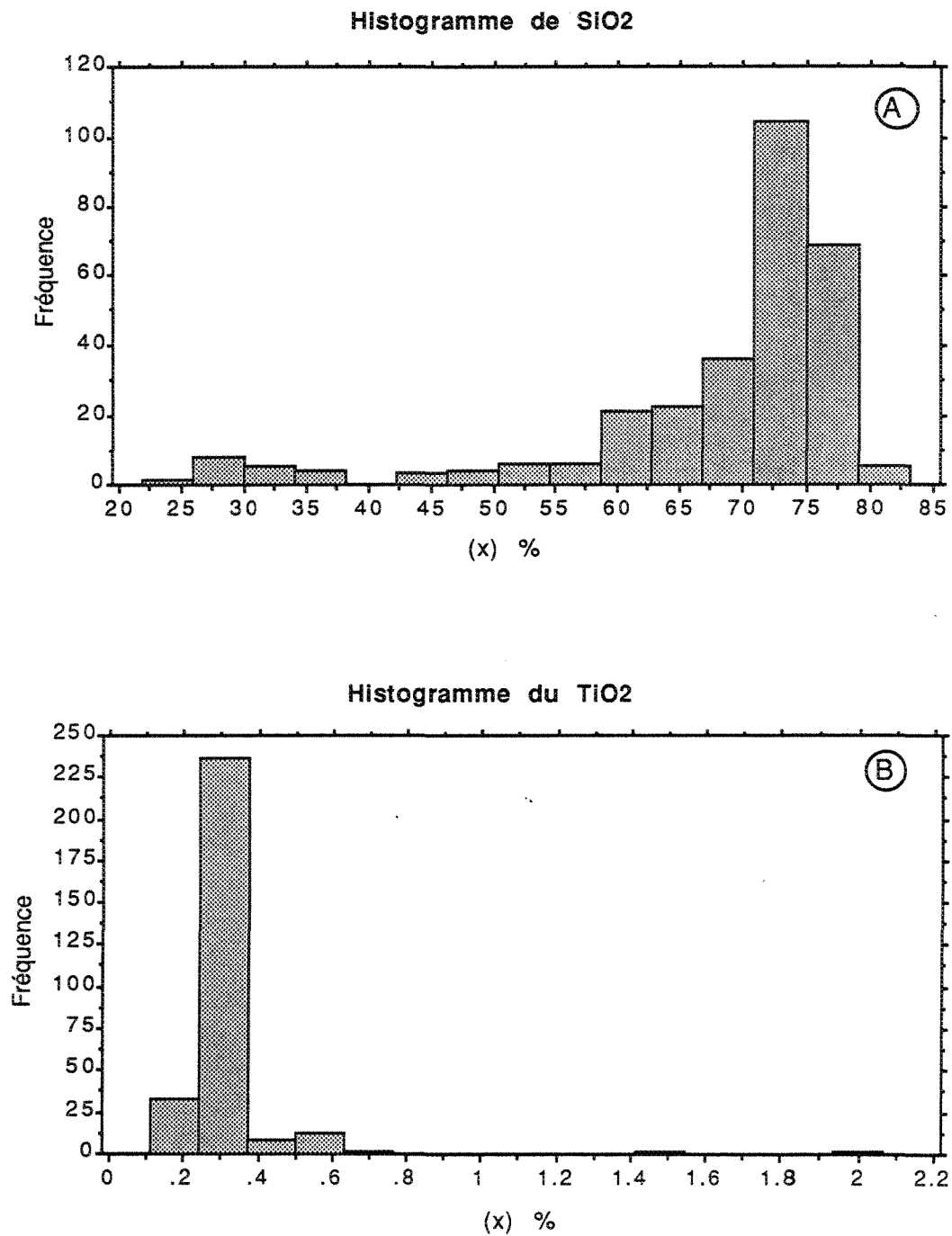


Figure. 9. Histogramme des éléments majeurs et mineurs. Les éléments majeurs sont en % poids et les éléments mineurs en ppm.

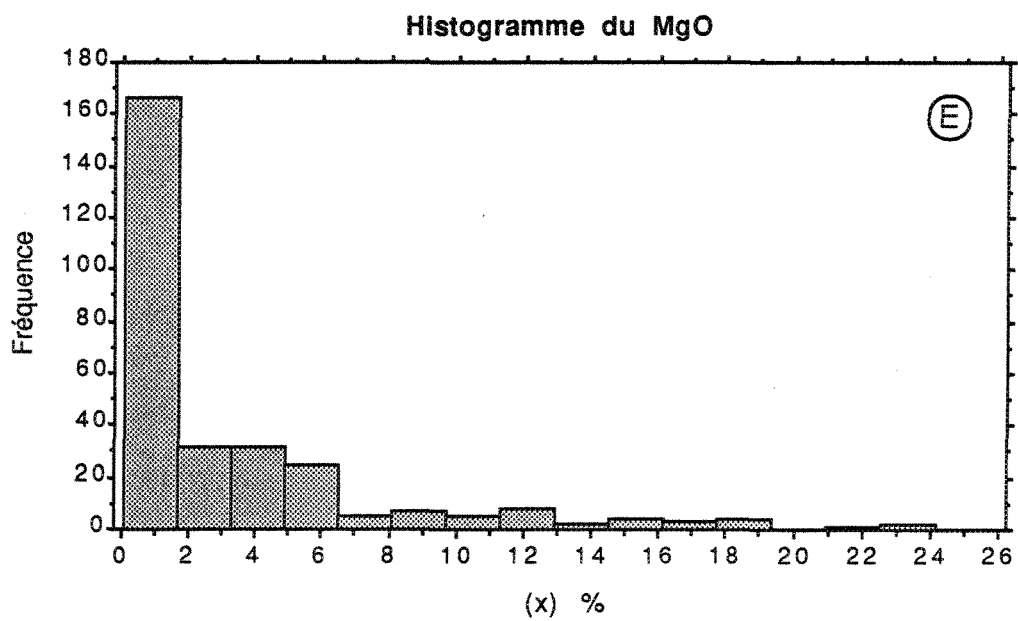
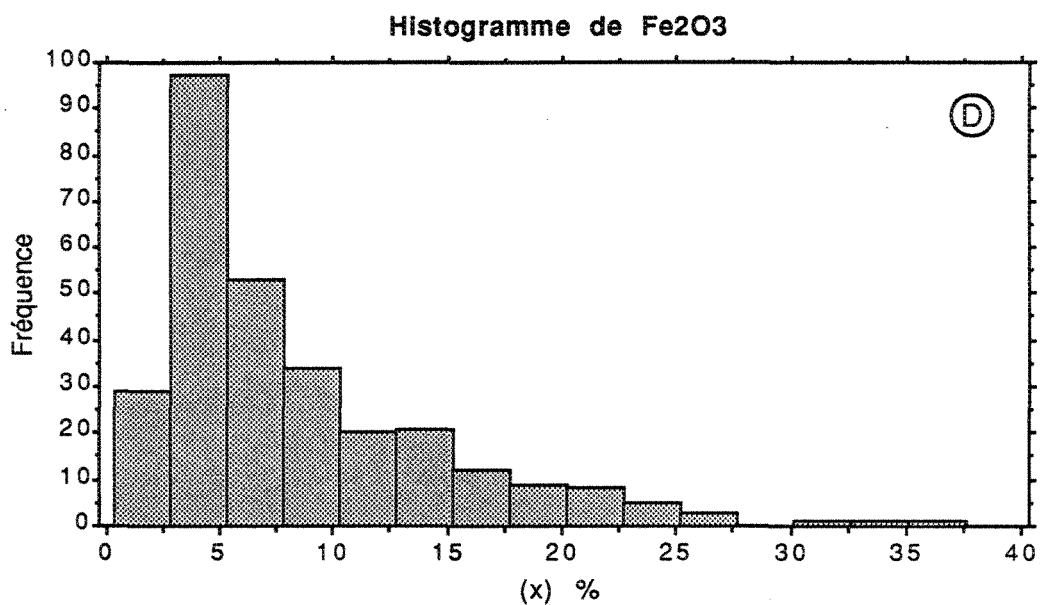
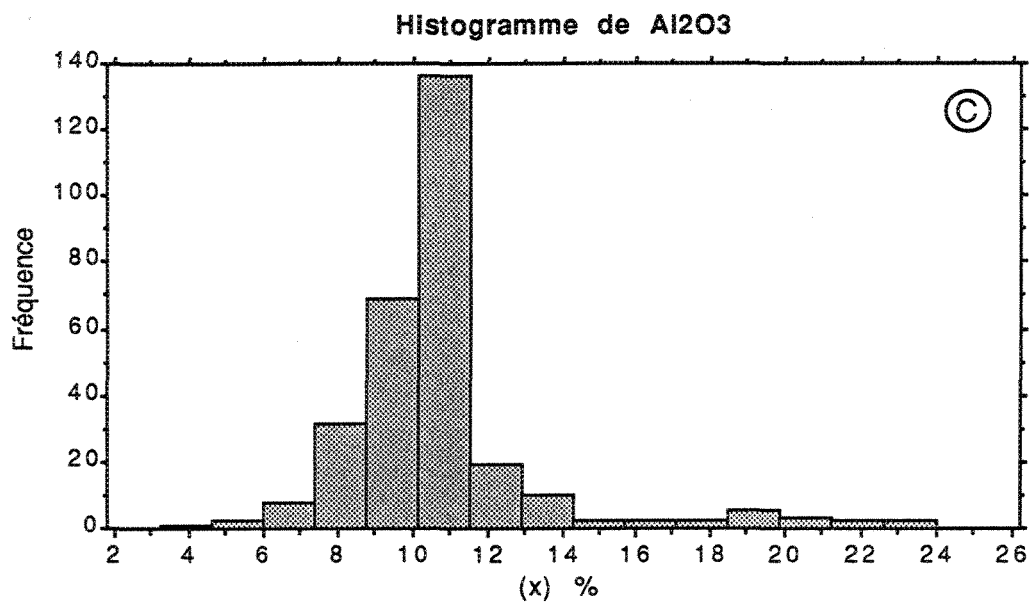


Figure. 9. (suite 1)

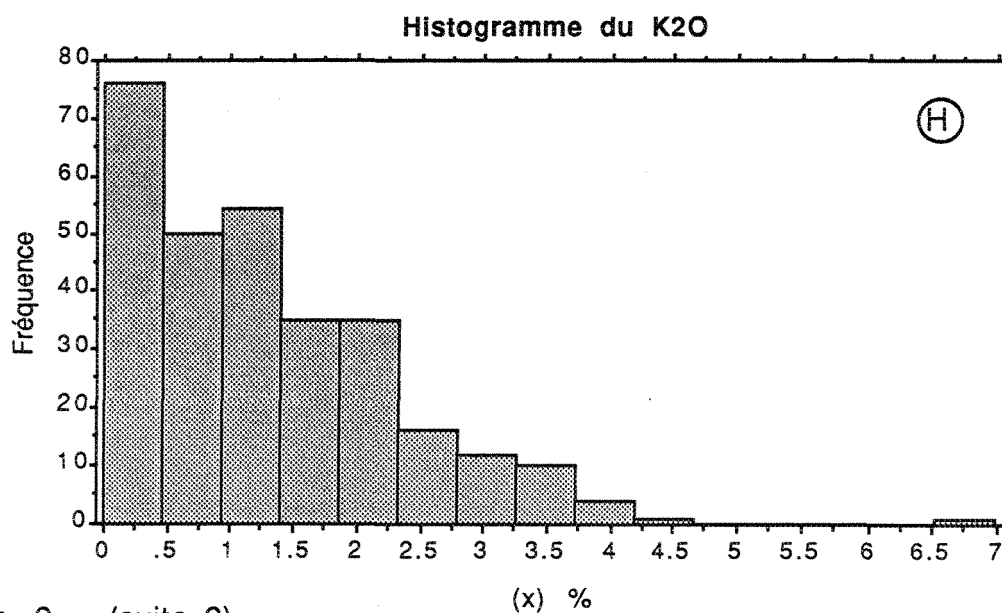
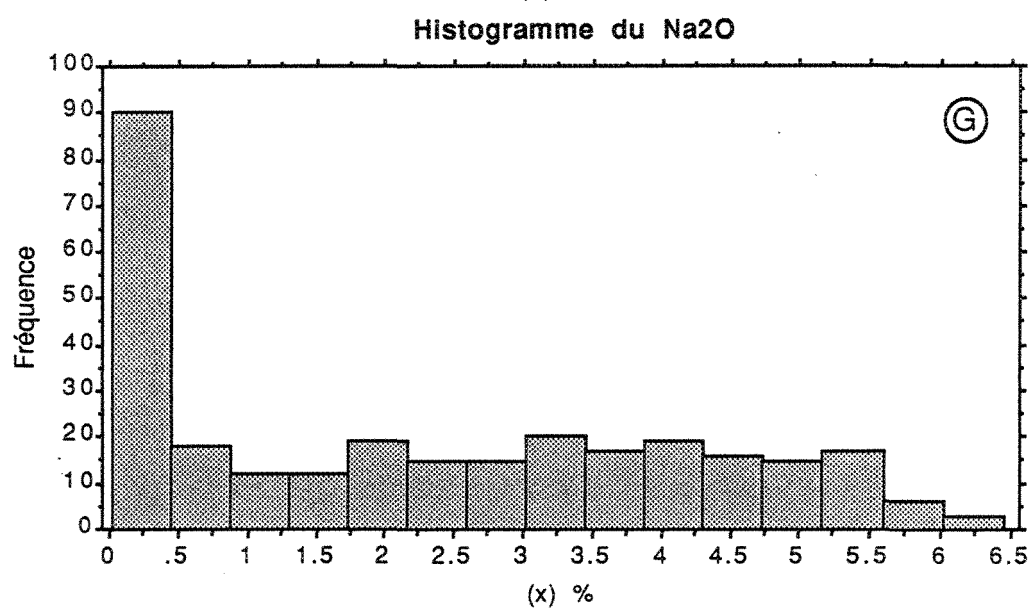
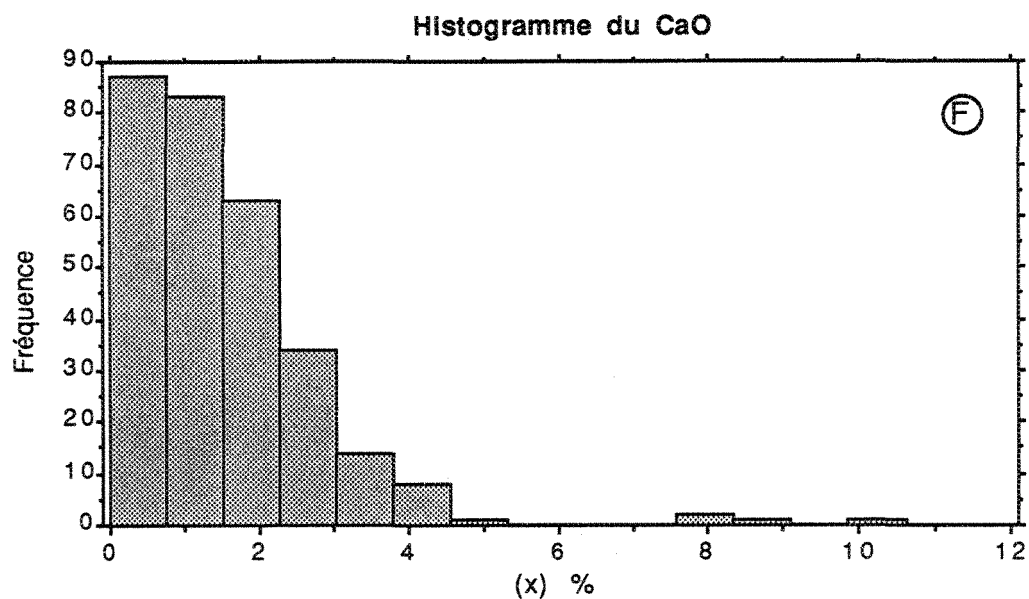


Figure. 9. (suite 2)

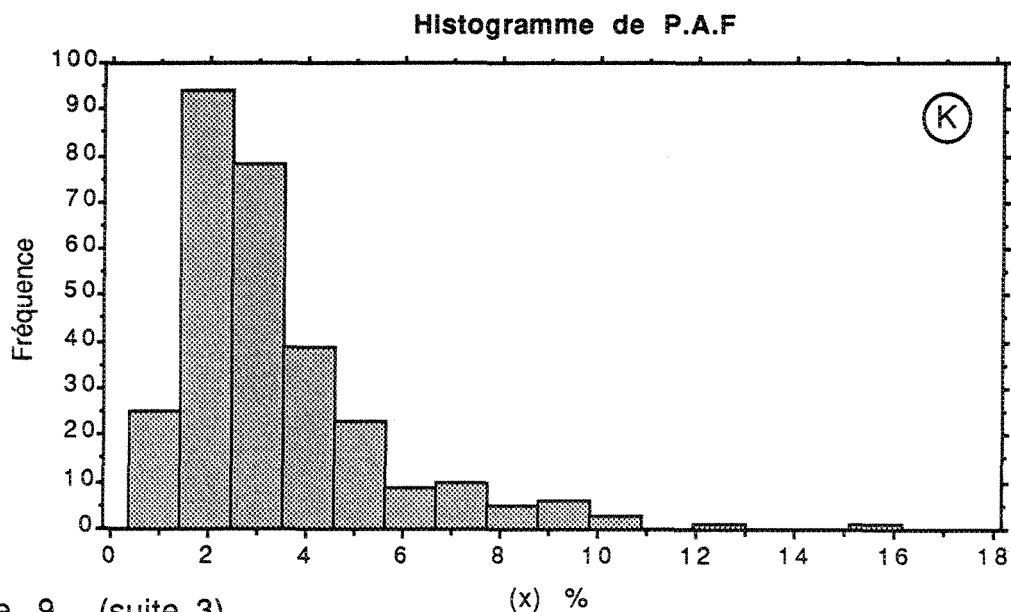
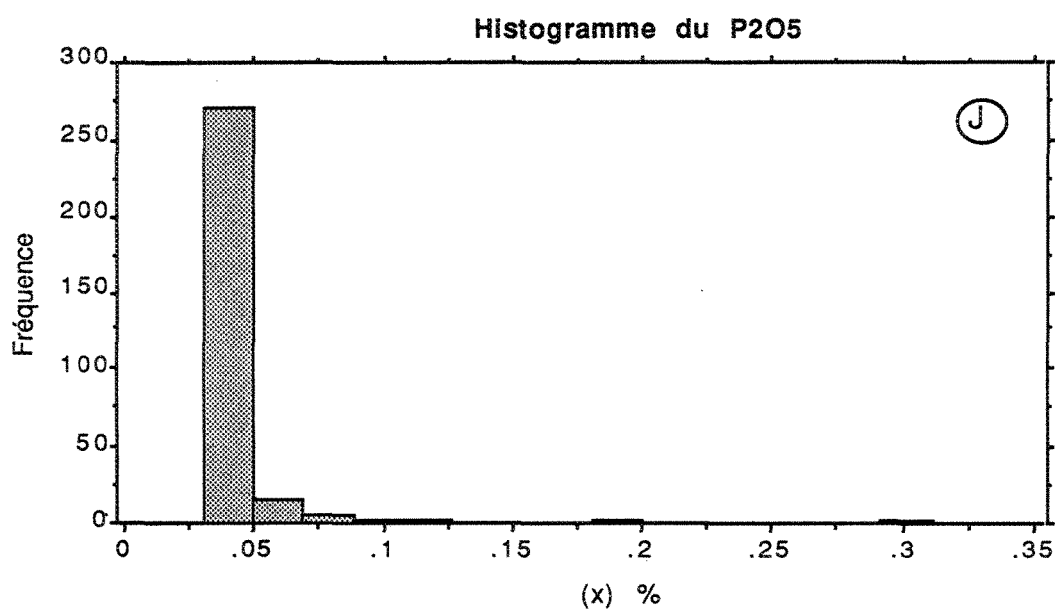
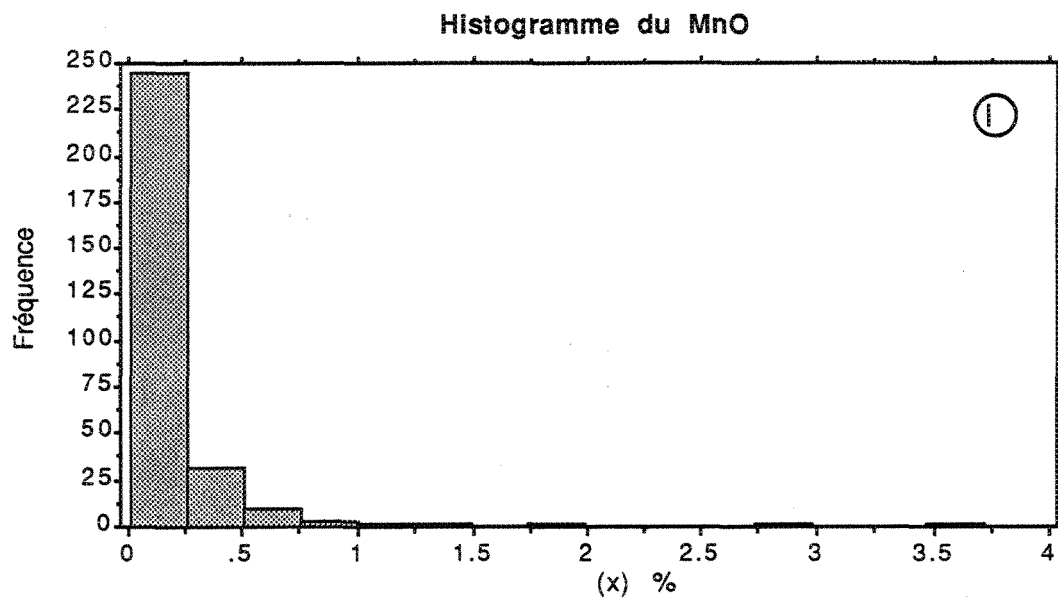


Figure. 9. (suite 3)

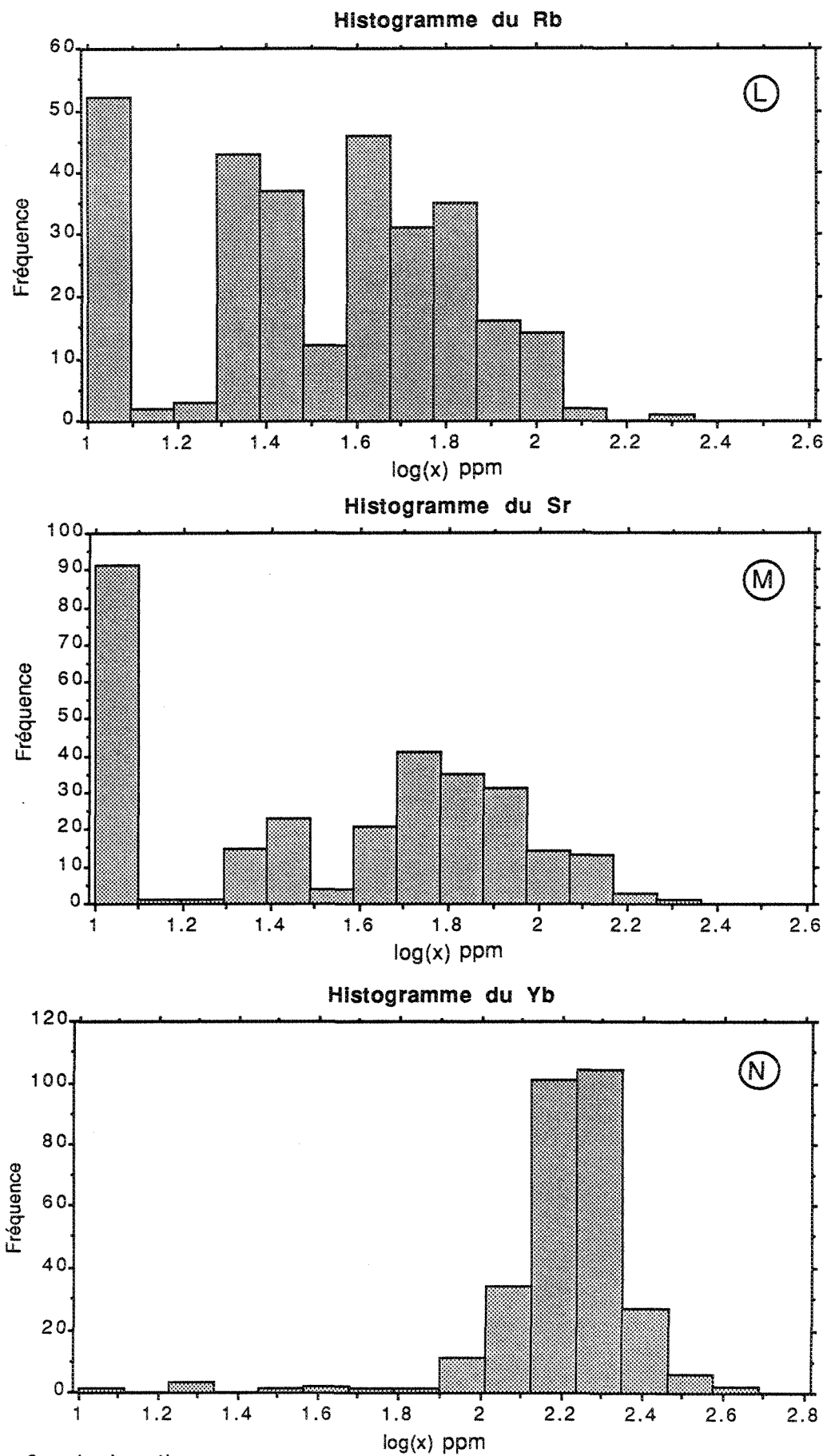
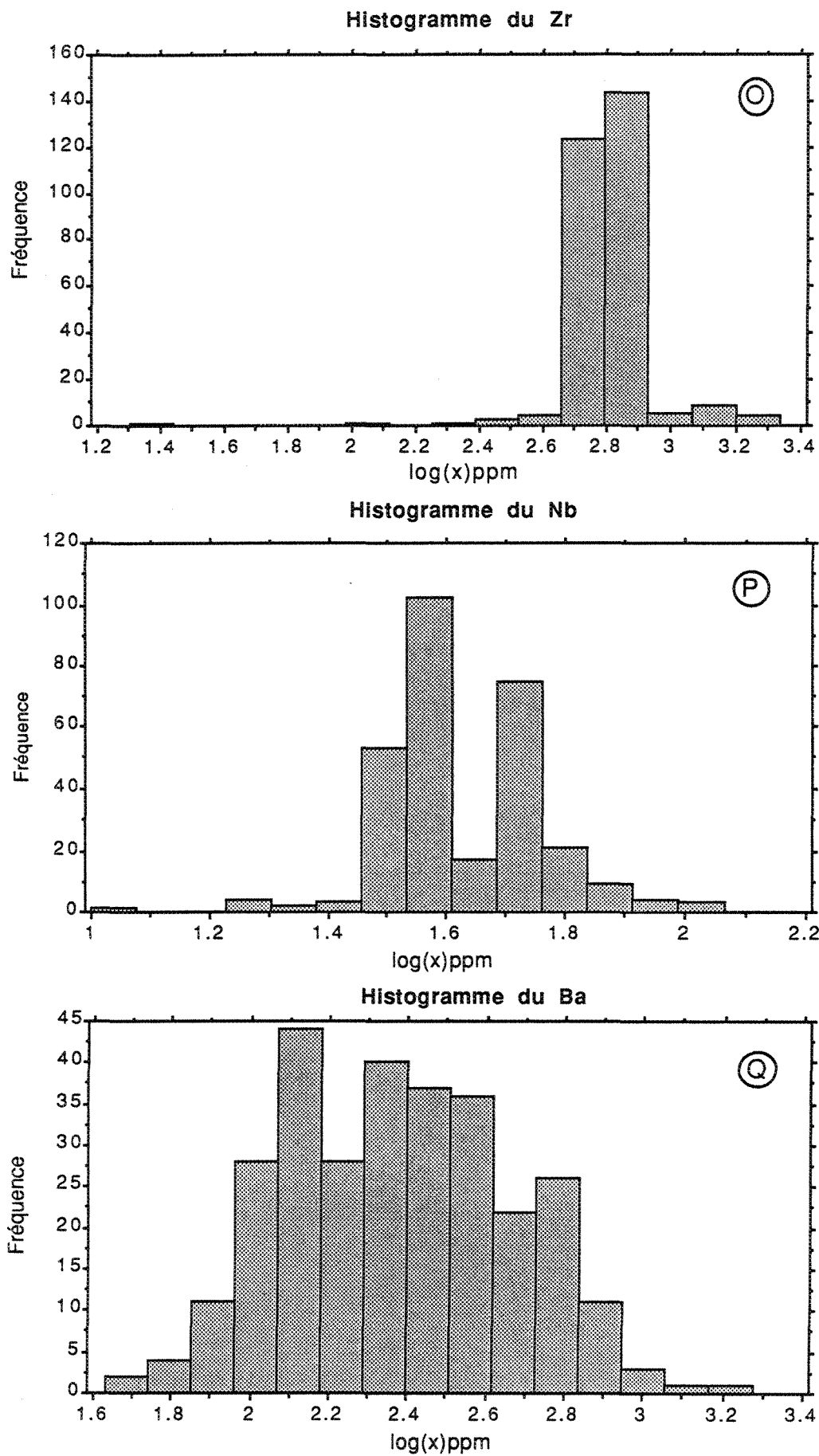


Figure. 9. (suite 4)



5.3 Variation des éléments majeurs

5.3.1 A l'échelle du gisement

L'intensité de l'altération des roches sous-jacentes au gisement Isle-Dieu fut classée par intervalles à l'aide d'histogrammes (Figure 9) et de diagrammes discriminants. Ainsi, en général, l'altération de la rhyolite est caractérisée par des pertes en SiO_2 , CaO , Na_2O et en une moindre mesure de K_2O . Ces pertes sont accompagnées par de fortes augmentations en Fe_2O_3 , MgO , MnO et en éléments volatiles à cause du contenu en H_2O de la chlorite. Les figures 10 et 11 montrent l'évolution géochimique des roches en fonction de l'intensité de l'altération. Le tableau 1 permet de visualiser les variations chimiques en fonction des transformations minéralogiques observées de la zone de bordure vers la zone centrale de la cheminée d'altération.

5.3.1.1 Zone de bordure et zone intermédiaire

Les variations chimiques sont caractérisées par un enrichissement constant en MgO , Fe_2O_3 ainsi qu'en éléments volatiles (paf) et par un appauvrissement en Na_2O , CaO et SiO_2 . Dans le cas du K_2O , on peut observer une croissance constante de son contenu jusqu'à la zone centrale et subséquemment une descente abrupte dans la zone fortement altérée. La séricitisation des plagioclases suivie de la chloritisation explique invariablement ces changements brusques.

