

**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'Anticinal 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 Wabassee. 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO et des appauvrissements en CaO, SiO<sub>2</sub> et Na<sub>2</sub>O. 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 Wabassee 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, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and MnO enrichments and CaO, SiO<sub>2</sub> and Na<sub>2</sub>O 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 maitrise, 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
<b>RESUME</b>	i
<b>ABSTRACT</b>	ii
<b>REMERCIEMENTS</b>	iii
<b>TABLE DES MATIERES</b>	iv
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	vii
<b>LISTE DES FIGURES</b>	viii
<b>LISTE DES PLANCHES</b>	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 LIMITES DE PRÉCISION 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 POCHE.....)	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 $\text{SiO}_2$ (% Poids) pour des échantillons de rhyolite "fraîche" localisés à plus de 210 mètres du centre du gisement.	37

	Page
FIGURE 7 : Diagramme AFM pour des échantillons de rhyolite "fraîche".	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

	Page
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 séricités.....	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 phénocristal de plagioclase avec texture de dévitrification en périphérie.	19
PLANCHE 5(a) : Photomicrographie de la rhyolite montrant la texture sphérolitique 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 phénocristal 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 phénocristal 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 tienne 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).

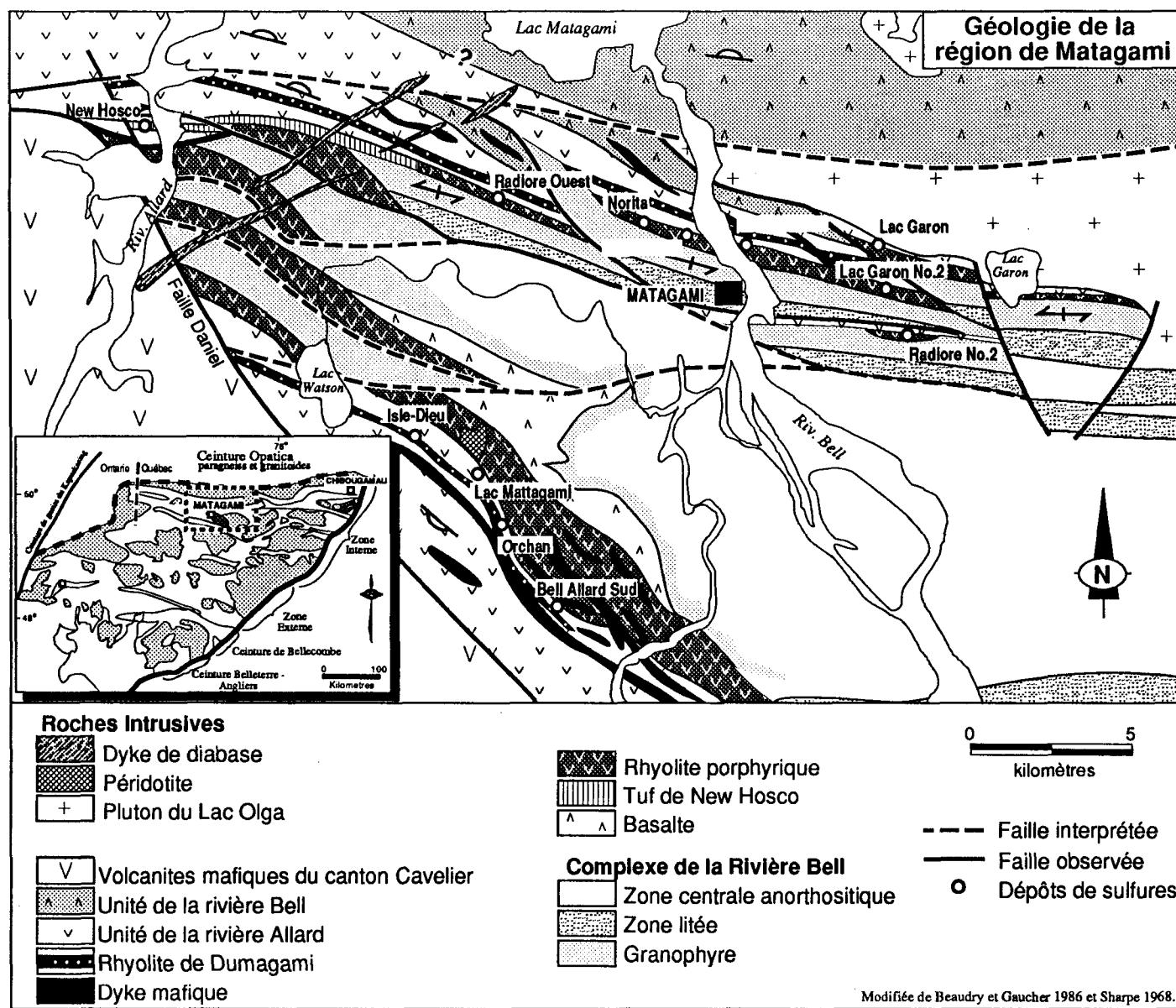


FIGURE 1: Carte géologique du camp minier de Matagami

## 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, appellé 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 tholéïtique, 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

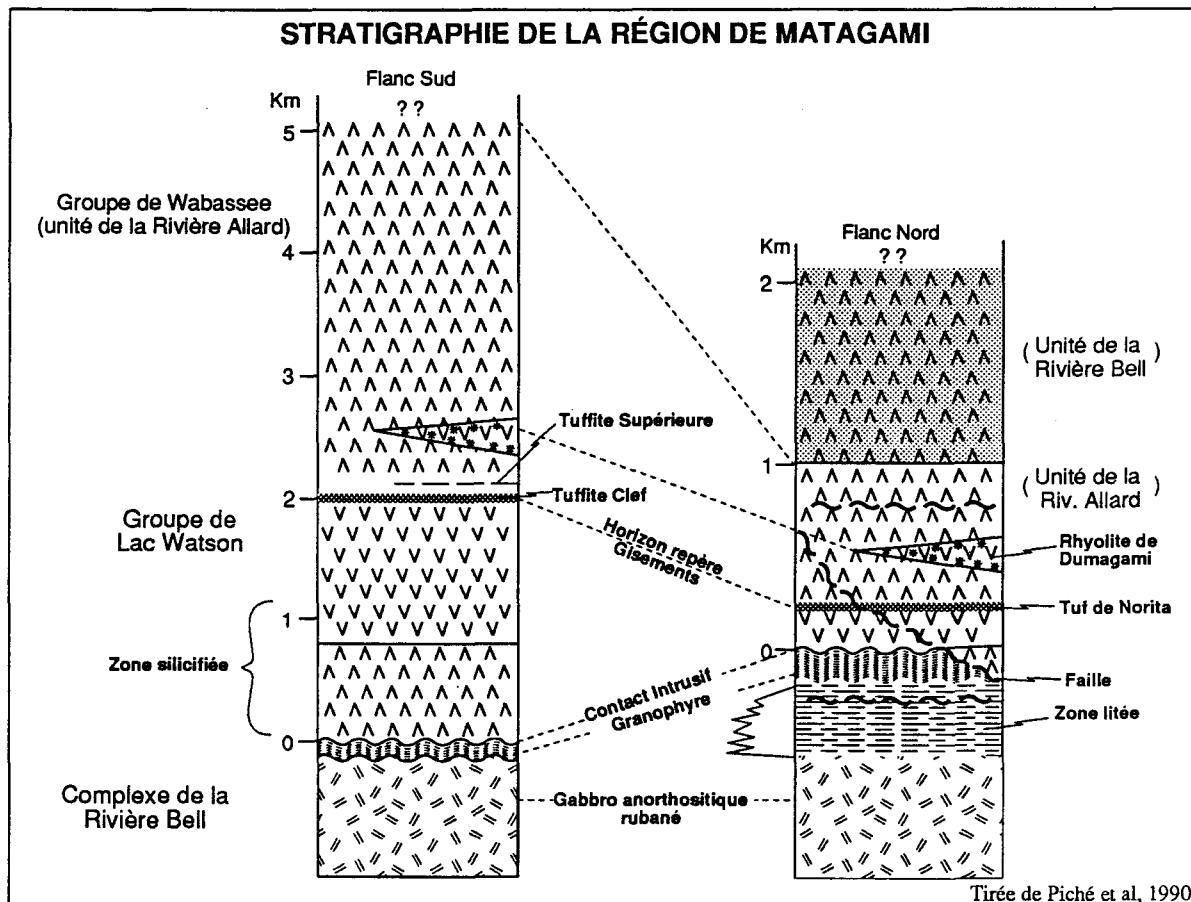


FIGURE 2: Section stratigraphique de l'Anticlinal de Matagami.

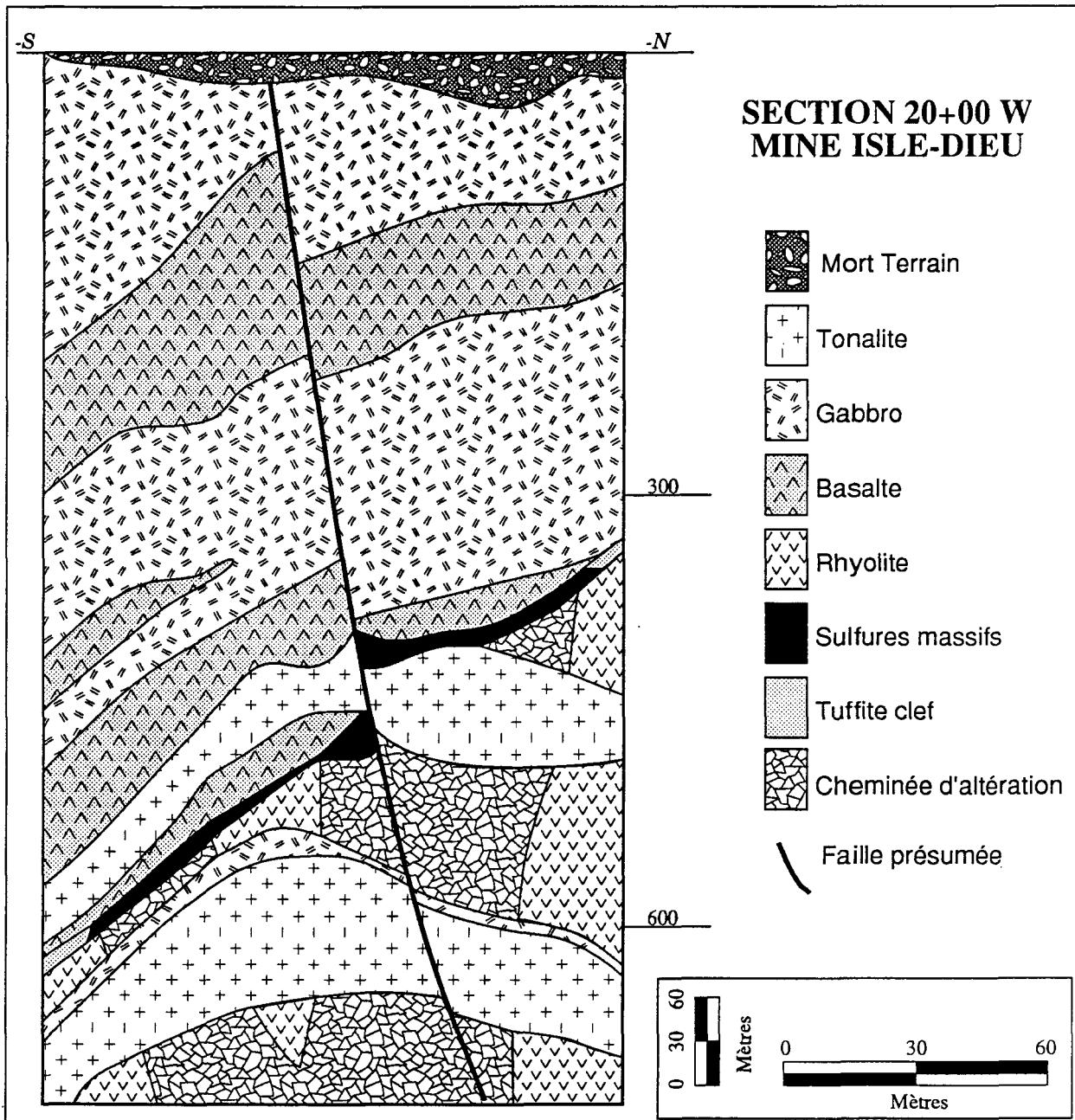
opposé, les laves sont fortement affectées par une série de failles anastomosées et leur attitude diffère du flanc sud soit par leur orientation ouest-nord-ouest et la verticalité du pendage.

### 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 Wabassee. Une série de dykes gabbroiques 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 cisaillé. 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 séricitatisés.

## 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.

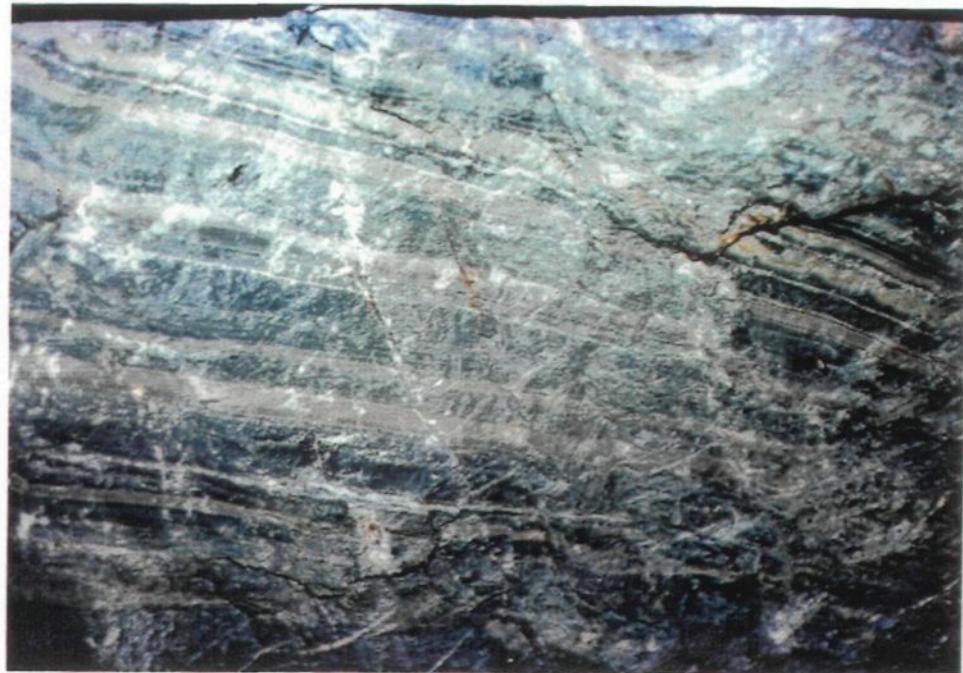


B) Photographie du dyke tonalitique qui sépare le gisement en deux parties avec des fractures de tension remplies par du carbonate et quartz.