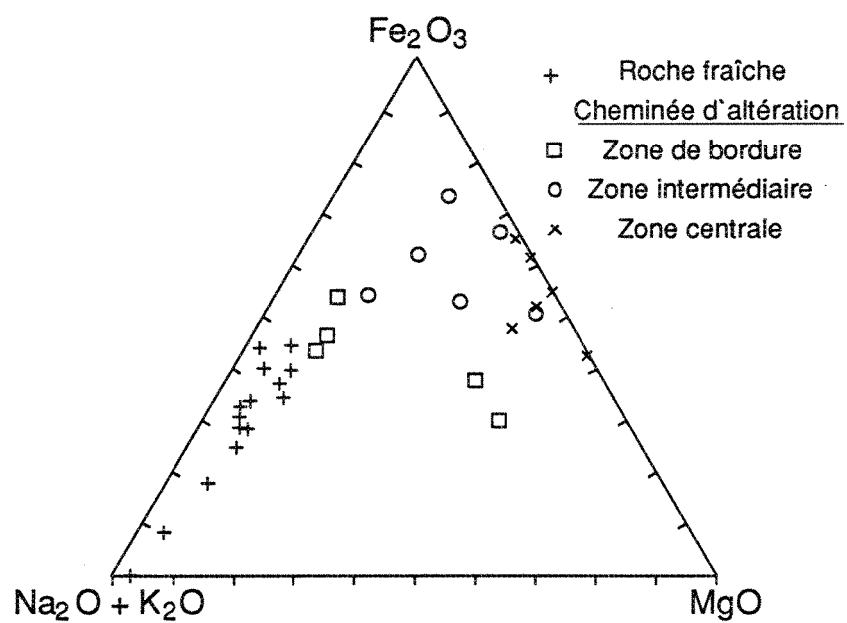


FIGURE. 10. Diagramme AFM montrant les variations chimiques provoquées par l'altération hydrothermale.

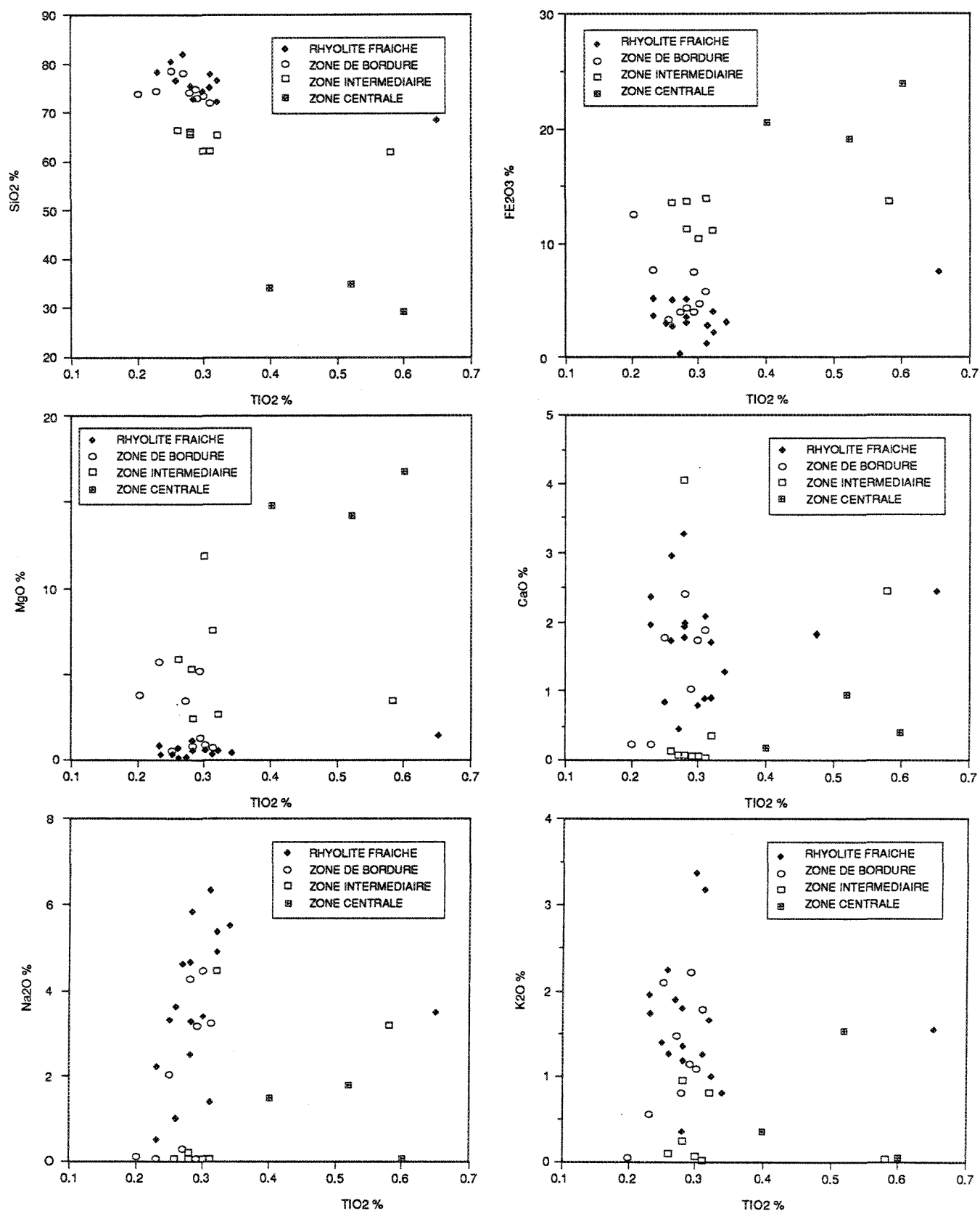


FIGURE. 11. Diagrammes binaires montrant l'évolution des éléments mobiles en fonction du titane que l'on suppose peu mobile.

TABLEAU. 1. Résumé des variations minéralogiques et chimiques entre l'équivalent non-altéré de la rhyolite et les différentes zones de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu.

| ZONE | MINERALOGIE | VARIATION CHIMIQUE | |
|------------------|---|---|---|
| | | GAIN | PERTE |
| 1) EXTERNE | QUARTZ PLAGIOCLASE | — | — |
| 2) BORDURE | QUARTZ SERICITE PLAGIOCLASE CHLORITE | MgO Fe ₂ O ₃ K ₂ O P.A.F | Na ₂ O CaO SiO ₂ |
| 3) INTERMEDIAIRE | SERICITE CHLORITE QUARTZ SULFURES | MgO Fe ₂ O ₃ K ₂ O P.A.F | Na ₂ O CaO SiO ₂ |
| 4) CENTRALE | CHLORITE SULFURES | Fe ₂ O ₃ , MgO P.A.F, Al ₂ O ₃ TiO ₂ , Zr Nb, Y T.R. | Na ₂ O, CaO SiO ₂ , K ₂ O Rb, Sr Ba |

5.3.1.2 Zone centrale

L'intérieur de la zone centrale, la zone à filonets de sulfures, connaît, quant à elle, des variations très importantes dénotées par des gains importants en MgO , Fe_2O_3 , MnO , Al_2O_3 et en éléments volatils. Des déficiences importantes en SiO_2 , Na_2O , CaO et K_2O y sont également observées. Il faut toutefois souligner que les variations du CaO , Na_2O et SiO_2 ne sont pas aussi abruptes que celles du MgO et Fe_2O_3 . Les travaux de Riverin et Hodgson (1980) avaient permis de faire les mêmes constatations pour la cheminée d'altération du gisement Millenbach.

Le changement graduel que l'on observe entre la zone de bordure et la partie centrale de la cheminée, indique que la zonation semble le fruit d'un gradient métasomatique gouverné par les solutions minéralisatrices. L'examen des différents tracés de contour de certains éléments (Figure 12 et 13), en particulier le SiO_2 , le MgO et le Fe_2O_3 , permet de renforcer cette constatation. Les variations chimiques ainsi représentées semblent circonscrites à des points de décharge individuels autour desquels l'altération a pu croître latéralement et possiblement verticalement. Ainsi l'étendue latérale de l'altération pourrait être gouvernée par la densité des conduits hydrothermaux.

La mise en plan des contours de variations chimiques a aussi permis de mettre en évidence un alignement des halos anomaux selon une direction sud-est nord-ouest et dans une moindre mesure selon une direction nord-est. Ces linéaments d'altération pourraient caractériser le contexte structural de mise en place de la minéralisation. En plus de définir présumément les points de sortie

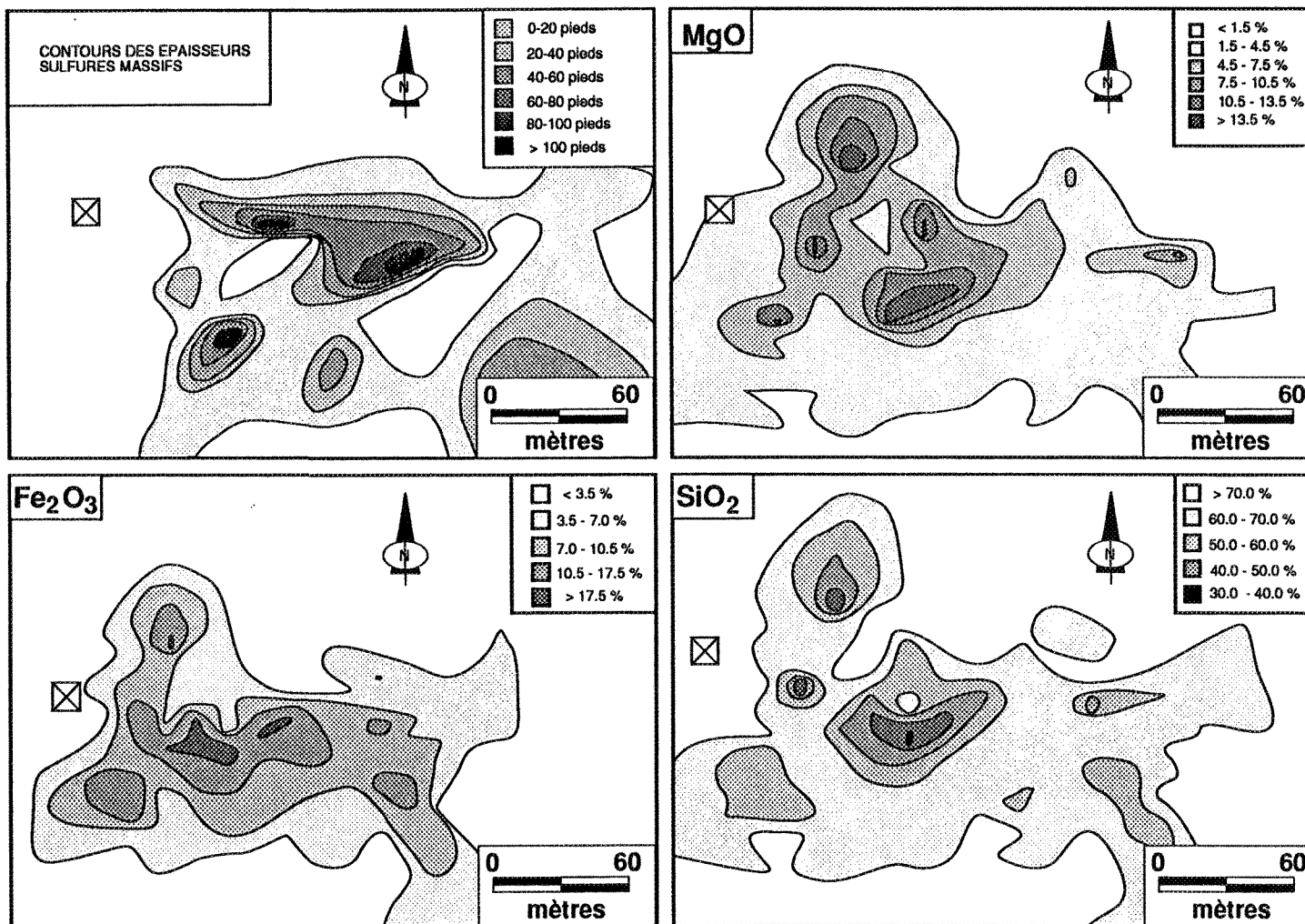


FIGURE. 12. Contours de variations géochimiques en plan qui montrent la géométrie de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu en fonction de l'épaisseur des sulfures sus-jacents.

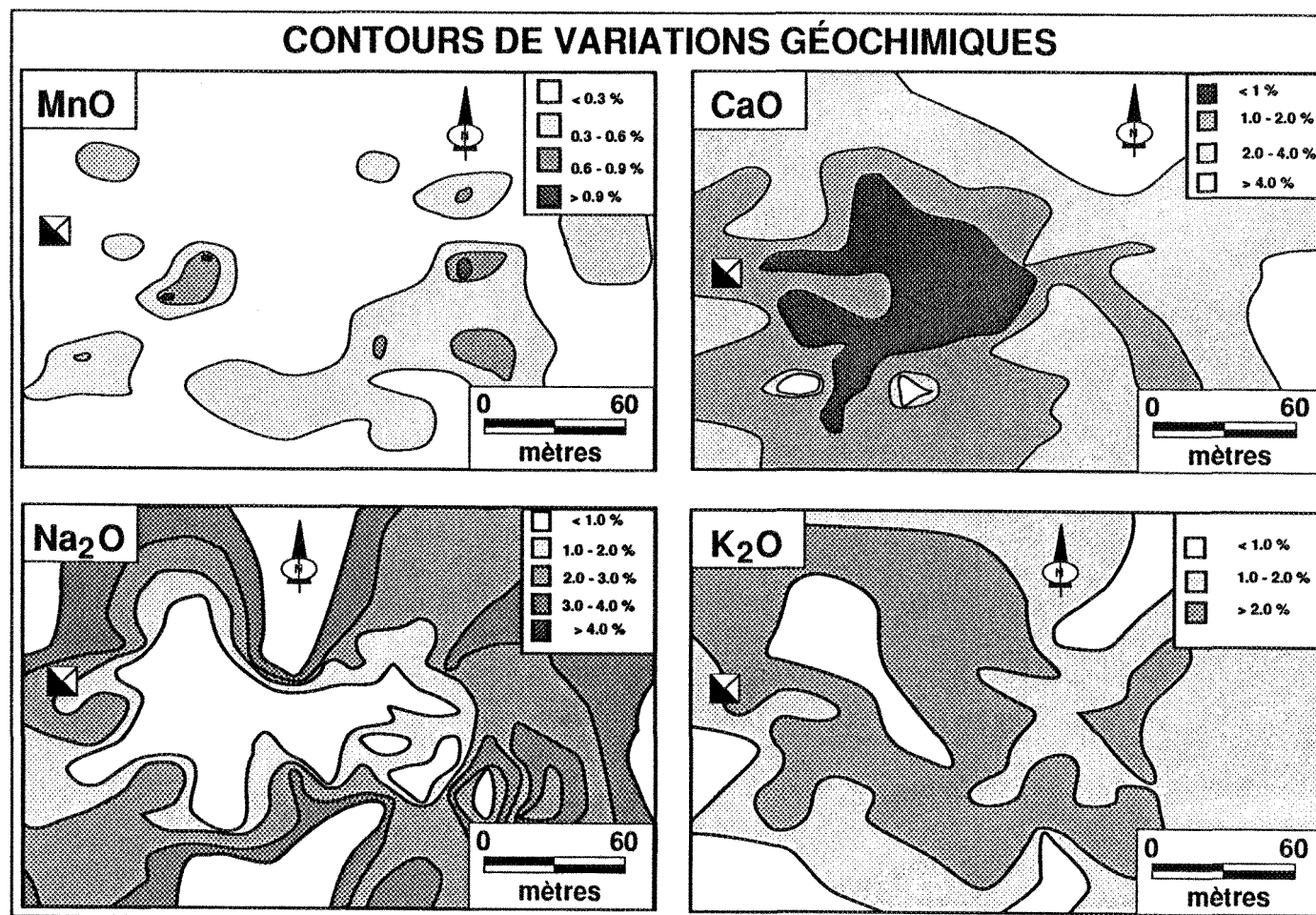


FIGURE. 13. Contours de variations géochimiques de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu.

des solutions minéralisatrices, les maxima ou les minima (selon le cas) des halos anomalous sont aussi en relation avec le maximum des épaisseurs de sulfures massifs rencontrés au sein du gisement Isle-Dieu.

L'indice d'altération d'Ishikawa ⁽¹⁾, tel qu'employé par Vance et Condie, (1987) pour le dépôt United Verde, Arizona, montre que la zone centrale a un indice variant de 41.8 à 99.6. Les zones intermédiaire et de bordure ont des valeurs moyennes se situant autour de 99.0 et 45.0 respectivement (Annexe III). Les échantillons qui se retrouvent à l'extérieur du périmètre de la cheminée d'altération montrent des valeurs variant entre 11.9 et 51.5.

5.3.2 A l'échelle de la propriété

La mise en plan des contours de variation de certains des éléments majeurs, de la densité et de l'indice d'altération d'Ishikawa à l'échelle de la propriété Isle-Dieu (Figure 14) permette de rehausser la présence de linéaments d'altération. Le K₂O et le Na₂O montrent respectivement un enrichissement et un appauvrissement suivant une direction sud-est. Le Na₂O est également marqué, au même titre que le CaO et le Fe₂O₃ dans une moindre mesure par des anomalies négatives suivant un axe nord-est. Ces linéaments d'altération pourraient être indubitablement reliés à des orientations préférentielles de canalisation des fluides hydrothermaux qui enrichissent ou

(1) L'indice d'altération d'Ishikawa est calculé par la formulation suivante:

$$((\text{MgO} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{MgO})) \times 100$$

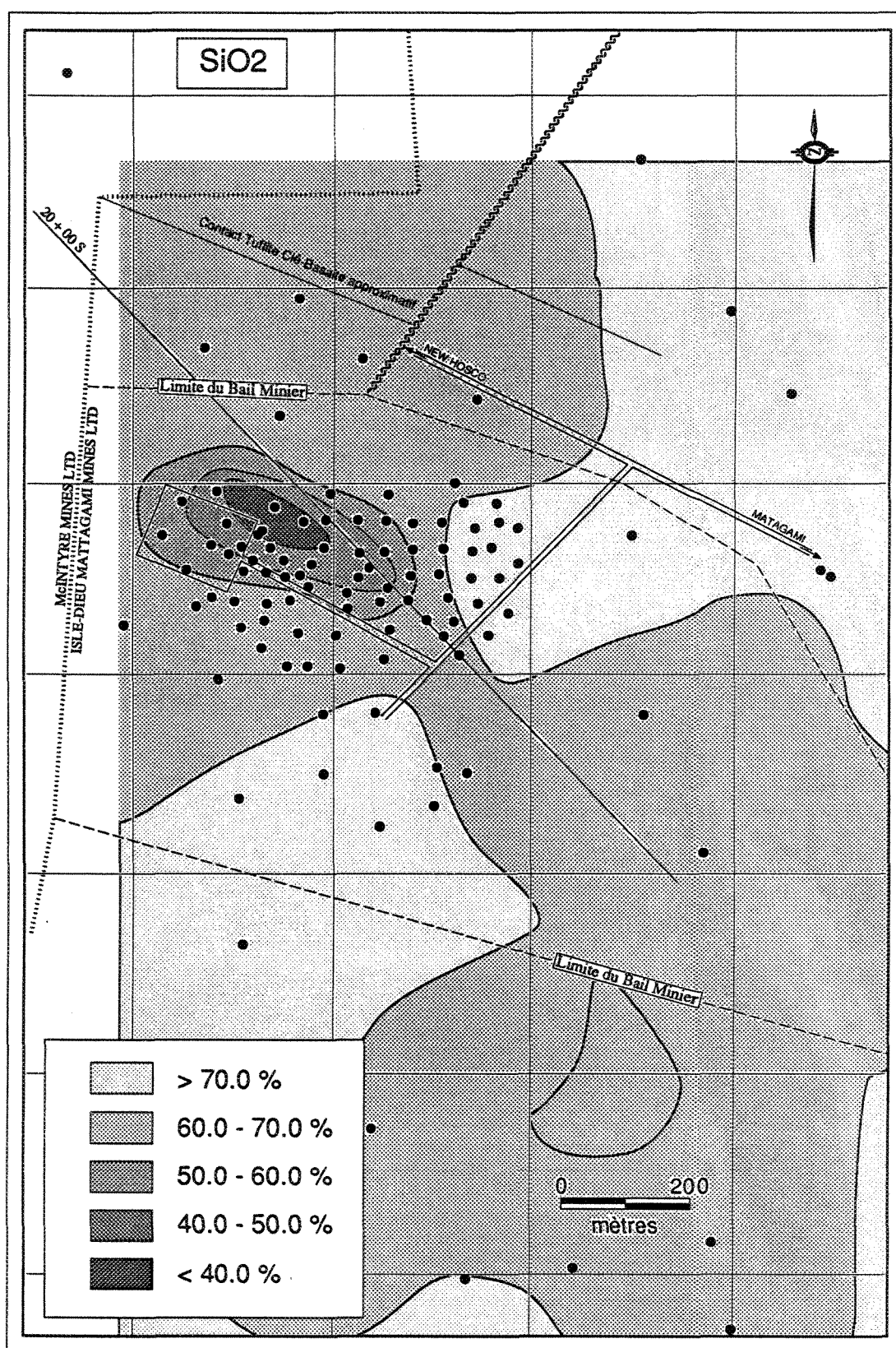


FIGURE. 14 Contours de variations géochimiques à l'échelle de la propriété Isle-Dieu.

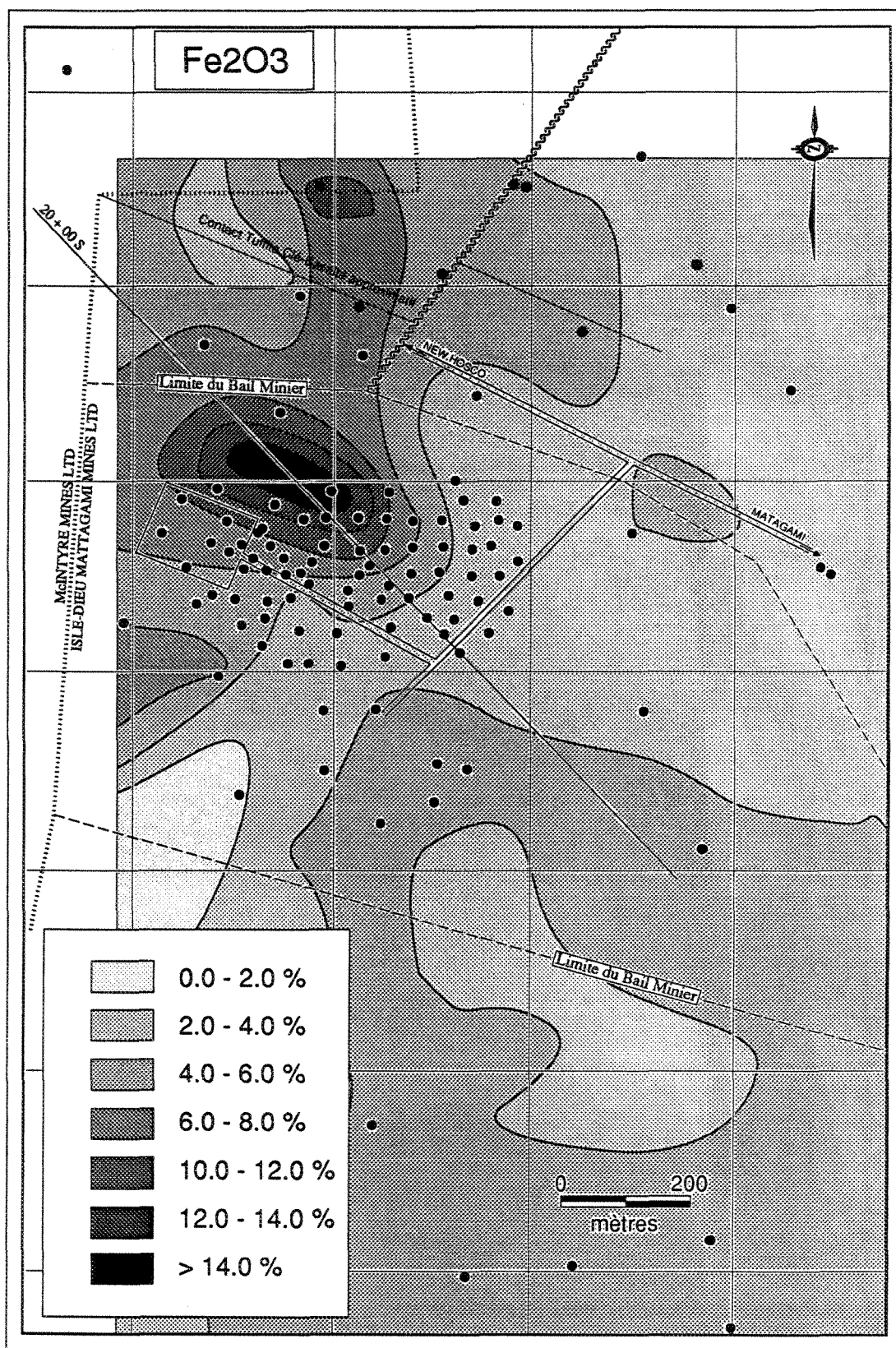


FIGURE. 14 (suite)

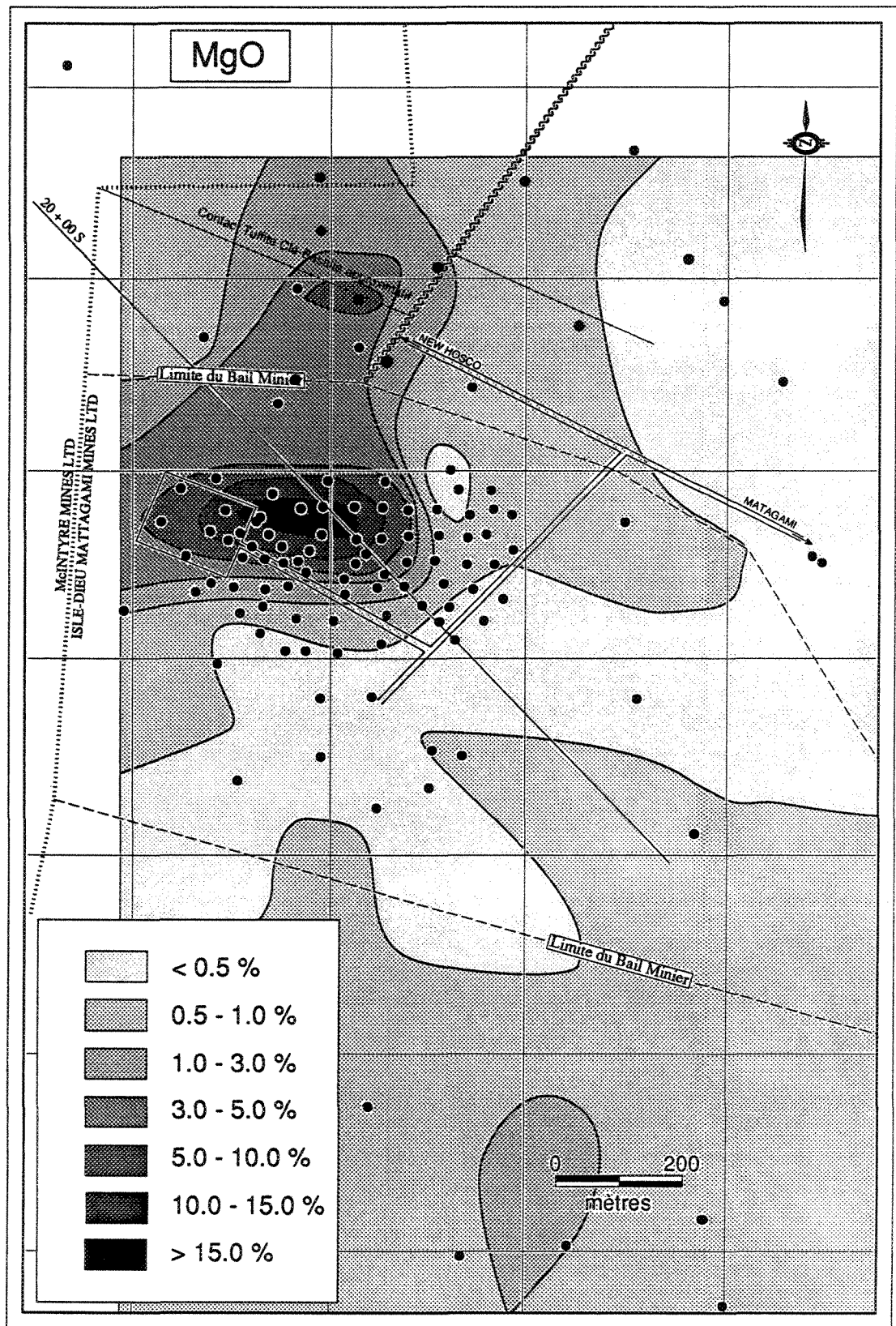


FIGURE. 14 (suite)

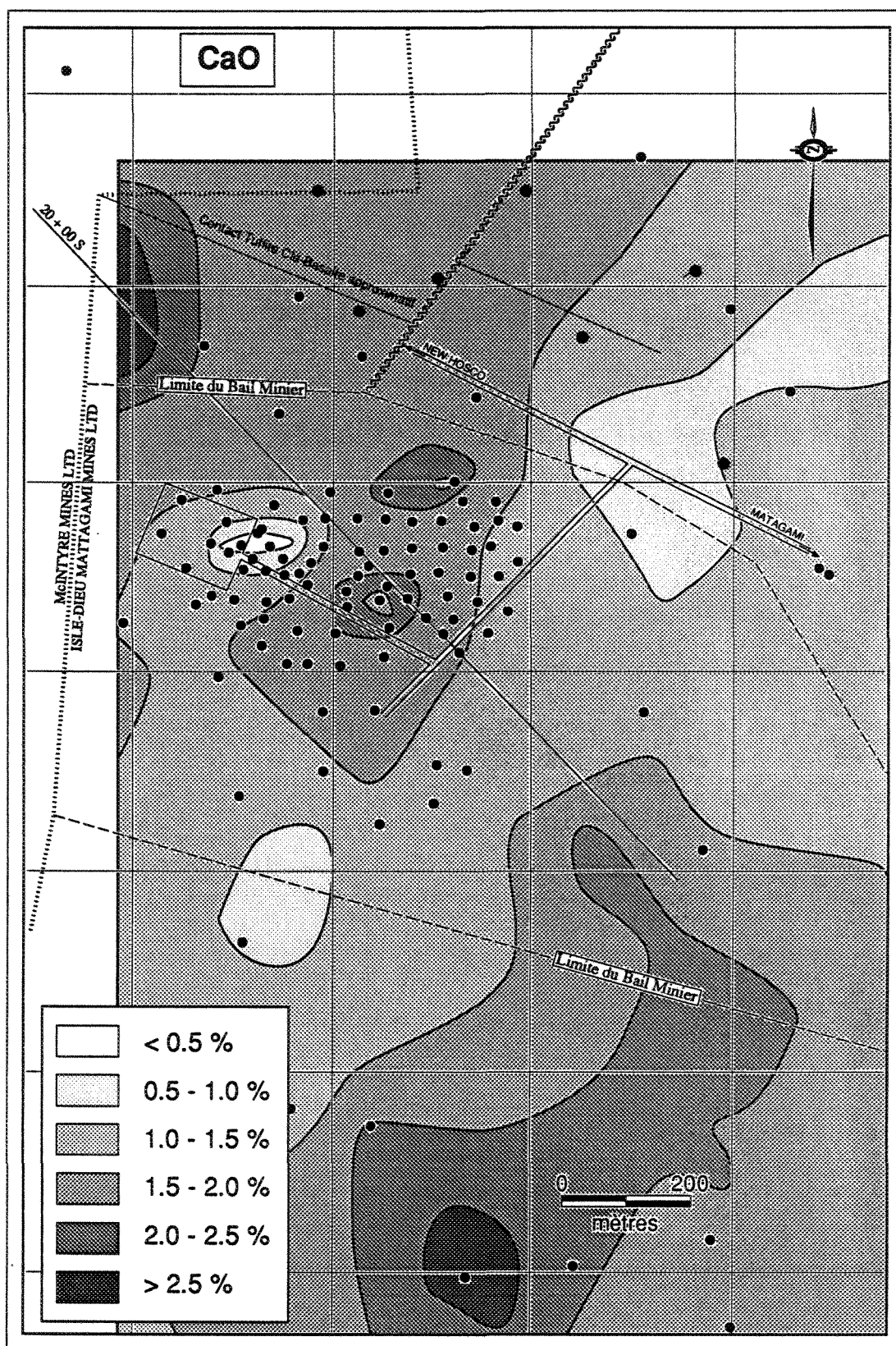


FIGURE. 14 (suite)

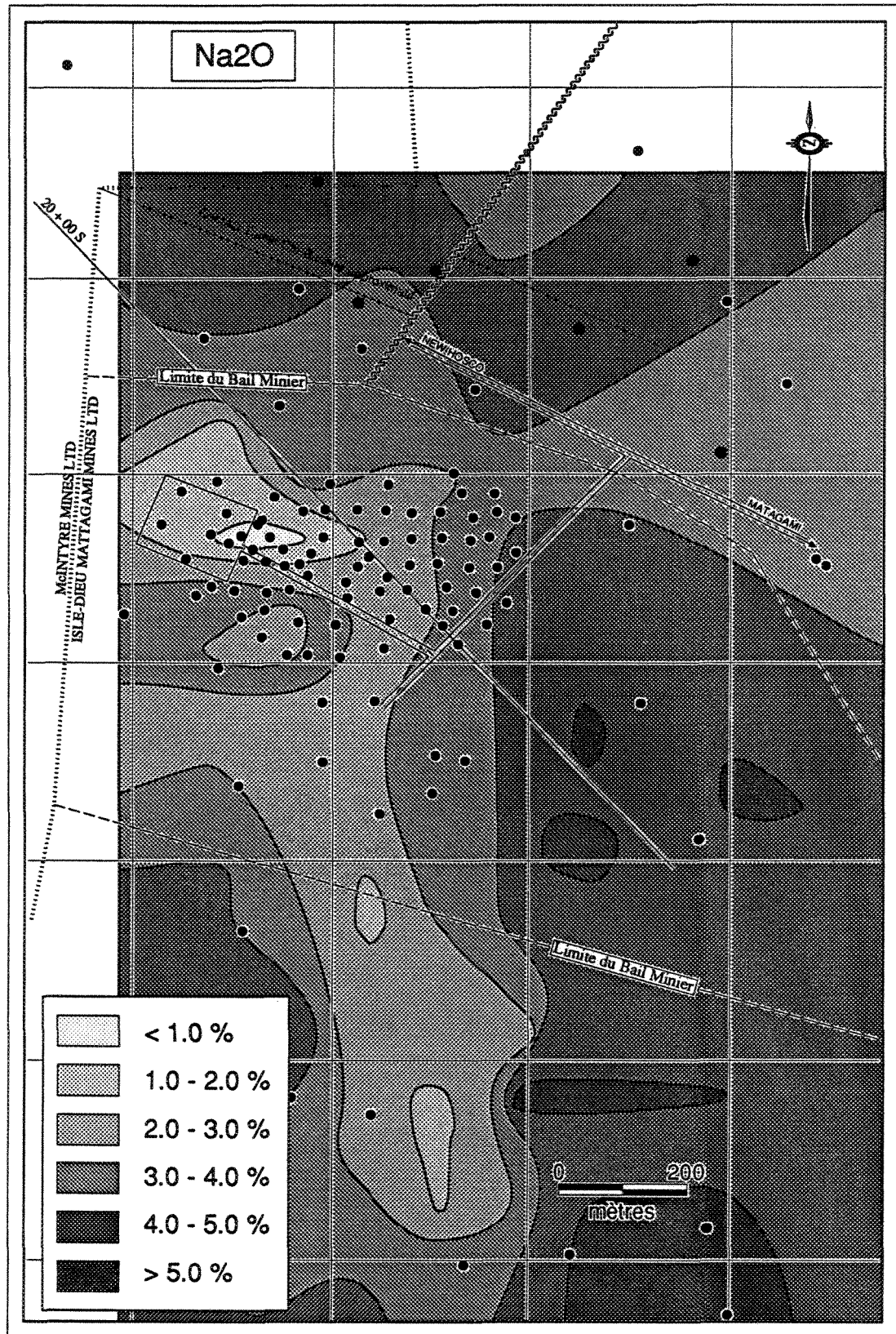


FIGURE. 14 (suite)

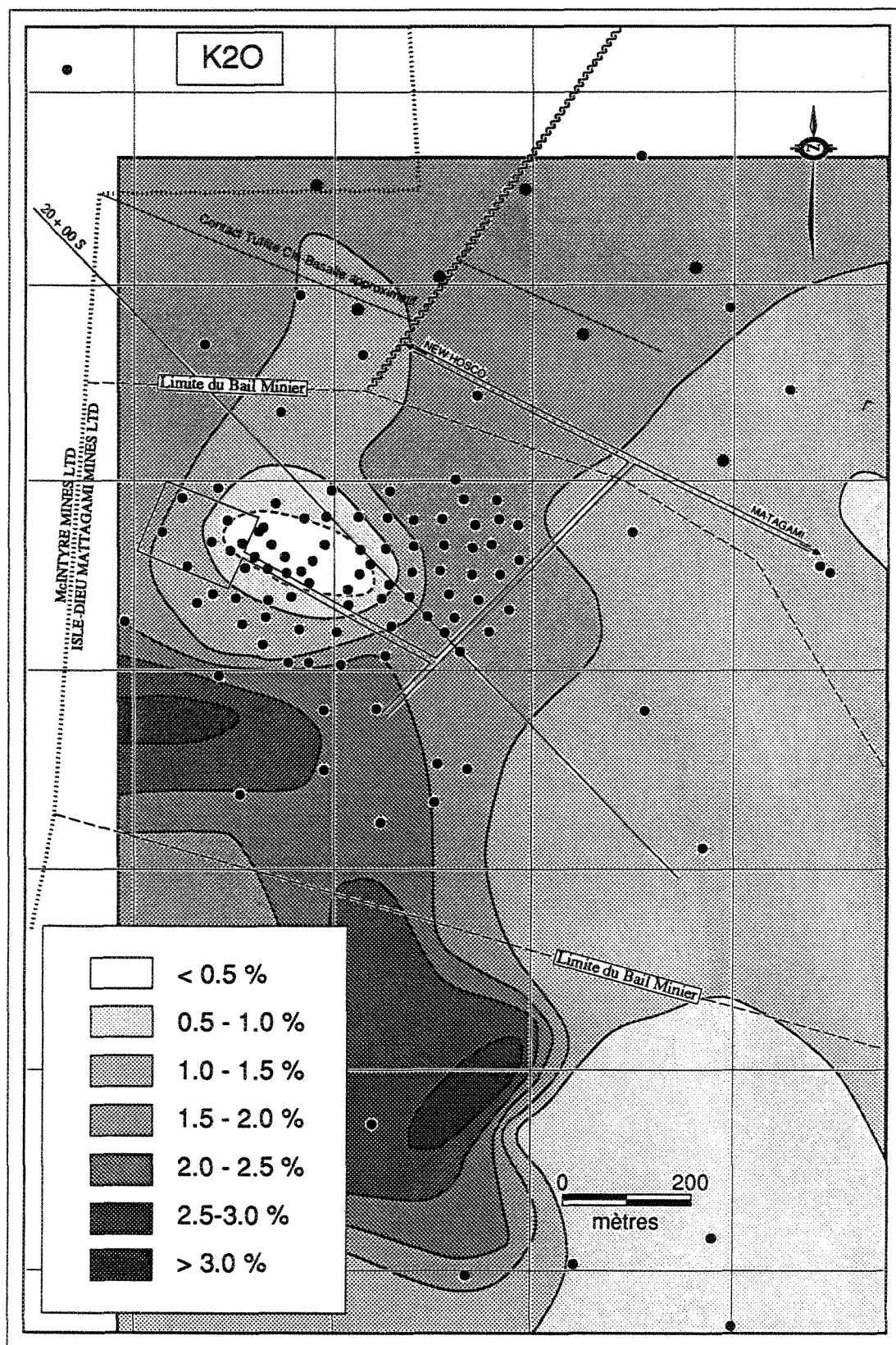


FIGURE. 14 (suite)

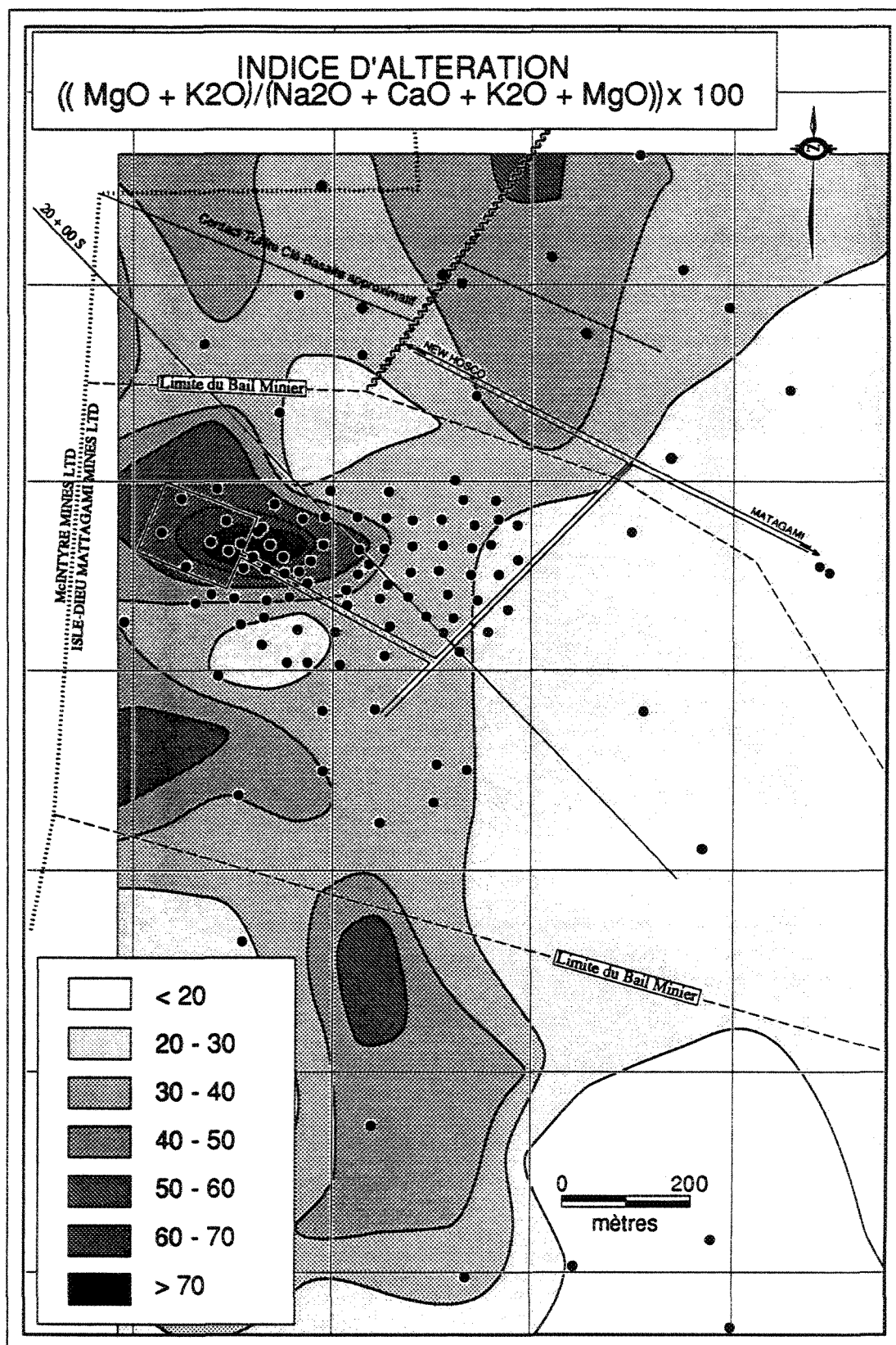


FIGURE. 14 (suite)

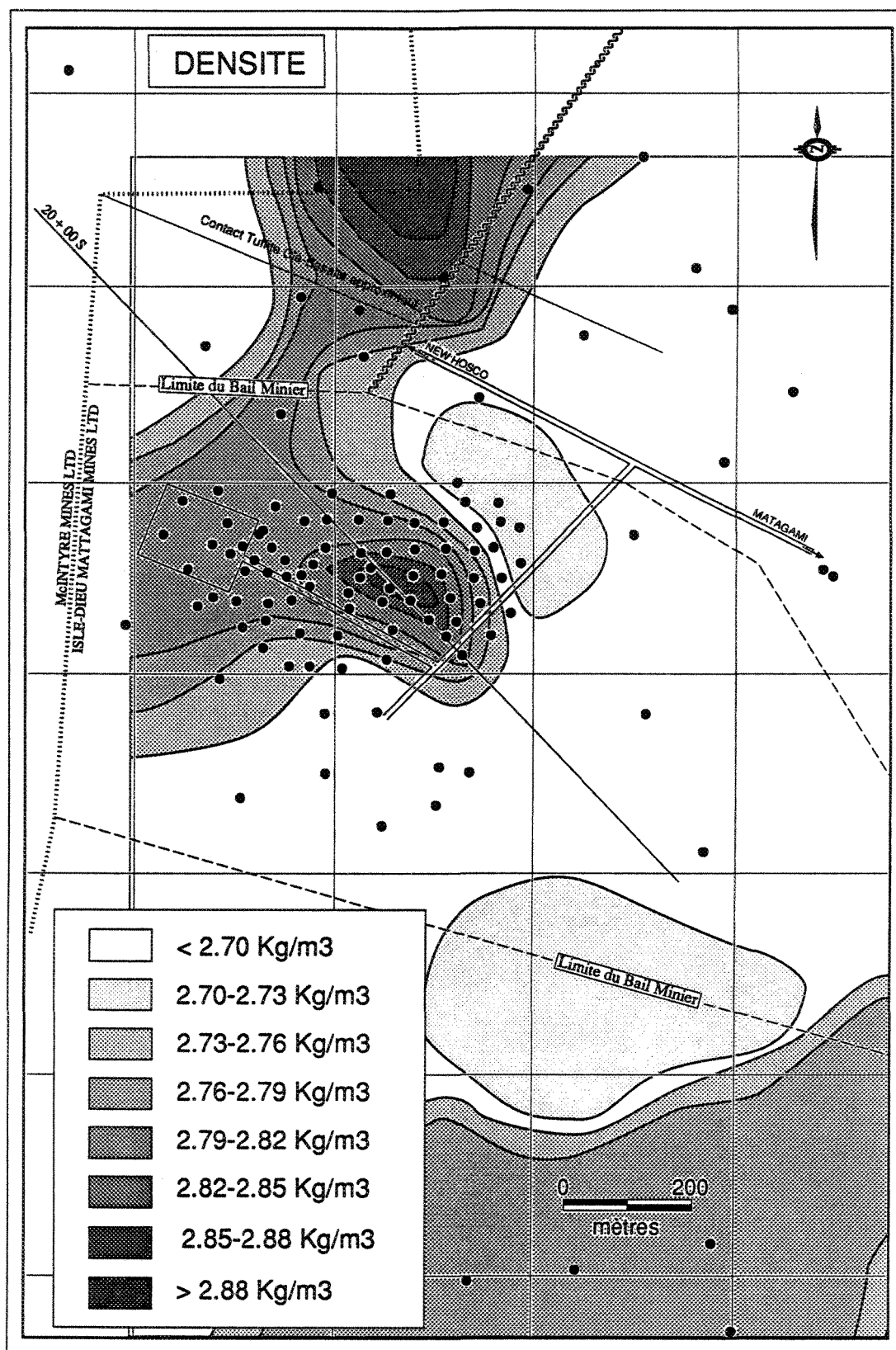


FIGURE. 14 (suite)

appauvrissent le milieu dans lequel ils circulent. Le MgO et le SiO_2 ne montrent que de fortes variations à proximité du dépôt.

Les tracés des contours de variation de la densité et de l'indice d'altération permettent de confirmer les observations précédentes. L'utilisation de l'indice d'altération, qui tient compte des variations positives et négatives causées par l'altération, rehausse ainsi les orientations préférentielles des hâlos anomaliques de certains éléments pris individuellement, en particulier le K_2O et Na_2O . Les contours de variation de la densité de la rhyolite sont plutôt révélateurs avec un linéament orienté nord-est, contigu au gisement et qui s'évase suivant un axe nord-est subséquent.

5.4 Eléments mineurs et traces

L'emploi des éléments mineurs et terres rares liés à l'altération hydrothermale ou au métamorphisme s'avère peu utilisé pour ériger une modélisation pétrologique, une classification de roche ou une discrimination tectonique (Macgeehan et Maclean., 1980b). Malgré que ces éléments soient reconnus pour être peu mobiles lors d'altération, certains processus peuvent les rendre mobilisables. La carbonatation ou une altération hydrothermale prononcée, que l'on retrouve généralement associées à la formation de dépôts de sulfures massifs, sont de ce type de processus.

5.4.1 A l'échelle du gisement

Dans la cheminée d'altération, le rubidium, le strontium et le barium sont lessivés tandis que l'yttrium, le niobium, le zirconium, le cobalt, le gallium et les terres rares y sont enrichis. Ces variations sont cohérentes avec le comportement des éléments majeurs et minéralisateurs d'affinité chimique similaire.

L'augmentation de l'altération de la zone de bordure vers la zone centrale a pour effet d'augmenter le rapport roche/chondrite sans modifier la forme du patron de distribution (Figure 15). Cette augmentation relative du contenu en terres rares peut être expliquée par la diminution de volume de la roche lors de l'altération si ces dernières sont restées immobiles. Si celles-ci avaient été mobiles, en plus de leur augmentation relative, un enrichissement en terres rares légères (plus mobiles) aurait du avoir lieu dans les roches les plus altérées (Campbell et. al. 1984).

5.4.2 A l'échelle de la propriété

Le comportement des éléments mineurs et terres rares ne montre que très peu de variation au sein des échantillons provenant de l'extérieur du périmètre défini par la cheminée d'altération. Les variations peu prononcées et erratiques de ces éléments (Annexe II et III) ne permettent pas de souscrire à une étude plus approfondie.

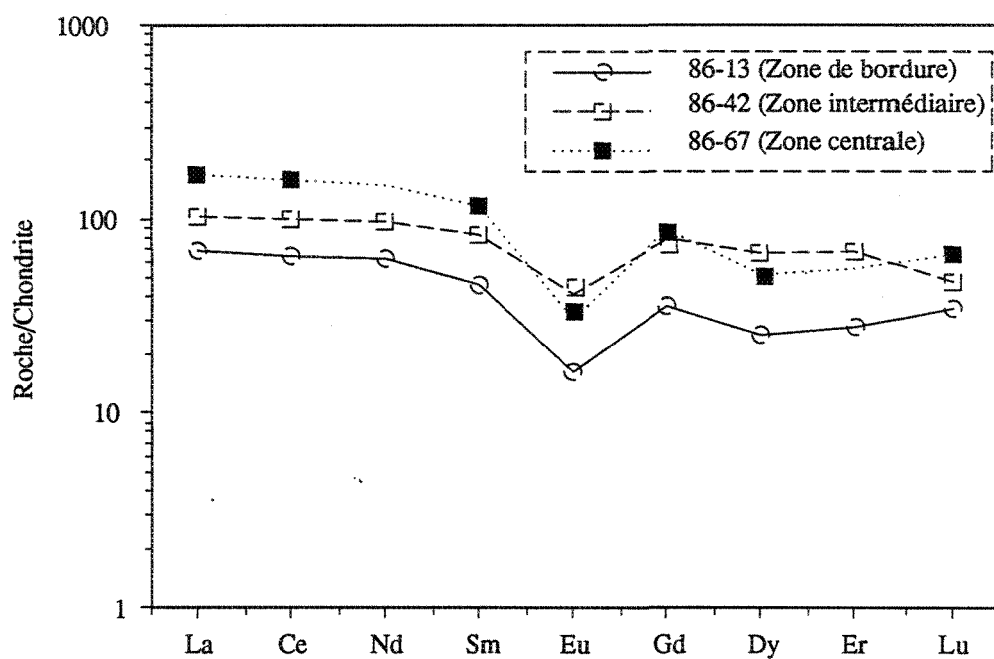


FIGURE. 15. Diagramme de Terres Rares des rhyolites en fonction de l'intensité d'altération au sein de la cheminée.

Toutefois il faut porter une attention particulière au barium et au rubidium qui s'appauvrissent dans la cheminée d'altération. Ils pourraient être, au même titre que le K_2O , utilisés pour circonscrire les zones ayant fait l'objet d'altération par des circulations hydrothermales. Le strontium devrait être employé, conjointement avec le Na_2O , pour isoler les régions dont l'altération des plagioclases est la plus prononcée.

5.5 Corrélation entre les éléments

Une étude de corrélation a été appliquée entre tous les éléments afin de visualiser les comportements et liens entre eux. Ainsi les fortes corrélations négatives ou positives pourraient permettre de réduire considérablement le nombre d'éléments à traiter ou encore de renforcer une anomalie en considérant l'effet conjoint de ceux-ci.

Nous avons effectué deux études de corrélation:

- 1) Tous les échantillons de la première cueillette furent traités pour les éléments majeurs et mineurs.

- 2) Les échantillons de la deuxième cueillette pour les éléments majeurs, mineurs, terres rares et la masse volumique.

Les résultats de ces deux études sont donnés respectivement au tableau 2 et à l'annexe IV, en pochette.

TABLEAU. 2. Corrélation entre les éléments majeurs et mineurs (N=292).

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MgO | CaO | Na2O | K2O | MnO | P2O5 | PaF | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Ba |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO2 | 1 | -0.39 | -0.55 | -0.87 | -0.85 | -0.11 | 0.466 | 0.287 | -0.35 | -0.39 | -0.91 | 0.134 | 0.271 | -0.14 | -0.56 | -0.63 | 0.322 |
| TiO2 | -0.39 | 1 | 0.515 | 0.191 | 0.25 | 0.168 | 0.011 | -0.04 | -0.06 | 0.827 | 0.308 | -0.02 | 0.221 | 0.155 | 0.286 | 0.257 | -0.04 |
| Al2O3 | -0.55 | 0.515 | 1 | 0.181 | 0.455 | -0.18 | 0.057 | 0.151 | -0.19 | 0.35 | 0.345 | 0.158 | 0.039 | 0.686 | 0.868 | 0.598 | 0.114 |
| Fe2O3 | -0.87 | 0.191 | 0.181 | 1 | 0.677 | 0.064 | -0.6 | -0.43 | 0.548 | 0.272 | 0.774 | -0.24 | -0.41 | -0.14 | 0.305 | 0.5 | -0.41 |
| MgO | -0.85 | 0.25 | 0.455 | 0.677 | 1 | -0.23 | -0.57 | -0.34 | 0.067 | 0.265 | 0.838 | -0.23 | -0.45 | 0.151 | 0.519 | 0.577 | -0.38 |
| CaO | -0.11 | 0.168 | -0.18 | 0.064 | -0.23 | 1 | 0.128 | 0.048 | 0.379 | 0.148 | 0.222 | 0.157 | 0.441 | -0.31 | -0.35 | -0.24 | -0.04 |
| Na2O | 0.466 | 0.011 | 0.057 | -0.6 | -0.57 | 0.128 | 1 | 0.013 | -0.19 | -0.05 | -0.59 | -0.07 | 0.669 | 0.192 | -0.09 | -0.26 | 0.115 |
| K2O | 0.287 | -0.04 | 0.151 | -0.43 | -0.34 | 0.048 | 0.013 | 1 | -0.21 | -0.13 | -0.32 | 0.8 | 0.131 | 0.243 | 0.011 | -0.17 | 0.848 |
| MnO | -0.35 | -0.06 | -0.19 | 0.548 | 0.067 | 0.379 | -0.19 | -0.21 | 1 | 0.008 | 0.277 | -0.11 | -0.04 | -0.3 | -0.1 | 0.093 | -0.18 |
| P2O5 | -0.39 | 0.827 | 0.35 | 0.272 | 0.265 | 0.148 | -0.05 | -0.13 | 0.008 | 1 | 0.333 | -0.1 | 0.094 | 0.056 | 0.128 | 0.199 | -0.13 |
| PaF | -0.91 | 0.308 | 0.345 | 0.774 | 0.838 | 0.222 | -0.59 | -0.32 | 0.277 | 0.333 | 1 | -0.16 | -0.32 | -0.01 | 0.371 | 0.494 | -0.38 |
| Rb | 0.134 | -0.02 | 0.158 | -0.24 | -0.23 | 0.157 | -0.07 | 0.8 | -0.11 | -0.1 | -0.16 | 1 | 0.067 | 0.196 | 0.071 | -0.08 | 0.569 |
| Sr | 0.271 | 0.221 | 0.039 | -0.41 | -0.45 | 0.441 | 0.669 | 0.131 | -0.04 | 0.094 | -0.32 | 0.067 | 1 | 0.042 | -0.17 | -0.25 | 0.18 |
| Y | -0.14 | 0.155 | 0.686 | -0.14 | 0.151 | -0.31 | 0.192 | 0.243 | -0.3 | 0.056 | -0.01 | 0.196 | 0.042 | 1 | 0.685 | 0.372 | 0.213 |
| Zr | -0.56 | 0.286 | 0.868 | 0.305 | 0.519 | -0.35 | -0.09 | 0.011 | -0.1 | 0.128 | 0.371 | 0.071 | -0.17 | 0.685 | 1 | 0.717 | 0.013 |
| Nb | -0.63 | 0.257 | 0.598 | 0.5 | 0.577 | -0.24 | -0.26 | -0.17 | 0.093 | 0.199 | 0.494 | -0.08 | -0.25 | 0.372 | 0.717 | 1 | -0.14 |
| Ba | 0.322 | -0.04 | 0.114 | -0.41 | -0.38 | -0.04 | 0.115 | 0.848 | -0.18 | -0.13 | -0.38 | 0.569 | 0.18 | 0.213 | 0.013 | -0.14 | 1 |

5.5.1 Eléments majeurs et mineurs (n=292).

L'analyse du tableau 2 montre les résultats suivants:

A) La silice est corrélée négativement avec le Fe_2O_3 , MgO et Zr en particulier, et positivement avec le Na_2O . Il n'est pas très surprenant de faire ces constatations étant donné le lessivage accru du SiO_2 et Na_2O versus l'enrichissement du Fe_2O_3 , MgO et Zr en fonction de la proximité de la minéralisation.

B) Les plus fortes corrélations apparaissent entre le Fe_2O_3 , MgO , MnO et la perte au feu; ces éléments sont liés dans les minéraux ferro-magnésiens, tels la chlorite, et au contexte minéralisateur de la cheminée d'altération.

C) De fortes corrélations existent également entre les éléments reconnus comme peu mobiles tels Al_2O_3 , Zr et Y .

D) Le K_2O est corrélé positivement avec le rubidium et le barium et négativement avec le Fe_2O_3 et le MgO rendant compte indubitablement de la zonalité d'altération chlorite-séricite.

F) L'altération des plagioclases est soulignée par la corrélation positive entre le Na_2O et le strontium.

5.5.2 Eléments majeurs, mineurs, terres rares et densité.

Cette étude de corrélation fournit essentiellement des informations similaires à celles précédemment citées. Toutefois on peut noter la forte corrélation entre la densité, le MgO et le Fe_2O_3 ainsi que les terres rares qui montrent une forte corrélation inter-élément ainsi qu'avec les éléments chimiques reconnus comme peu mobiles tels le zirconium, l'yttrium, le titane et Al_2O_3 .

5.6 Variation de volume

Afin de connaître adéquatement les gains et pertes subis dans les différentes subdivisions de la cheminée d'altération par rapport aux équivalents externes non-altérés, les changements de volume associés à l'altération ou à des variations de composition doivent être connus. C'est en relation avec des éléments reconnus comme immobiles que ces variations peuvent être démontrées.

Les calculs effectués sur les analyses provenant de la cheminée d'altération indique que l'augmentation de l'intensité de l'altération s'accompagne d'une diminution de volume de la roche; selon les équations de balance de masse de Gresens (1967) et en prenant comme hypothèse que le titane et l'aluminium sont restés immobiles durant l'altération. La moyenne des facteurs volume correspondant à une balance de masse nulle passe¹ de 1 pour la rhyolite fraîche, à 0.905 pour les roches de la zone de bordure, à 0.792 pour celles de la zone intermédiaire et à 0.437 dans la zone interne des conduits hydrothermaux.

1

Les diminutions de volume de la roche dans les zones de bordure (Figure 16(a)) et intermédiaire (Figure 16(b)) sont peu importantes car les textures primaires de la lave sont préservées. Ces variations peuvent être expliquées par la dissolution du quartz et la désintégration du plagioclase en séricite. L'apport en magnésium et en fer provoquant la chloritisation ne compenserait pas totalement la diminution de volume.

Dans la zone centrale (Figure 16(c)), où les roches sont généralement tectonisées, la diminution de plus de 50% du volume de la roche serait causée par un lessivage complet de la silice, la chlorite, le talc et la séricite composant alors la roche. La foliation à l'intérieur de cette zone recoupe les minéraux d'altération et est donc en partie postérieure à l'épisode hydrothermal. Il est donc possible que la diminution de volume de la roche de cette zone soit causée en partie par la déformation.

Il est possible que durant la période de circulation hydrothermale, la diminution de volume de la roche, causée en partie par les processus de changements chimiques liés à l'altération, ait provoqué la formation de fractures de tension ouvertes similaires aux structures de jointage polygonal de refroidissement des laves. Ces fractures auraient facilité la circulation des fluides et des sulfures s'y seraient déposés.

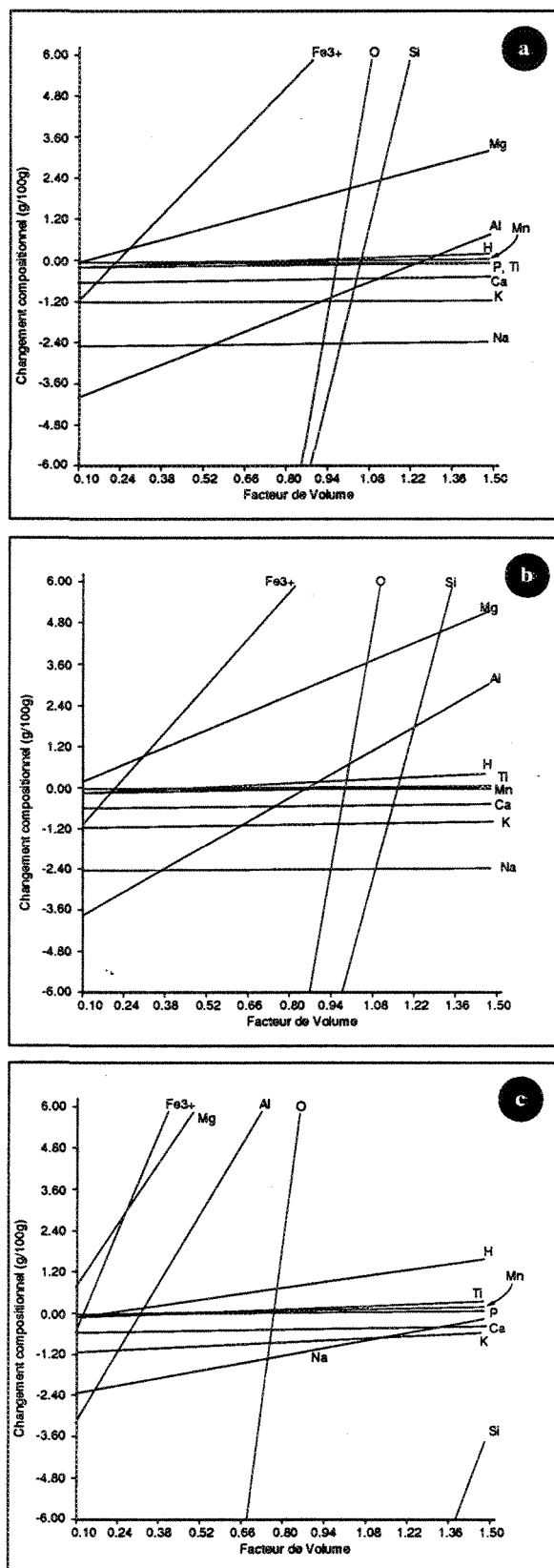


FIGURE. 16. Diagrammes de variation de masse en fonction du facteur volume obtenus par les équations de Gresens (1967) qui comparent une roche fraîche avec un équivalent altéré au sein de la cheminée d'altération. A) Zone de bordure (Ech# 85-10), B) Zone intermédiaire (Ech# 86-31), C) Zone centrale (Ech# 86-26).