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-chalcopyrite 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 chalcopyrite-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 recouplement (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

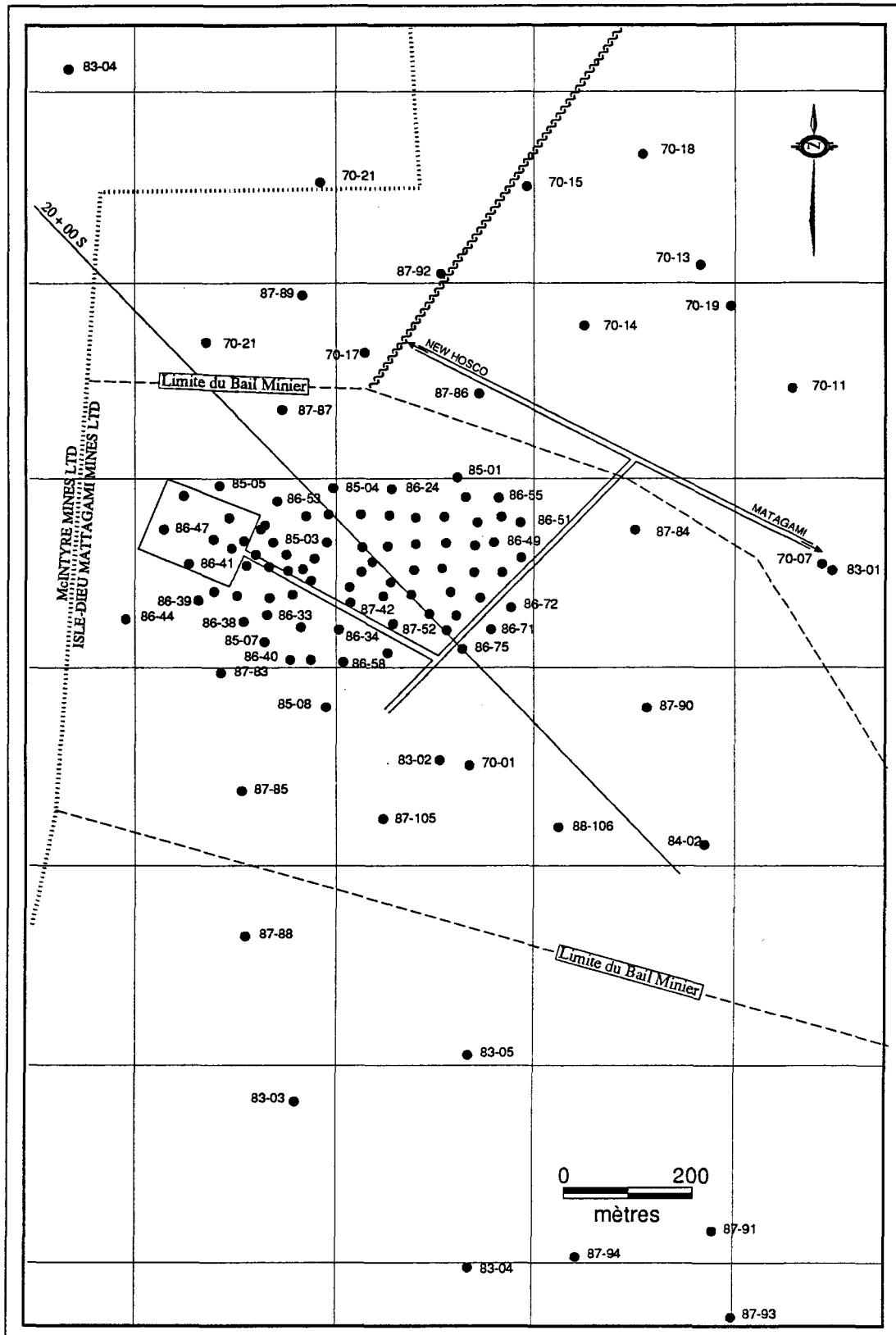
### 3.1 Généralités

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 paragénèses minérales caractérisent la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu. Ces paragénèses 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.

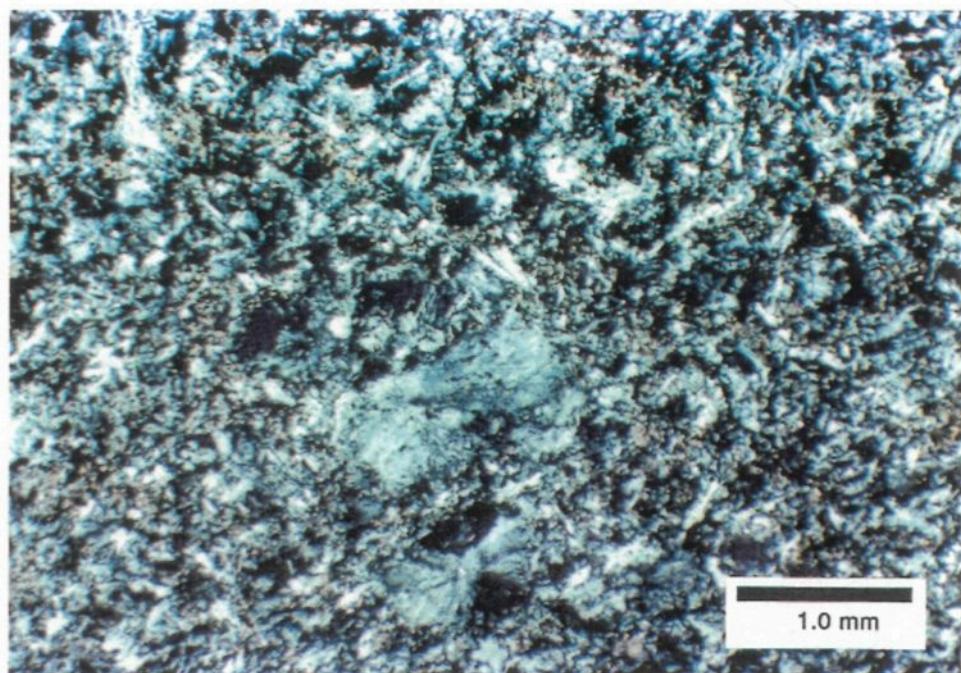
### 3.2 La rhyolite fraîche

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 sphérolitique 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.



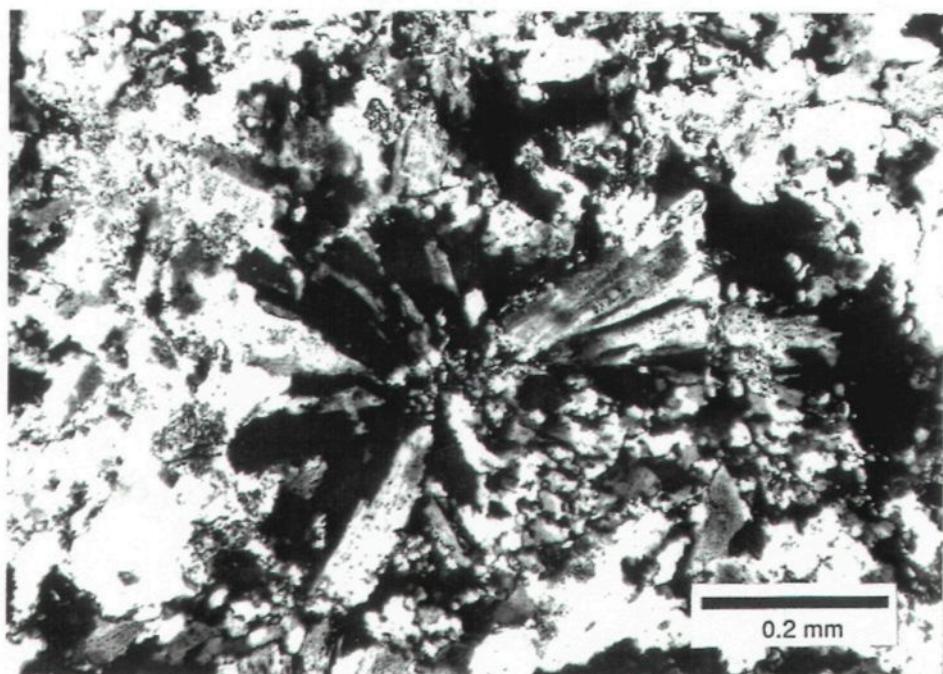
B) Photomicrographie d'excroissances à texture granophyrique développées au sein d'un phénocristal de plagioclase avec texture de dévitrification en périphérie. Lumière polarisée.

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

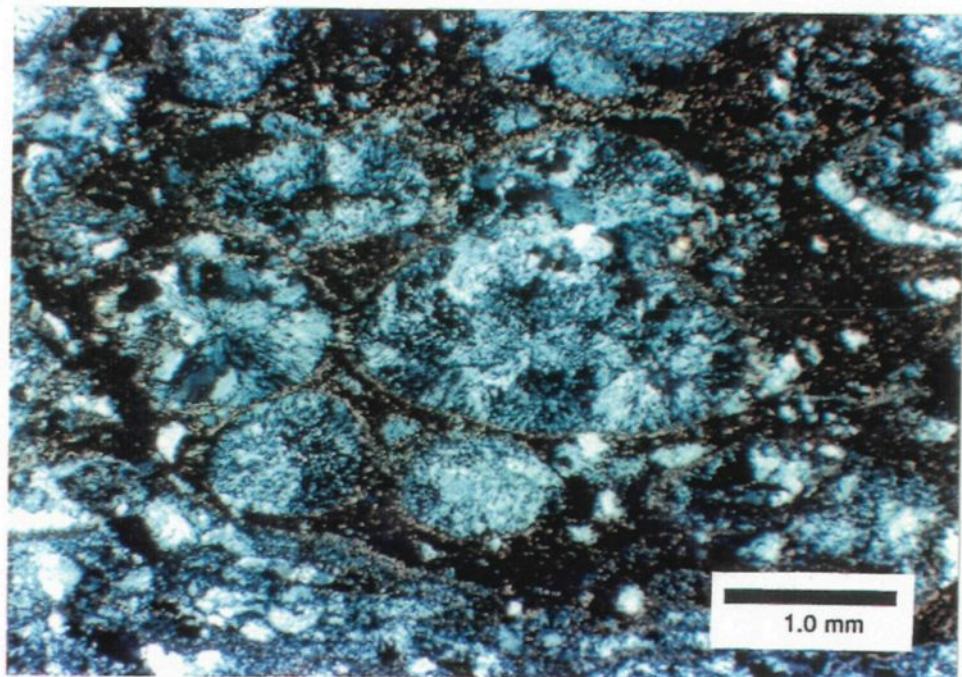
La mésostase de la lave est composée d'un assemblage microcristallin de quartz et de plagioclase légèrement sérichtisé avec de 1 à 3% de chlorite interstitielle de teinte verdâtre en nicols croisés. Celle-ci contient par endroits des sphérules de 1 à 5mm de diamètre, constituées par des agrégats sphériques 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 amygdales (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 amygdales 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 imprégnie 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 sphérolitique constituée d'albite fibroradiée. Lumière polarisée.



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

### 3.3 La rhyolite altérée

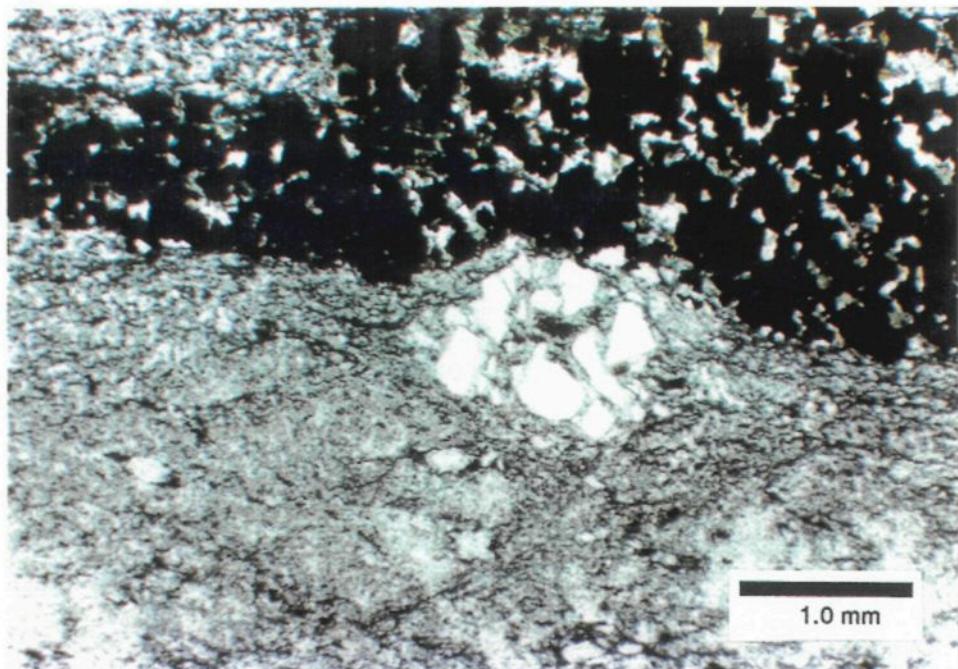
L'examen microscopique de l'ensemble des sections minces provenant de la zone de la cheminée d'altération, permet de caractériser une zonalité horizontale. Ainsi par ordre d'intensité croissante, l'altération à l'intérieur de la cheminée est subdivisée en une zone de bordure, une zone intermédiaire et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

#### 3.3.1 La zone de bordure

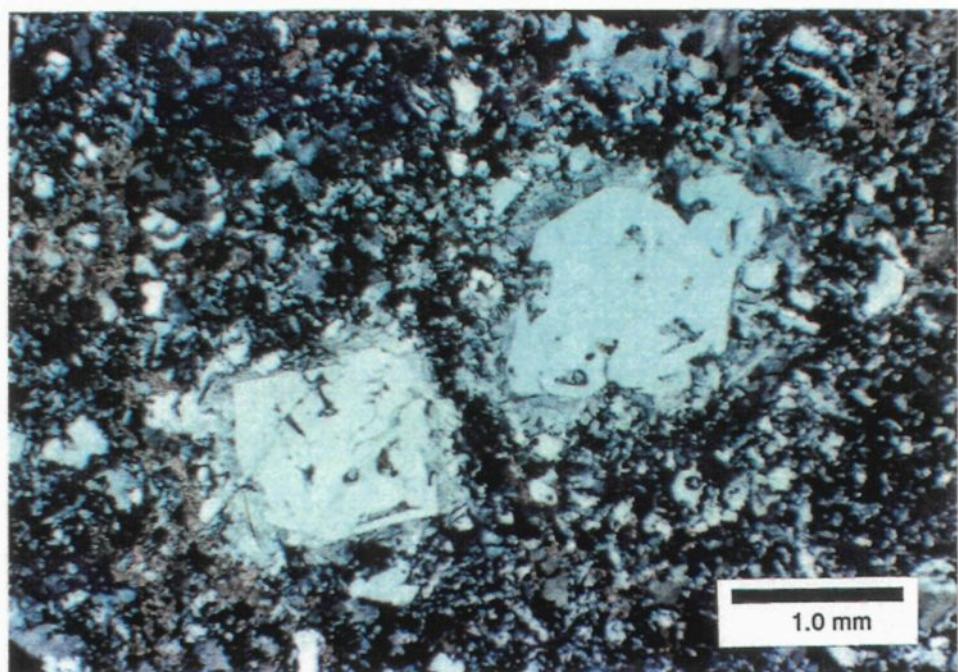
La zone de bordure est caractérisée par un assemblage de quartz-plagioclase-séricite-chlorite et de quelques minéraux accessoires. Le quartz se présente en cristaux isolés de forme bipyramidale, regroupés en amas ou éclatés. Ce phénomène d'éclatement ou fragmentation "in-situ", observé à quelques reprises, 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 démembrément d'un phénocristal 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.