CHAPITRE VI

ANALYSE DES CORRESPONDANCES

6.1 Généralités

La cueillette d'un grand nombre de données géochimiques permet de définir des groupes d'échantillons et des groupes de variables qui ont des comportements similaires. L'utilisation de diagrammes, matrices de corrélation ou de statistiques primaires sert à identifier les causes de certaines variations ou regroupements. Toutefois il demeure que l'on ne peut dégager une image globale qui tienne compte de l'ensemble des échantillons et des variables. Les travaux de Grunsky, (1986) et de Selinus, (1983) ont permis de démontrer l'utilité d'une telle méthode pour des environnements soumis à l'altération hydrothermale et c'est dans cet optique qu'elle est utilisée pour le gisement Isle-Dieu.

6.2 Définitions

L'analyse des correspondances est une technique d'analyse multidimensionnelle qui tient compte de la dualité entre les variables (éléments chimiques) et les échantillons. Ainsi le cas de n échantillons analysés pour x éléments peut être représenté par n points dans un espace à x dimensions ou encore par x points dans un espace à n dimensions. Cette méthode est une technique d'analyse factorielle qui combine les modes Q (cas) et R (variable). Elle est indépendante du type de distribution et elle utilise une fonction de pondération apparentée au X^2 pour éliminer les différences d'échelle entre les variables et l'exagération des valeurs extrêmes.

On détermine les facteurs par l'extraction des vecteurs propres (Eigen-vecteurs) et des valeurs propres (Eigen-values) de la matrice de données originales.

C'est dans un espace lié à n dimensions, préalablement déterminées par les facteurs, que sont projetés les variables (éléments chimiques) et les cas (échantillons). Les facteurs peuvent être considérés ou interprétés comme un processus géologique tel la différenciation, l'altération hydrothermale, ou autres.

L'interprétation que l'on peut faire des graphiques obtenus par cette méthode d'analyse est défini comme suit;

a) Les groupes de points représentant des variables peuvent être interprétés comme le résultat d'un processus similaire ou appartenant à une famille semblable.

b) La proximité des variables est employée à titre corrélatif.

c) Le groupe d'échantillons montrera des affinités avec la ou les variables situées à proximité

6.3 Résultats et interprétation

L'analyse des correspondances a été appliquée à quelques 292 échantillons prélevés au sein des 114 trous de forage alors retrouvés sur la

propriété de la mine Isle-Dieu. L'interprétation des résultats permet de faire une synthèse de la majorité des observations déjà effectuées.

Le Tableau 3 permet de visualiser les "Eigenvalues", le pourcentage de contribution de chacun des facteurs, la contribution absolue (CA) de chacune des composantes chimiques sur l'ensemble des cinq facteurs et la contribution relative (CR) de chaque facteur sur la variation de chaque composante chimique.

Le premier facteur explique 68.38% de la variation des données et la combinaison des cinq premiers facteurs représente 97.27% de la totalité des variations. L'analyse de chacun des facteurs indique que le SiO_2 , le Fe_2O_3 , le MgO , le Na_2O et la perte au feu (P.A.F.) contribuent largement au facteur 1. Le facteur 2 est redevable au Fe_2O_3 , MgO , CaO et MnO . Le facteur 3 est expliqué par le Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , CaO et K_2O .

Les éléments chimiques contribuant à définir le facteur 1 reflète la variation compositionnelle de la rhyolite en fonction de la distance par rapport au centre de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu. La figure 17(a) permet de faire la discrimination de groupes d'échantillons en fonction de la proximité du centre de la cheminée d'altération, soit entre les échantillons peu altérés et les échantillons affectés par l'altération hydrothermale. Ce discernement est visualisé par l'opposition diamétrale des éléments enrichis (MgO , Fe_2O_3 , MnO et perte au feu) et des éléments appauvris (SiO_2 , CaO , Na_2O et Sr).

TABLEAU 3 Analyse des correspondances des éléments majeurs et mineurs - tous les échantillons (N=292).

| FACTEUR | % DE VARIATION CUMULATIF | | VARIABLES | POIDS | CA (1) | CR (1) | CA (2) | CR (2) | CA (3) | CR (3) | CA (4) | CR (4) | CA (5) | CR (5) |
|---------|--------------------------|-------|--------------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| # 1 | 68.38 | 68.38 | SiO ₂ | 0.683458 | -14.12 | 90.09 | -0.35 | 0.42 | 9.89 | 6.38 | 3.87 | 1.93 | -3.25 | 1.19 |
| # 2 | 12.74 | 81.12 | TiO ₂ | 0.003084 | 0.03 | 26.28 | -0.01 | 1.6 | -0.63 | 49.46 | -0.3 | 18.03 | 0.1 | 4.63 |
| # 3 | 6.91 | 88.03 | Al ₂ O ₃ | 0.107916 | 0.74 | 16.58 | -5.03 | 20.94 | -11.74 | 26.53 | -5.64 | 9.84 | 20.45 | 26.1 |
| # 4 | 5.34 | 93.37 | Fe ₂ O ₃ | 0.084115 | 29.61 | 80.25 | 32.48 | 16.41 | 0.45 | 0.12 | 4.7 | 0.99 | 14.36 | 2.22 |
| # 5 | 3.9 | 97.27 | MgO | 0.033243 | 39.93 | 86.52 | -30.72 | 12.41 | -0.35 | 0.08 | 0.06 | 0.01 | -7.92 | 0.98 |
| # 6 | 1.33 | 98.6 | CaO | 0.014761 | -0.05 | 0.6 | 19.08 | 45.16 | -8.04 | 10.32 | -23.36 | 23.14 | -28.67 | 20.78 |
| # 7 | 0.74 | 99.34 | Na ₂ O | 0.022652 | -5.42 | 43.58 | -0.06 | 0.09 | -64.71 | 52.57 | 5.4 | 3.39 | 0.82 | 0.38 |
| # 8 | 0.39 | 99.73 | K ₂ O | 0.013074 | -0.99 | 15.7 | -0.91 | 2.69 | -3.26 | 5.23 | -50.77 | 62.95 | 14.8 | 13.42 |
| # 9 | 0.21 | 99.94 | MnO | 0.002007 | 0.41 | 16.48 | 11.17 | 83.31 | -0.03 | 0.13 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.03 |
| # 10 | 0.02 | 99.96 | P ₂ O ₅ | 0.000376 | 0.01 | 51.25 | 0 | 0.21 | -0.06 | 40.52 | -0.01 | 6.75 | 0 | 1.27 |
| # 11 | 0.01 | 99.97 | P.A.F. | 0.034041 | 8.65 | 89.51 | 0.12 | 0.24 | -0.66 | 0.69 | -5.26 | 4.24 | -9.03 | 5.33 |
| # 12 | 0.01 | 99.98 | Rb | 0.000041 | -0.15 | 7.79 | -0.02 | 0.1 | 0 | 4.14 | -0.1 | 77.68 | 0.02 | 10.29 |
| # 13 | 0 | 100 | Sr | 0.000048 | -0.37 | 37.61 | 0 | 3.03 | -0.07 | 54.08 | -0.01 | 3.94 | 0 | 1.33 |
| # 14 | 0 | | Y | 0.000174 | 0 | 0.31 | -0.01 | 41.19 | -0.01 | 21.69 | -0.01 | 9.61 | 0.03 | 27.2 |
| | | | Zr | 0.000663 | 0.01 | 32.93 | -0.04 | 19.35 | -0.06 | 16.06 | -0.01 | 3.26 | 0.18 | 28.39 |
| | | | Nb | 0.000045 | 0.19 | 72.82 | -0.05 | 4.71 | 0 | 7.24 | 0 | 0.24 | 0 | 14.99 |
| | | | Ba | 0.000302 | -0.02 | 24.09 | -0.01 | 1.9 | 0.03 | 3.75 | -0.48 | 46.42 | 0.34 | 23.84 |

Note: La valeur négative de certaines valeurs de la contribution absolue (CA) est employée pour visualiser l'opposition de certains éléments au sein du facteur.

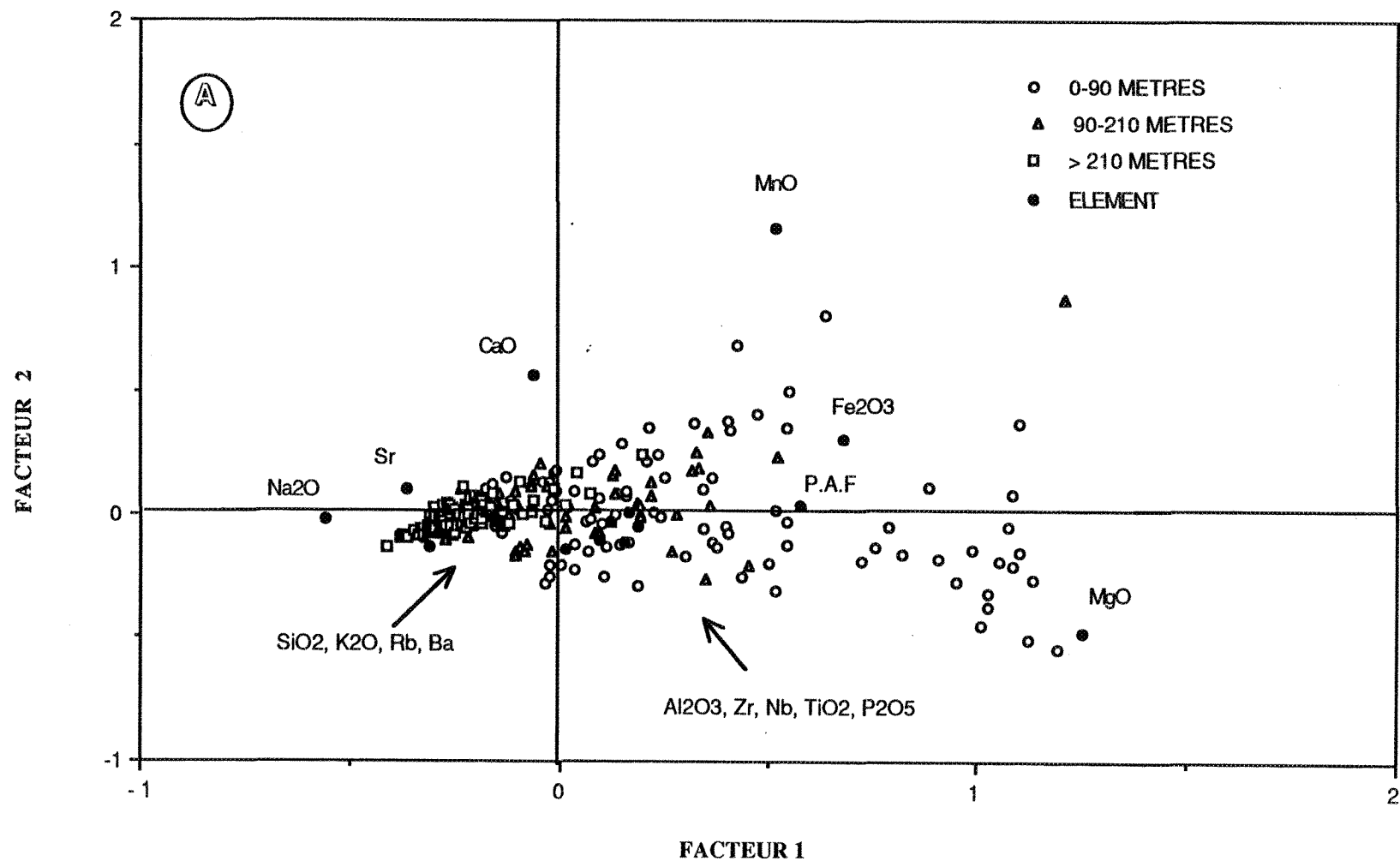


FIGURE. 17 Analyse des correspondances appliquée à l'ensemble des échantillons (n=292).
A) Facteur 2 vs Facteur 1, B) Facteur 3 vs Facteur 1, C) Facteur 3 vs Facteur 2.

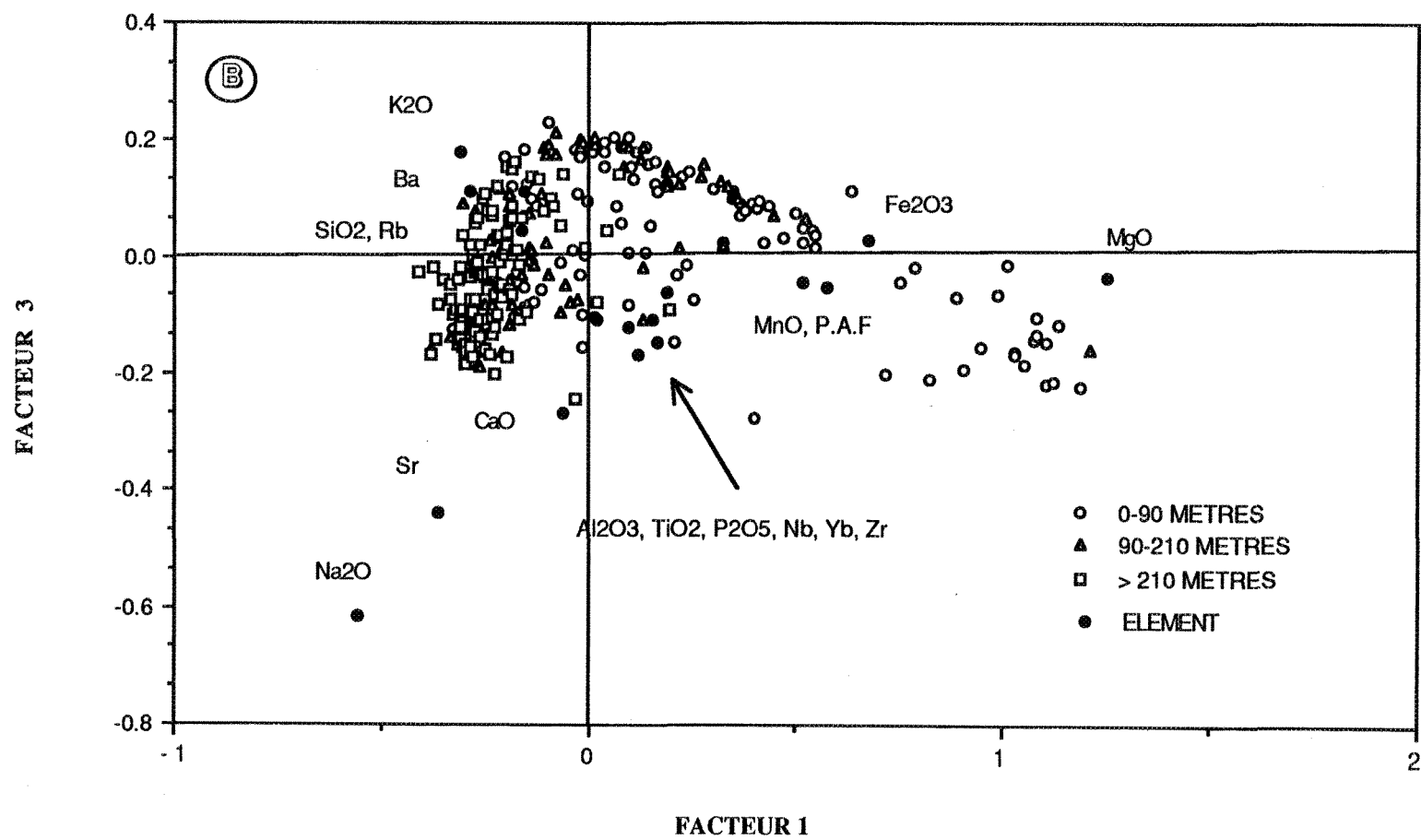


FIGURE. 17 (Suite 1).

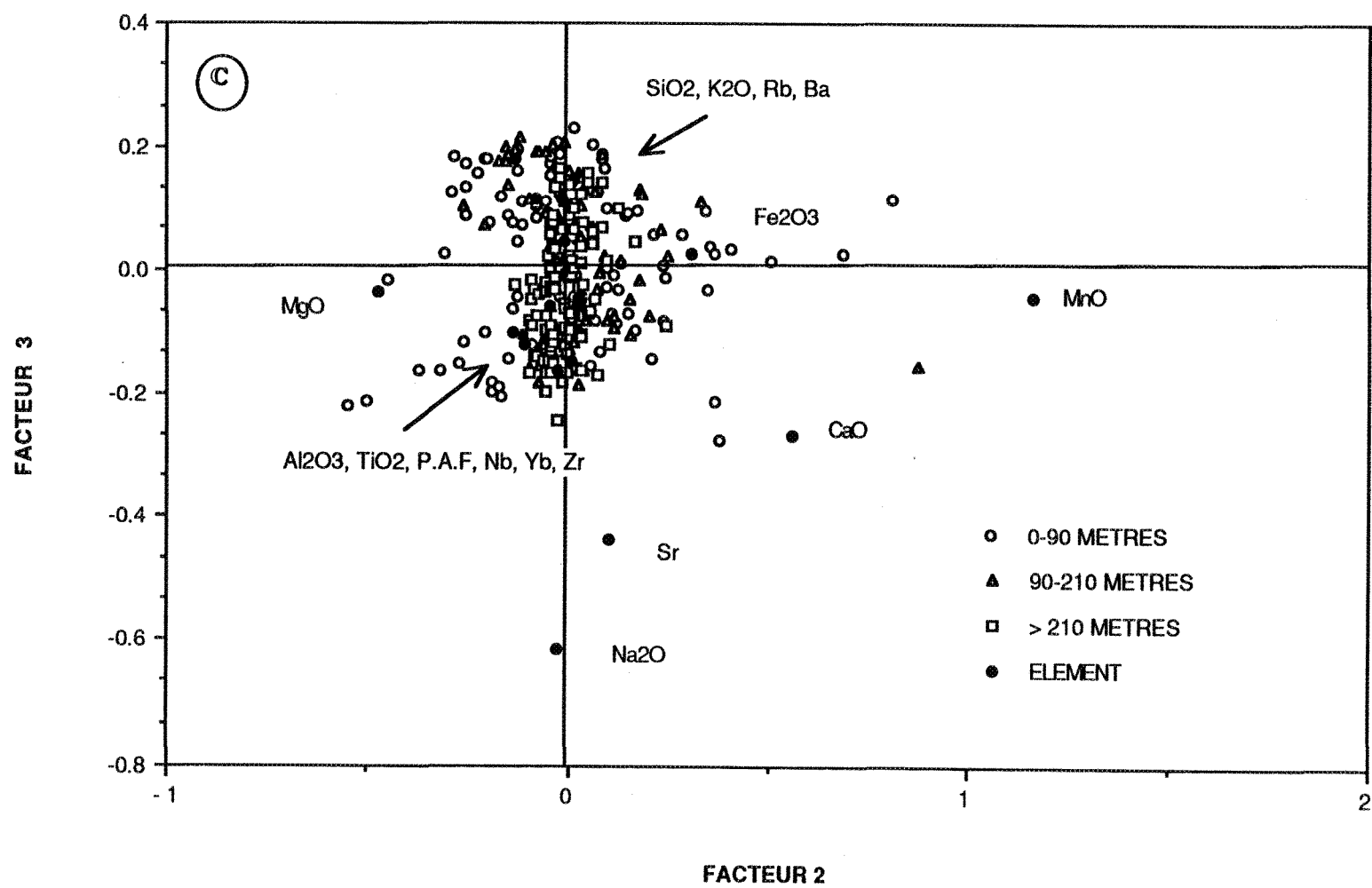


FIGURE. 17 (Suite 2).

L'examen des variations enregistrées pour le facteur 2 indique que les éléments tels le Fe_2O_3 , MgO , MnO et CaO caractérisent la zone centrale de la cheminée d'altération. La nette opposition entre le MgO et le Fe_2O_3 (Figure 17(a), (b) et (c)) s'avère très significative car elle pourrait être imputée à l'action de fluides chimiquement différents, combinés ou non, ayant agi dans cette zone de la cheminée. Cette interaction fluide/roche pourrait avoir eu lieu à des époques distinctes.

Il est également permis de constater que 83.3% des variations du MnO sont expliquées par ce facteur. La variation de cet élément vient appuyer fortement le corrolaire établi entre ce dernier facteur et le caractère minéralisé de la zone centrale de la cheminée d'altération.

Le Na_2O et le Al_2O_3 expliquent plus de 76.5% des variations enregistrées pour le facteur 3. Ce résultat, incluant l'apport du strontium, est caractéristique de l'altération des plagioclases. L'appauvrissement de ces éléments, reconnus pour avoir de fortes affinités chimiques, est démontré, dans de nombreux cas, à proximité des cheminées d'altération hydrothermale. Il est également important de noter le comportement diamétralement opposé du K_2O , Rb et Ba versus le Na_2O et Sr .

Le facteur 4 est responsable pour 62.9% des variation du K_2O , en particulier, et du rubidium et barium dans une moindre mesure. La contribution de ces éléments au sein de ce facteur pourrait être significative de leur forte contribution dans la zone de bordure et à moindre égard dans la zone intermédiaire de la cheminée d'altération. Il a été établi, de façon schématique,

que la présence du K_2O dans la cheminée est représentée sous la forme d'une asymptote positive dans la zone de bordure suivi d'un appauvrissement marqué vers la zone centrale.

Le facteur 5, quant à lui, ne comptant que pour 3.9% des variations des éléments chimiques, son importance devient alors considérablement réduite.

CHAPITRE VII

DISCUSSION

Une reconstruction schématique de la cheminée d'altération générée par le système géothermal minéralisateur est illustrée à la figure 18. Ce schéma fait appel aux observations effectuées dans le cadre du présent travail.

La chloritisation de la cheminée d'altération est reconnue comme le résultat de la percolation des fluides hydrothermaux à travers une roche volcanique poreuse. Les transformations chimiques positives ou négatives observées au sein de la cheminée d'altération permettent de corroborer le modèle de Roberts et Reardon (1978) et la majorité des autres modèles connus pour les gîtes de sulfures volcanogènes de l'Abitibi.

L'altération hydrothermale, associée aux circulations de fluides minéralisateurs responsables de la formation du gisement Isle-Dieu, a été contrôlée par différents paramètres. La perméabilité du milieu, la composition du fluide et le contexte structural semblent être les principaux facteurs qui ont régi son intensité et son étendue au sein des roches sous-jacentes au gisement. Une structure syn-volcanique d'orientation ouest-nord-ouest contrôle particulièrement la géométrie du gîte et de la cheminée d'altération.

La perméabilité du milieu est dépendante du faciès de la rhyolite, de l'intensification de certains phénomènes, tels la dévitrification et la microfracturation induite lors du refroidissement de la lave lors de sa mise en place. La présence de fractures perlitiques, la croissance d'auréoles de dévitrification superposées et la nature bréchique des roches de la cheminée,

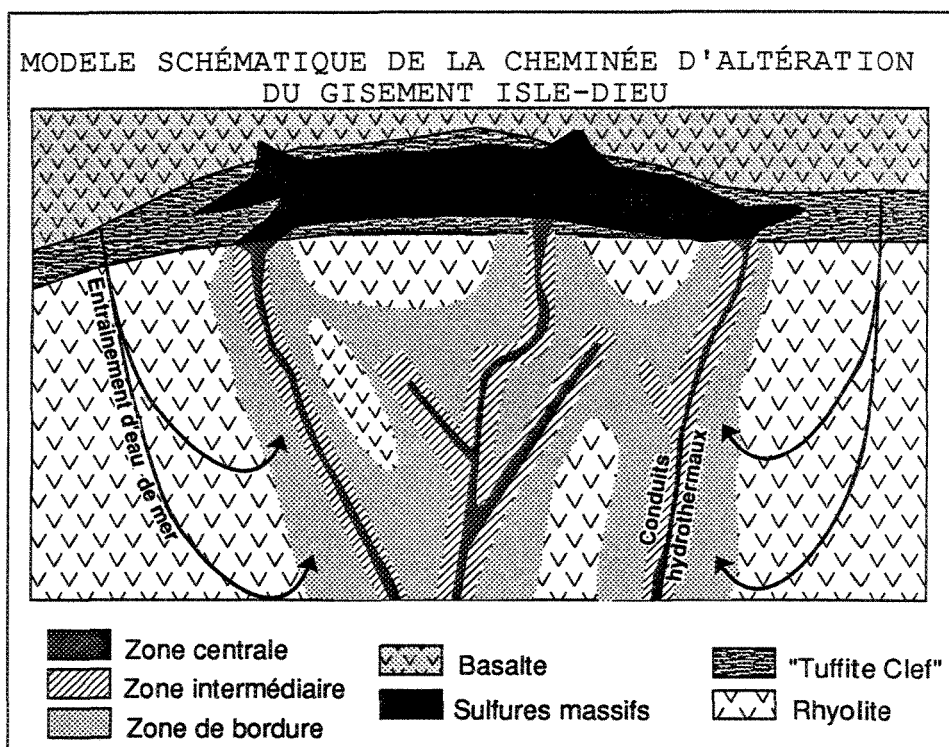


FIGURE. 18. Modèle schématique montrant la distribution spatiale des zones d'altération autour des conduits hydrothermaux anastomosés.

sont des phénomènes qui témoignent du rôle joué par la perméabilité du milieu pour permettre la formation de l'amas sulfuré.

La diminution de volume postulée dans les calculs de balance de masse des roches de la cheminée d'altération est un phénomène qui a pu, lors de l'altération, augmenter la perméabilité des roches de la cheminée d'altération du gisement Isle Dieu. Les résultats obtenus permettent d'explicitier les hausses considérables de certains éléments reconnus comme peu mobiles, en particulier le zirconium.

Quoique les halos anomaliques, créés par les circulations hydrothermales, semblent circonscrits au périmètre du gisement, des variations minéralogiques et chimiques sont perceptibles en bordure du dépôt. L'altération se traduit par une chloritisation et une séricitisation de la roche hôte en bordure et une chloritisation quasi-totale dans la partie centrale des conduits hydrothermaux. La production d'un coeur chloritique est probablement gouvernée par l'altération progressive de la roche encaissante qui réduit le taux d'interaction entre la solution et la roche. La modélisation de Cathles, (1983) sur les systèmes "Kuroko" montre que la porosité est réduite par la progression de l'altération. Les fortes anomalies ou transitions parfois rapides que nous observons entre les zones séricitisées et chloritisées pourraient être expliquées par ce phénomène.

Il a été établi que la minéralisation est associée à la formation d'une chlorite ferrière dans la partie centrale des conduits. Par contre, la nature magnésienne des chlorites retrouvées dans les parties centrale, intermédiaire et de bordure des conduits semble en accord avec le modèle proposé par Roberts et Reardon

(1978). La formation de ces chlorites magnésiennes pourrait donc résulter d'une percolation descendante de l'eau de mer. L'effet combiné du fluide descendant et du fluide minéralisateur ascendant semble responsable des transformations minéralogiques et chimiques observées.

L'utilisation de l'analyse des correspondances permet également d'appuyer ces observations. La zonalité d'altération définie par le facteur 1 peut être attribué à l'intensité de l'altération hydrothermale en fonction de la proximité du gisement. La non-corrélation entre le MgO et le Fe_2O_3 vs le SiO_2 et le Na_2O est un corrolaire qui tend à appuyer ces constatations.

Le facteur 2 montre une affinité minéralisatrice par l'association Fe_2O_3 -MnO-CaO en opposition avec le MgO. Ce deuxième facteur pourrait démontrer que la zone centrale de la cheminée est affectée tardivement par les solutions descendantes riches en magnésium et ce, malgré le caractère minéralisé attribué à cette partie sous-jacente au gisement. Ainsi le contenu en Fe_2O_3 -MnO reflèterait la minéralisation tandis que la forte chloritisation retrouvée dans la zone centrale serait le fruit de la combinaison et de la circulation des solutions minéralisantes et des solutions riches en magnésium. Les facteurs 3 et 4 sont, en particulier, indicateurs de la variation des alcalis. Ils témoignent de l'altération des plagioclases enregistrée en bordure de la cheminée.

L'analyse à la microsonde des chlorites, selon la zonalité observée, pourrait être un outil utile pour lever l'incertitude qui règne autour des processus à l'aube des transformations enregistrées au sein de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu.

La mise en plan des contours de variations des éléments majeurs, de la densité et de l'indice d'altération d'Ishikawa a permis de dégager des orientations préférentielles de linéaments d'altération. Ces linéaments pourraient être représentatifs des zones de circulations hydrothermales favorisées par la présence de structures géologiques prépondérantes. Les gîtes de sulfures massifs volcanogènes de la région de Rouyn-Noranda, en particulier, et des analogues récents montrent cette relation voulant que les masses sulfurées soient généralement retrouvées à l'intersection de structures géologiques particulières.

L'emploi de la variation de densité de la rhyolite, en particulier, met en évidence un patron orienté nord-est qui s'évase dans une direction nord-ouest sud-est subséquent. En établissant un corrolaire avec les zonations stratifiées de la rhyolite sous le gisement de Mine Lac Mattagami (Figure 19), le patron de variation de la densité autour du gisement Isle-Dieu pourrait être représentatif de la partie dite de semi-conformité, telle que décrite par Franklin et al, (1981) autour des gisements de type "Noranda".

Toutefois le manque d'information de certains secteurs de la propriété Isle-Dieu et le nombre restreint de valeur de densité de la rhyolite ne permettent pas d'établir avec certitude les hypothèses avancées. Il demeure néanmoins qu'il faudra porter une attention particulière à ces linéaments d'altération.

La cueillette de données supplémentaires pourrait être fondamentale dans l'établissement d'un modèle global de formation des gîtes de sulfures massifs du camp minier de Matagami.

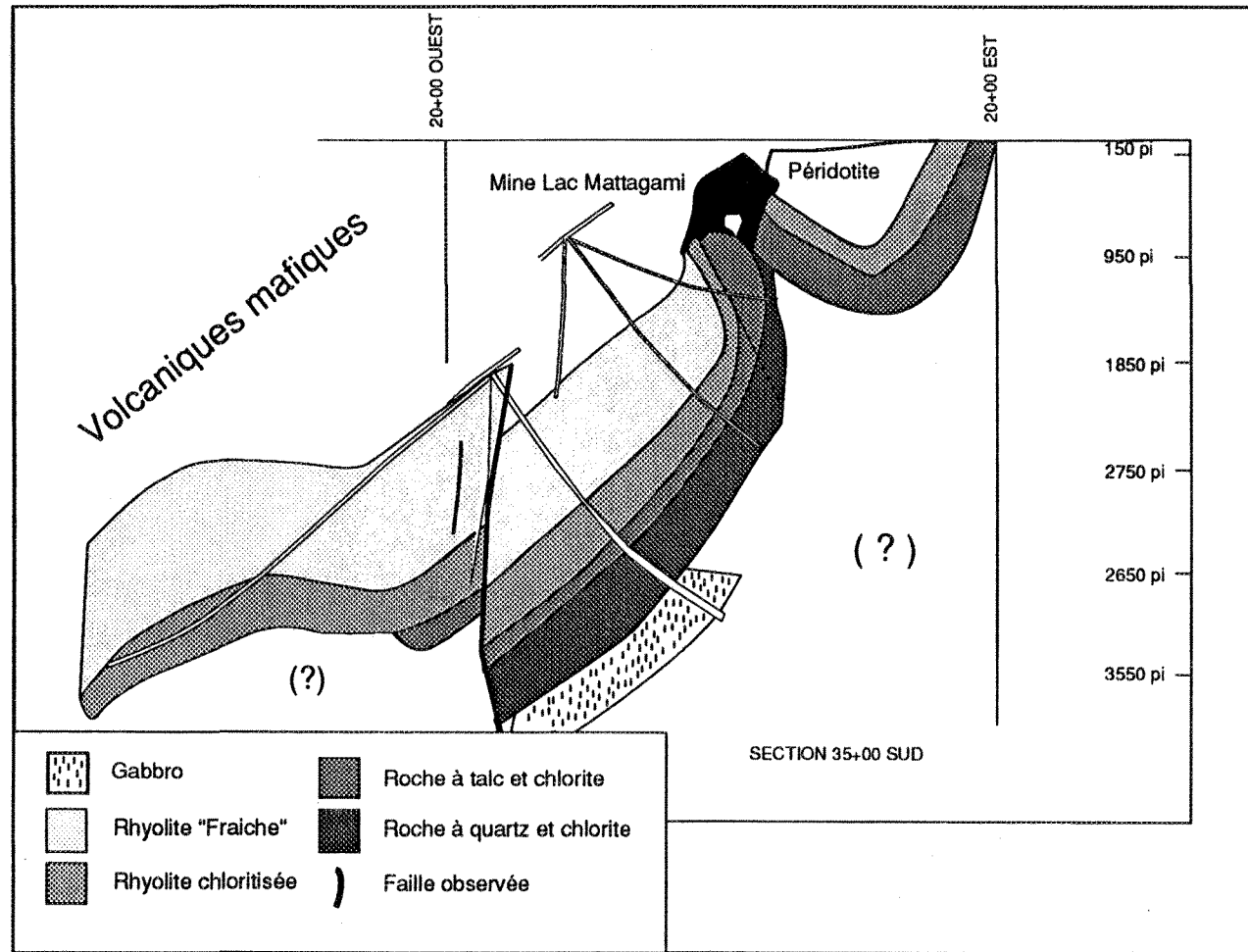


FIGURE. 19 Section 35+00 Sud montrant les zonalités d'altération de la rhyolite sous le gisement de Mine Lac Mattagami. Avec la permission de Minéraux Noranda Inc.

CHAPITRE VIII

CONCLUSION ET APPORT DE L'AUTEUR

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire permettent de souscrire à l'ensemble des observations déjà écrites sur le sujet, en particulier pour les gisements de sulfures volcanogènes de la région de Matagami.

La formation du gîte Isle-Dieu est le fruit de circulations hydrothermales au sein de conduits anastomosés. La rhyolite du Groupe de Lac Watson, qui est l'hôte de ces circulations de fluides, montre le développement d'un halo d'altération zoné défini par une variation minéralogique, texturale et chimique de l'extérieur vers l'intérieur de la cheminée. Ces changements se traduisent par une séricitisation en bordure et une forte chloritisation dans la partie centrale.

L'intensification de l'altération hydrothermale a provoqué des transformations minéralogiques importantes, telles le développement de couronnes superposées autour d'un phénocristal de quartz ou l'aspect bréchique de la rhyolite.

La formation d'une chlorite ferrifère associée à la minéralisation et la présence de chlorite magnésienne dans les différentes zones de la cheminée d'altération tendent à confirmer les hypothèses émises par Roberts et Reardon, (1978) qui veulent que la cheminée d'altération pourrait faire l'objet de circulation tardive de fluide descendant riche en magnésium. L'utilisation de l'analyse des correspondances tend à appuyer ces observations par la nette opposition entre le Fe_2O_3 et le MgO .

L'utilisation des halos d'altération semble, à priori, peu révélatrice selon l'étendue restreinte des signatures géochimiques observées. Toutefois

l'utilisation des variations chimiques de certains éléments majeurs, en particulier le K_2O , le Na_2O , le CaO , l'indice d'altération d'Ishikawa et la densité de la rhyolite montrent l'orientation préférentielle de linéaments d'altération. La mise en évidence de ces linéaments constitue, à notre connaissance, une première pour le camp minier de Matagami.

Une interprétation paléoenvironnementale adéquate pourrait permettre, en relation avec les signatures géochimiques, de cerner plus rapidement les cibles jugées de haut potentiel de découverte au sein du camp minier de Matagami. Une étude des inclusions fluides, la détermination de la composition des chlorites au travers de la cheminée d'altération et des couronnes en bordure des cristaux de quartz pourront apporter un support accru à l'exploration et à la recherche scientifique qui se consacre à l'élucidation de la formation des dépôts de sulfures massifs volcanogènes.

REFERENCES

- AFTABI, A., 1980. Polymetamorphism, textural relations and mineralogical changes in archean massive sulphide deposits at the Geron Lake mine, Matagami, Quebec, Thèse de maîtrise, Université McGill, Montréal, 253p.
- ALT, J. C., LONSDALE, P., HAYMON, R. et MUEHLENBACHS, K., 1987. Hydrothermal sulfide and oxide deposits on seamounts near 21°N, East Pacific Rise. Geological Society of America Bulletin, **98**: 157-168.
- ASHLEY, P.M., DUDLEY, R.J., LESH, R.H., MARR, J.M. et RYALL, A.W., 1988. The Scuddles Cu-Zn prospect, an Archean volcanogenic massive sulfide deposit, Golden Grove District, Western Australia. Economic Geology, **83**: 918-951.
- BEAUDRY, C., 1984. The geology and geochemistry of Archean volcanic rocks in the Daniel township, Matagami, Quebec. Thèse de maîtrise, Université McGill, Montreal, 129p.
- BEAUDRY, C., GAUCHER, E., 1986. Cartographie géologique dans la région de Matagami. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, MB, 86-32, 147p.
- BONAVIA, F.F., 1981. The geology and geochemistry of Radiore No 2 mine, Matagami, Quebec. Thèse de maîtrise, Université McGill, Montreal, 146p.
- CAMPBELL, I.H., LESHER, C.M., COAD, P., FRANKLIN, J.M., GORTON, M.P., et THURSTON, P.C., 1984. Rare-earth element mobility in alteration pipes below massive Cu-Zn sulfide deposits. Chemical Geology, **45**: 181-202.

- CATHLES, L.M., 1983. An analysis of the hydrothermal system responsible for massive sulfide deposition in the Holsuroku, Basin of Japan. Dans The Kuroko and related volcanogenic massive sulfide deposits. Edité par OHOMOTO, H. ET SKINNER, B.J. Economic Geology. Monographie no 5: 439-487.
- CLARK, J.R. , 1983. The geology and trace element distribution of the sulphide bodies at Orchan mine, Matagami, Quebec. Thèse de doctorat, Colorado School of Mines, Golden Colorado. T-2586, 450p.
- COSTA, U.R., 1980. Hydrothermal footwall alteration and ore formation at Mattagami Lake mine, Matagami, Quebec. Thèse de doctorat, University of Western Ontario, London, Ontario, 289p.
- COSTA, U.R., BARNETT, R.L. et KERRICH, R., 1983. The Mattagami Lake mine Archean Zn-Cu sulfide deposit, Quebec: Hydrothermal coprecipitation of talc and sulfides in a sea-floor brine pool - Evidence from geochemistry and mineral chemistry. Economic Geology, 78: 1144-1203.
- DAVIDSON, A.J., 1977. Petrology and chemistry of the Key Tuffite at Bell-Allard, Matagami, Quebec. Thèse de Maîtrise, Université McGill, Montreal, 131p.
- FRANKLIN, J.M., LYDON, J.W. et SANGSTER, D.F., 1981. Volcanic associated massive sulfide deposits. Economic Geology., 75^e Anniv. Vol.,: 485-627.
- GRESENS, R. L., 1967. Composition-volume relationships of metasomatism. Chemical Geology, 2: 47-65.
- GRUNSKY, E.C., 1986. Recognition of alteration in volcanic rocks using statistical analysis of lithogeochemical data. Dans Volcanology and mineral deposits. Edité par WOOD, J. et WALLACE, H. Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper 129: 124-173.

- KRANODIOTIS, P., 1985. Geology, geochemistry and hydrothermal alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Québec: Thèse de maîtrise, Université McGill., 166 p.
- IRVINE, T.N., BARAGAR, W.R.A., 1971. A guide to the classification of the common volcanic rocks. *Journal canadien des sciences de la terre*, **8**: 523-548.
- ISHIKIWA, Y., SAWAGUCHI, T., IWAYA, S. et HORIUCHI, M., 1976. Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on modes of volcanism of underlying dacite and alteration haloes. *Mining Geology*, **26**: 435-442.
- LARSON, P.B., 1984. Geochemistry of the alteration pipe at the Bruce Cu-Zn volcanogenic massive sulfide deposit, Arizona. *Economic Geology*, **79**: 1880-1896.
- LOFGREN, G., 1971. Spherulitic textures in glassy and cristalline rocks. *Journal of Geophysical Research*, **76**, No 23: 5635-5648.
- LESHER, C.M., GOODWIN, A.M., CAMPBELL, I.H. et GORTON, M.P., 1985. Trace-element geochemistry of ore-associated and barren, felsic metavolcanic rocks in the Superior Province, Canada. *Journal canadien des sciences de la terre*, **23**: 222-237.
- MACGEEHAN, P.J., 1979. The petrology and geochemistry of volcanic rocks at Matagami, Quebec, and their relationship to massive sulphide mineralisation. Thèse de doctorat, Université McGill, Montreal, 414p.
- MACGEEHAN, P.J., et MACLEAN, W.H., 1980a. Tholeiitic basalt-rhyolite magmatism and massive sulphide deposit at Matagami, Quebec. *Nature*, **283**: 153-157.
- MACGEEHAN, P.J. et MACLEAN, W.H., 1980b. An archaean sub-floor geothermal system, "calc-alkali" trends and massive sulphide genesis. *Nature*, **286**: 767-771.

- MACGEEHAN, P.J. , MACLEAN, W.H. et BONENFANT A., 1981. Exploration significance of the emplacement and genesis of massive sulphide in the Main zone at the Norita mine, Matagami, Quebec. CIM Bulletin, **74**, No 828: 59-75.
- MACLEAN, W.H., 1984. Geology and ore deposits of the Matagami district,. Dans Chibougamau - Stratigraphy and mineralisation. Edité par GUHA, J. ET CHOWN, E.H. Volume Special, No 34, CIM: 483-495.
- MACLEAN, W.H., 1988. Rare earth element mobility at constant initial REE ratios in the alteration zone at the Phelps Dodge massive sulphide deposit, Matagami, Quebec. Mineralium Deposita, **33**: 231-238.
- MACLEAN, W.H. et DAVIDSON, A.J., 1977. Case history of the Bell-Allard mine, Matagami, Quebec. IREM / MERI, Papier 77-3. 55p.
- MACLEAN, W.H.,et KRANODIOTIS, P. 1987. Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration; Phelps Dodge massive sulphide deposit, Matagami, Quebec. Economic Geology, **82**: 951-962.
- PETERSON, J.A., 1988. Distribution of selected trace and major elements around the massive sulfide deposit at the Penn Mine, California. Economic Geology, **83**: 419-427.
- PICHE, M., GUHA, J., SULLIVAN, J., BOUCHARD, G. ET DAIGNEAULT, R., 1990 . Structure, stratigraphie et implication métallogénique-les gisements volcanogènes du camp minier de Matagami. Volume Spécial., C.I.M., sous presse.
- RIVERIN, G, HODGSON, C.J., 1980. Wall-rock alteration at the Millenbach Cu-Zn Mine, Noranda, Quebec. Economic Geology, **75**: 424-444.
- ROBERTS, R.G., 1966. Geology of the Matagami Lake mine, Galinée township, Quebec. Thèse de doctorat, Université McGill, Montreal, 224p.

- ROBERTS, R.G., 1975. The geological setting of the Mattagami Lake mine, Quebec: A volcanogenic massive sulphide deposit. *Economic Geology*, **70**: 115-129.
- ROBERTS, R.J. et REARDON, E.J., 1978. Alteration and ore forming process at Mattagami Lake mine, Quebec. *Journal canadien des sciences de la terre*, **15**: 1-21.
- SELINUS, O., 1983. Factor and discriminant analysis to lithogeochemical prospecting in an area of Central Sweden. *Journal of Geochemical Exploration*, **19**: 619-642.
- SHARPE, J.I., 1968. *Geologie et gisements de sulfures de la région de Matagami, Comté d'Abitibi-Est*. Ministère des Richesses Naturelles du Québec, Rapport Géologique 137, 122p +cartes.
- VANCE, R.K., CONDIE, K.C., 1987. Geochemistry of footwall alteration associated with the Early Proterozoic United Verde massive sulfide deposit, Jerome, Arizona. *Economic Geology*, **82**: 571-586.

ANNEXE I
LIMITES DE PRECISION DES ANALYSES CHIMIQUES

Limites de précision des analyses chimiques

| Elément | Précision analytique * |
|--------------------------------|------------------------|
| SiO ₂ | 0.01% |
| TiO ₂ | 0.01% |
| Al ₂ O ₃ | 0.01% |
| Fe ₂ O ₃ | 0.01% |
| MgO | 0.01% |
| CaO | 0.01% |
| Na ₂ O | 0.01% |
| K ₂ O | 0.01% |
| MnO | 0.01% |
| P ₂ O ₅ | 0.01% |
| Rb | 10 ppm |
| Sr | 10 ppm |
| Y | 10 ppm |
| Zr | 10 ppm |
| Nb | 10 ppm |
| Ba | 10 ppm |
| Hf | 1 ppm |
| Co | 1 ppm |
| Ga | 1 ppm |
| La | 2 ppm |
| Ce | 1 ppm |
| Nd | 0.5 ppm |
| Sm | 0.5 ppm |
| Eu | 0.1 ppm |
| Gd | 0.5 ppm |
| Dy | 0.5 ppm |
| Er | 0.5 ppm |
| Lu | 0.1 ppm |
| Cu | 0.5 ppm |
| Zn | 0.5 ppm |
| Au | 1 ppb |
| As | 1 ppm |
| S | 100 ppm |

* Les méthodes d'analyses employées sont: Fluorescence X, Spectromètre de masse au plasma, Activation neutronique, Spectromètre d'absorption atomique et Emission au plasma.

ANNEXE II

ANALYSES CHIMIQUES POUR LES ELEMENTS MAJEURS ET MINEURS (N=292)

TABEAU DES ANALYSES CHIMIQUES
Profondeur de 410-1300 (pi)

| ECHANTILLON | 87-92 | 88-114 | 70-18 | 87-92 | 70-15 | 87-92 | 70-06 | 87-89 | 87-89 | 88-113 | 70-21 |
|--------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 410 | 431.6 | 462 | 500 | 560 | 600 | 604 | 778 | 783 | 797 | 812 |
| SiO ₂ | 67.90 | 72.30 | 75.00 | 73.50 | 73.40 | 64.10 | 80.50 | 75.70 | 76.00 | 75.60 | 73.70 |
| TiO ₂ | 0.29 | 0.34 | 0.31 | 0.33 | 0.28 | 0.42 | 0.25 | 0.33 | 0.31 | 0.29 | 0.28 |
| Al ₂ O ₃ | 10.50 | 12.40 | 11.70 | 10.80 | 10.20 | 14.30 | 8.17 | 11.60 | 11.40 | 11.10 | 10.20 |
| Fe ₂ O ₃ | 9.47 | 4.35 | 2.91 | 6.12 | 5.22 | 8.24 | 3.04 | 3.95 | 2.74 | 3.40 | 4.42 |
| MgO | 2.09 | 0.50 | 0.53 | 1.25 | 1.14 | 3.17 | 0.34 | 0.59 | 0.50 | 0.83 | 0.81 |
| CaO | 2.64 | 1.61 | 2.07 | 1.48 | 1.92 | 1.29 | 0.84 | 1.34 | 1.67 | 1.59 | 3.28 |
| Na ₂ O | 1.71 | 2.14 | 1.41 | 2.98 | 2.51 | 5.59 | 3.31 | 1.74 | 3.32 | 5.44 | 3.29 |
| K ₂ O | 1.56 | 3.12 | 3.17 | 1.12 | 1.80 | 0.10 | 1.11 | 2.72 | 1.84 | 0.59 | 1.19 |
| MnO | 0.12 | 0.06 | 0.04 | 0.07 | 0.10 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.04 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| PaF | 3.70 | 2.54 | 2.70 | 2.08 | 2.93 | 2.62 | 1.85 | 2.23 | 2.23 | 1.54 | 3.00 |
| Total | 100.20 | 99.60 | 99.87 | 99.90 | 99.53 | 100.20 | 99.50 | 100.50 | 100.30 | 100.60 | 100.24 |
| Rb | 50 | 94 | 100 | 60 | 40 | 10 | 43 | 70 | 50 | 19 | 55 |
| Sr | 30 | 22 | 17 | 40 | 53 | 20 | 34 | 40 | 30 | 100 | 36 |
| Y | 160 | 231 | 220 | 200 | 212 | 250 | 188 | 200 | 200 | 181 | 196 |
| Zr | 640 | 707 | 823 | 640 | 604 | 890 | 491 | 670 | 640 | 602 | 589 |
| Nb | 50 | 21 | 44 | 40 | 57 | 60 | 25 | 40 | 40 | 46 | 29 |
| Ba | 400 | 478 | 652 | 230 | 374 | 100 | 274 | 650 | 300 | 222 | 191 |

| ECHANTILLON | 70-21 | 70-07 | 88-113 | 87-82 | 85-01 | 88-107 | 86-48 | 86-79 | 86-51 | 86-55 | 87-82 |
|--------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 812 | 873 | 904 | 1000 | 1063 | 1089 | 1094 | 1096 | 1100 | 1100 | 1100 |
| SiO ₂ | 73.70 | 74.30 | 76.20 | 76.20 | 73.90 | 73.40 | 71.60 | 72.60 | 68.70 | 71.10 | 72.80 |
| TiO ₂ | 0.28 | 0.30 | 0.29 | 0.28 | 0.25 | 0.31 | 0.27 | 0.30 | 0.24 | 0.24 | 0.28 |
| Al ₂ O ₃ | 10.20 | 11.10 | 10.50 | 9.60 | 9.28 | 11.10 | 9.75 | 11.70 | 9.55 | 10.40 | 10.60 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.42 | 4.82 | 4.51 | 1.63 | 3.27 | 3.53 | 7.90 | 3.50 | 9.11 | 6.13 | 5.33 |
| MgO | 0.81 | 0.63 | 0.81 | 0.31 | 0.32 | 0.76 | 0.66 | 0.56 | 1.26 | 0.25 | 0.54 |
| CaO | 3.28 | 0.78 | 0.77 | 3.13 | 4.16 | 1.49 | 2.44 | 2.99 | 2.89 | 3.11 | 1.97 |
| Na ₂ O | 3.29 | 3.40 | 3.90 | 2.19 | 3.23 | 3.29 | 0.70 | 1.79 | 2.72 | 4.31 | 3.55 |
| K ₂ O | 1.19 | 3.39 | 1.31 | 2.38 | 1.27 | 2.02 | 1.97 | 2.55 | 0.53 | 1.35 | 1.50 |
| MnO | 0.04 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.22 | 0.10 | 0.39 | 0.14 | 0.36 | 0.23 | 0.12 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| PaF | 3.00 | 1.00 | 1.93 | 3.23 | 4.16 | 2.85 | 3.85 | 3.62 | 3.62 | 1.47 | 2.23 |
| Total | 100.24 | 99.83 | 100.50 | 99.20 | 100.01 | 99.40 | 99.87 | 99.77 | 99.53 | 99.98 | 99.50 |
| Rb | 55 | 65 | 44 | 80 | 70 | 56 | 80 | 90 | 30 | 50 | 40 |
| Sr | 36 | 27 | 34 | 30 | 100 | 67 | 10 | 130 | 80 | 90 | 60 |
| Y | 196 | 168 | 297 | 180 | 180 | 167 | 180 | 170 | 160 | 170 | 210 |
| Zr | 589 | 591 | 616 | 570 | 590 | 588 | 630 | 640 | 590 | 610 | 630 |
| Nb | 29 | 46 | 37 | 30 | 30 | 42 | 40 | 40 | 50 | 30 | 40 |
| Ba | 191 | 716 | 350 | 280 | 210 | 513 | 360 | 570 | 190 | 240 | 340 |

| ECHANTILLON | 87-84 | 86-79 | 85-01 | 86-43 | 85-01 | 86-43 | 86-49 | 87-84 | 86-51 | 86-55 | 87-81 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1100 | 1114.5 | 1126 | 1132 | 1177 | 1187 | 1194 | 1197 | 1200 | 1200 | 1200 |
| SiO ₂ | 77.70 | 78.60 | 70.90 | 73.60 | 73.30 | 73.60 | 67.00 | 76.00 | 74.70 | 71.30 | 66.10 |
| TiO ₂ | 0.28 | 0.25 | 0.33 | 0.31 | 0.33 | 0.30 | 0.22 | 0.30 | 0.30 | 0.31 | 0.29 |
| Al ₂ O ₃ | 10.30 | 9.47 | 11.50 | 11.60 | 11.50 | 11.00 | 8.80 | 11.10 | 11.10 | 11.20 | 10.90 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.88 | 3.23 | 5.48 | 5.55 | 5.47 | 3.91 | 5.97 | 1.66 | 3.16 | 5.69 | 9.00 |
| MgO | 0.16 | 0.54 | 0.73 | 0.83 | 0.66 | 0.57 | 0.48 | 0.27 | 0.71 | 0.61 | 0.91 |
| CaO | 1.11 | 1.77 | 2.41 | 1.24 | 1.24 | 2.39 | 3.69 | 1.69 | 1.84 | 2.01 | 4.22 |
| Na ₂ O | 4.12 | 2.02 | 4.94 | 2.65 | 2.84 | 5.46 | 0.45 | 4.49 | 5.36 | 2.39 | 2.32 |
| K ₂ O | 1.64 | 2.10 | 0.90 | 1.98 | 2.18 | 0.29 | 2.50 | 1.37 | 0.59 | 2.32 | 1.11 |
| MnO | 0.04 | 0.14 | 0.09 | 0.18 | 0.10 | 0.20 | 0.31 | 0.04 | 0.14 | 0.17 | 0.41 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| PaF | 1.16 | 1.77 | 2.47 | 1.93 | 2.23 | 2.31 | 3.93 | 2.08 | 2.08 | 2.77 | 4.47 |
| Total | 100.28 | 100.10 | 100.48 | 100.24 | 99.83 | 100.31 | 99.03 | 100.09 | 98.88 | 99.57 | 99.79 |
| Rb | 50 | 55 | 20 | 90 | 50 | 20 | 100 | 20 | 30 | 50 | 40 |
| Sr | 50 | 69 | 100 | 60 | 50 | 70 | 40 | 30 | 120 | 70 | 70 |
| Y | 160 | 200 | 210 | 180 | 200 | 180 | 230 | 210 | 210 | 220 | 170 |
| Zr | 540 | 520 | 780 | 700 | 780 | 690 | 440 | 590 | 710 | 760 | 800 |
| Nb | 30 | 37 | 50 | 50 | 50 | 50 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 |
| Ba | 220 | 559 | 280 | 370 | 500 | 130 | 240 | 320 | 180 | 600 | 220 |

Profondeur de 410-1300 (pi) suite

| ECHANTILLON | 87-86 | 86-23 | 86-23 | 86-22 | 86-59 | 86-43 | 87-84 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1203 | 1250 | 1256 | 1257 | 1276 | 1289 | 1298 |
| SiO2 | 70.70 | 71.00 | 73.70 | 74.60 | 64.50 | 71.10 | 73.30 |
| TiO2 | 0.32 | 0.26 | 0.23 | 0.24 | 0.27 | 0.30 | 0.31 |
| Al2O3 | 11.20 | 9.79 | 8.50 | 9.15 | 8.18 | 11.00 | 11.30 |
| Fe2O3 | 6.74 | 7.08 | 6.59 | 6.31 | 15.30 | 8.54 | 3.96 |
| MgO | 1.05 | 0.68 | 0.64 | 0.66 | 2.18 | 1.58 | 0.86 |
| CaO | 1.65 | 1.93 | 1.61 | 2.04 | 2.67 | 0.91 | 2.07 |
| Na2O | 4.29 | 3.98 | 3.42 | 1.87 | 0.93 | 3.33 | 3.55 |
| K2O | 0.84 | 0.57 | 0.41 | 1.64 | 0.27 | 0.67 | 1.47 |
| MnO | 0.10 | 0.74 | 0.58 | 0.16 | 0.70 | 0.18 | 0.13 |
| P2O5 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |
| PaF | 2.23 | 2.62 | 2.70 | 1.85 | 4.08 | 2.23 | 2.39 |
| Total | 99.01 | 98.62 | 98.95 | 98.42 | 99.92 | 99.79 | 99.90 |
| Rb | 30 | 30 | 20 | 50 | 40 | 30 | 40 |
| Sr | 60 | 90 | 50 | 20 | 20 | 40 | 20 |
| Y | 220 | 170 | 140 | 150 | 110 | 200 | 180 |
| Zr | 680 | 610 | 560 | 560 | 570 | 730 | 630 |
| Nb | 40 | 50 | 40 | 30 | 50 | 50 | 40 |
| Ba | 400 | 200 | 140 | 320 | 140 | 240 | 150 |

Profondeur de 1300-1700 (pi)

| ECHANTILLON | 86-51 | 87-81 | 86-61 | 86-24 | 86-22 | 86-49 | 86-24 | 87-87 | 88-107 | 86-23 | 87-81 |
|--------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 1300 | 1300 | 1302 | 1310 | 1312 | 1314 | 1316.5 | 1320 | 1329 | 1342 | 1400 |
| SiO ₂ | 76.40 | 70.80 | 74.60 | 72.10 | 70.20 | 72.70 | 74.20 | 73.70 | 72.70 | 67.30 | 74.70 |
| TiO ₂ | 0.24 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.30 | 0.29 | 0.28 | 0.24 | 0.30 | 0.29 | 0.29 |
| Al ₂ O ₃ | 8.92 | 10.60 | 9.70 | 11.10 | 10.80 | 11.10 | 10.10 | 8.73 | 10.80 | 10.40 | 10.80 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.17 | 7.62 | 3.86 | 5.44 | 6.62 | 4.83 | 4.31 | 8.00 | 5.16 | 9.72 | 4.05 |
| MgO | 0.94 | 1.04 | 1.00 | 0.89 | 0.67 | 0.74 | 0.77 | 1.93 | 0.70 | 1.59 | 0.38 |
| CaO | 2.13 | 2.53 | 2.02 | 1.69 | 2.71 | 2.75 | 2.38 | 1.62 | 1.41 | 1.41 | 2.42 |
| Na ₂ O | 2.12 | 1.83 | 0.97 | 4.45 | 2.22 | 0.14 | 4.26 | 0.50 | 4.62 | 2.25 | 3.82 |
| K ₂ O | 1.52 | 1.74 | 2.45 | 0.76 | 1.79 | 3.32 | 0.81 | 1.45 | 0.90 | 1.18 | 1.10 |
| MnO | 0.15 | 0.23 | 0.09 | 0.15 | 0.11 | 0.19 | 0.14 | 0.18 | 0.07 | 0.33 | 0.14 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 |
| PaF | 2.54 | 3.31 | 3.39 | 2.85 | 3.16 | 3.93 | 2.00 | 3.16 | 1.93 | 4.62 | 2.54 |
| Total | 100.16 | 100.02 | 98.41 | 99.75 | 98.61 | 100.02 | 99.29 | 99.54 | 98.62 | 99.13 | 100.28 |
| Rb | 50 | 90 | 70 | 20 | 60 | 130 | 31 | 40 | 44 | 40 | 30 |
| Sr | 30 | 70 | 20 | 70 | 40 | 30 | 63 | 10 | 92 | 30 | 70 |
| Y | 140 | 190 | 180 | 200 | 170 | 190 | 182 | 150 | 191 | 180 | 210 |
| Zr | 570 | 780 | 630 | 710 | 630 | 690 | 567 | 520 | 626 | 710 | 670 |
| Nb | 40 | 40 | 50 | 40 | 40 | 50 | 30 | 40 | 38 | 50 | 30 |
| Ba | 300 | 270 | 460 | 150 | 360 | 390 | 162 | 220 | 261 | 200 | 250 |

| ECHANTILLON | 87-87 | 86-49 | 86-73 | 86-59 | 86-70 | 70-17 | 86-77 | 86-48 | 86-73 | 86-55 | 86-27 |
|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 1400 | 1407 | 1434 | 1437 | 1437 | 1450 | 1450 | 1496 | 1500 | 1502 | 1507 |
| SiO ₂ | 73.30 | 62.50 | 70.00 | 74.60 | 59.70 | 75.40 | 69.30 | 65.90 | 75.80 | 67.60 | 77.70 |
| TiO ₂ | 0.36 | 0.26 | 0.30 | 0.28 | 0.36 | 0.28 | 0.24 | 0.27 | 0.31 | 0.26 | 0.28 |
| Al ₂ O ₃ | 11.50 | 10.00 | 10.80 | 9.88 | 11.30 | 10.00 | 8.50 | 10.20 | 11.80 | 9.58 | 10.60 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.72 | 11.40 | 5.87 | 4.61 | 17.80 | 3.57 | 9.22 | 11.40 | 2.99 | 8.22 | 3.12 |
| MgO | 0.55 | 2.19 | 2.30 | 0.91 | 5.33 | 0.59 | 1.28 | 2.31 | 0.68 | 3.72 | 0.40 |
| CaO | 1.80 | 4.16 | 2.25 | 1.08 | 0.40 | 1.75 | 3.19 | 1.38 | 0.81 | 2.36 | 1.10 |
| Na ₂ O | 4.28 | 2.15 | 1.20 | 3.88 | 0.06 | 4.67 | 0.42 | 0.07 | 5.61 | 3.09 | 5.34 |
| K ₂ O | 1.86 | 0.80 | 2.08 | 1.05 | 0.38 | 1.37 | 1.85 | 2.38 | 1.07 | 0.30 | 0.39 |
| MnO | 0.06 | 0.61 | 0.23 | 0.13 | 0.14 | 0.12 | 0.37 | 0.12 | 0.09 | 0.27 | 0.10 |
| P ₂ O ₅ | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 |
| PaF | 2.16 | 6.31 | 4.16 | 2.62 | 4.39 | 2.00 | 5.62 | 4.54 | 1.08 | 4.00 | 1.39 |
| Total | 98.63 | 100.42 | 99.22 | 99.07 | 99.90 | 99.78 | 100.02 | 98.61 | 100.28 | 99.44 | 100.45 |
| Rb | 20 | 40 | 60 | 40 | 40 | 25 | 70 | 70 | 30 | 40 | 20 |
| Sr | 50 | 70 | 70 | 50 | 10 | 88 | 40 | 10 | 60 | 80 | 80 |
| Y | 190 | 160 | 210 | 180 | 170 | 198 | 140 | 160 | 160 | 160 | 180 |
| Zr | 630 | 810 | 720 | 630 | 840 | 558 | 550 | 650 | 670 | 620 | 620 |
| Nb | 40 | 40 | 30 | 50 | 40 | 38 | 40 | 50 | 50 | 50 | 30 |
| Ba | 370 | 190 | 430 | 250 | 160 | 289 | 340 | 450 | 240 | 100 | 110 |

| ECHANTILLON | 86-21 | 86-72 | 85-05 | 86-70 | 86-22 | 86-64 | 86-49 | 86-23 | 86-72 | 86-72 | 86-61 |
|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1513 | 1559 | 1563 | 1570 | 1573 | 1576 | 1579 | 1580 | 1592 | 1596 | 1599 |
| SiO ₂ | 73.70 | 79.20 | 75.80 | 51.80 | 61.50 | 68.10 | 59.10 | 56.50 | 73.40 | 73.70 | 21.80 |
| TiO ₂ | 0.25 | 0.29 | 0.29 | 0.27 | 0.29 | 0.28 | 0.27 | 1.41 | 0.32 | 0.32 | 0.11 |
| Al ₂ O ₃ | 9.34 | 10.20 | 10.30 | 9.32 | 9.80 | 10.00 | 9.68 | 11.30 | 11.40 | 10.60 | 3.23 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.32 | 1.32 | 3.30 | 23.50 | 18.60 | 8.83 | 7.99 | 14.20 | 4.21 | 3.46 | 36.70 |
| MgO | 0.69 | 0.34 | 0.45 | 4.06 | 4.28 | 1.56 | 14.20 | 3.60 | 0.98 | 0.77 | 9.77 |
| CaO | 2.12 | 0.85 | 1.59 | 3.28 | 0.33 | 3.08 | 1.35 | 3.82 | 1.01 | 1.42 | 7.79 |
| Na ₂ O | 3.57 | 5.87 | 4.89 | 0.01 | 0.01 | 1.75 | 0.04 | 2.41 | 5.09 | 4.59 | 0.18 |
| K ₂ O | 0.56 | 0.52 | 0.50 | 0.20 | 0.10 | 1.99 | 0.09 | 0.23 | 0.92 | 1.15 | 0.36 |
| MnO | 0.21 | 0.06 | 0.23 | 0.52 | 0.48 | 0.33 | 0.15 | 0.22 | 0.08 | 0.08 | 1.84 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.30 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| PaF | 3.16 | 1.31 | 2.08 | 5.93 | 4.23 | 4.23 | 7.47 | 5.00 | 2.62 | 3.08 | 12.60 |
| Total | 98.95 | 100.00 | 99.46 | 98.93 | 99.66 | 100.18 | 100.37 | 98.99 | 100.07 | 99.21 | 94.42 |
| Rb | 20 | 20 | 10 | 20 | 10 | 60 | 20 | 20 | 50 | 40 | 10 |
| Sr | 50 | 70 | 130 | 10 | 10 | 60 | 40 | 70 | 90 | 70 | 10 |
| Y | 170 | 270 | 160 | 140 | 120 | 160 | 160 | 60 | 250 | 180 | 30 |
| Zr | 590 | 630 | 620 | 700 | 690 | 610 | 660 | 260 | 720 | 620 | 200 |
| Nb | 50 | 20 | 30 | 60 | 70 | 40 | 50 | 40 | 50 | 50 | 40 |
| Ba | 170 | 220 | 190 | 120 | 110 | 580 | 110 | 100 | 310 | 300 | 100 |