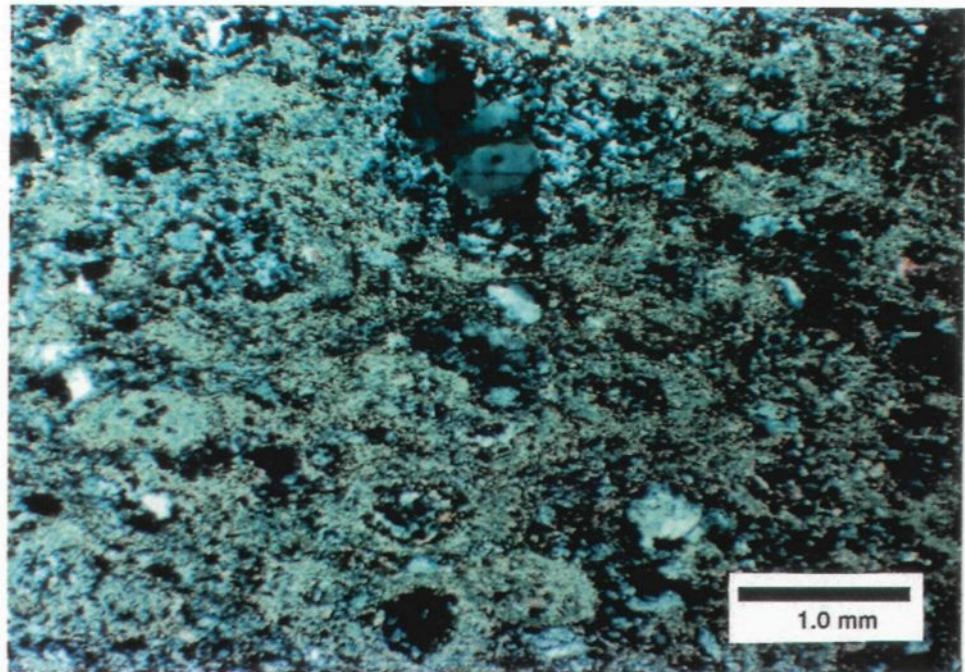
de quartz a également été observée au sein de matériel hydrothermal formant les monticules de sulfures récents de la région de "East Pacific Rise" (Alt et al, 1987).

Des vestiges de phénocristaux de plagioclase partiellement séricitisés baignent également dans la mésostase composée de quartz et plagioclase (An<sub>7</sub>) 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.

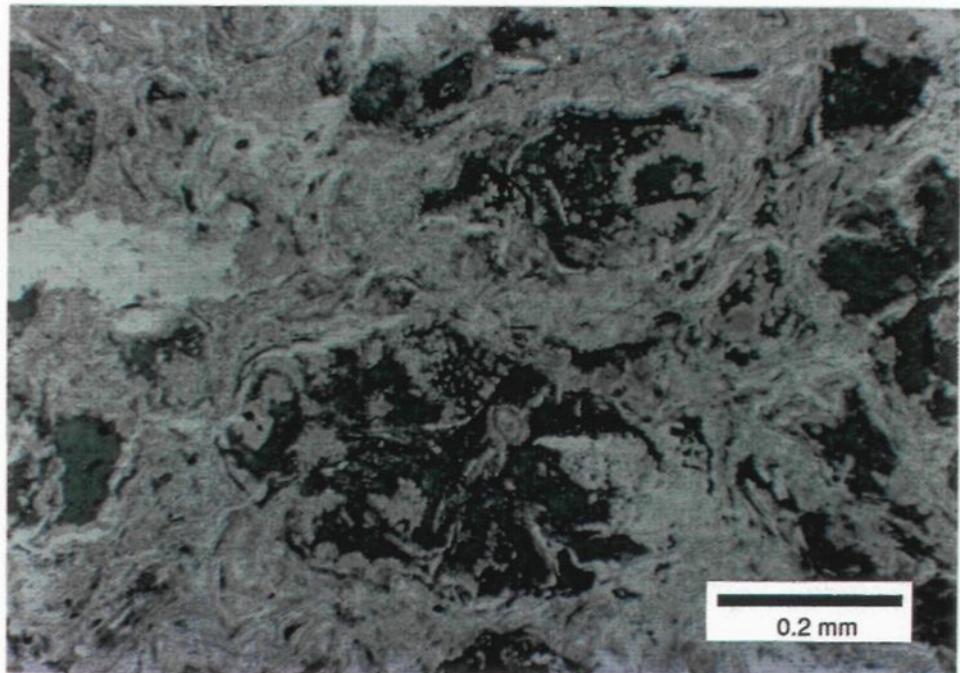
### 3.3.2 La zone intermédiaire

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.

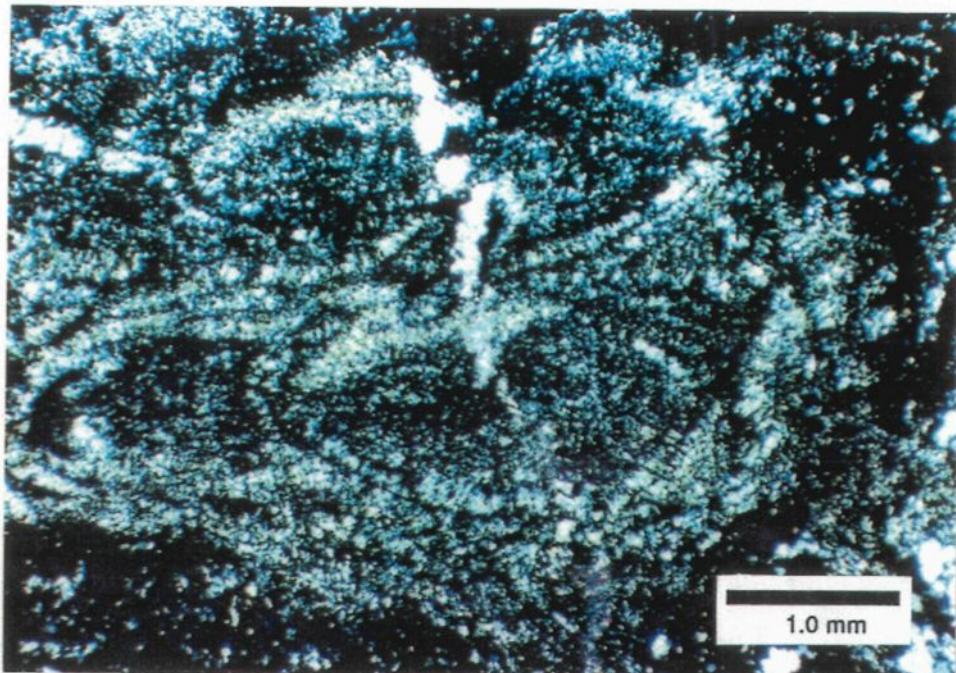
### 3.3.3 La zone centrale

Le cœur 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 "fraîche" 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.

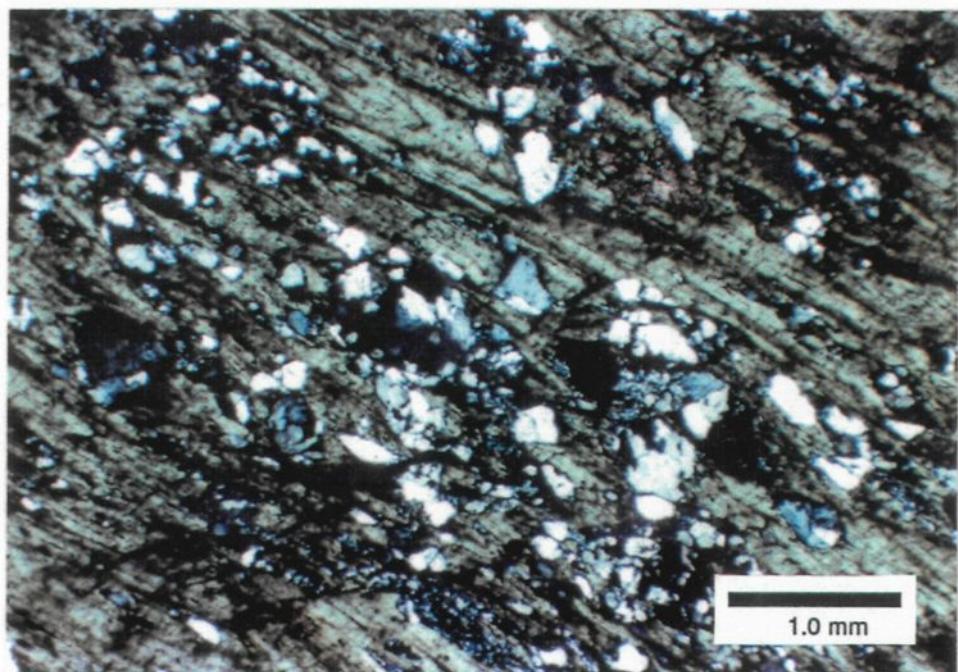
Des îlots de rhyolite particulièrement bien conservées montrent la présence de fractures perlitiques (Planche 7b) et de fragments de verre (0.5-1.0 mm) totalement chloritisés. Les fractures perlitiques sont majoritairement de forme concentrique (Planche 8a). Ces textures perlitiques et de dévitrification 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.



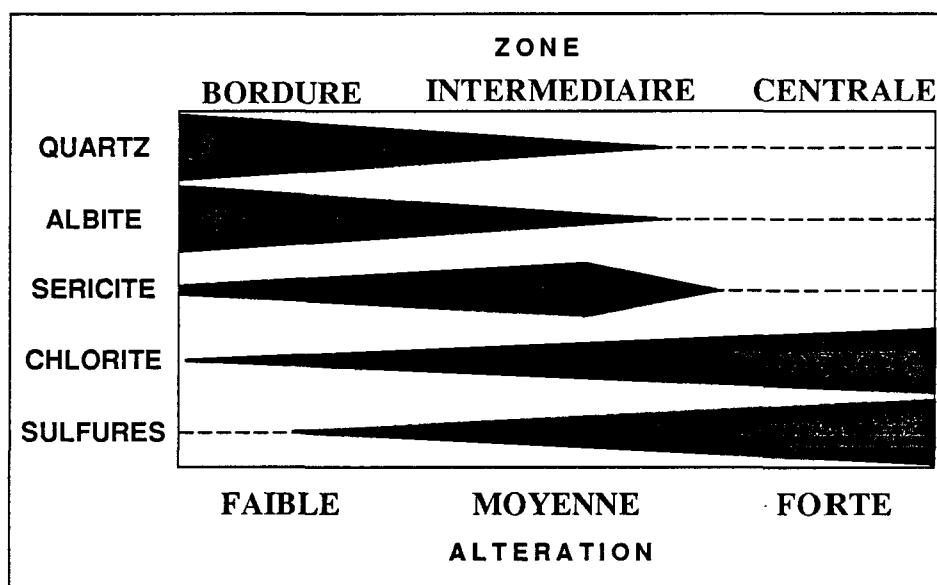
B) Photomicrographie de la rhyolite de la zone centrale de la cheminée d'altération. Notez l'apparence clastique et la forte shistosité de la lave chloritisée. Lumière polarisée.

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.

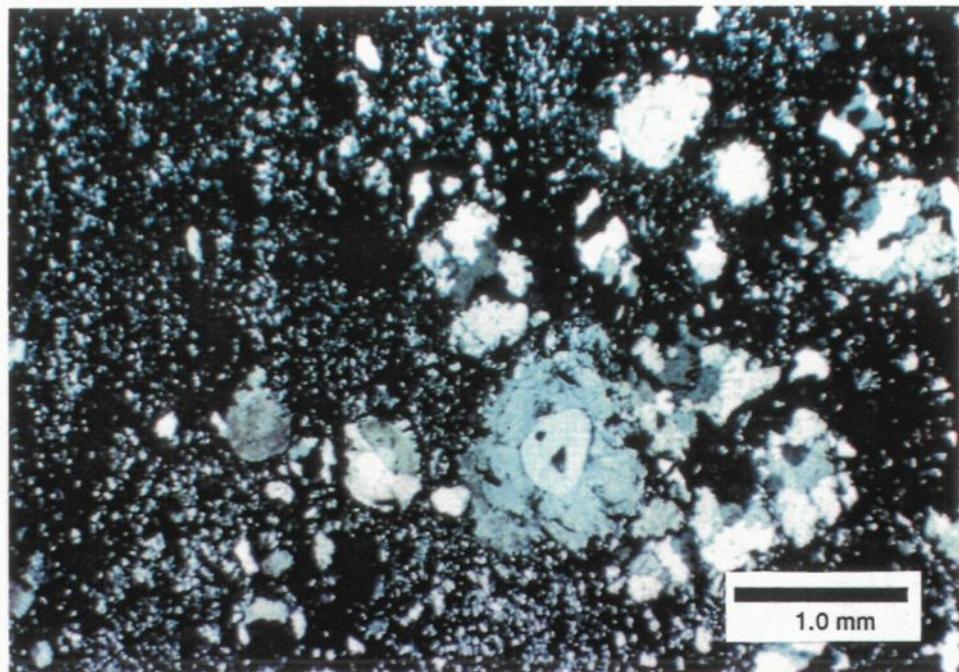
Ainsi de la zone de bordure vers la zone centrale, la couleur de biréfringence de la chlorite passe graduellement d'une teinte verdâtre (chlorite magnésienne) à une couleur brunâtre puis bleutée (chlorite ferrifère). La chlorite associée aux veinules de sulfures est également de teinte bleutée et semble 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 cœur chloritisé avec une enveloppe sérichtisée (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 dissimilé 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'échantillonage 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.

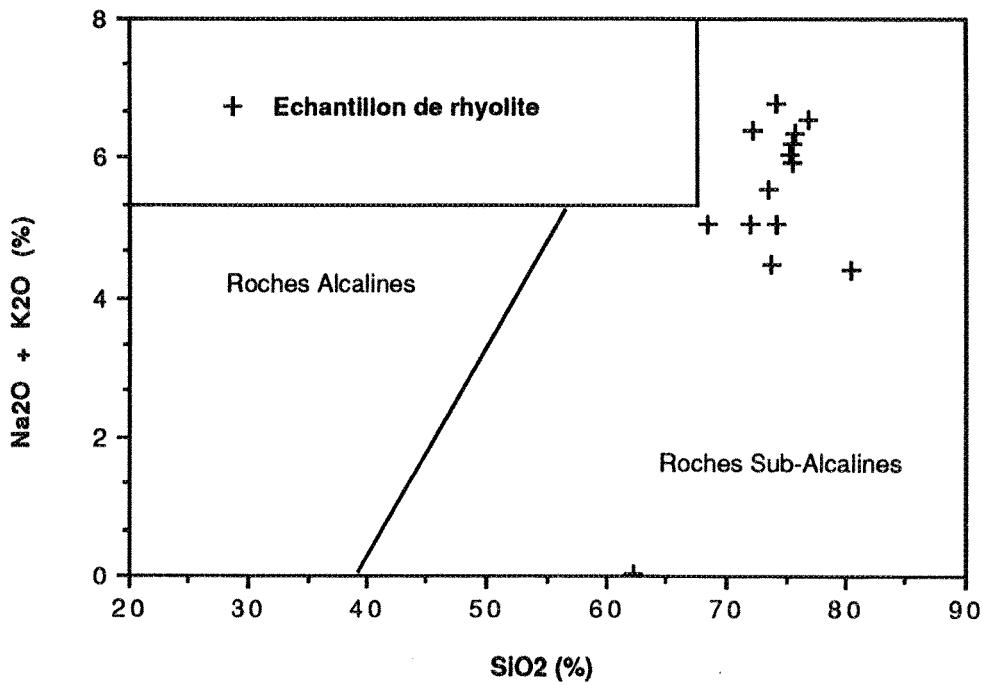
Les résultats analytiques sont retrouvés respectivement à l'Annexe II et III pour les échantillons provenant des première et deuxième collectes respectivement. Le contenu de ces annexes n'a aucunement été filtré. Le traitement des données qui suivra est élaboré à partir des données brutes provenant du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

#### 4.3 Caractéristiques de la rhyolite du Groupe de Lac Watson

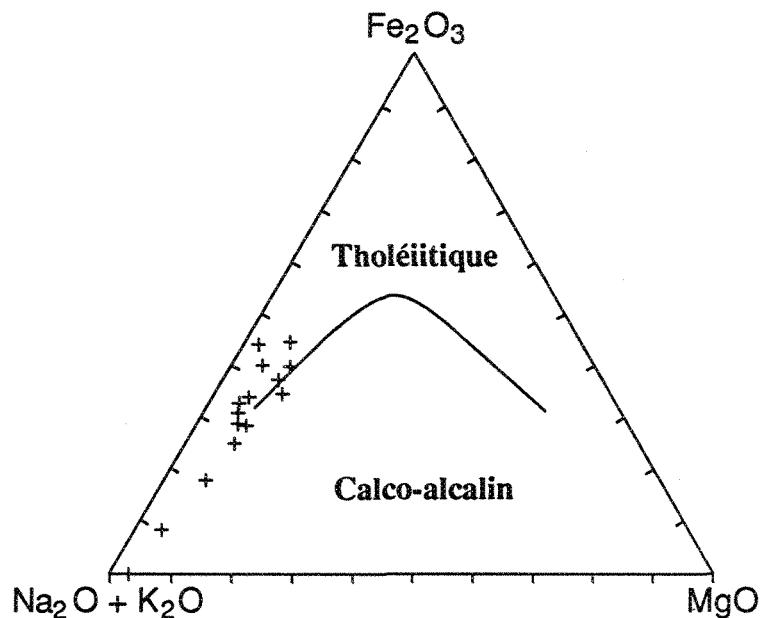
La majorité des roches volcaniques et intrusives de la région de Matagami sont reconnues pour être d'affinité tholéïitique. Les travaux de Macgeehan, (1979), MacGeehan et Maclean, (1980a), Beaudry, (1984), Maclean, (1984) et Kranodiotis, (1985) ont permis de faire cette démonstration pour le camp minier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

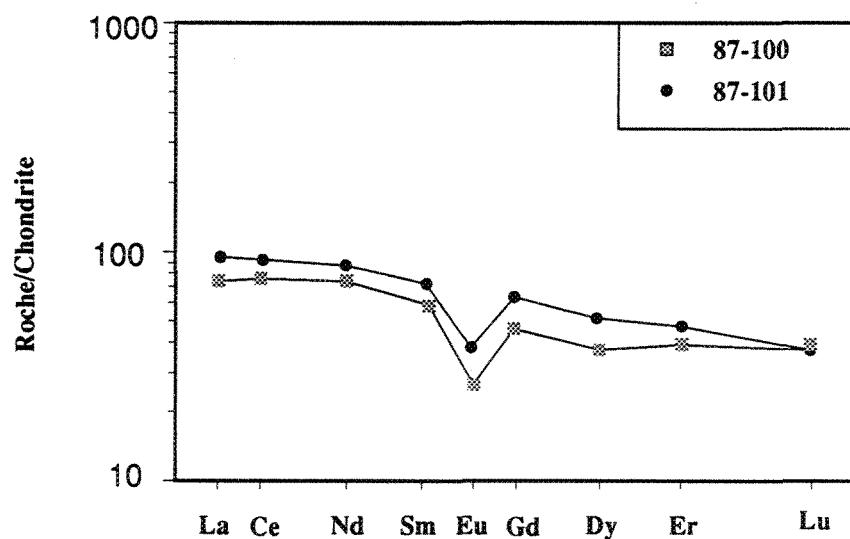
Le diagramme ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) versus  $\text{SiO}_2$  montre que le groupe d'échantillons de rhyolite se situe dans le champ des roches sub-alcalines (Figure 6). Sur le diagramme ternaire A-F-M (Figure 7), on les retrouve dans le champ tholéïtique, près du pôle des alcalis. 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 tholéïtiques selon Lesher et al. (1985).



**FIGURE. 6.** Diagramme ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) vs  $\text{SiO}_2$  (% 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 tholéïtique 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:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Sr}$ ).

B) Déformation de certaines distributions avec "skewness" positif indiqué par un appendice de la distribution logé du côté des hautes valeurs (Ex:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ) et négatif lorsque l'appendice se retrouve du côté des basses valeurs (Ex:  $\text{SiO}_2$  ).

C) Les éléments non-métalliques montrent des distributions régulières (Ex:  $\text{Ba}$ ,  $\text{Nb}$ ).

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:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  )

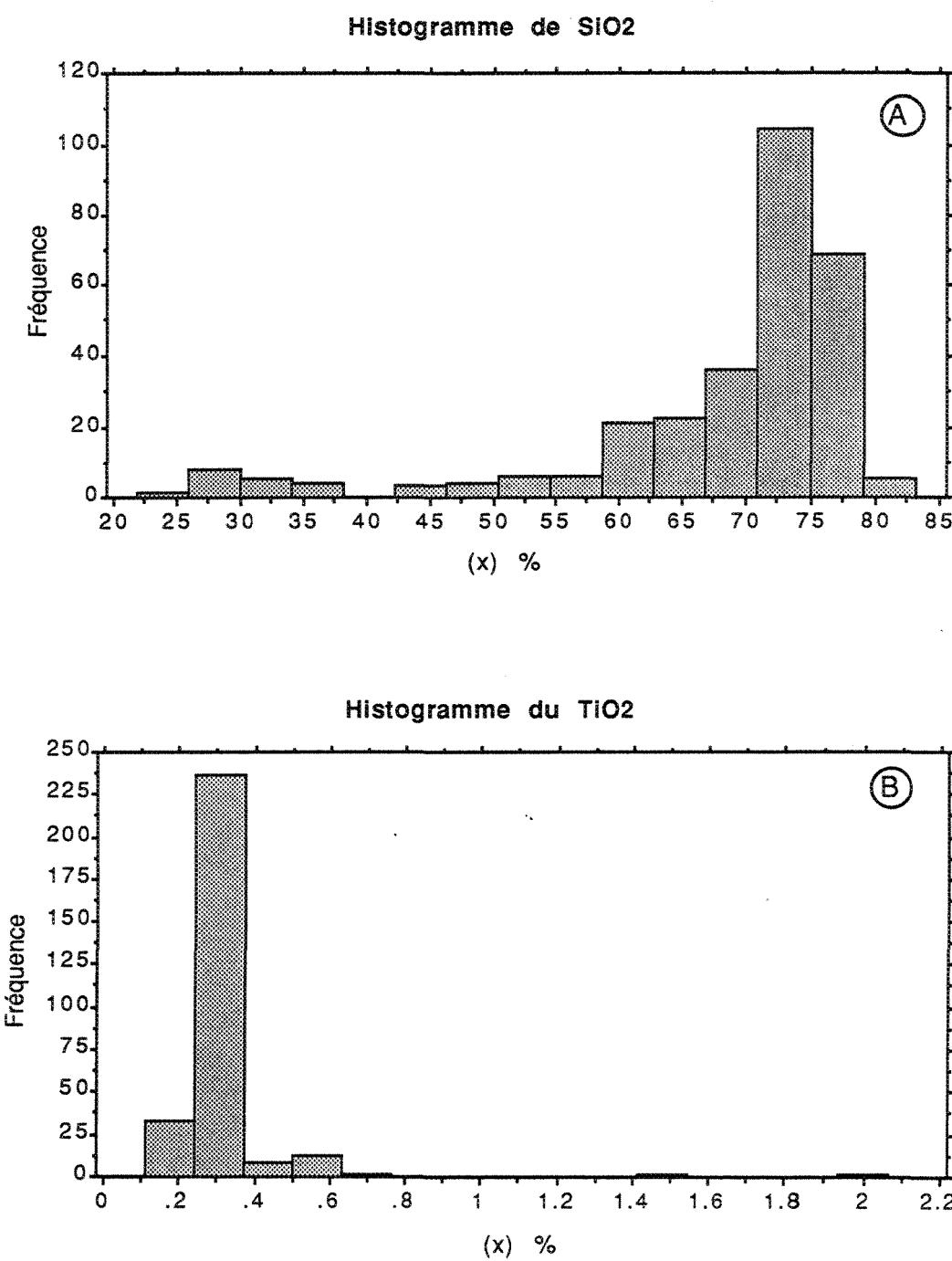


Figure. 9. Histogramme des éléments majeurs et mineurs. Les éléments majeurs sont en % poids et les éléments mineurs en ppm.

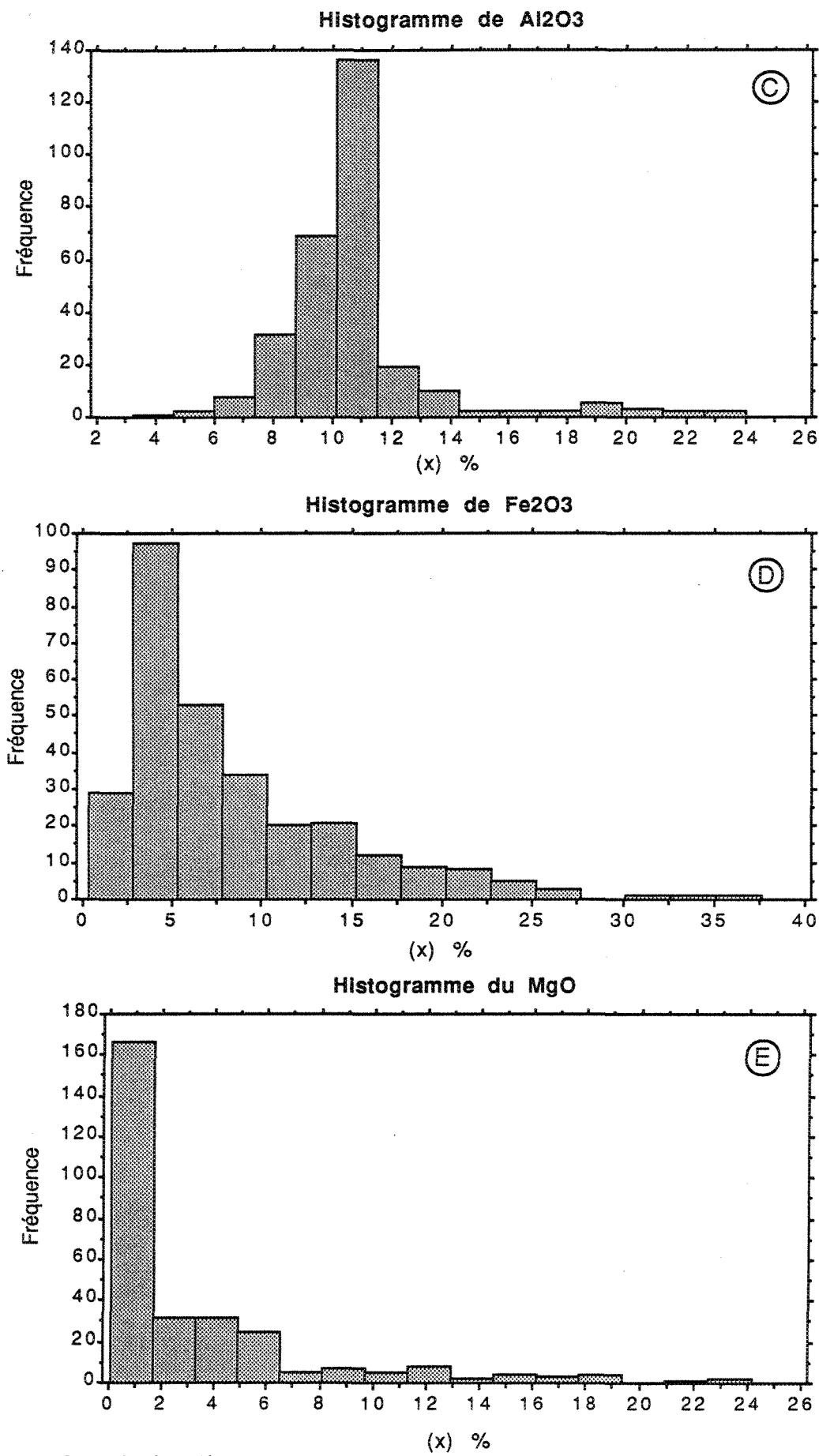


Figure. 9. (suite 1)

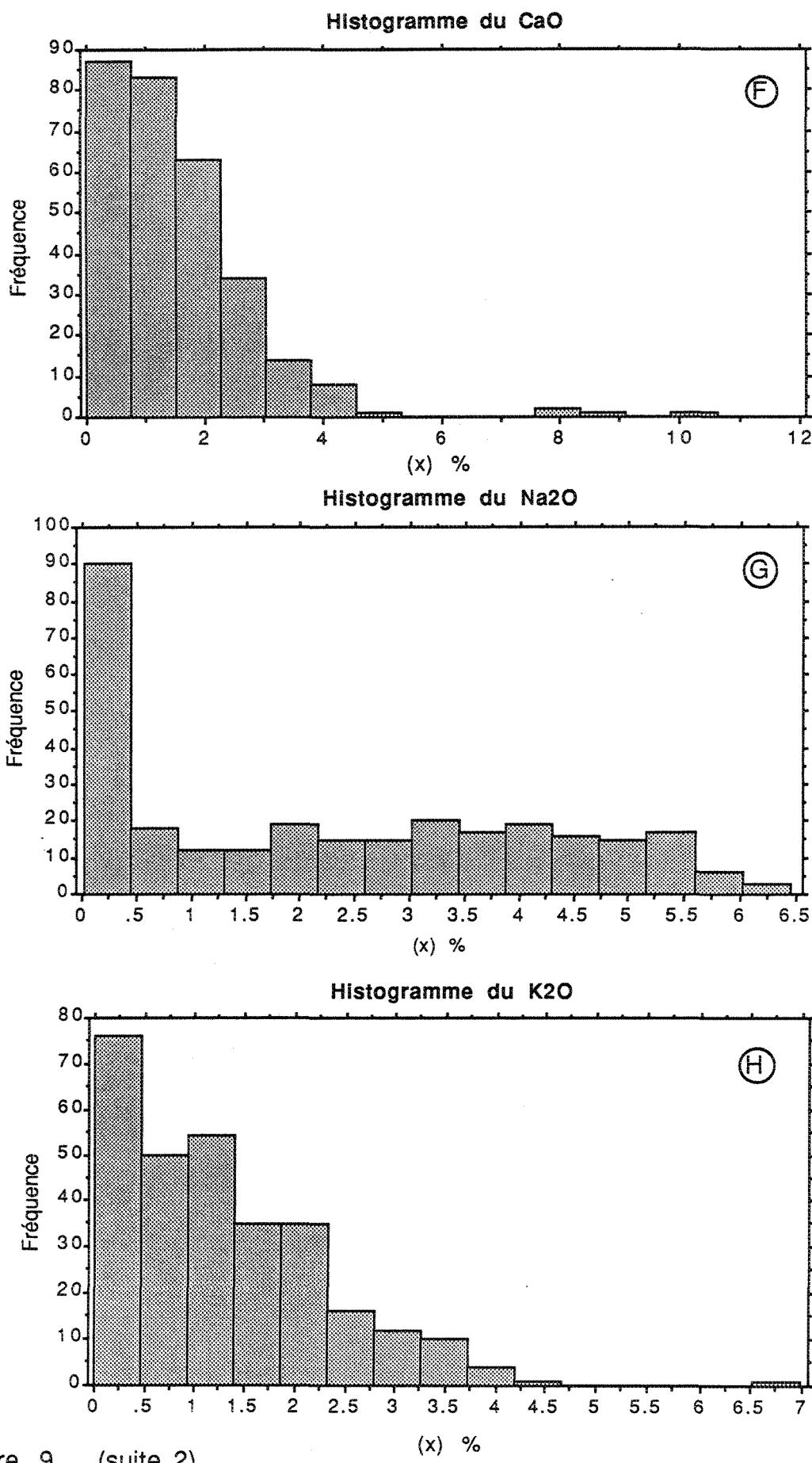


Figure. 9. (suite 2)