Profondeur 1300-1700 (suite)

| ECHANTILLON | 86-59 | 86-63 | 86-69 | 86-70 | 86-73 | 86-77 | 86-18 | 85-03 | 86-74 | 86-76 | 87-96 |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 1609 | 1621 | 1623 | 1625 | 1641 |
| SiO ₂ | 75.40 | 59.20 | 55.20 | 76.00 | 70.40 | 58.90 | 60.80 | 29.10 | 58.20 | 66.50 | 75.50 |
| TiO ₂ | 0.29 | 0.26 | 0.25 | 0.23 | 0.34 | 0.27 | 0.28 | 0.17 | 0.23 | 0.29 | 0.26 |
| Al ₂ O ₃ | 10.00 | 9.09 | 8.84 | 7.68 | 13.30 | 9.28 | 9.41 | 5.53 | 7.91 | 10.60 | 10.60 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.17 | 16.40 | 22.70 | 8.05 | 4.38 | 15.70 | 18.60 | 24.90 | 18.30 | 9.09 | 3.14 |
| MgO | 2.31 | 2.74 | 4.11 | 1.35 | 1.20 | 3.71 | 4.62 | 15.00 | 3.58 | 1.84 | 0.52 |
| CaO | 0.54 | 4.29 | 2.03 | 0.07 | 1.13 | 2.64 | 0.67 | 8.43 | 3.15 | 2.87 | 2.22 |
| Na ₂ O | 1.66 | 1.36 | 0.10 | 0.13 | 5.82 | 1.59 | 0.01 | 0.24 | 0.69 | 2.39 | 4.55 |
| K ₂ O | 2.03 | 0.60 | 1.10 | 1.82 | 1.14 | 0.79 | 0.04 | 0.40 | 0.07 | 1.84 | 1.07 |
| MnO | 0.11 | 0.77 | 0.66 | 0.13 | 0.12 | 0.72 | 0.47 | 0.85 | 1.17 | 0.41 | 0.12 |
| P ₂ O ₅ | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |
| PaF | 2.47 | 4.77 | 4.47 | 2.77 | 2.08 | 4.93 | 4.31 | 15.20 | 5.93 | 4.08 | 1.93 |
| Total | 100.02 | 99.51 | 99.50 | 98.26 | 99.95 | 98.57 | 99.25 | 99.86 | 99.26 | 99.95 | 99.94 |
| Rb | 50 | 30 | 70 | 40 | 10 | 40 | 10 | 10 | 10 | 60 | 30 |
| Sr | 20 | 50 | 10 | 10 | 100 | 30 | 10 | 100 | 40 | 100 | 130 |
| Y | 180 | 130 | 120 | 90 | 270 | 140 | 140 | 70 | 110 | 170 | 120 |
| Zr | 610 | 610 | 620 | 500 | 790 | 610 | 680 | 300 | 550 | 640 | 570 |
| Nb | 40 | 40 | 50 | 40 | 50 | 50 | 40 | 30 | 60 | 40 | 40 |
| Ba | 620 | 200 | 160 | 450 | 270 | 150 | 90 | 80 | 130 | 440 | 310 |

| ECHANTILLON | 85-03 | 86-60 | 86-23 | 86-70 | 86-19 | 85-03 | 86-70 | 86-17 | 86-27 | 86-64 | 85-03 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1642 | 1644 | 1647 | 1649 | 1658 | 1659 | 1660 | 1666 | 1671 | 1674 | 1678 |
| SiO ₂ | 43.40 | 48.00 | 69.40 | 72.40 | 57.00 | 31.20 | 66.80 | 72.30 | 75.70 | 72.90 | 52.20 |
| TiO ₂ | 0.25 | 0.24 | 0.29 | 0.22 | 0.32 | 0.36 | 0.23 | 0.31 | 0.29 | 0.25 | 0.23 |
| Al ₂ O ₃ | 8.82 | 8.38 | 10.40 | 7.37 | 11.70 | 15.80 | 8.21 | 10.50 | 11.00 | 8.81 | 8.40 |
| Fe ₂ O ₃ | 15.00 | 24.50 | 6.56 | 12.60 | 16.60 | 22.10 | 13.30 | 6.56 | 3.50 | 6.09 | 13.50 |
| MgO | 22.90 | 4.40 | 5.90 | 2.42 | 4.10 | 18.20 | 4.26 | 1.33 | 0.80 | 1.77 | 11.60 |
| CaO | 0.71 | 3.75 | 0.64 | 0.28 | 1.26 | 0.55 | 1.01 | 0.92 | 0.75 | 2.44 | 3.19 |
| Na ₂ O | 0.20 | 0.07 | 1.05 | 0.62 | 2.73 | 0.22 | 0.54 | 3.78 | 5.11 | 3.81 | 0.14 |
| K ₂ O | 0.90 | 0.54 | 1.69 | 0.78 | 0.66 | 1.42 | 0.68 | 0.67 | 0.78 | 0.27 | 1.87 |
| MnO | 0.21 | 1.30 | 0.11 | 0.11 | 0.34 | 0.31 | 0.13 | 0.16 | 0.09 | 0.43 | 0.52 |
| P ₂ O ₅ | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| PaF | 7.08 | 7.31 | 3.54 | 2.31 | 4.31 | 8.54 | 3.39 | 2.39 | 1.77 | 2.70 | 7.31 |
| Total | 99.51 | 98.52 | 99.62 | 99.14 | 99.06 | 98.76 | 98.59 | 98.96 | 99.83 | 99.50 | 98.99 |
| Rb | 10 | 60 | 20 | 30 | 40 | 10 | 10 | 10 | 20 | 10 | 50 |
| Sr | 10 | 40 | 20 | 10 | 40 | 10 | 20 | 70 | 110 | 60 | 50 |
| Y | 130 | 40 | 160 | 120 | 90 | 230 | 100 | 190 | 210 | 140 | 130 |
| Zr | 530 | 550 | 650 | 500 | 740 | 790 | 500 | 660 | 660 | 530 | 470 |
| Nb | 60 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 | 60 | 40 | 40 | 40 | 20 |
| Ba | 120 | 150 | 490 | 330 | 110 | 140 | 230 | 270 | 230 | 100 | 120 |

| ECHANTILLON | 86-22 | 86-70 | 85-03 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 1688 | 1690 | 1695 |
| SiO ₂ | 73.90 | 71.50 | 55.90 |
| TiO ₂ | 0.22 | 0.22 | 0.25 |
| Al ₂ O ₃ | 7.87 | 7.46 | 8.87 |
| Fe ₂ O ₃ | 9.35 | 10.20 | 13.40 |
| MgO | 3.07 | 5.28 | 12.20 |
| CaO | 0.06 | 0.46 | 1.52 |
| Na ₂ O | 0.01 | 0.62 | 0.18 |
| K ₂ O | 0.88 | 0.93 | 0.85 |
| MnO | 0.06 | 0.07 | 0.29 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| PaF | 3.31 | 3.08 | 6.70 |
| Total | 98.76 | 99.85 | 100.19 |
| Rb | 10 | 10 | 10 |
| Sr | 10 | 10 | 20 |
| Y | 140 | 100 | 130 |
| Zr | 520 | 480 | 530 |
| Nb | 30 | 30 | 50 |
| Ba | 160 | 180 | 110 |

Profondeur1700-1861 (pi)

| ECHANTILLON | 85-11 | 86-61 | IM-86-67 | 86-71 | 86-17 | 86-57 | 86-59 | 86-60 | 87-97 | 86-27 | 86-59 |
|----------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1700 | 1700 | 1700 | 1700 | 1702 | 1702 | 1702 | 1708 | 1708 | 1710 | 1711 |
| SiO2 | 62.00 | 70.10 | 43.60 | 58.60 | 62.80 | 66.10 | 61.10 | 54.20 | 77.30 | 65.60 | 66.20 |
| TiO2 | 0.28 | 0.21 | 0.42 | 0.28 | 0.28 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.23 | 0.26 | 0.28 |
| Al2O3 | 11.50 | 7.11 | 14.70 | 10.40 | 9.05 | 11.50 | 10.70 | 11.00 | 8.56 | 8.98 | 9.36 |
| Fe2O3 | 10.70 | 13.30 | 21.90 | 15.00 | 10.90 | 10.00 | 12.60 | 17.10 | 4.69 | 8.00 | 13.70 |
| MgO | 8.44 | 3.51 | 12.30 | 3.17 | 10.00 | 2.67 | 8.68 | 8.98 | 0.39 | 11.00 | 5.31 |
| CaO | 0.09 | 0.29 | 0.06 | 3.37 | 1.19 | 1.25 | 0.11 | 0.93 | 2.00 | 0.26 | 0.07 |
| Na2O | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 2.29 | 0.07 | 4.75 | 0.41 | 0.02 | 3.58 | 0.01 | 0.18 |
| K2O | 1.97 | 0.11 | 0.08 | 0.21 | 0.06 | 0.11 | 0.11 | 0.13 | 0.63 | 0.07 | 0.24 |
| MnO | 0.08 | 0.12 | 0.21 | 0.37 | 0.12 | 0.35 | 0.12 | 0.36 | 0.13 | 0.11 | 0.11 |
| P2O5 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| PaF | 4.39 | 3.54 | 7.00 | 4.93 | 5.47 | 2.54 | 5.00 | 6.08 | 1.47 | 5.54 | 3.77 |
| Total | 99.50 | 98.34 | 100.33 | 98.65 | 99.98 | 99.63 | 99.18 | 99.16 | 99.01 | 99.86 | 99.25 |
| Rb | 90 | 10 | 40 | 10 | 10 | 30 | 30 | 40 | 10 | 10 | 22 |
| Sr | 10 | 10 | 10 | 30 | 10 | 60 | 10 | 10 | 80 | 10 | 10 |
| Y | 160 | 110 | 210 | 140 | 130 | 170 | 160 | 150 | 130 | 160 | 278 |
| Zr | 710 | 480 | 1080 | 710 | 580 | 750 | 750 | 780 | 480 | 600 | 592 |
| Nb | 50 | 40 | 80 | 50 | 50 | 60 | 60 | 50 | 30 | 40 | 45 |
| Ba | 400 | 80 | 130 | 120 | 80 | 120 | 160 | 130 | 180 | 90 | 147 |

| ECHANTILLON | 86-26 | 86-67 | 86-17 | 86-52 | 86-65 | 85-15 | 85-10 | 86-53 | 85-10 | 86-26 | 86-31 |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1715.5 | 1717 | 1722 | 1725 | 1725 | 1727 | 1734 | 1738 | 1745 | 1745 | 1746 |
| SiO2 | 62.10 | 34.90 | 58.60 | 70.40 | 66.60 | 34.90 | 69.80 | 66.50 | 74.00 | 34.10 | 66.30 |
| TiO2 | 0.30 | 0.52 | 0.28 | 0.27 | 0.27 | 0.51 | 0.21 | 0.28 | 0.20 | 0.40 | 0.26 |
| Al2O3 | 10.20 | 19.40 | 9.60 | 9.66 | 10.00 | 17.90 | 7.65 | 10.40 | 6.30 | 19.00 | 9.13 |
| Fe2O3 | 10.50 | 19.20 | 12.40 | 9.25 | 12.00 | 27.00 | 13.50 | 7.76 | 12.60 | 20.60 | 13.60 |
| MgO | 11.90 | 14.20 | 11.90 | 1.48 | 1.69 | 10.40 | 4.17 | 1.84 | 3.79 | 14.80 | 5.85 |
| CaO | 0.05 | 0.93 | 0.33 | 1.61 | 1.94 | 0.13 | 0.76 | 2.97 | 0.22 | 0.16 | 0.11 |
| Na2O | 0.01 | 1.80 | 0.01 | 2.76 | 4.02 | 0.03 | 0.01 | 2.80 | 0.12 | 1.47 | 0.03 |
| K2O | 0.07 | 1.53 | 0.04 | 0.71 | 0.54 | 0.17 | 0.06 | 1.26 | 0.04 | 0.36 | 0.10 |
| MnO | 0.05 | 0.22 | 0.09 | 0.52 | 0.49 | 0.30 | 0.28 | 0.44 | 0.16 | 0.16 | 0.04 |
| P2O5 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.07 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.08 | 0.04 |
| PaF | 5.31 | 7.23 | 5.85 | 2.77 | 2.39 | 7.39 | 3.62 | 5.47 | 2.85 | 7.77 | 3.77 |
| Total | 100.52 | 99.98 | 99.13 | 99.46 | 99.97 | 98.80 | 100.09 | 99.76 | 100.31 | 98.90 | 99.23 |
| Rb | 14 | 65 | 10 | 50 | 40 | 20 | 10 | 40 | 10 | 27 | 15 |
| Sr | 10 | 46 | 10 | 50 | 50 | 10 | 10 | 70 | 10 | 27 | 10 |
| Y | 164 | 197 | 130 | 40 | 130 | 260 | 110 | 130 | 10 | 387 | 160 |
| Zr | 667 | 1200 | 660 | 620 | 650 | 1310 | 490 | 610 | 399 | 919 | 537 |
| Nb | 41 | 66 | 60 | 50 | 30 | 80 | 40 | 40 | 31 | 71 | 58 |
| Ba | 75 | 261 | 100 | 330 | 320 | 140 | 120 | 410 | 126 | 133 | 85 |

| ECHANTILLON | IM-86-47 | 85-03 | 86-26 | 86-28 | 86-25 | 86-22 | 86-25 | 86-46 | 85-11 | 86-60 | 86-20 |
|----------------|----------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1746 | 1747 | 1747 | 1747 | 1747.5 | 1748 | 1749 | 1749 | 1751 | 1753 | 1756 |
| SiO2 | 63.80 | 75.90 | 30.30 | 74.60 | 62.30 | 70.20 | 60.10 | 70.70 | 29.50 | 59.40 | 72.20 |
| TiO2 | 0.33 | 0.17 | 0.53 | 0.22 | 0.31 | 0.23 | 0.33 | 0.28 | 0.20 | 0.24 | 0.29 |
| Al2O3 | 12.20 | 5.75 | 19.20 | 7.38 | 10.30 | 8.18 | 11.40 | 10.80 | 17.70 | 8.30 | 10.80 |
| Fe2O3 | 11.20 | 9.46 | 22.20 | 9.23 | 14.00 | 11.30 | 14.40 | 7.30 | 22.00 | 17.70 | 6.72 |
| MgO | 1.35 | 4.72 | 16.70 | 5.42 | 7.53 | 3.54 | 8.46 | 1.17 | 19.10 | 5.89 | 0.88 |
| CaO | 2.77 | 0.32 | 0.16 | 0.05 | 0.02 | 0.42 | 0.08 | 1.73 | 0.23 | 1.52 | 1.34 |
| Na2O | 0.73 | 0.13 | 0.75 | 0.02 | 0.01 | 0.43 | 0.04 | 1.41 | 0.01 | 0.19 | 1.60 |
| K2O | 2.42 | 0.03 | 0.15 | 0.11 | 0.01 | 0.63 | 0.03 | 2.68 | 1.16 | 0.08 | 2.15 |
| MnO | 0.38 | 0.11 | 0.17 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.09 | 0.17 | 0.17 | 0.20 | 0.13 |
| P2O5 | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.06 | 0.04 | 0.03 |
| PaF | 4.39 | 3.00 | 9.39 | 3.31 | 4.54 | 3.54 | 5.23 | 3.16 | 9.31 | 4.62 | 2.62 |
| Total | 99.61 | 99.63 | 99.62 | 100.42 | 99.10 | 98.56 | 100.21 | 99.43 | 99.44 | 98.18 | 98.76 |
| Rb | 60 | 10 | 30 | 10 | 17 | 20 | 10 | 90 | 60 | 30 | 40 |
| Sr | 30 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 30 | 10 | 30 | 40 |
| Y | 160 | 130 | 290 | 90 | 141 | 130 | 150 | 160 | 110 | 140 | 170 |
| Zr | 750 | 330 | 1350 | 490 | 643 | 560 | 790 | 660 | 490 | 540 | 670 |
| Nb | 50 | 40 | 90 | 40 | 45 | 40 | 50 | 40 | 50 | 60 | 50 |
| Ba | 640 | 100 | 140 | 110 | 70 | 110 | 100 | 570 | 140 | 80 | 480 |

Profondeur1700-1861 (suite)

| ECHANTILLON | 85-15 | 86-17 | 86-50 | 86-77 | 85-03 | 86-25 | 85-05 | 87-98 | 85-03 | 85-10 | 86-18 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1758 | 1761 | 1762 | 1767 | 1769 | 1769 | 1774 | 1775 | 1779 | 1784 | 1785 |
| SiO2 | 29.80 | 75.90 | 70.90 | 69.90 | 73.80 | 31.20 | 73.20 | 76.10 | 73.80 | 43.10 | 74.10 |
| TiO2 | 0.63 | 0.22 | 0.28 | 0.30 | 0.20 | 0.61 | 0.34 | 0.31 | 0.19 | 0.47 | 0.32 |
| Al2O3 | 23.00 | 7.21 | 10.60 | 10.80 | 6.72 | 21.40 | 12.50 | 10.90 | 6.93 | 16.70 | 11.50 |
| Fe2O3 | 18.70 | 6.71 | 5.16 | 8.43 | 8.71 | 18.80 | 3.09 | 3.26 | 7.70 | 18.80 | 3.66 |
| MgO | 15.40 | 5.28 | 0.88 | 1.22 | 6.17 | 17.80 | 0.54 | 0.60 | 6.52 | 12.40 | 3.17 |
| CaO | 0.02 | 0.03 | 2.59 | 1.57 | 0.03 | 0.06 | 1.52 | 1.02 | 0.03 | 0.01 | 0.06 |
| Na2O | 0.01 | 0.06 | 3.58 | 3.66 | 0.07 | 0.06 | 5.35 | 3.94 | 0.14 | 0.01 | 0.29 |
| K2O | 2.14 | 0.38 | 1.51 | 1.39 | 0.02 | 0.63 | 1.01 | 2.03 | 0.04 | 0.26 | 3.19 |
| MnO | 0.16 | 0.04 | 0.17 | 0.11 | 0.10 | 0.13 | 0.10 | 0.14 | 0.07 | 0.19 | 0.04 |
| P2O5 | 0.06 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.04 |
| PaF | 8.93 | 3.31 | 3.23 | 2.54 | 3.47 | 9.23 | 1.85 | 1.62 | 3.54 | 7.23 | 3.16 |
| Total | 98.85 | 99.17 | 98.93 | 99.95 | 99.33 | 99.97 | 99.54 | 99.96 | 98.99 | 99.22 | 99.53 |
| Rb | 30 | 10 | 50 | 50 | 10 | 20 | 20 | 48 | 10 | 10 | 70 |
| Sr | 10 | 10 | 130 | 60 | 10 | 10 | 90 | 172 | 10 | 10 | 10 |
| Y | 320 | 140 | 170 | 180 | 110 | 270 | 150 | 174 | 100 | 230 | 180 |
| Zr | 1660 | 500 | 670 | 710 | 390 | 1630 | 710 | 635 | 380 | 1300 | 700 |
| Nb | 100 | 40 | 50 | 50 | 40 | 80 | 50 | 60 | 50 | 70 | 40 |
| Ba | 290 | 130 | 340 | 560 | 70 | 140 | 220 | 682 | 100 | 160 | 670 |

| ECHANTILLON | 86-25 | 85-15 | 86-59 | 86-61 | 85-05 | 86-28 | 86-53 | 85-15 | 86-25 | 86-53 | 85-13 |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1791 | 1799 | 1800 | 1800 | 1804 | 1807 | 1807 | 1813 | 1818 | 1818 | 1830 |
| SiO2 | 28.60 | 73.80 | 65.80 | 74.50 | 78.00 | 78.20 | 64.10 | 74.50 | 69.00 | 58.30 | 59.50 |
| TiO2 | 0.65 | 0.24 | 0.27 | 0.25 | 0.29 | 0.23 | 0.25 | 0.29 | 0.33 | 0.26 | 0.21 |
| Al2O3 | 22.80 | 9.56 | 9.13 | 9.00 | 10.90 | 8.77 | 8.90 | 10.50 | 12.20 | 9.33 | 7.11 |
| Fe2O3 | 15.40 | 4.40 | 9.80 | 5.47 | 1.79 | 5.37 | 12.00 | 4.15 | 5.06 | 16.80 | 19.70 |
| MgO | 21.50 | 5.47 | 5.12 | 4.69 | 0.31 | 3.51 | 3.41 | 5.12 | 7.13 | 4.52 | 3.87 |
| CaO | 0.03 | 0.06 | 1.71 | 0.14 | 0.79 | 0.02 | 3.08 | 0.04 | 0.02 | 2.95 | 1.99 |
| Na2O | 0.04 | 0.01 | 1.71 | 0.01 | 4.24 | 0.01 | 1.62 | 0.01 | 0.03 | 0.48 | 0.01 |
| K2O | 0.66 | 1.76 | 0.16 | 1.94 | 1.43 | 1.45 | 0.10 | 2.21 | 2.15 | 0.08 | 0.08 |
| MnO | 0.12 | 0.04 | 0.09 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.46 | 0.02 | 0.04 | 0.58 | 0.93 |
| P2O5 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |
| PaF | 10.20 | 3.47 | 4.62 | 2.85 | 1.47 | 2.47 | 4.93 | 3.08 | 4.00 | 6.08 | 5.39 |
| Total | 100.05 | 98.85 | 98.44 | 98.93 | 99.31 | 100.10 | 98.88 | 99.95 | 99.99 | 99.42 | 98.82 |
| Rb | 30 | 40 | 30 | 50 | 30 | 40 | 40 | 47 | 50 | 30 | 20 |
| Sr | 10 | 10 | 20 | 10 | 60 | 10 | 70 | 10 | 10 | 50 | 10 |
| Y | 340 | 140 | 180 | 180 | 170 | 190 | 130 | 169 | 240 | 140 | 120 |
| Zr | 1680 | 550 | 620 | 570 | 610 | 550 | 590 | 608 | 770 | 650 | 510 |
| Nb | 90 | 40 | 40 | 40 | 50 | 30 | 60 | 29 | 50 | 40 | 60 |
| Ba | 160 | 250 | 120 | 290 | 250 | 240 | 110 | 310 | 290 | 110 | 110 |

| ECHANTILLON | 86-17 | 85-10 | 86-23 | 85-13 | 86-54 |
|----------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1830 | 1834 | 1848 | 1850 | 1861 |
| SiO2 | 32.40 | 27.70 | 70.80 | 52.30 | 60.80 |
| TiO2 | 0.57 | 0.62 | 0.24 | 0.30 | 0.28 |
| Al2O3 | 20.80 | 22.10 | 8.82 | 10.60 | 9.46 |
| Fe2O3 | 17.20 | 15.10 | 8.46 | 22.70 | 14.90 |
| MgO | 18.50 | 23.10 | 6.31 | 5.97 | 8.40 |
| CaO | 0.01 | 0.01 | 0.26 | 0.90 | 0.09 |
| Na2O | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.07 | 0.35 |
| K2O | 0.30 | 0.17 | 0.86 | 0.06 | 0.04 |
| MnO | 0.08 | 0.17 | 0.04 | 0.42 | 0.10 |
| P2O5 | 0.11 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |
| PaF | 9.39 | 10.80 | 4.31 | 5.77 | 4.93 |
| Total | 99.37 | 99.83 | 100.14 | 99.13 | 99.38 |
| Rb | 10 | 10 | 30 | 10 | 10 |
| Sr | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Y | 380 | 330 | 140 | 110 | 150 |
| Zr | 1530 | 1710 | 580 | 730 | 660 |
| Nb | 80 | 90 | 40 | 50 | 50 |
| Ba | 130 | 160 | 180 | 150 | 130 |

Profondeur 1861-2500 (pi)

| ECHANTILLON | 85-10 | 86-36 | 86-17 | 86-45 | 86-50 | 86-32 | 87-97 | 86-32 | 85-13 | 85-10 | 86-47 |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 1882 | 1882 | 1884 | 1887 | 1895 | 1899 | 1905 | 1906 | 1920 | 1934 | 1961 |
| SiO2 | 74.90 | 74.30 | 71.80 | 76.00 | 67.90 | 61.70 | 76.50 | 61.90 | 66.10 | 69.00 | 74.90 |
| TiO2 | 0.30 | 0.28 | 0.31 | 0.31 | 0.27 | 0.28 | 0.30 | 0.58 | 0.24 | 0.28 | 0.25 |
| Al2O3 | 10.90 | 10.70 | 11.00 | 11.60 | 9.94 | 10.40 | 10.90 | 10.60 | 7.82 | 10.10 | 9.30 |
| Fe2O3 | 2.88 | 4.57 | 4.42 | 2.31 | 7.71 | 15.60 | 4.23 | 13.70 | 14.20 | 4.77 | 2.97 |
| MgO | 5.76 | 0.89 | 5.89 | 0.53 | 1.95 | 4.09 | 0.87 | 3.48 | 6.45 | 8.95 | 0.49 |
| CaO | 0.01 | 0.90 | 0.02 | 0.66 | 3.42 | 0.96 | 0.35 | 2.45 | 0.11 | 0.03 | 1.92 |
| Na2O | 0.01 | 2.99 | 0.01 | 5.36 | 3.28 | 1.71 | 2.04 | 3.19 | 0.01 | 0.01 | 4.24 |
| K2O | 2.19 | 2.77 | 1.85 | 1.26 | 1.11 | 0.15 | 3.25 | 0.04 | 0.14 | 1.00 | 1.61 |
| MnO | 0.04 | 0.11 | 0.03 | 0.07 | 0.29 | 0.37 | 0.08 | 0.23 | 0.11 | 0.07 | 0.27 |
| P2O5 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |
| PaF | 3.23 | 1.62 | 3.85 | 1.08 | 4.00 | 3.77 | 1.47 | 3.16 | 4.08 | 5.08 | 2.85 |
| Total | 100.25 | 99.16 | 99.22 | 99.22 | 99.90 | 99.07 | 99.82 | 99.39 | 99.29 | 99.33 | 98.83 |
| Rb | 40 | 50 | 20 | 20 | 40 | 10 | 50 | 22 | 10 | 40 | 30 |
| Sr | 10 | 100 | 10 | 120 | 140 | 10 | 20 | 65 | 10 | 10 | 90 |
| Y | 200 | 190 | 230 | 150 | 150 | 190 | 210 | 212 | 120 | 230 | 140 |
| Zr | 690 | 650 | 720 | 690 | 650 | 710 | 610 | 574 | 590 | 660 | 520 |
| Nb | 50 | 50 | 40 | 50 | 50 | 40 | 40 | 45 | 50 | 40 | 60 |
| Ba | 300 | 630 | 290 | 350 | 370 | 150 | 740 | 49 | 110 | 220 | 340 |

| ECHANTILLON | 85-06 | 86-33 | 86-30 | 86-45 | 85-05 | 85-06 | 86-36 | 86-54 | 86-50 | 86-36 | 86-72 |
|----------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 1962 | 1967 | 1968 | 1970 | 1972 | 1977 | 1980 | 1983 | 2000 | 2003 | 2003 |
| SiO2 | 69.50 | 46.40 | 70.70 | 67.60 | 75.30 | 73.60 | 75.70 | 36.40 | 61.70 | 59.90 | 72.20 |
| TiO2 | 0.29 | 1.96 | 0.23 | 0.21 | 0.29 | 0.28 | 0.24 | 0.54 | 0.29 | 0.31 | 0.33 |
| Al2O3 | 11.40 | 11.90 | 8.00 | 7.63 | 10.90 | 10.10 | 8.62 | 20.00 | 9.71 | 10.60 | 11.40 |
| Fe2O3 | 6.94 | 16.80 | 14.10 | 7.91 | 2.80 | 4.41 | 4.67 | 16.90 | 16.50 | 11.30 | 5.55 |
| MgO | 1.43 | 4.87 | 3.42 | 7.16 | 0.78 | 0.81 | 2.96 | 12.60 | 6.74 | 11.10 | 0.82 |
| CaO | 1.34 | 7.61 | 0.07 | 1.25 | 1.74 | 1.96 | 1.54 | 0.52 | 0.14 | 0.16 | 1.82 |
| Na2O | 1.22 | 1.99 | 0.03 | 0.40 | 4.86 | 2.97 | 3.10 | 1.93 | 0.35 | 0.02 | 2.65 |
| K2O | 3.87 | 0.06 | 0.14 | 0.38 | 0.85 | 2.12 | 0.42 | 2.12 | 0.03 | 0.04 | 3.27 |
| MnO | 0.25 | 0.42 | 0.10 | 0.08 | 0.06 | 0.16 | 0.11 | 0.23 | 0.16 | 0.12 | 0.08 |
| P2O5 | 0.03 | 0.18 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.07 | 0.03 | 0.04 | 0.04 |
| PaF | 2.39 | 8.31 | 3.23 | 3.85 | 2.16 | 2.00 | 2.93 | 7.08 | 4.62 | 5.85 | 2.16 |
| Total | 98.66 | 100.50 | 100.05 | 96.50 | 99.77 | 98.44 | 100.32 | 98.39 | 100.27 | 99.44 | 100.32 |
| Rb | 60 | 10 | 10 | 10 | 20 | 50 | 20 | 100 | 20 | 20 | 70 |
| Sr | 30 | 230 | 10 | 10 | 90 | 40 | 90 | 50 | 10 | 10 | 30 |
| Y | 140 | 20 | 130 | 100 | 170 | 110 | 160 | 350 | 150 | 170 | 190 |
| Zr | 630 | 110 | 550 | 460 | 610 | 570 | 550 | 1420 | 700 | 770 | 680 |
| Nb | 60 | 30 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 80 | 40 | 60 | 50 |
| Ba | 1180 | 70 | 110 | 110 | 190 | 330 | 190 | 430 | 120 | 120 | 600 |

| ECHANTILLON | 86-30 | 70-16 | 86-30 | 85-06 | 86-53 | 86-36 | 85-05 | 86-57 | 86-40 | 85-05 | 86-74 |
|----------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 2009 | 2020 | 2026 | 2037 | 2037 | 2040 | 2041 | 2052 | 2056 | 2059 | 2059 |
| SiO2 | 26.40 | 77.90 | 31.90 | 74.00 | 65.30 | 66.80 | 76.40 | 47.70 | 72.50 | 71.00 | 75.00 |
| TiO2 | 0.52 | 0.31 | 0.42 | 0.30 | 0.26 | 0.26 | 0.28 | 0.23 | 0.25 | 0.30 | 0.32 |
| Al2O3 | 20.20 | 11.20 | 15.10 | 10.60 | 8.85 | 8.76 | 10.70 | 7.82 | 9.85 | 10.70 | 10.90 |
| Fe2O3 | 30.30 | 1.37 | 22.50 | 5.09 | 14.30 | 10.10 | 3.17 | 34.50 | 6.09 | 6.12 | 4.42 |
| MgO | 12.80 | 0.32 | 16.90 | 1.21 | 4.52 | 8.25 | 0.92 | 3.03 | 0.88 | 1.87 | 0.89 |
| CaO | 0.15 | 0.89 | 1.80 | 0.69 | 0.28 | 0.04 | 0.75 | 1.22 | 2.79 | 1.47 | 1.28 |
| Na2O | 0.08 | 6.34 | 0.04 | 4.18 | 0.39 | 0.02 | 4.65 | 0.01 | 2.87 | 4.24 | 5.20 |
| K2O | 0.37 | 1.26 | 3.70 | 0.99 | 0.15 | 0.37 | 1.27 | 0.04 | 1.33 | 0.99 | 0.50 |
| MnO | 0.20 | 0.05 | 0.15 | 0.10 | 0.20 | 0.04 | 0.07 | 3.62 | 0.12 | 0.11 | 0.18 |
| P2O5 | 0.09 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| PaF | 8.77 | 0.77 | 7.39 | 1.54 | 4.23 | 4.62 | 1.47 | 2.16 | 3.16 | 2.47 | 1.39 |
| Total | 99.88 | 100.45 | 99.94 | 98.74 | 98.51 | 99.29 | 99.71 | 100.36 | 99.88 | 99.31 | 100.12 |
| Rb | 10 | 31 | 220 | 20 | 10 | 20 | 30 | 20 | 30 | 20 | 30 |
| Sr | 10 | 63 | 10 | 80 | 10 | 10 | 60 | 10 | 70 | 70 | 80 |
| Yb | 310 | 140 | 180 | 220 | 140 | 150 | 140 | 90 | 200 | 180 | 150 |
| Zr | 1340 | 610 | 1080 | 630 | 610 | 610 | 600 | 570 | 600 | 630 | 650 |
| Nb | 90 | 25 | 60 | 40 | 40 | 40 | 30 | 50 | 30 | 50 | 40 |
| Ba | 180 | 429 | 170 | 240 | 120 | 100 | 200 | 110 | 240 | 150 | 220 |