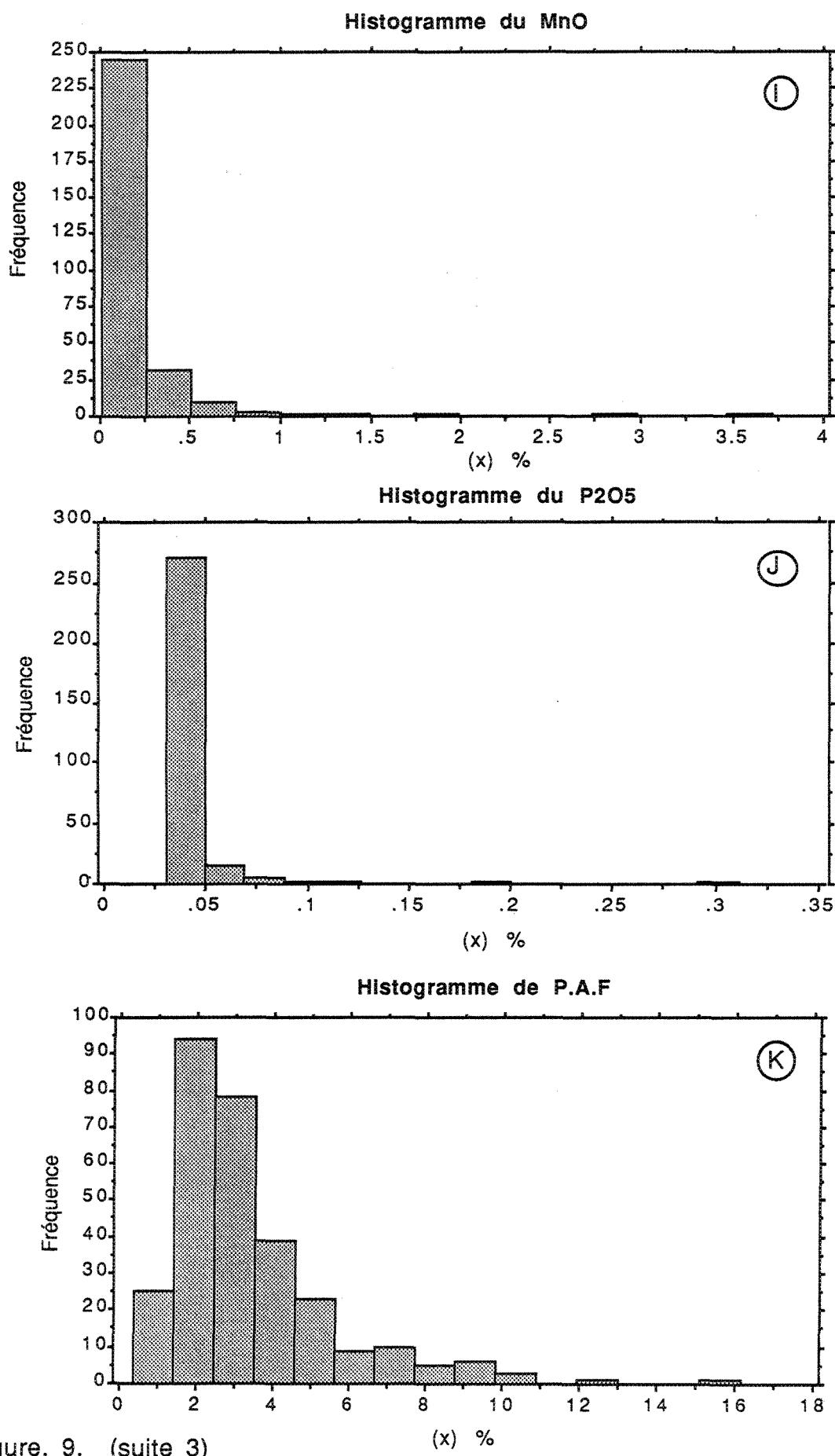


Figure. 9. (suite 3)

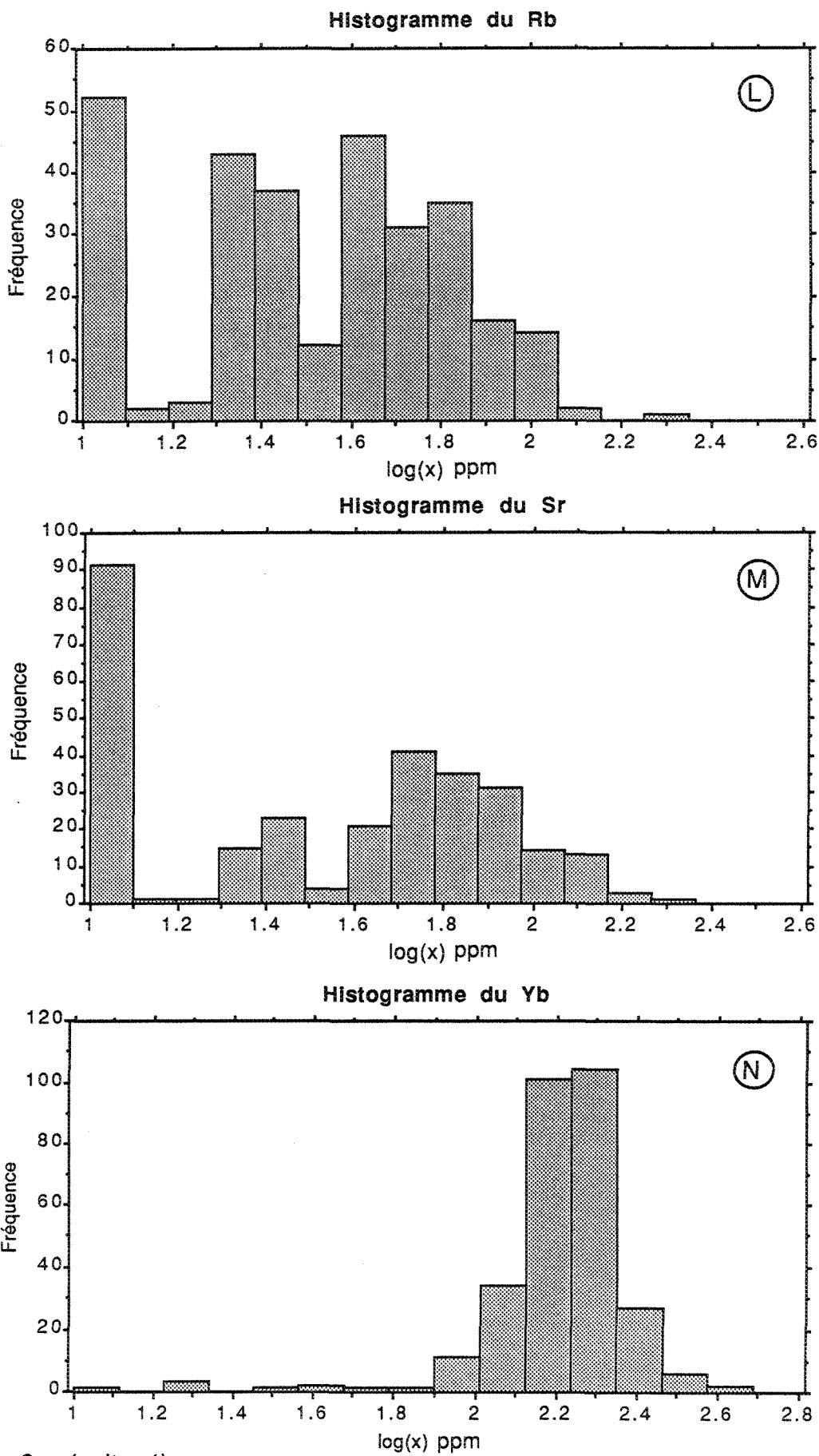


Figure. 9. (suite 4)

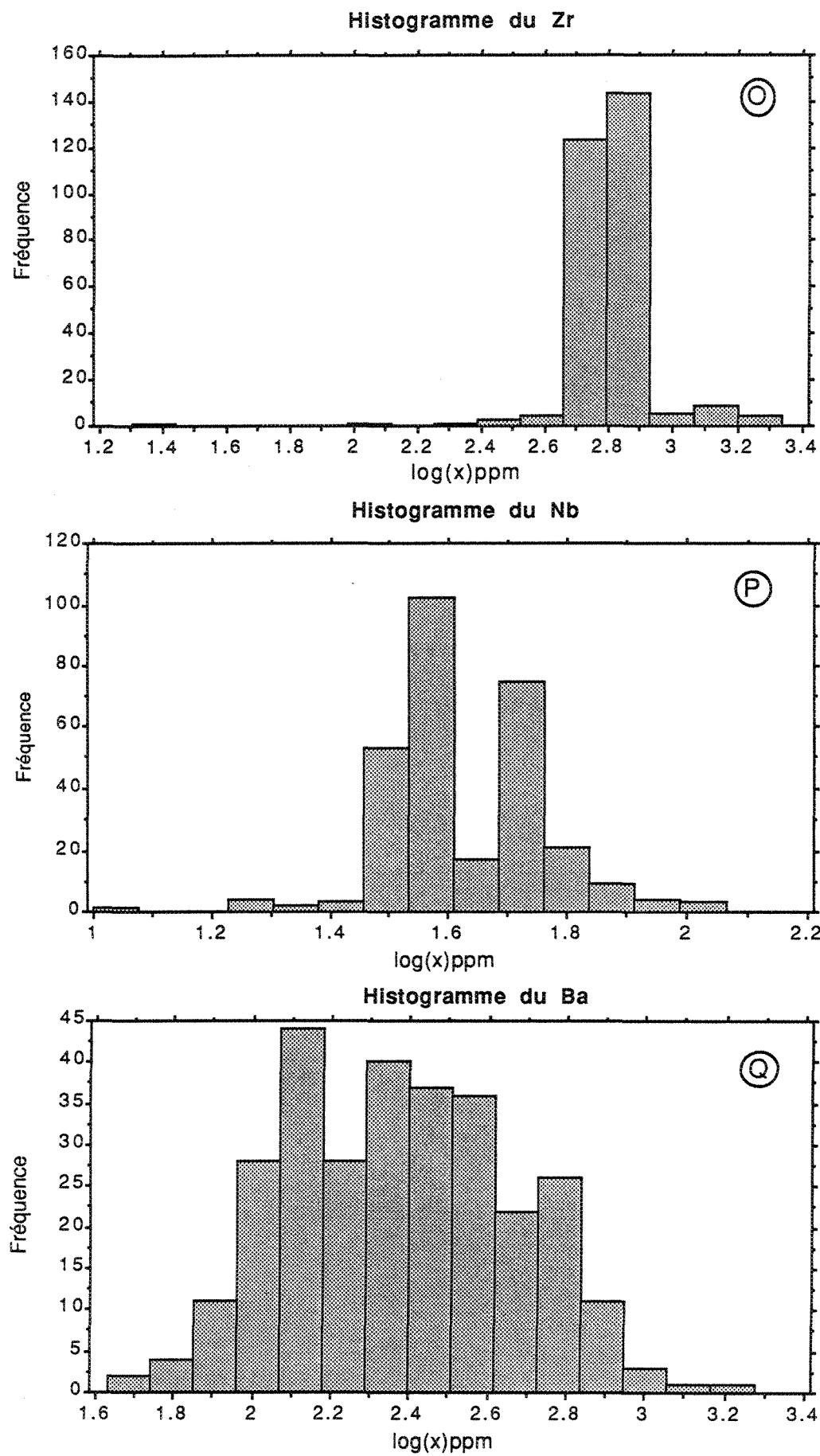


Fig. 9. (suite 5)

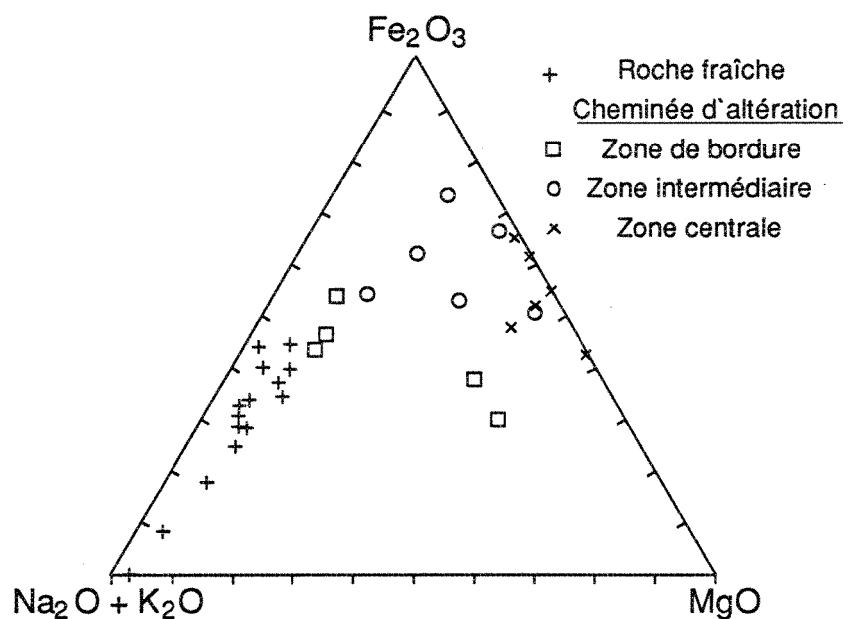
## 5.3 Variation des éléments majeurs

### 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  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  et en une moindre mesure de  $\text{K}_2\text{O}$ . Ces pertes sont accompagnées par de fortes augmentations en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$  et en éléments volatiles à cause du contenu en  $\text{H}_2\text{O}$  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  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ainsi qu'en éléments volatiles (paf) et par un appauvrissement en  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  et  $\text{SiO}_2$ . Dans le cas du  $\text{K}_2\text{O}$ , 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 sérichtisation des plagioclases suivie de la chloritisation explique invariablement ces changements brusques.



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

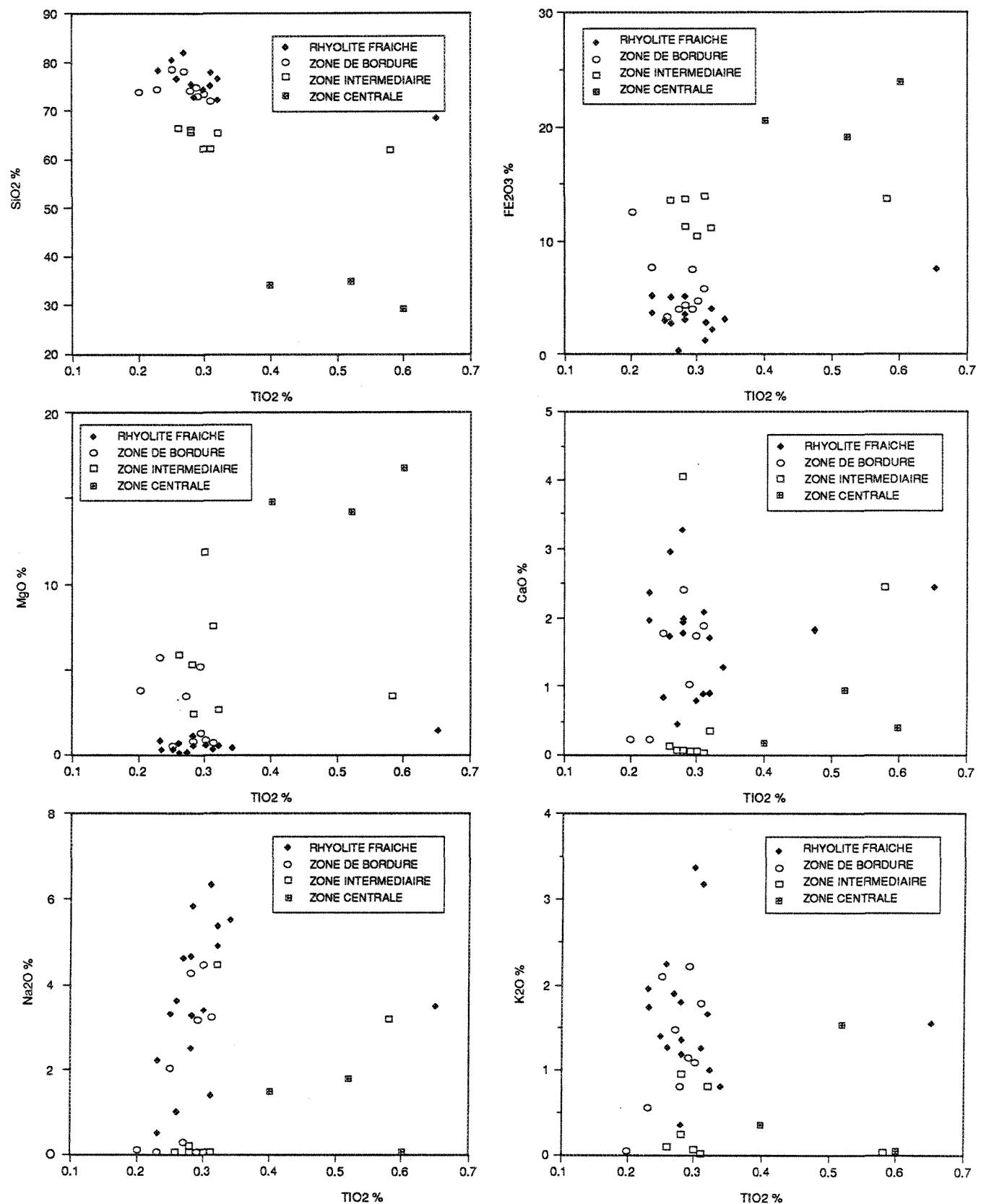


FIGURE. 11. Diagrammes binaires montrant l'évolution des éléments mobiles en fonction du titane que l'on suppose peu mobile.

**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.**

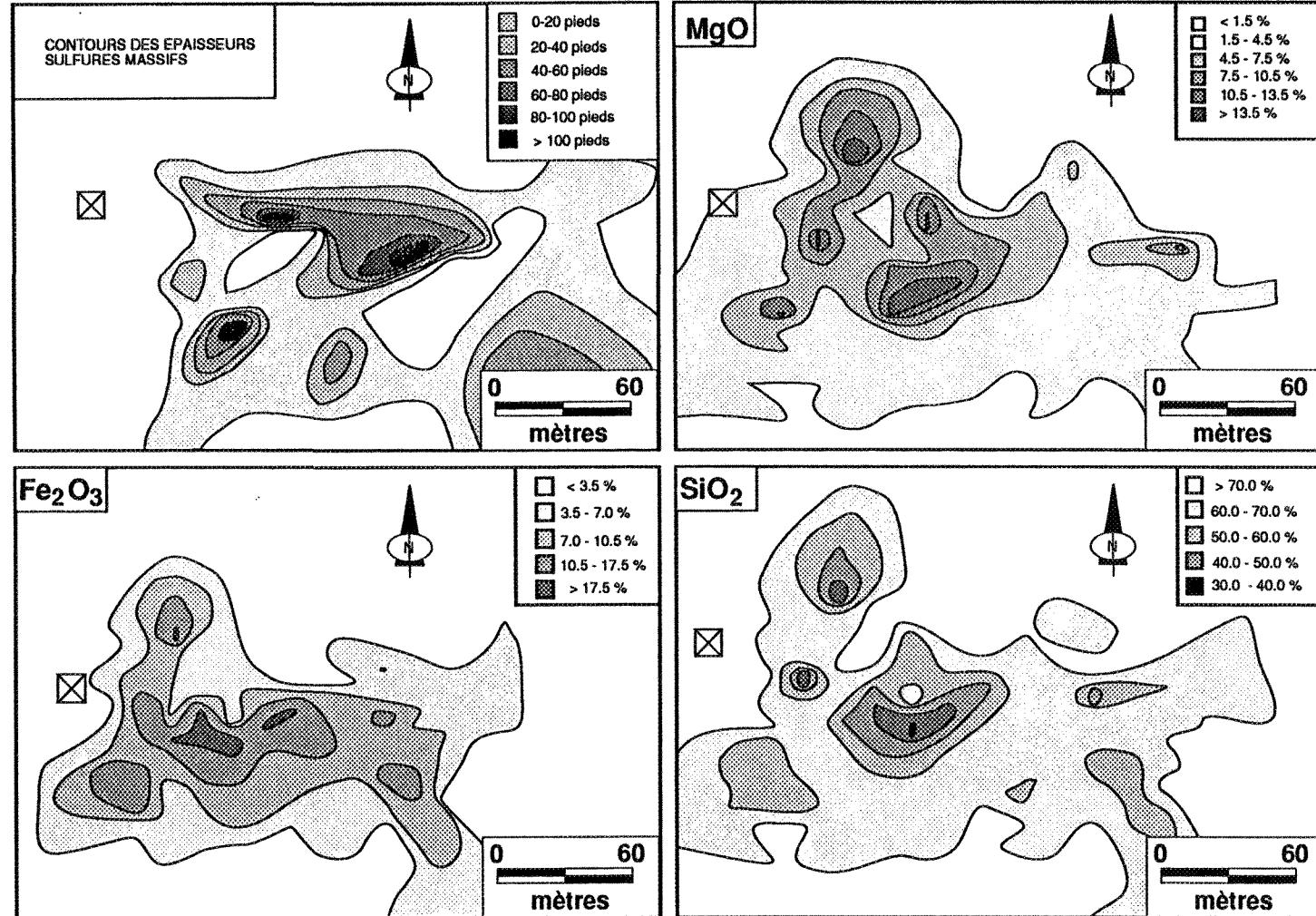
ZONE	MINERALOGIE	VARIATION CHIMIQUE	
		GAIN	PERTE
1) EXTERNE	QUARTZ PLAGIOCLASE	—	—
2) BORDURE	QUARTZ SERICITE PLAGIOCLASE CHLORITE	MgO Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> K <sub>2</sub> O P.A.F	Na <sub>2</sub> O CaO SiO <sub>2</sub>
3) INTERMEDIAIRE	SERICITE CHLORITE QUARTZ SULFURES	MgO Fe <sub>2</sub> O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

### 5.3.1.2 Zone centrale

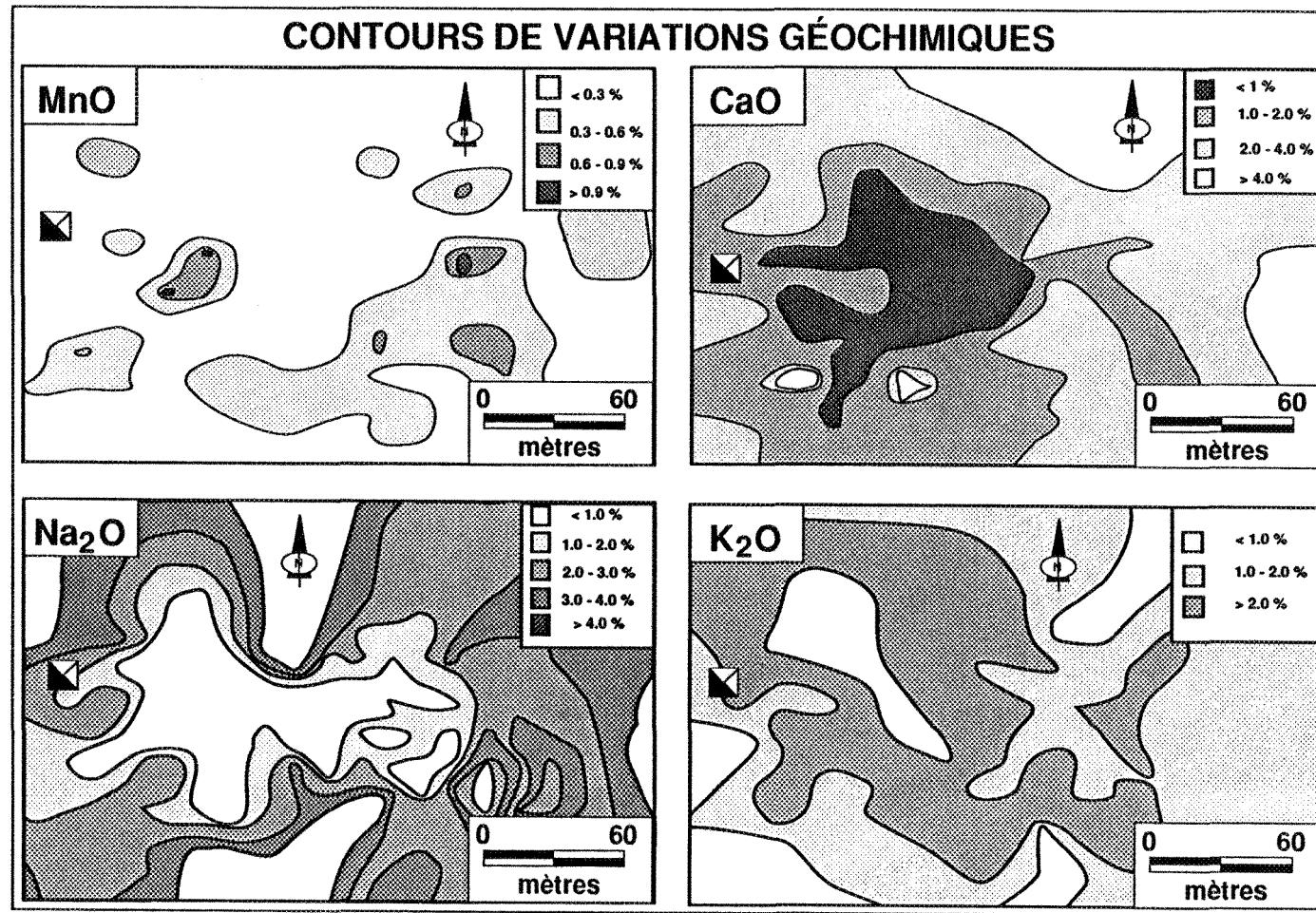
L'intérieur de la zone centrale, la zone à filonets de sulfures, connaît, quant à elle, des variations très importantes dénotées par des gains importants en MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et en éléments volatils. Des déficiences importantes en SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, CaO et K<sub>2</sub>O y sont également observées. Il faut toutefois souligner que les variations du CaO, Na<sub>2</sub>O et SiO<sub>2</sub> ne sont pas aussi abruptes que celles du MgO et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 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<sub>2</sub>, le MgO et le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 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 anomalias 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 anomaliq[ue]s 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) permettent de rehausser la présence de linéaments d'altération. Le K<sub>2</sub>O et le Na<sub>2</sub>O montrent respectivement un enrichissement et un appauvrissement suivant une direction sud-est. Le Na<sub>2</sub>O est également marqué, au même titre que le CaO et le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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:  
 $((MgO + K_2O) / (Na_2O + CaO + K_2O + MgO)) \times 100$

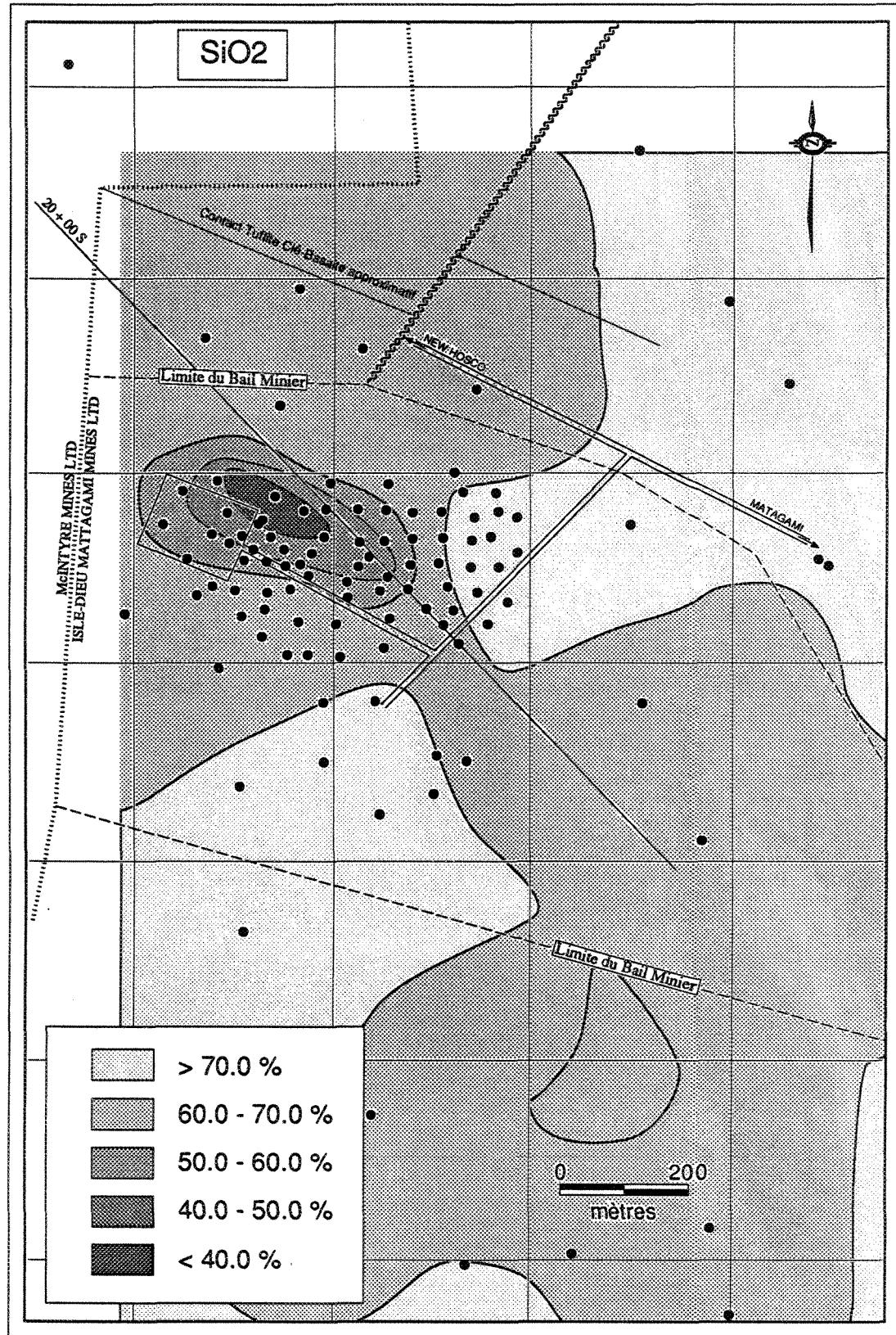


FIGURE. 14 Contours de variations géochimiques à l'échelle de la propriété Isle-Dieu.