Profondeur 1861-2500 (suite)

| ECHANTILLON | 86-45 | 86-40 | 86-46 | 86-63 | 86-57 | 86-40 | 86-74 | 86-41 | 86-36 | 86-57 | 85-05 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 2062 | 2065 | 2067 | 2070 | 2072 | 2075.5 | 2078 | 2081 | 2087 | 2098 | 2100 |
| SiO ₂ | 73.00 | 72.00 | 74.60 | 50.50 | 52.70 | 72.60 | 71.70 | 73.40 | 73.40 | 75.50 | 74.10 |
| TiO ₂ | 0.21 | 0.30 | 0.28 | 0.30 | 0.23 | 0.30 | 0.31 | 0.30 | 0.21 | 0.28 | 0.32 |
| Al ₂ O ₃ | 7.48 | 10.80 | 10.90 | 10.10 | 7.82 | 11.10 | 11.40 | 10.70 | 7.52 | 10.20 | 11.20 |
| Fe ₂ O ₃ | 9.95 | 7.21 | 2.72 | 26.40 | 23.90 | 6.31 | 7.24 | 6.12 | 8.84 | 2.80 | 4.04 |
| MgO | 4.38 | 0.79 | 0.66 | 5.24 | 2.48 | 0.95 | 1.46 | 1.79 | 5.22 | 1.20 | 1.15 |
| CaO | 0.31 | 0.85 | 1.81 | 2.21 | 4.39 | 0.86 | 0.94 | 0.92 | 0.08 | 2.01 | 0.55 |
| Na ₂ O | 0.06 | 3.46 | 4.73 | 0.29 | 0.09 | 2.18 | 4.05 | 2.80 | 0.01 | 0.01 | 4.08 |
| K ₂ O | 0.50 | 3.09 | 1.34 | 0.03 | 0.05 | 4.11 | 0.81 | 1.69 | 0.43 | 3.43 | 2.45 |
| MnO | 0.08 | 0.14 | 0.05 | 0.17 | 2.87 | 0.12 | 0.17 | 0.17 | 0.05 | 0.15 | 0.09 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| PaF | 3.23 | 1.23 | 2.31 | 4.85 | 4.62 | 1.31 | 2.31 | 2.23 | 3.16 | 3.23 | 1.16 |
| Total | 99.23 | 99.91 | 99.44 | 100.13 | 99.18 | 99.88 | 100.23 | 100.16 | 98.95 | 98.84 | 99.17 |
| Rb | 10 | 80 | 40 | 10 | 10 | 110 | 20 | 40 | 20 | 100 | 60 |
| Sr | 10 | 80 | 50 | 10 | 40 | 30 | 50 | 60 | 10 | 10 | 60 |
| Y | 150 | 200 | 200 | 100 | 120 | 200 | 150 | 220 | 130 | 160 | 190 |
| Zr | 480 | 690 | 660 | 730 | 540 | 690 | 700 | 670 | 500 | 600 | 620 |
| Nb | 40 | 40 | 40 | 30 | 50 | 50 | 40 | 40 | 30 | 30 | 50 |
| Ba | 160 | 610 | 200 | 150 | 100 | 710 | 260 | 250 | 140 | 400 | 570 |

| ECHANTILLON | 86-50 | 85-07 | 87-104 | 86-57 | 86-53 | 86-57 | 86-68 | 86-75 | 87-83 | 86-52 | 87-104 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 2100 | 2105 | 2116 | 2127 | 2131 | 2180 | 2200 | 2200 | 2200 | 2213 | 2221 |
| SiO ₂ | 68.20 | 69.30 | 71.50 | 74.10 | 65.70 | 72.30 | 77.80 | 70.80 | 73.30 | 74.90 | 72.50 |
| TiO ₂ | 0.25 | 0.34 | 0.31 | 0.29 | 0.27 | 0.30 | 0.29 | 0.28 | 0.28 | 0.29 | 0.27 |
| Al ₂ O ₃ | 8.57 | 12.70 | 10.90 | 10.30 | 9.69 | 11.10 | 10.60 | 11.00 | 10.40 | 10.80 | 10.20 |
| Fe ₂ O ₃ | 13.90 | 6.42 | 7.06 | 4.84 | 12.30 | 6.11 | 2.12 | 5.64 | 5.72 | 5.32 | 5.36 |
| MgO | 4.39 | 1.61 | 0.57 | 1.29 | 5.22 | 0.98 | 0.56 | 0.70 | 0.81 | 0.69 | 0.72 |
| CaO | 0.06 | 0.98 | 1.71 | 0.95 | 0.26 | 1.81 | 0.99 | 2.69 | 0.60 | 0.97 | 2.34 |
| Na ₂ O | 0.35 | 2.72 | 3.77 | 0.13 | 0.44 | 4.16 | 4.01 | 1.18 | 3.11 | 1.24 | 3.37 |
| K ₂ O | 0.15 | 3.54 | 1.09 | 3.02 | 0.67 | 0.60 | 1.45 | 3.02 | 3.13 | 2.78 | 1.16 |
| MnO | 0.10 | 0.19 | 0.14 | 0.14 | 0.11 | 0.08 | 0.04 | 0.18 | 0.08 | 0.11 | 0.16 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| PaF | 4.08 | 2.23 | 1.54 | 2.93 | 3.77 | 2.39 | 1.85 | 3.23 | 1.85 | 2.54 | 2.85 |
| Total | 100.08 | 100.07 | 98.62 | 98.02 | 98.46 | 99.86 | 99.74 | 98.75 | 99.31 | 99.67 | 98.96 |
| Rb | 10 | 90 | 30 | 110 | 30 | 30 | 40 | 100 | 60 | 80 | 46 |
| Sr | 10 | 60 | 52 | 10 | 10 | 90 | 50 | 40 | 50 | 10 | 13 |
| Y | 130 | 220 | 180 | 160 | 140 | 200 | 160 | 200 | 170 | 190 | 174 |
| Zr | 610 | 830 | 593 | 610 | 620 | 710 | 620 | 630 | 620 | 670 | 578 |
| Nb | 50 | 50 | 40 | 40 | 60 | 50 | 30 | 70 | 40 | 40 | 54 |
| Ba | 100 | 560 | 267 | 380 | 230 | 360 | 440 | 670 | 670 | 750 | 163 |

| ECHANTILLON | 86-44 | 86-29 | 86-71 | 87-103 | 86-44 | 86-66A | 86-52 | 86-66 | 86-75 | 86-66 | 87-103 |
|--------------------------------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 2233 | 2242 | 2250 | 2256 | 2269 | 2272 | 2300 | 2300 | 2300 | 2307 | 2307 |
| SiO ₂ | 76.50 | 65.50 | 75.30 | 73.60 | 78.20 | 72.20 | 76.50 | 28.90 | 75.80 | 29.30 | 75.70 |
| TiO ₂ | 0.28 | 0.32 | 0.26 | 0.34 | 0.30 | 0.28 | 0.26 | 0.57 | 0.30 | 0.60 | 0.34 |
| Al ₂ O ₃ | 10.70 | 11.50 | 10.50 | 12.30 | 10.80 | 9.74 | 9.87 | 19.20 | 10.90 | 18.70 | 11.40 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.76 | 11.20 | 3.75 | 2.65 | 1.19 | 8.39 | 3.43 | 26.10 | 2.15 | 24.00 | 3.08 |
| MgO | 0.46 | 2.63 | 0.68 | 0.42 | 0.22 | 2.64 | 0.22 | 14.90 | 0.36 | 16.70 | 0.49 |
| CaO | 1.04 | 0.34 | 1.97 | 1.35 | 0.77 | 1.23 | 1.57 | 0.46 | 1.91 | 0.38 | 1.26 |
| Na ₂ O | 5.32 | 4.45 | 3.71 | 5.25 | 6.12 | 0.91 | 3.43 | 0.03 | 2.76 | 0.01 | 5.53 |
| K ₂ O | 0.89 | 0.81 | 1.33 | 1.44 | 0.59 | 1.26 | 1.88 | 0.02 | 2.15 | 0.02 | 0.81 |
| MnO | 0.07 | 0.12 | 0.08 | 0.08 | 0.04 | 0.16 | 0.10 | 0.14 | 0.05 | 0.13 | 0.08 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.06 | 0.04 |
| PaF | 1.54 | 3.77 | 2.54 | 2.00 | 0.93 | 2.93 | 2.23 | 8.77 | 2.77 | 9.15 | 1.00 |
| Total | 99.59 | 100.67 | 100.18 | 99.47 | 99.20 | 99.78 | 99.52 | 99.15 | 99.18 | 99.05 | 99.73 |
| Rb | 20 | 49 | 50 | 33 | 30 | 60 | 50 | 10 | 70 | 18 | 32 |
| Sr | 60 | 51 | 30 | 48 | 70 | 20 | 60 | 10 | 10 | 10 | 39 |
| Y | 160 | 152 | 190 | 203 | 160 | 140 | 190 | 280 | 150 | 227 | 185 |
| Zr | 620 | 722 | 600 | 684 | 670 | 620 | 620 | 1460 | 630 | 1330 | 630 |
| Nb | 30 | 44 | 40 | 44 | 60 | 40 | 50 | 110 | 30 | 98 | 42 |
| Ba | 210 | 205 | 300 | 344 | 240 | 350 | 570 | 150 | 310 | 80 | 186 |

Profondeur 1861-2500 (suite)

| ECHANTILLON | 83-02 | 87-90 | 86-44 | 86-32 | 86-33 | 86-52 | 86-33 | 85-06 | 86-42 | 86-42 | 88-106 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 2332 | 2350 | 2355 | 2389 | 2408 | 2409 | 2424 | 2455 | 2456 | 2457 | 2479.2 |
| SiO2 | 78.40 | 75.40 | 76.30 | 73.20 | 71.50 | 74.40 | 73.10 | 75.40 | 64.90 | 65.90 | 75.50 |
| TiO2 | 0.23 | 0.30 | 0.29 | 0.36 | 0.28 | 0.28 | 0.29 | 0.33 | 0.26 | 0.28 | 0.29 |
| Al2O3 | 8.50 | 10.70 | 10.90 | 13.40 | 10.40 | 10.30 | 10.50 | 11.50 | 9.68 | 10.00 | 10.80 |
| Fe2O3 | 3.71 | 3.30 | 2.17 | 3.48 | 6.48 | 4.06 | 7.55 | 2.66 | 11.40 | 11.30 | 4.34 |
| MgO | 0.33 | 0.34 | 0.45 | 0.81 | 0.90 | 0.54 | 1.25 | 1.60 | 2.58 | 2.41 | 0.46 |
| CaO | 1.95 | 1.45 | 0.95 | 0.90 | 1.18 | 2.17 | 1.03 | 0.98 | 4.60 | 4.05 | 1.18 |
| Na2O | 2.23 | 3.62 | 5.53 | 1.09 | 3.74 | 5.29 | 3.17 | 4.95 | 0.56 | 0.06 | 3.67 |
| K2O | 1.74 | 1.79 | 0.94 | 4.18 | 1.67 | 0.28 | 1.12 | 1.16 | 0.53 | 0.94 | 2.27 |
| MnO | 0.11 | 0.08 | 0.03 | 0.06 | 0.11 | 0.10 | 0.12 | 0.04 | 0.48 | 0.47 | 0.10 |
| P2O5 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |
| PaF | 2.23 | 1.62 | 1.54 | 2.31 | 2.77 | 2.39 | 2.08 | 1.31 | 4.77 | 4.08 | 1.08 |
| Total | 99.46 | 98.63 | 99.14 | 99.83 | 99.06 | 99.84 | 100.24 | 99.97 | 99.79 | 99.53 | 99.72 |
| Rb | 43 | 40 | 20 | 130 | 50 | 10 | 37 | 40 | 20 | 31 | 46 |
| Sr | 46 | 90 | 60 | 10 | 30 | 70 | 49 | 80 | 20 | 25 | 59 |
| Y | 166 | 190 | 230 | 220 | 170 | 150 | 228 | 160 | 170 | 19 | 166 |
| Zr | 476 | 610 | 660 | 800 | 660 | 660 | 613 | 630 | 620 | 600 | 585 |
| Nb | 29 | 30 | 50 | 40 | 50 | 40 | 36 | 50 | 60 | 36 | 33 |
| Ba | 308 | 550 | 210 | 960 | 510 | 120 | 318 | 310 | 130 | 146 | 799 |

| ECHANTILLON | 88-106 | 85-13 | 85-06 |
|----------------|--------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 2487 | 2490 | 2494 |
| SiO2 | 73.00 | 73.10 | 74.50 |
| TiO2 | 0.29 | 0.27 | 0.30 |
| Al2O3 | 10.70 | 9.23 | 10.90 |
| Fe2O3 | 5.44 | 8.54 | 5.01 |
| MgO | 0.57 | 3.45 | 2.90 |
| CaO | 1.20 | 0.02 | 0.09 |
| Na2O | 3.32 | 0.01 | 0.08 |
| K2O | 2.12 | 1.15 | 2.81 |
| MnO | 0.10 | 0.04 | 0.06 |
| P2O5 | 0.03 | 0.03 | 0.04 |
| PaF | 2.23 | 2.93 | 2.62 |
| Total | 99.00 | 98.77 | 99.31 |
| Rb | 70 | 40 | 40 |
| Sr | 73 | 10 | 10 |
| Y | 209 | 150 | 180 |
| Zr | 583 | 600 | 600 |
| Nb | 41 | 50 | 40 |
| Ba | 472 | 240 | 390 |

PROFONDEUR 2500-3500(pi)

| ECHANTILLON | 86-58 | 85-06 | 86-37 | 86-40 | 85-13 | 85-13 | 85-06 | 86-40 | 88-108 | 85-08 | 86-37 |
|----------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 2500 | 2504 | 2517 | 2518.4 | 2550 | 2553 | 2557 | 2568 | 2576 | 2600 | 2612 |
| SiO2 | 70.50 | 75.20 | 73.10 | 79.90 | 76.20 | 78.20 | 67.90 | 72.10 | 76.10 | 80.80 | 74.00 |
| TiO2 | 0.39 | 0.26 | 0.33 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.25 | 0.31 | 0.30 | 0.25 | 0.31 |
| Al2O3 | 14.20 | 8.81 | 13.00 | 9.69 | 9.97 | 9.27 | 8.16 | 11.30 | 11.20 | 9.08 | 11.40 |
| Fe2O3 | 2.95 | 8.48 | 3.90 | 2.28 | 4.37 | 4.04 | 13.00 | 5.85 | 2.84 | 1.56 | 4.74 |
| MgO | 0.58 | 3.04 | 0.33 | 0.43 | 3.70 | 3.45 | 5.02 | 0.72 | 0.40 | 0.09 | 0.36 |
| CaO | 1.39 | 0.07 | 1.20 | 1.37 | 0.06 | 0.08 | 0.60 | 1.89 | 1.47 | 0.49 | 1.53 |
| Na2O | 5.36 | 0.07 | 3.39 | 2.01 | 0.29 | 0.29 | 0.10 | 3.26 | 4.49 | 4.39 | 5.08 |
| K2O | 1.90 | 1.33 | 2.55 | 2.24 | 1.69 | 1.48 | 0.07 | 1.78 | 1.11 | 1.35 | 1.16 |
| MnO | 0.10 | 0.07 | 0.09 | 0.10 | 0.03 | 0.01 | 0.11 | 0.16 | 0.10 | 0.05 | 0.15 |
| P2O5 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| PaF | 2.31 | 2.62 | 2.00 | 1.70 | 2.77 | 2.70 | 3.85 | 2.08 | 1.54 | 1.08 | 1.39 |
| Total | 99.72 | 99.98 | 99.93 | 100.02 | 99.38 | 99.82 | 99.09 | 99.48 | 99.59 | 99.17 | 100.15 |
| Rb | 70 | 20 | 60 | 70 | 40 | 44 | 10 | 48 | 28 | 10 | 50 |
| Sr | 100 | 10 | 60 | 40 | 10 | 10 | 10 | 83 | 87 | 90 | 110 |
| Y | 260 | 140 | 240 | 150 | 100 | 213 | 130 | 172 | 185 | 110 | 180 |
| Zr | 930 | 510 | 780 | 580 | 600 | 530 | 500 | 664 | 611 | 530 | 720 |
| Nb | 50 | 30 | 40 | 30 | 50 | 33 | 40 | 40 | 47 | 30 | 30 |
| Ba | 380 | 160 | 440 | 370 | 320 | 285 | 80 | 227 | 169 | 430 | 270 |

| ECHANTILLON | 85-06 | 85-06 | 87-83 | 85-08 | 87-83 | 87-91 | 87-95 | 87-95 | 86-44 | 87-95 | 85-08 |
|----------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 2618 | 2637 | 2663 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2703.5 | 2740 | 2760 | 2800 |
| SiO2 | 68.70 | 71.20 | 73.50 | 73.60 | 74.40 | 72.70 | 74.90 | 76.60 | 76.10 | 76.90 | 69.50 |
| TiO2 | 0.27 | 0.26 | 0.30 | 0.29 | 0.29 | 0.31 | 0.28 | 0.26 | 0.32 | 0.29 | 0.31 |
| Al2O3 | 9.05 | 8.68 | 10.50 | 11.00 | 10.40 | 11.20 | 10.80 | 9.99 | 11.40 | 10.40 | 12.80 |
| Fe2O3 | 12.50 | 10.80 | 4.85 | 3.95 | 5.50 | 5.36 | 3.69 | 5.04 | 2.02 | 4.72 | 6.28 |
| MgO | 5.29 | 4.88 | 0.92 | 0.47 | 0.91 | 0.04 | 0.08 | 0.19 | 0.43 | 0.13 | 0.44 |
| CaO | 0.27 | 0.26 | 1.73 | 1.72 | 1.11 | 1.95 | 2.46 | 1.74 | 1.33 | 1.50 | 0.71 |
| Na2O | 0.01 | 0.02 | 4.45 | 4.98 | 2.07 | 2.26 | 5.23 | 3.62 | 5.34 | 3.37 | 1.90 |
| K2O | 0.22 | 0.38 | 1.09 | 1.38 | 2.09 | 2.97 | 0.51 | 1.25 | 1.17 | 1.40 | 4.65 |
| MnO | 0.08 | 0.06 | 0.16 | 0.13 | 0.11 | 0.18 | 0.11 | 0.11 | 0.05 | 0.10 | 0.07 |
| P2O5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| PaF | 3.77 | 3.31 | 2.47 | 1.77 | 2.39 | 2.31 | 1.77 | 1.47 | 1.39 | 1.54 | 1.93 |
| Total | 100.19 | 99.88 | 100.00 | 99.33 | 99.30 | 99.31 | 99.86 | 100.20 | 99.59 | 100.38 | 98.62 |
| Rb | 20 | 10 | 38 | 20 | 50 | 100 | 36 | 30 | 10 | 49 | 60 |
| Sr | 10 | 10 | 87 | 120 | 10 | 80 | 81 | 64 | 60 | 62 | 120 |
| Y | 110 | 150 | 82 | 210 | 220 | 200 | 183 | 173 | 160 | 153 | 230 |
| Zr | 550 | 550 | 602 | 670 | 660 | 640 | 587 | 540 | 680 | 595 | 770 |
| Nb | 30 | 50 | 35 | 30 | 30 | 40 | 30 | 30 | 30 | 33 | 40 |
| Ba | 110 | 150 | 233 | 330 | 610 | 560 | 146 | 357 | 320 | 175 | 1130 |

| ECHANTILLON | 87-91 | 87-95 | 87-93 | 87-105 | 87-93 | 87-85 | 87-91 | 87-95 | 87-95 | 88-109 | 87-100 |
|----------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 2800 | 2800 | 2820 | 2845 | 2890 | 2898 | 2900 | 2900 | 2975 | 2980 | 2991 |
| SiO2 | 77.20 | 70.90 | 74.30 | 76.30 | 76.80 | 76.90 | 65.10 | 70.30 | 73.10 | 73.10 | 76.90 |
| TiO2 | 0.31 | 0.32 | 0.28 | 0.29 | 0.27 | 0.33 | 0.40 | 0.31 | 0.31 | 0.28 | 0.26 |
| Al2O3 | 10.50 | 11.60 | 10.20 | 10.00 | 10.40 | 11.70 | 14.10 | 11.10 | 11.10 | 10.50 | 9.32 |
| Fe2O3 | 3.12 | 7.58 | 5.11 | 3.05 | 3.25 | 1.16 | 7.65 | 6.04 | 5.32 | 4.42 | 2.80 |
| MgO | 0.35 | 0.34 | 0.31 | 0.43 | 0.08 | 0.53 | 0.58 | 0.59 | 0.56 | 0.81 | 0.66 |
| CaO | 0.98 | 2.56 | 2.75 | 1.33 | 1.68 | 1.96 | 1.51 | 2.73 | 1.71 | 3.89 | 2.97 |
| Na2O | 3.87 | 1.41 | 1.80 | 2.48 | 4.67 | 3.50 | 0.75 | 5.00 | 5.45 | 0.96 | 0.98 |
| K2O | 1.98 | 3.23 | 2.09 | 2.88 | 1.07 | 2.23 | 6.88 | 0.84 | 0.80 | 2.75 | 2.26 |
| MnO | 0.12 | 0.15 | 0.15 | 0.09 | 0.11 | 0.05 | 0.21 | 0.15 | 0.14 | 0.06 | 0.09 |
| P2O5 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| PaF | 1.16 | 1.62 | 3.08 | 2.47 | 1.77 | 2.00 | 1.77 | 2.62 | 1.54 | 2.77 | 2.16 |
| Total | 99.63 | 99.74 | 100.10 | 99.36 | 100.13 | 100.39 | 98.89 | 99.72 | 100.06 | 99.57 | 98.43 |
| Rb | 40 | 94 | 70 | 59 | 30 | 60 | 110 | 41 | 33 | 100 | 89 |
| Sr | 70 | 175 | 70 | 67 | 120 | 90 | 70 | 99 | 116 | 45 | 33 |
| Y | 160 | 225 | 160 | 123 | 200 | 210 | 230 | 212 | 188 | 189 | 167 |
| Zr | 610 | 673 | 580 | 556 | 570 | 650 | 780 | 626 | 629 | 598 | 489 |
| Nb | 40 | 47 | 40 | 31 | 40 | 40 | 50 | 45 | 49 | 38 | 41 |
| Ba | 710 | 43 | 380 | 670 | 280 | 410 | 1510 | 211 | 230 | 357 | 423 |

PROFONDEUR 2500-3500(suite)

| ECHANTILLON | 87-100 | 87-91 | 87-85 | 87-93 | 87-94 | 88-109 | 83-04 | 87-91 | 87-100 | 87-85 | 87-91 |
|----------------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| PROFONDEUR(pi) | 3000 | 3000 | 3005 | 3038 | 3050 | 3060 | 3063 | 3064.5 | 3100 | 3100 | 3100 |
| SiO2 | 70.40 | 74.00 | 78.50 | 74.30 | 68.80 | 74.80 | 78.50 | 75.50 | 76.60 | 68.70 | 76.70 |
| TiO2 | 0.35 | 0.32 | 0.32 | 0.28 | 0.37 | 0.30 | 0.23 | 0.28 | 0.28 | 0.36 | 0.31 |
| Al2O3 | 13.50 | 12.10 | 11.20 | 9.92 | 13.70 | 10.90 | 8.20 | 10.30 | 10.60 | 13.00 | 10.90 |
| Fe2O3 | 4.62 | 4.24 | 1.47 | 4.28 | 4.91 | 5.67 | 5.33 | 3.14 | 4.87 | 7.88 | 3.53 |
| MgO | 0.27 | 0.65 | 0.16 | 0.28 | 0.54 | 0.51 | 0.82 | 0.71 | 0.40 | 1.03 | 0.65 |
| CaO | 3.75 | 0.66 | 0.85 | 2.39 | 2.57 | 0.85 | 2.37 | 1.97 | 2.36 | 0.98 | 0.41 |
| Na2O | 2.19 | 5.94 | 4.94 | 4.17 | 1.89 | 0.66 | 0.53 | 5.86 | 0.75 | 1.16 | 6.03 |
| K2O | 2.26 | 0.78 | 1.71 | 1.98 | 3.35 | 3.45 | 1.97 | 0.35 | 2.44 | 3.37 | 0.28 |
| MnO | 0.12 | 0.13 | 0.05 | 0.18 | 0.18 | 0.07 | 0.17 | 0.13 | 0.10 | 0.08 | 0.12 |
| P2O5 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 |
| PaF | 2.08 | 1.00 | 1.08 | 1.70 | 2.54 | 2.82 | 1.93 | 1.82 | 1.70 | 3.31 | 1.00 |
| Total | 99.58 | 99.86 | 100.31 | 99.51 | 98.89 | 99.89 | 100.08 | 99.89 | 100.13 | 99.90 | 99.97 |
| Rb | 76 | 20 | 30 | 60 | 100 | 85 | 63 | 22 | 88 | 70 | 20 |
| Sr | 149 | 70 | 60 | 90 | 70 | 20 | 29 | 78 | 78 | 40 | 50 |
| Y | 198 | 220 | 190 | 170 | 220 | 207 | 139 | 173 | 167 | 240 | 220 |
| Zr | 789 | 680 | 640 | 550 | 790 | 625 | 458 | 597 | 610 | 770 | 680 |
| Nb | 40 | 40 | 50 | 30 | 50 | 29 | 39 | 34 | 32 | 30 | 30 |
| Ba | 384 | 270 | 450 | 740 | 470 | 748 | 398 | 142 | 438 | 740 | 140 |

| ECHANTILLON | 87-93 | 87-94 | 87-100 | 87-94 | 87-100 | 87-102 | 87-88 | 87-102 | 87-101 | 87-88 | 87-88 |
|----------------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
| PROFONDEUR(pi) | 3110 | 3150 | 3200 | 3250 | 3288 | 3400 | 3400 | 3412 | 3447 | 3475 | 3500 |
| SiO2 | 74.80 | 74.40 | 73.00 | 73.10 | 75.60 | 72.40 | 77.80 | 82.00 | 76.90 | 72.20 | 76.60 |
| TiO2 | 0.30 | 0.28 | 0.29 | 0.31 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.27 | 0.32 | 0.32 | 0.32 |
| Al2O3 | 10.40 | 10.10 | 11.20 | 11.10 | 10.80 | 11.90 | 10.90 | 9.94 | 11.30 | 11.10 | 11.10 |
| Fe2O3 | 4.16 | 4.23 | 5.60 | 4.30 | 4.23 | 4.86 | 1.81 | 0.38 | 2.32 | 4.05 | 2.92 |
| MgO | 0.39 | 1.06 | 1.82 | 0.82 | 0.99 | 0.96 | 0.19 | 0.17 | 0.57 | 0.59 | 0.33 |
| CaO | 2.43 | 1.48 | 1.46 | 1.83 | 1.87 | 1.58 | 1.43 | 0.44 | 0.90 | 1.70 | 1.23 |
| Na2O | 4.42 | 2.26 | 0.49 | 0.44 | 4.99 | 2.75 | 4.37 | 4.63 | 4.90 | 5.39 | 5.13 |
| K2O | 1.00 | 3.38 | 2.74 | 4.02 | 0.12 | 2.70 | 1.33 | 1.89 | 1.65 | 0.99 | 0.98 |
| MnO | 0.19 | 0.07 | 0.08 | 0.19 | 0.14 | 0.14 | 0.09 | 0.02 | 0.04 | 0.18 | 0.12 |
| P2O5 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| PaF | 2.16 | 1.62 | 2.77 | 3.00 | 1.08 | 2.23 | 1.70 | 0.39 | 1.23 | 3.23 | 1.54 |
| Total | 100.29 | 98.91 | 99.48 | 99.14 | 100.15 | 99.86 | 99.96 | 100.16 | 100.17 | 99.79 | 100.31 |
| Rb | 30 | 60 | 95 | 80 | 33 | 86 | 40 | 24 | 31 | 34 | 30 |
| Sr | 80 | 130 | 30 | 30 | 130 | 84 | 70 | 103 | 73 | 96 | 70 |
| Y | 140 | 180 | 169 | 190 | 191 | 227 | 230 | 180 | 215 | 201 | 210 |
| Zr | 590 | 580 | 642 | 650 | 649 | 659 | 610 | 522 | 629 | 611 | 640 |
| Nb | 40 | 20 | 51 | 30 | 34 | 52 | 30 | 22 | 26 | 42 | 20 |
| Ba | 330 | 880 | 651 | 830 | 59 | 577 | 190 | 983 | 433 | 226 | 280 |