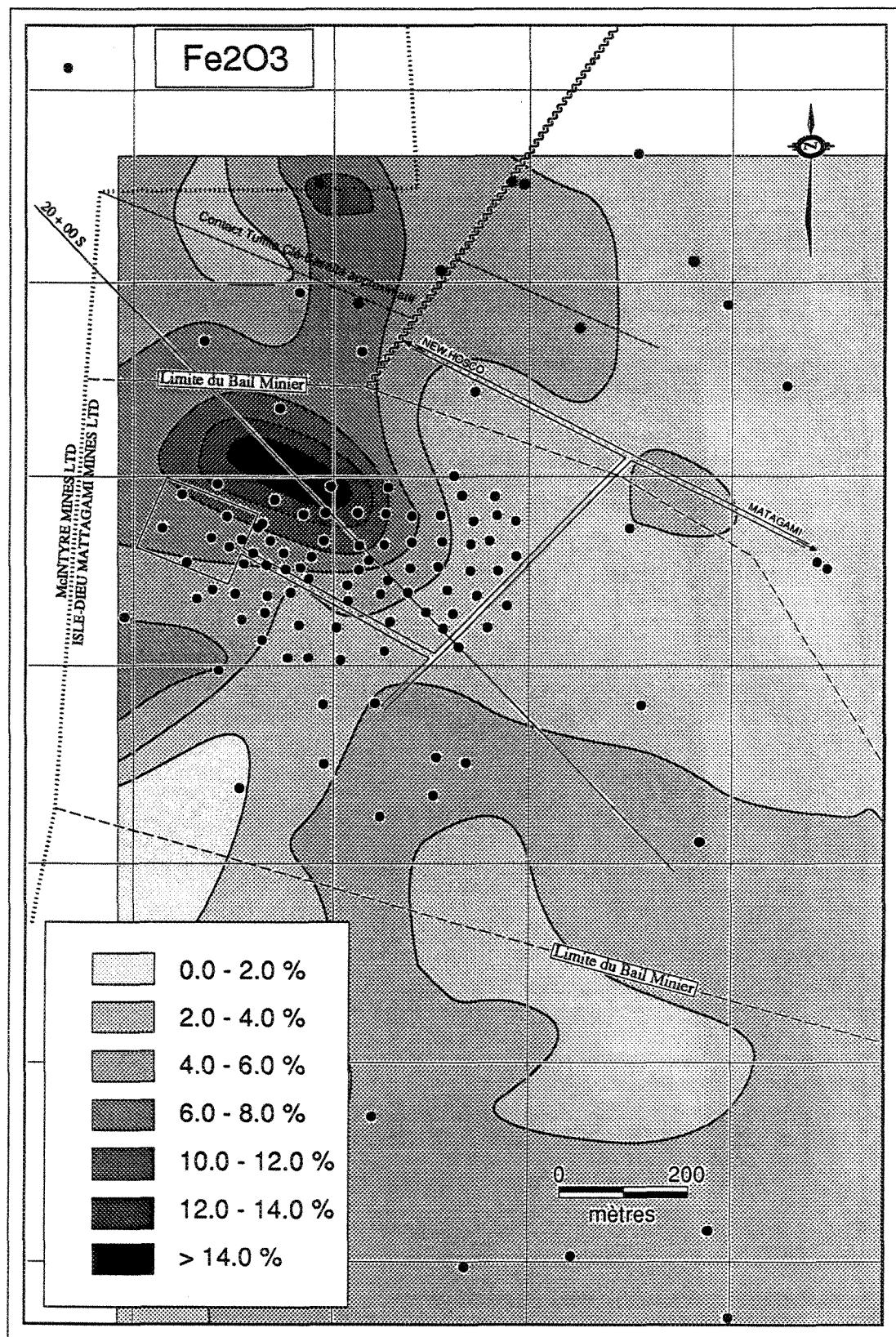


FIGURE. 14 (suite)

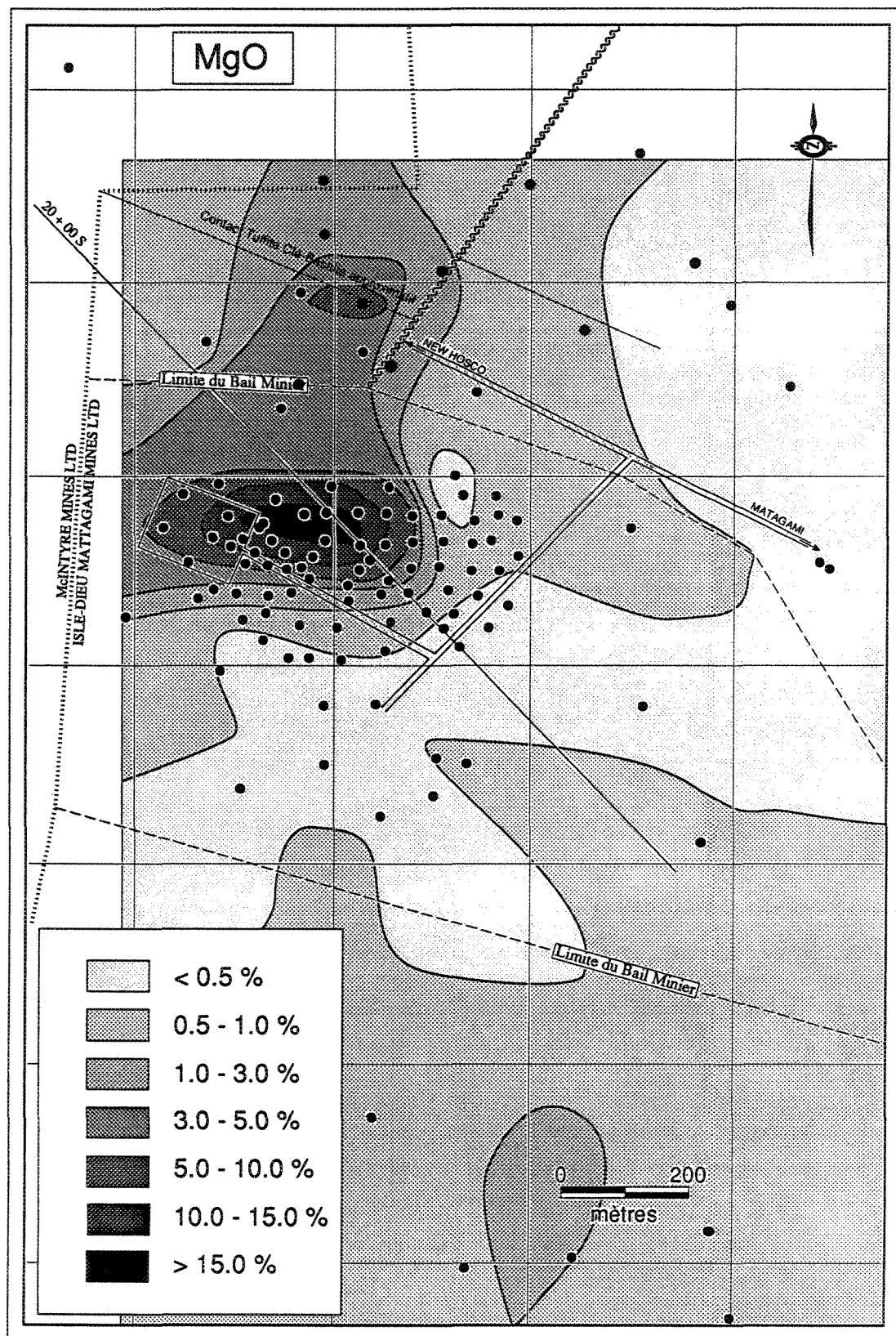


FIGURE. 14 (suite)

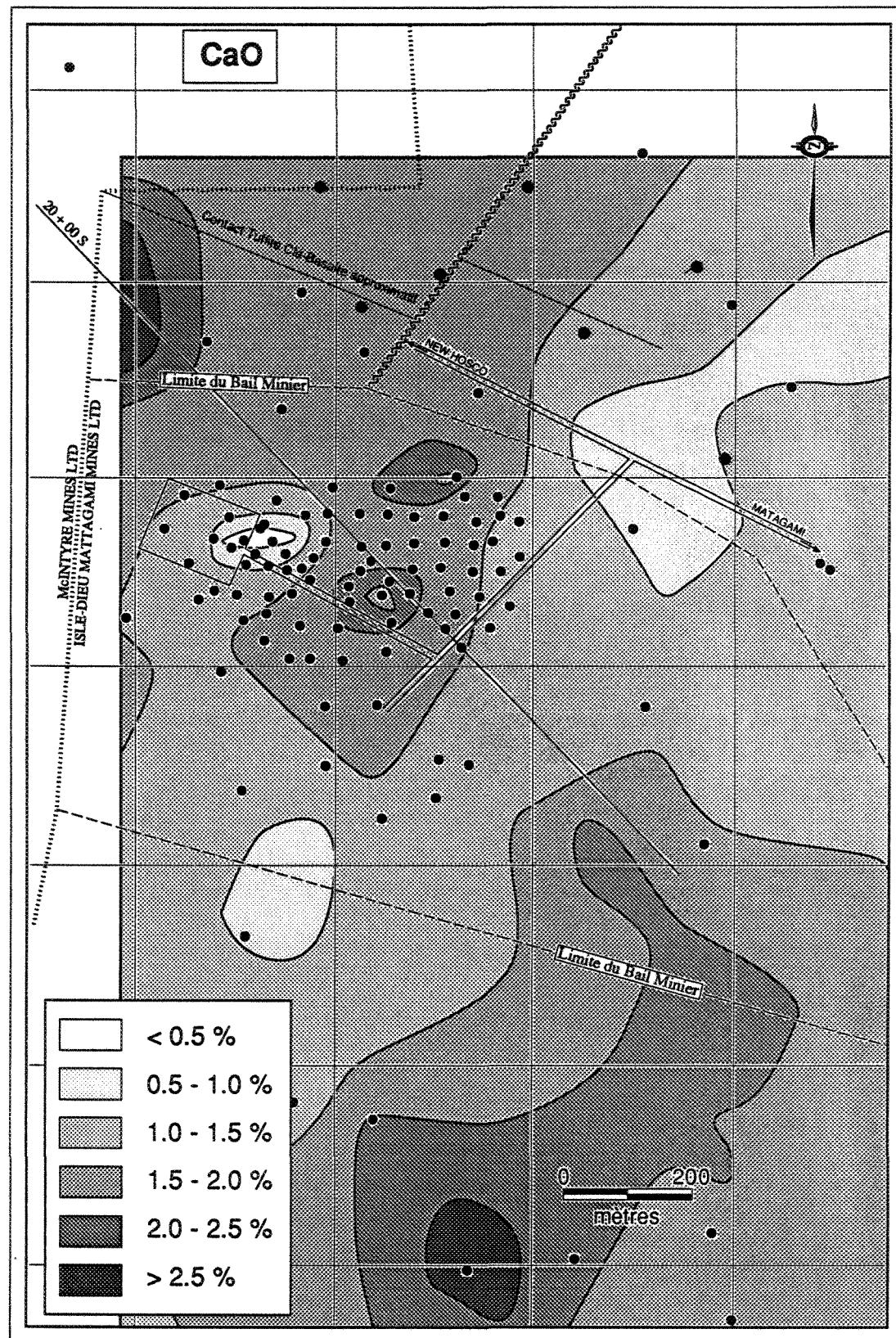


FIGURE. 14 (suite)

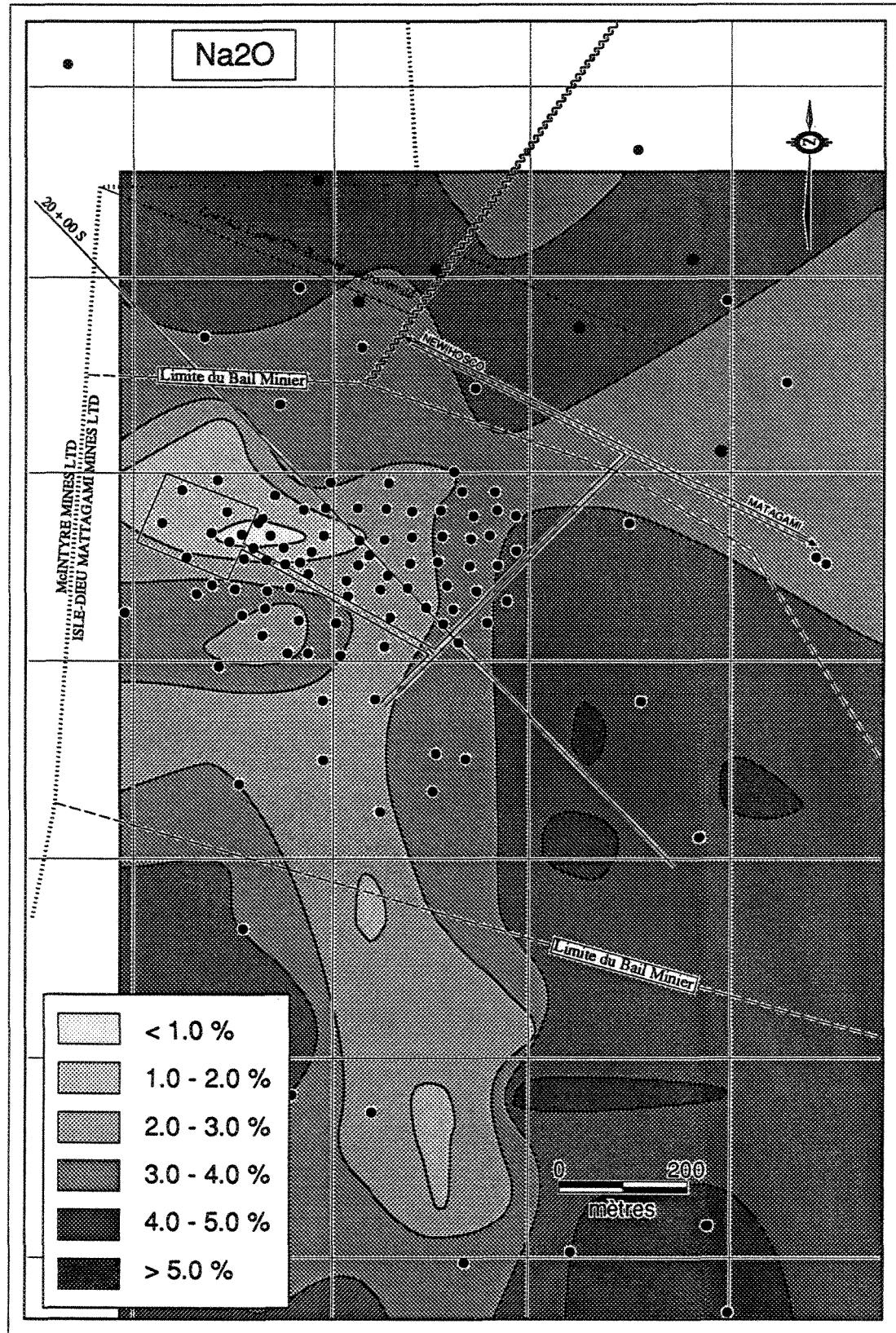


FIGURE. 14 (suite)