ANNEXE III

ANALYSES CHIMIQUES POUR LES ELEMENTS MAJEURS, MINEURS ET TRACES (N=39)

ZONE EXTERNE

| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| #Echantillon | 70-06 | 70-07 | 70-15 | 70-16 | 70-17 | 70-18 | 70-21 | 83-02 | 86-24 |
| SiO ₂ | 80.5 | 74.3 | 73.4 | 77.9 | 75.4 | 75 | 73.7 | 78.4 | 74.2 |
| TiO ₂ | 0.25 | 0.3 | 0.28 | 0.31 | 0.28 | 0.31 | 0.28 | 0.23 | 0.28 |
| Al ₂ O ₃ | 8.17 | 11.1 | 10.2 | 11.2 | 10 | 11.7 | 10.2 | 8.5 | 10.1 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.04 | 4.82 | 5.22 | 1.37 | 3.57 | 2.91 | 4.42 | 3.71 | 4.31 |
| MgO | 0.34 | 0.63 | 1.14 | 0.32 | 0.59 | 0.53 | 0.81 | 0.33 | 0.77 |
| CaO | 0.84 | 0.78 | 1.92 | 0.89 | 1.75 | 2.07 | 3.28 | 1.95 | 2.38 |
| Na ₂ O | 3.31 | 3.4 | 2.51 | 6.34 | 4.67 | 1.41 | 3.29 | 2.23 | 4.26 |
| K ₂ O | 1.39 | 3.39 | 1.8 | 1.26 | 1.37 | 3.17 | 1.19 | 1.74 | 0.81 |
| MnO | 0.06 | 0.08 | 0.1 | 0.05 | 0.12 | 0.04 | 0.04 | 0.11 | 0.14 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 |
| PaF | 1.85 | 1 | 2.93 | 0.77 | 2 | 2.7 | 3 | 2.23 | 2 |
| Total | 99.5 | 99.83 | 99.53 | 100.45 | 99.78 | 99.87 | 100.24 | 99.46 | 99.29 |
| IND. ALT. (*) | 29.42 | 49.02 | 39.89 | 17.93 | 23.39 | 51.53 | 23.34 | 33.12 | 19.22 |
| Rb | 43 | 65 | 40 | 31 | 25 | 100 | 55 | 43 | 31 |
| Sr | 34 | 27 | 53 | 63 | 88 | 17 | 36 | 46 | 63 |
| Y | 188 | 168 | 212 | 140 | 198 | 220 | 196 | 166 | 182 |
| Zr | 491 | 591 | 604 | 610 | 558 | 623 | 589 | 476 | 567 |
| Nb | 25 | 46 | 57 | 25 | 38 | 44 | 29 | 29 | 30 |
| Ba | 274 | 716 | 374 | 429 | 289 | 652 | 191 | 308 | 162 |
| Hf | 7 | 9 | 10 | 13 | 11 | 8 | 9 | 6 | 10 |
| Co | 0.5 | 1 | 2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 5 | 1 | 2 |
| Ga | 14 | 18 | 17 | 17 | 15 | 24 | 19 | 14 | 16 |
| La | 37 | 39 | 35 | 31 | 36 | 30 | 39 | 33 | 30 |
| Ce | 92 | 99 | 90 | 80 | 90 | 80 | 95 | 82 | 77 |
| Nd | 65.9 | 67 | 67.7 | 58.1 | 66.1 | 52.3 | 64.9 | 56.8 | 53.7 |
| Sm | 15.4 | 17.7 | 16.1 | 14.1 | 16.1 | 13.4 | 15.4 | 13.7 | 13.8 |
| Eu | 2.4 | 3.2 | 2.1 | 2.9 | 3 | 2.7 | 2.7 | 2.3 | 2.9 |
| Gd | 11.7 | 17.3 | 13.8 | 14.7 | 15.1 | 15.9 | 14.1 | 11.9 | 15 |
| Dy | 5.6 | 14.8 | 11.3 | 12.4 | 13.2 | 11.4 | 10.1 | 7 | 12.5 |
| Er | 4.1 | 9.8 | 8.3 | 8.5 | 9.7 | 7.6 | 7 | 5 | 7.9 |
| Lu | 0.9 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.6 | 1.2 | 1.3 | 0.9 | 1.3 |
| Densité | 2.719 | 2.721 | 2.882 | 2.669 | 2.73 | 2.723 | 2.711 | 2.711 | 2.74 |

ZONE EXTERNE (SUITE)

| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| #Echantillon | 86-40 | 87-83 | 87-85 | 87-88 | 87-91 | 87-95 | 87-100 | 87-101 | 87-102 | 83-04 | 87-103 |
| SiO ₂ | 72.1 | 73.5 | 68.4 | 72.2 | 75.5 | 76.6 | 76.9 | 76.9 | 82 | 78.5 | 75.7 |
| TiO ₂ | 0.31 | 0.3 | 0.65 | 0.32 | 0.28 | 0.26 | 0.26 | 0.32 | 0.27 | 0.23 | 0.34 |
| Al ₂ O ₃ | 11.3 | 10.5 | 11.5 | 11.1 | 10.3 | 9.89 | 9.32 | 11.3 | 9.94 | 8.2 | 11.4 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.85 | 4.85 | 7.6 | 4.05 | 3.14 | 5.04 | 2.8 | 2.32 | 0.38 | 5.33 | 3.08 |
| MgO | 0.72 | 0.92 | 1.42 | 0.59 | 0.71 | 0.19 | 0.66 | 0.57 | 0.17 | 0.82 | 0.49 |
| CaO | 1.89 | 1.73 | 2.45 | 1.7 | 1.97 | 1.74 | 2.97 | 0.9 | 0.44 | 2.37 | 1.26 |
| Na ₂ O | 3.26 | 4.45 | 3.49 | 5.39 | 5.86 | 3.62 | 0.98 | 4.9 | 4.63 | 0.53 | 5.53 |
| K ₂ O | 1.78 | 1.09 | 1.56 | 0.99 | 0.35 | 1.25 | 2.26 | 1.65 | 1.89 | 1.97 | 0.81 |
| MnO | 0.16 | 0.16 | 0.08 | 0.18 | 0.13 | 0.11 | 0.09 | 0.04 | 0.02 | 0.17 | 0.08 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.03 | 0.09 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 |
| PaF | 2.08 | 2.47 | 2.93 | 3.23 | 1.62 | 1.47 | 2.16 | 1.23 | 0.39 | 1.93 | 1 |
| Total | 99.48 | 100 | 100.17 | 99.79 | 99.89 | 100.2 | 98.43 | 100.17 | 100.16 | 100.08 | 99.73 |
| IND. ALT. (*) | 32.68 | 24.54 | 33.41 | 18.22 | 11.92 | 21.18 | 42.5 | 27.68 | 28.89 | 49.03 | 16.07 |
| Rb | 48 | 38 | 62 | 34 | 22 | 30 | 89 | 31 | 24 | 63 | 32 |
| Sr | 83 | 87 | 71 | 96 | 78 | 64 | 33 | 73 | 103 | 29 | 39 |
| Y | 172 | 82 | 244 | 201 | 173 | 173 | 167 | 215 | 180 | 139 | 185 |
| Zr | 664 | 602 | 329 | 611 | 597 | 540 | 489 | 629 | 522 | 458 | 630 |
| Nb | 40 | 35 | 17 | 42 | 34 | 30 | 41 | 26 | 22 | 39 | 42 |
| Ba | 227 | 233 | 389 | 226 | 142 | 357 | 423 | 433 | 983 | 398 | 186 |
| Hf | 7 | 11 | 9 | 12 | 13 | 9 | 6 | 12 | 11 | 5 | 12 |
| Co | 0.5 | 0.5 | 7 | 0.5 | 1 | 1 | 2 | 0.5 | 0.5 | 2 | 0.5 |
| Ga | 19 | 21 | 16 | 21 | 18 | 17 | 19 | 20 | 12 | 15 | 19 |
| La | 31 | 26 | 22 | 39 | 44 | 33 | 35 | 28 | 23 | 38 | 49 |
| Ce | 82 | 66 | 52 | 99 | 112 | 83 | 89 | 76 | 60 | 97 | 121 |
| Nd | 76.4 | 48.9 | 34 | 74.3 | 79.1 | 60.9 | 62.6 | 54 | 43.6 | 63.3 | 84.6 |
| Sm | 20.7 | 10.9 | 8.3 | 17.6 | 20.6 | 15.8 | 16.8 | 14 | 11.6 | 15.9 | 22.8 |
| Eu | 3.9 | 2 | 1.7 | 3 | 4.2 | 3.3 | 3.3 | 2.2 | 2.3 | 3.4 | 5.2 |
| Gd | 19.8 | 8.9 | 8.5 | 13.5 | 24.6 | 19.1 | 20.1 | 14.5 | 12 | 20 | 24.8 |
| Dy | 13.7 | 7 | 7.3 | 9.8 | 26.2 | 18.1 | 19.6 | 14.1 | 12.3 | 16.2 | 24.3 |
| Er | 8.1 | 6.1 | 4.8 | 8.5 | 16.4 | 10.6 | 11.9 | 9.8 | 9.3 | 9 | 15.2 |
| Lu | 1 | 1.4 | 0.9 | 1.8 | 2.3 | 1.5 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1 | 1.9 |
| Densité | 2.747 | 2.731 | 2.755 | 2.711 | 2.685 | 2.777 | 2.776 | 2.695 | 2.706 | 2.838 | 2.716 |

ZONE DE BORDURE

| | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
|--------------------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| #Echantillon | 85-10 | 85-13 | 86-32 | 86-33 | 86-42 | 86-44 | 86-79 |
| SiO ₂ | 74 | 78.2 | 61.9 | 73.1 | 65.9 | 50 | 78.6 |
| TiO ₂ | 0.2 | 0.27 | 0.58 | 0.29 | 0.28 | 0.77 | 0.25 |
| Al ₂ O ₃ | 6.3 | 9.27 | 10.6 | 10.5 | 10 | 14 | 9.47 |
| Fe ₂ O ₃ | 12.6 | 4.04 | 13.7 | 7.55 | 11.3 | 11.5 | 3.23 |
| MgO | 3.79 | 3.45 | 3.48 | 1.25 | 2.41 | 5.19 | 0.54 |
| CaO | 0.22 | 0.08 | 2.45 | 1.03 | 4.05 | 7.26 | 1.77 |
| Na ₂ O | 0.12 | 0.29 | 3.19 | 3.17 | 0.06 | 0.01 | 2.02 |
| K ₂ O | 0.04 | 1.48 | 0.04 | 1.12 | 0.94 | 2.68 | 2.1 |
| MnO | 0.16 | 0.01 | 0.23 | 0.12 | 0.47 | 0.26 | 0.14 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.09 | 0.03 |
| PaF | 2.85 | 2.7 | 3.16 | 2.08 | 4.08 | 8.77 | 1.77 |
| Total | 100.31 | 99.82 | 99.39 | 100.24 | 99.53 | 100.53 | 99.92 |
| IND. ALT. (*) | 91.85 | 93.02 | 38.43 | 36.07 | 44.91 | 51.98 | 41.06 |
| Rb | 10 | 44 | 22 | 37 | 31 | 70 | 55 |
| Sr | 10 | 10 | 65 | 49 | 25 | 103 | 69 |
| Y | 10 | 213 | 212 | 228 | 19 | 160 | 200 |
| Zr | 399 | 530 | 574 | 613 | 600 | 38 | 520 |
| Nb | 31 | 33 | 45 | 36 | 36 | 10 | 37 |
| Ba | 126 | 285 | 49 | 318 | 146 | 268 | 559 |
| Hf | 9 | 11 | 8 | 6 | 10 | 1 | 8 |
| Co | 30 | 2 | 19 | 0.5 | 1 | 21 | 0.5 |
| Ga | 64 | 19 | 18 | 16 | 19 | 11 | 17 |
| La | 29 | 25 | 32 | 43 | 37 | 5 | 31 |
| Ce | 71 | 62 | 83 | 113 | 94 | 11 | 81 |
| Nd | 48.5 | 44 | 57.7 | 78.1 | 68.5 | 7.1 | 61.4 |
| Sm | 12.1 | 10.6 | 14.3 | 19.3 | 18.7 | 1.8 | 15.1 |
| Eu | 0.9 | 1.4 | 3.4 | 3.5 | 3.6 | 0.4 | 2.5 |
| Gd | 9.7 | 10.9 | 14.1 | 16.5 | 24.4 | 1.6 | 12.6 |
| Dy | 7.8 | 9.6 | 11.9 | 10.7 | 25.2 | 1 | 9.8 |
| Er | 6.4 | 6.9 | 7.5 | 6.9 | 16.8 | 0.8 | 6.7 |
| Lu | 1.2 | 1.3 | 1.1 | 1 | 1.8 | 0.2 | 1.1 |
| Densité | 2.794 | 2.725 | 2.783 | 2.739 | 2.831 | 2.81 | 2.705 |

ZONE INTERMEDIAIRE ET CENTRALE

| | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
|--------------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| #Echantillon | 85-15 | 86-23 | 86-59 | 86-25 | 86-26 | 86-27 | 86-29 | 86-31 | 86-66 | 86-67 |
| SiO ₂ | 74.5 | 74.6 | 66.2 | 62.3 | 34.1 | 62.1 | 65.5 | 66.3 | 29.3 | 34.9 |
| TiO ₂ | 0.29 | 0.23 | 0.28 | 0.31 | 0.4 | 0.3 | 0.32 | 0.26 | 0.6 | 0.52 |
| Al ₂ O ₃ | 10.5 | 7.43 | 9.36 | 10.3 | 19 | 10.2 | 11.5 | 9.13 | 18.7 | 19.4 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.15 | 7.66 | 13.7 | 14 | 20.6 | 10.5 | 11.2 | 13.6 | 24 | 19.2 |
| MgO | 5.12 | 5.69 | 5.31 | 7.53 | 14.8 | 11.9 | 2.63 | 5.85 | 16.7 | 14.2 |
| CaO | 0.04 | 0.23 | 0.07 | 0.02 | 0.16 | 0.05 | 0.34 | 0.11 | 0.38 | 0.93 |
| Na ₂ O | 0.01 | 0.01 | 0.18 | 0.01 | 1.47 | 0.01 | 4.45 | 0.03 | 0.01 | 1.8 |
| K ₂ O | 2.21 | 0.57 | 0.24 | 0.01 | 0.36 | 0.07 | 0.81 | 0.1 | 0.02 | 1.53 |
| MnO | 0.02 | 0.02 | 0.11 | 0.05 | 0.16 | 0.05 | 0.12 | 0.04 | 0.13 | 0.22 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.08 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.05 |
| PaF | 3.08 | 3.54 | 3.77 | 4.54 | 7.77 | 5.31 | 3.77 | 3.77 | 9.15 | 7.23 |
| Total | 99.95 | 100.01 | 99.25 | 99.1 | 98.9 | 100.52 | 100.67 | 99.23 | 99.05 | 99.98 |
| IND. ALT. (*) | 99.32 | 96.31 | 95.69 | 99.6 | 90.29 | 99.5 | 41.8 | 97.7 | 97.72 | 85.21 |
| Rb | 47 | 31 | 22 | 17 | 27 | 14 | 49 | 15 | 18 | 65 |
| Sr | 10 | 10 | 10 | 10 | 27 | 10 | 51 | 10 | 10 | 46 |
| Y | 169 | 137 | 278 | 141 | 387 | 164 | 152 | 160 | 227 | 197 |
| Zr | 608 | 461 | 592 | 643 | 919 | 667 | 722 | 537 | 1330 | 1200 |
| Nb | 29 | 36 | 45 | 45 | 71 | 41 | 44 | 58 | 98 | 66 |
| Ba | 310 | 87 | 147 | 70 | 133 | 75 | 205 | 85 | 80 | 261 |
| Hf | 13 | 9 | 12 | 12 | 21 | 13 | 13 | 10 | 18 | 20 |
| Co | 2 | 5 | 4 | 10 | 22 | 4 | 1 | 10 | 17 | 18 |
| Ga | 15 | 17 | 22 | 47 | 57 | 19 | 21 | 47 | 76 | 91 |
| La | 20 | 31 | 22 | 22 | 47 | 40 | 32 | 55 | 90 | 61 |
| Ce | 50 | 76 | 58 | 58 | 125 | 102 | 84 | 130 | 228 | 151 |
| Nd | 34.3 | 51.8 | 40.3 | 39.6 | 98.2 | 66 | 56.1 | 81 | 163 | 106 |
| Sm | 8.6 | 12.1 | 10.2 | 10.3 | 23.2 | 14.4 | 14.7 | 21.4 | 41.6 | 27.1 |
| Eu | 0.9 | 1.9 | 2 | 0.4 | 1.6 | 2.5 | 3.3 | 2.5 | 3.3 | 2.6 |
| Gd | 8.9 | 9.8 | 9.3 | 9 | 16.4 | 13.3 | 16 | 15.6 | 47.1 | 26.7 |
| Dy | 8.3 | 6.4 | 8.6 | 8 | 10.4 | 8.8 | 14.8 | 8.8 | 50.5 | 19.8 |
| Er | 6.9 | 5 | 7.5 | 6.7 | 8 | 7.2 | 9.3 | 7 | 26.5 | 13.7 |
| Lu | 1.4 | 1 | 1.4 | 1.4 | 1.8 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 3.2 | 2.5 |
| Densité | 2.724 | 2.769 | 2.77 | 2.816 | 2.887 | 2.757 | 2.873 | 2.786 | 2.908 | 2.882 |

Tableau de corrélation des éléments majeurs, mineurs et traces (N=39)

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MgO | CaO | Na2O | K2O | MnO | P2O5 | Rb |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO2 | 1.000 | -0.669 | -0.863 | -0.908 | -0.895 | -0.005 | 0.369 | 0.322 | -0.358 | -0.641 | 0.104 |
| TiO2 | -0.669 | 1.000 | 0.651 | 0.499 | 0.422 | 0.433 | -0.079 | 0.017 | 0.309 | 0.881 | 0.167 |
| Al2O3 | -0.863 | 0.651 | 1.000 | 0.609 | 0.685 | 0.029 | -0.009 | -0.008 | 0.232 | 0.606 | 0.116 |
| Fe2O3 | -0.908 | 0.499 | 0.609 | 1.000 | 0.874 | -0.151 | -0.534 | -0.532 | 0.363 | 0.496 | -0.291 |
| MgO | -0.895 | 0.422 | 0.685 | 0.874 | 1.000 | -0.304 | -0.552 | -0.445 | 0.098 | 0.415 | -0.261 |
| CaO | -0.005 | 0.433 | 0.029 | -0.151 | -0.304 | 1.000 | 0.034 | 0.379 | 0.560 | 0.397 | 0.457 |
| Na2O | 0.369 | -0.079 | -0.009 | -0.534 | -0.552 | 0.034 | 1.000 | 0.100 | -0.108 | -0.095 | -0.055 |
| K2O | 0.322 | 0.017 | -0.008 | -0.532 | -0.445 | 0.379 | 0.100 | 1.000 | -0.086 | -0.064 | 0.814 |
| MnO | -0.358 | 0.309 | 0.232 | 0.363 | 0.098 | 0.560 | -0.108 | -0.086 | 1.000 | 0.325 | -0.005 |
| P2O5 | -0.641 | 0.881 | 0.606 | 0.496 | 0.415 | 0.397 | -0.095 | -0.064 | 0.325 | 1.000 | 0.079 |
| Rb | 0.104 | 0.167 | 0.116 | -0.291 | -0.261 | 0.457 | -0.055 | 0.814 | -0.005 | 0.079 | 1.000 |
| Sr | 0.182 | 0.260 | 0.072 | -0.393 | -0.453 | 0.472 | 0.699 | 0.266 | 0.221 | 0.210 | 0.072 |
| Y | -0.343 | 0.292 | 0.505 | 0.185 | 0.287 | -0.172 | 0.097 | 0.020 | -0.293 | 0.380 | 0.095 |
| Zr | -0.622 | 0.103 | 0.697 | 0.538 | 0.640 | -0.473 | -0.006 | -0.294 | 0.043 | -0.003 | -0.178 |
| Nb | -0.683 | 0.140 | 0.599 | 0.690 | 0.691 | -0.382 | -0.279 | -0.333 | 0.097 | 0.092 | -0.168 |
| Ba | 0.413 | -0.149 | -0.080 | -0.551 | -0.459 | 0.035 | 0.295 | 0.777 | -0.261 | -0.188 | 0.468 |
| Hf | -0.575 | 0.085 | 0.638 | 0.491 | 0.657 | -0.577 | 0.067 | -0.431 | -0.058 | 0.134 | -0.377 |
| Co | -0.692 | 0.533 | 0.415 | 0.763 | 0.644 | 0.050 | -0.445 | -0.367 | 0.284 | 0.588 | -0.202 |
| Ga | -0.747 | 0.255 | 0.606 | 0.781 | 0.768 | -0.342 | -0.352 | -0.388 | 0.142 | 0.248 | -0.193 |
| La | -0.513 | 0.084 | 0.500 | 0.479 | 0.517 | -0.291 | -0.032 | -0.356 | 0.080 | 0.046 | -0.204 |
| Ce | -0.520 | 0.078 | 0.521 | 0.480 | 0.519 | -0.301 | -0.017 | -0.349 | 0.088 | 0.040 | -0.202 |
| Nd | -0.530 | 0.081 | 0.562 | 0.465 | 0.504 | -0.281 | 0.030 | -0.327 | 0.134 | 0.052 | -0.206 |
| Sm | -0.513 | 0.086 | 0.554 | 0.455 | 0.468 | -0.254 | 0.033 | -0.297 | 0.159 | 0.045 | -0.182 |
| Eu | 0.147 | -0.152 | 0.029 | -0.198 | -0.272 | 0.069 | 0.495 | -0.041 | 0.195 | -0.229 | 0.025 |
| Gd | -0.428 | 0.119 | 0.494 | 0.355 | 0.360 | -0.109 | 0.037 | -0.195 | 0.226 | 0.015 | -0.076 |
| Dy | -0.376 | 0.159 | 0.440 | 0.305 | 0.302 | -0.060 | 0.054 | -0.187 | 0.230 | 0.033 | -0.117 |
| Er | -0.366 | 0.091 | 0.436 | 0.299 | 0.312 | -0.123 | 0.077 | -0.223 | 0.247 | -0.021 | -0.179 |
| Lu | -0.484 | 0.064 | 0.556 | 0.392 | 0.500 | -0.355 | 0.103 | -0.358 | 0.102 | -0.015 | -0.306 |
| DENSITE | -0.732 | 0.380 | 0.498 | 0.789 | 0.648 | 0.036 | -0.503 | -0.265 | 0.416 | 0.375 | -0.038 |

| Sr | Y | Zr | Nb | Ba | Hf | Co | Ga | La | Ce | Nd | Sm |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.182 | -0.343 | -0.622 | -0.683 | 0.413 | -0.575 | -0.692 | -0.747 | -0.513 | -0.520 | -0.530 | -0.513 |
| 0.260 | 0.292 | 0.103 | 0.140 | -0.149 | 0.085 | 0.533 | 0.255 | 0.084 | 0.078 | 0.081 | 0.086 |
| 0.072 | 0.505 | 0.697 | 0.599 | -0.080 | 0.638 | 0.415 | 0.606 | 0.500 | 0.521 | 0.562 | 0.554 |
| -0.393 | 0.185 | 0.538 | 0.690 | -0.551 | 0.491 | 0.763 | 0.781 | 0.479 | 0.480 | 0.465 | 0.455 |
| -0.453 | 0.287 | 0.640 | 0.691 | -0.459 | 0.657 | 0.644 | 0.768 | 0.517 | 0.519 | 0.504 | 0.468 |
| 0.472 | -0.172 | -0.473 | -0.382 | 0.035 | -0.577 | 0.050 | -0.342 | -0.291 | -0.301 | -0.281 | -0.254 |
| 0.699 | 0.097 | -0.006 | -0.279 | 0.295 | 0.067 | -0.445 | -0.352 | -0.032 | -0.017 | 0.030 | 0.033 |
| 0.266 | 0.020 | -0.294 | -0.333 | 0.777 | -0.431 | -0.367 | -0.388 | -0.356 | -0.349 | -0.327 | -0.297 |
| 0.221 | -0.293 | 0.043 | 0.097 | -0.261 | -0.058 | 0.284 | 0.142 | 0.080 | 0.088 | 0.134 | 0.159 |
| 0.210 | 0.380 | -0.003 | 0.092 | -0.188 | 0.134 | 0.588 | 0.248 | 0.046 | 0.040 | 0.052 | 0.045 |
| 0.072 | 0.095 | -0.178 | -0.168 | 0.468 | -0.377 | -0.202 | -0.193 | -0.204 | -0.202 | -0.206 | -0.182 |
| 1.000 | 0.036 | -0.263 | -0.412 | 0.325 | -0.215 | -0.204 | -0.375 | -0.295 | -0.284 | -0.203 | -0.196 |
| 0.036 | 1.000 | 0.305 | 0.334 | 0.057 | 0.341 | 0.038 | 0.071 | 0.185 | 0.214 | 0.250 | 0.212 |
| -0.263 | 0.305 | 1.000 | 0.832 | -0.184 | 0.815 | 0.154 | 0.691 | 0.784 | 0.810 | 0.833 | 0.821 |
| -0.412 | 0.334 | 0.832 | 1.000 | -0.300 | 0.628 | 0.329 | 0.710 | 0.809 | 0.825 | 0.828 | 0.817 |
| 0.325 | 0.057 | -0.184 | -0.300 | 1.000 | -0.236 | -0.398 | -0.335 | -0.286 | -0.269 | -0.255 | -0.232 |
| -0.215 | 0.341 | 0.815 | 0.628 | -0.236 | 1.000 | 0.226 | 0.640 | 0.535 | 0.551 | 0.568 | 0.541 |
| -0.204 | 0.038 | 0.154 | 0.329 | -0.398 | 0.226 | 1.000 | 0.698 | 0.181 | 0.169 | 0.157 | 0.143 |
| -0.375 | 0.071 | 0.691 | 0.710 | -0.335 | 0.640 | 0.698 | 1.000 | 0.620 | 0.613 | 0.600 | 0.598 |
| -0.295 | 0.185 | 0.784 | 0.809 | -0.286 | 0.535 | 0.181 | 0.620 | 1.000 | 0.997 | 0.972 | 0.964 |
| -0.284 | 0.214 | 0.810 | 0.825 | -0.269 | 0.551 | 0.169 | 0.613 | 0.997 | 1.000 | 0.983 | 0.974 |
| -0.203 | 0.250 | 0.833 | 0.828 | -0.255 | 0.568 | 0.157 | 0.600 | 0.972 | 0.983 | 1.000 | 0.991 |
| -0.196 | 0.212 | 0.821 | 0.817 | -0.232 | 0.541 | 0.143 | 0.598 | 0.964 | 0.974 | 0.991 | 1.000 |
| 0.169 | 0.005 | 0.280 | 0.210 | 0.001 | 0.023 | -0.418 | -0.161 | 0.504 | 0.515 | 0.526 | 0.568 |
| -0.175 | 0.076 | 0.751 | 0.698 | -0.158 | 0.445 | 0.042 | 0.475 | 0.877 | 0.889 | 0.895 | 0.930 |
| -0.125 | 0.009 | 0.665 | 0.606 | -0.112 | 0.420 | 0.024 | 0.388 | 0.759 | 0.772 | 0.777 | 0.823 |
| -0.133 | -0.011 | 0.700 | 0.617 | -0.111 | 0.514 | 0.002 | 0.416 | 0.753 | 0.766 | 0.772 | 0.816 |
| -0.157 | 0.134 | 0.843 | 0.703 | -0.192 | 0.806 | 0.098 | 0.597 | 0.770 | 0.781 | 0.785 | 0.793 |
| -0.295 | 0.086 | 0.413 | 0.637 | -0.374 | 0.306 | 0.566 | 0.586 | 0.372 | 0.378 | 0.376 | 0.376 |

| Eu | Gd | Dy | Er | Lu | DENSITE |
|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 0.147 | -0.428 | -0.376 | -0.366 | -0.484 | -0.732 |
| -0.152 | 0.119 | 0.159 | 0.091 | 0.064 | 0.380 |
| 0.029 | 0.494 | 0.440 | 0.436 | 0.556 | 0.498 |
| -0.198 | 0.355 | 0.305 | 0.299 | 0.392 | 0.789 |
| -0.272 | 0.360 | 0.302 | 0.312 | 0.500 | 0.648 |
| 0.069 | -0.109 | -0.060 | -0.123 | -0.355 | 0.036 |
| 0.495 | 0.037 | 0.054 | 0.077 | 0.103 | -0.503 |
| -0.041 | -0.195 | -0.187 | -0.223 | -0.358 | -0.265 |
| 0.195 | 0.226 | 0.230 | 0.247 | 0.102 | 0.416 |
| -0.229 | 0.015 | 0.033 | -0.021 | -0.015 | 0.375 |
| 0.025 | -0.076 | -0.117 | -0.179 | -0.306 | -0.038 |
| 0.169 | -0.175 | -0.125 | -0.133 | -0.157 | -0.295 |
| 0.005 | 0.076 | 0.009 | -0.011 | 0.134 | 0.086 |
| 0.280 | 0.751 | 0.665 | 0.700 | 0.843 | 0.413 |
| 0.210 | 0.698 | 0.606 | 0.617 | 0.703 | 0.637 |
| 0.001 | -0.158 | -0.112 | -0.111 | -0.192 | -0.374 |
| 0.023 | 0.445 | 0.420 | 0.514 | 0.806 | 0.306 |
| -0.418 | 0.042 | 0.024 | 0.002 | 0.098 | 0.566 |
| -0.161 | 0.475 | 0.388 | 0.416 | 0.597 | 0.586 |
| 0.504 | 0.877 | 0.759 | 0.753 | 0.770 | 0.372 |
| 0.515 | 0.889 | 0.772 | 0.766 | 0.781 | 0.378 |
| 0.526 | 0.895 | 0.777 | 0.772 | 0.785 | 0.376 |
| 0.568 | 0.930 | 0.823 | 0.816 | 0.793 | 0.376 |
| 1.000 | 0.648 | 0.586 | 0.578 | 0.372 | -0.128 |
| 0.648 | 1.000 | 0.959 | 0.937 | 0.809 | 0.352 |
| 0.586 | 0.959 | 1.000 | 0.981 | 0.820 | 0.315 |
| 0.578 | 0.937 | 0.981 | 1.000 | 0.889 | 0.289 |
| 0.372 | 0.809 | 0.820 | 0.889 | 1.000 | 0.279 |
| -0.128 | 0.352 | 0.315 | 0.289 | 0.279 | 1.000 |