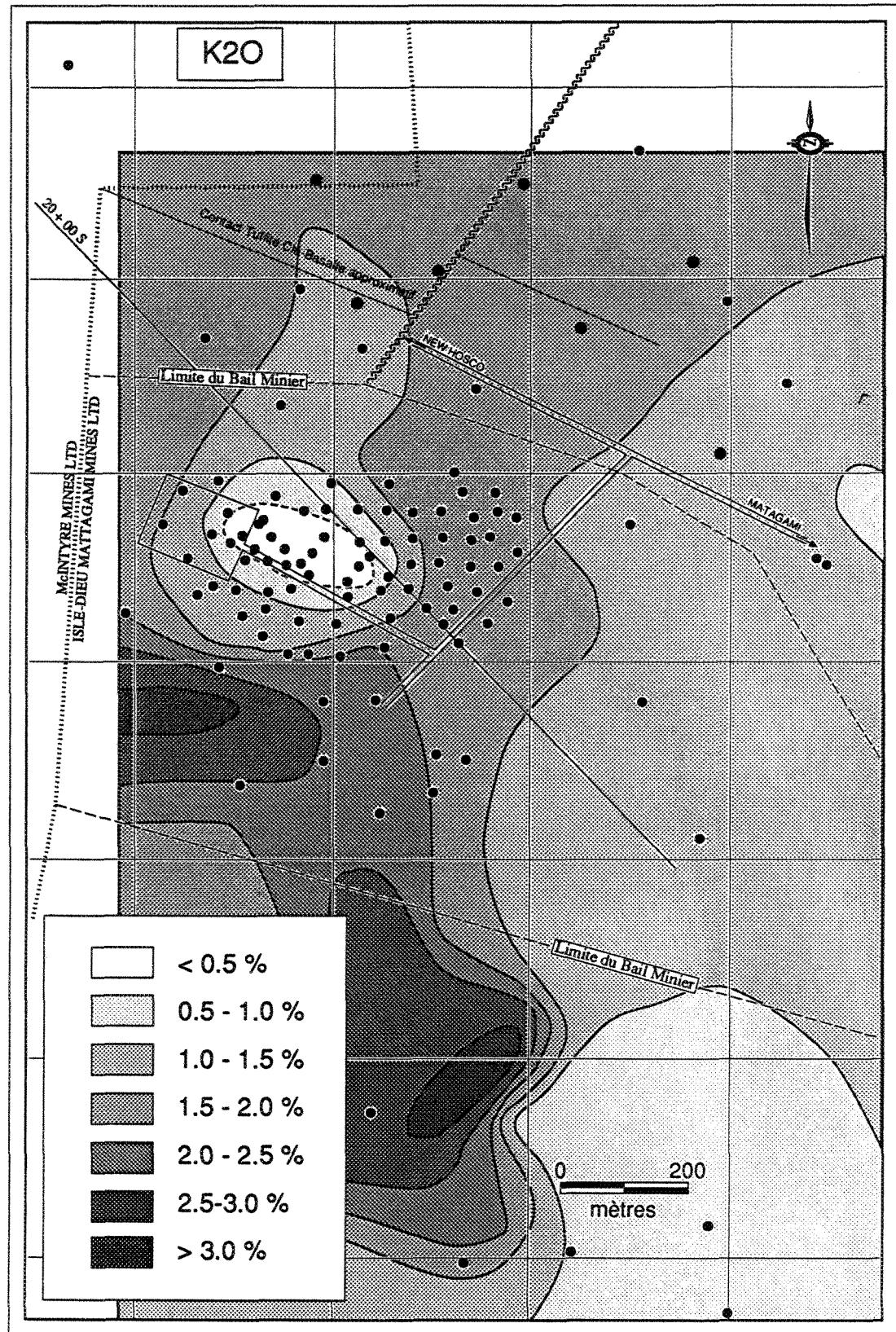
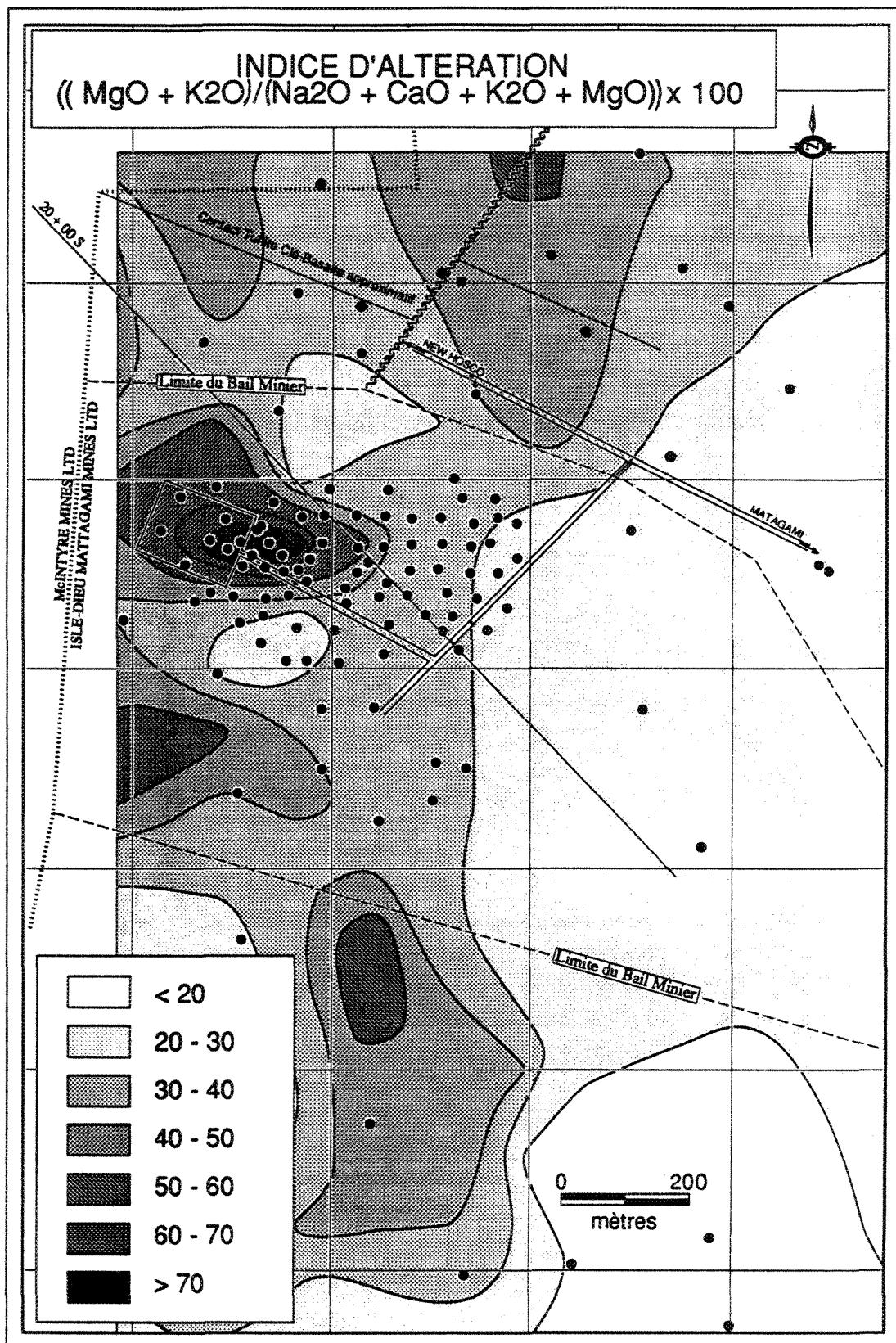


FIGURE. 14 (suite)



**FIGURE. 14 (suite)**

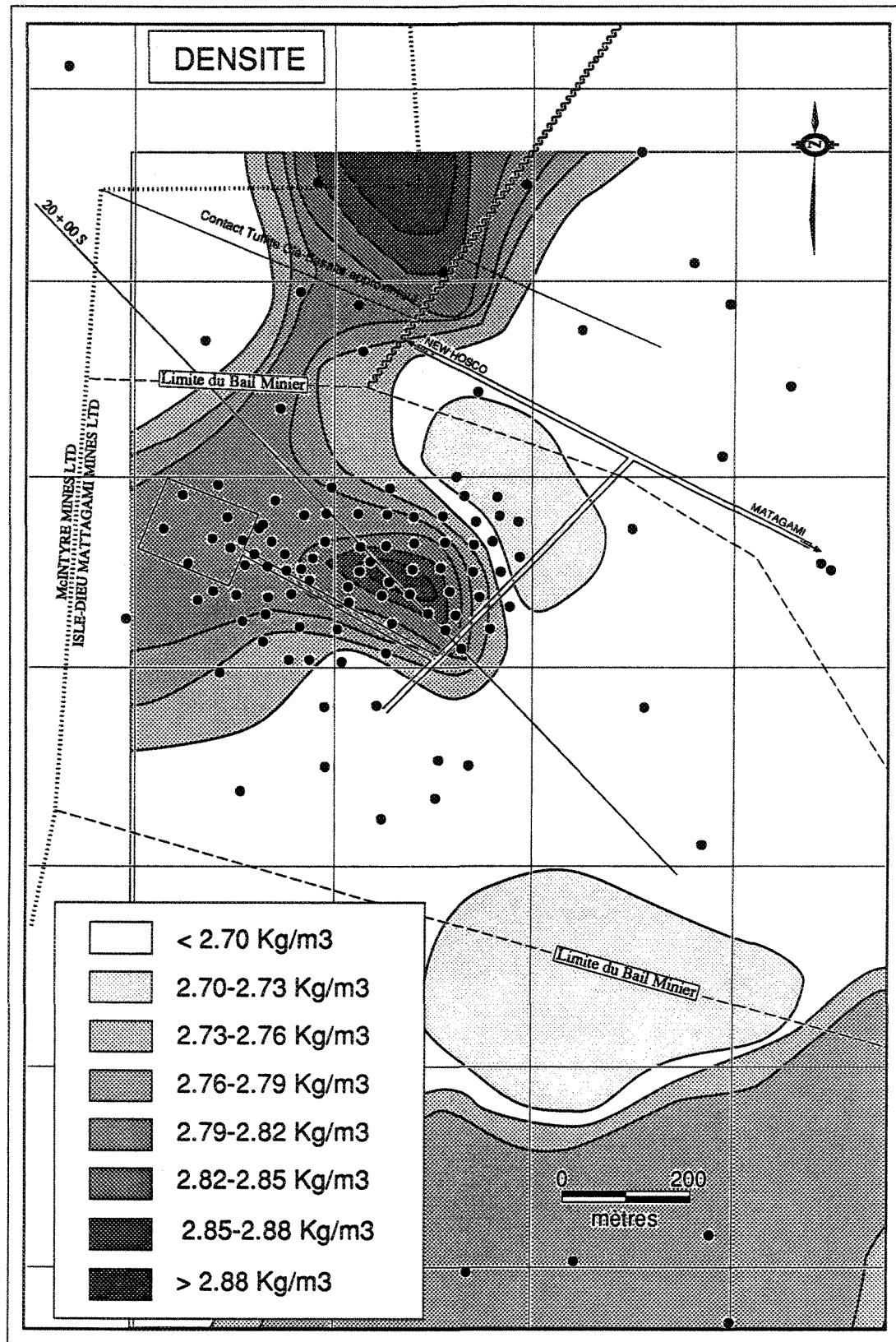


FIGURE. 14 (suite)

appauprissent le milieu dans lequel ils circulent. Le Mgo et le SiO<sub>2</sub> 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 anomaliqes de certains éléments pris individuellement, en particulier le K<sub>2</sub>O et Na<sub>2</sub>O. 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 subséquemment.

#### 5.4 Eléments mineurs et traces

L'emploi des éléments mineurs et terres rares reliés 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.

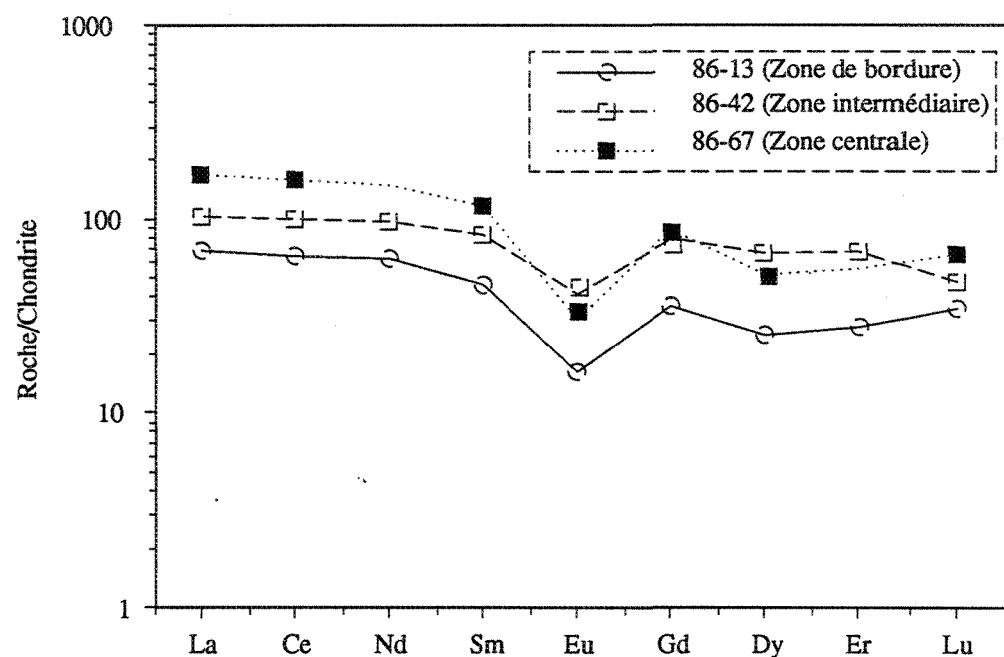
#### 5.4.1 A l'échelle du gisement

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'apprauvrissent dans la cheminée d'altération. Ils pourraient être, au même titre que le K<sub>2</sub>O, utilisés pour circonscrire les zones ayant fait l'objet d'altération par des circulations hydrothermales. Le strontium devrait être employé, conjointement avec le Na<sub>2</sub>O, 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO et Zr en particulier, et positivement avec le Na<sub>2</sub>O. Il n'est pas très surprenant de faire ces constatations étant donné le lessivage accru du SiO<sub>2</sub> et Na<sub>2</sub>O versus l'enrichissement du Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO et Zr en fonction de la proximité de la minéralisation.
- B) Les plus fortes corrélations apparaissent entre le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zr et Y.
- D) Le K<sub>2</sub>O est corrélé positivement avec le rubidium et le barium et négativement avec le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### 5.6 Variation de volume

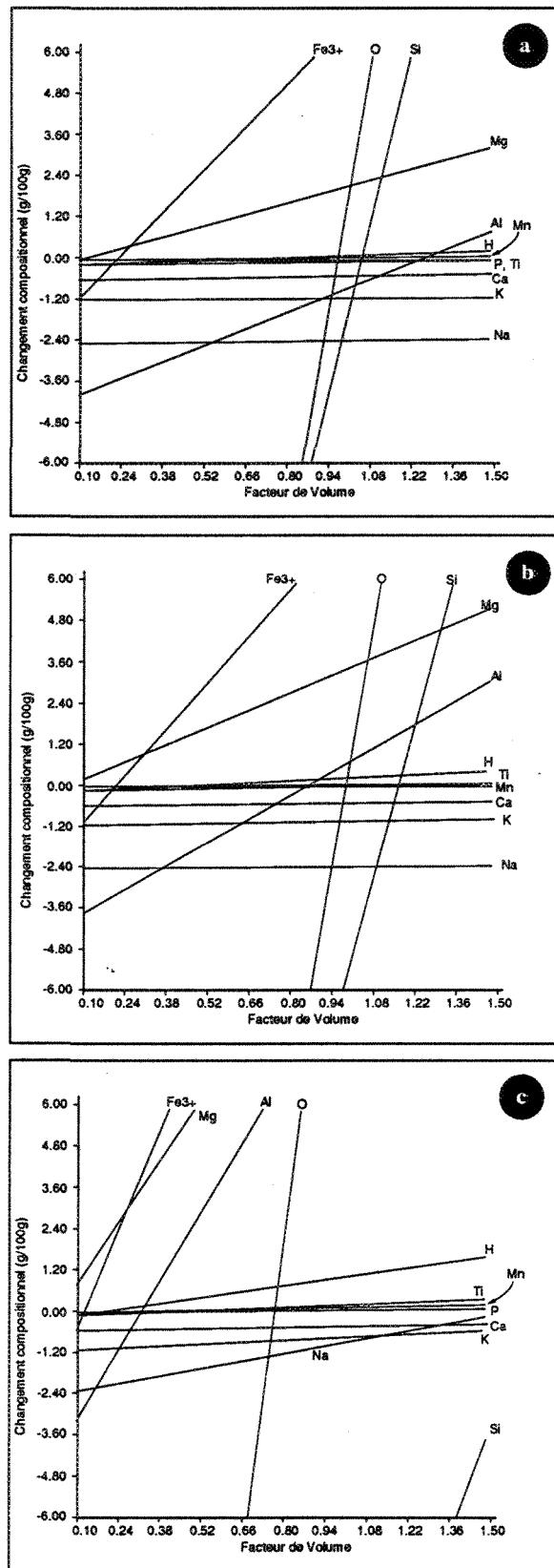
Afin de connaître adéquatement les gains et pertes subis dans les différentes subdivisions de la cheminée d'altération par rapport aux équivalents externes non-altérés, les changements de volume associés à l'altération ou à des variations de composition doivent être connus. C'est en relation avec des 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 passe<sup>1</sup> 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.

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 reliés 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  $\chi^2$  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<sub>2</sub>, le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, le MgO, le Na<sub>2</sub>O et la perte au feu (P.A.F.) contribuent largement au facteur 1. Le facteur 2 est redéivable au Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO et MnO. Le facteur 3 est expliqué par le Na<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, CaO et K<sub>2</sub>O.

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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO et perte au feu) et des éléments appauvris (SiO<sub>2</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O 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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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.

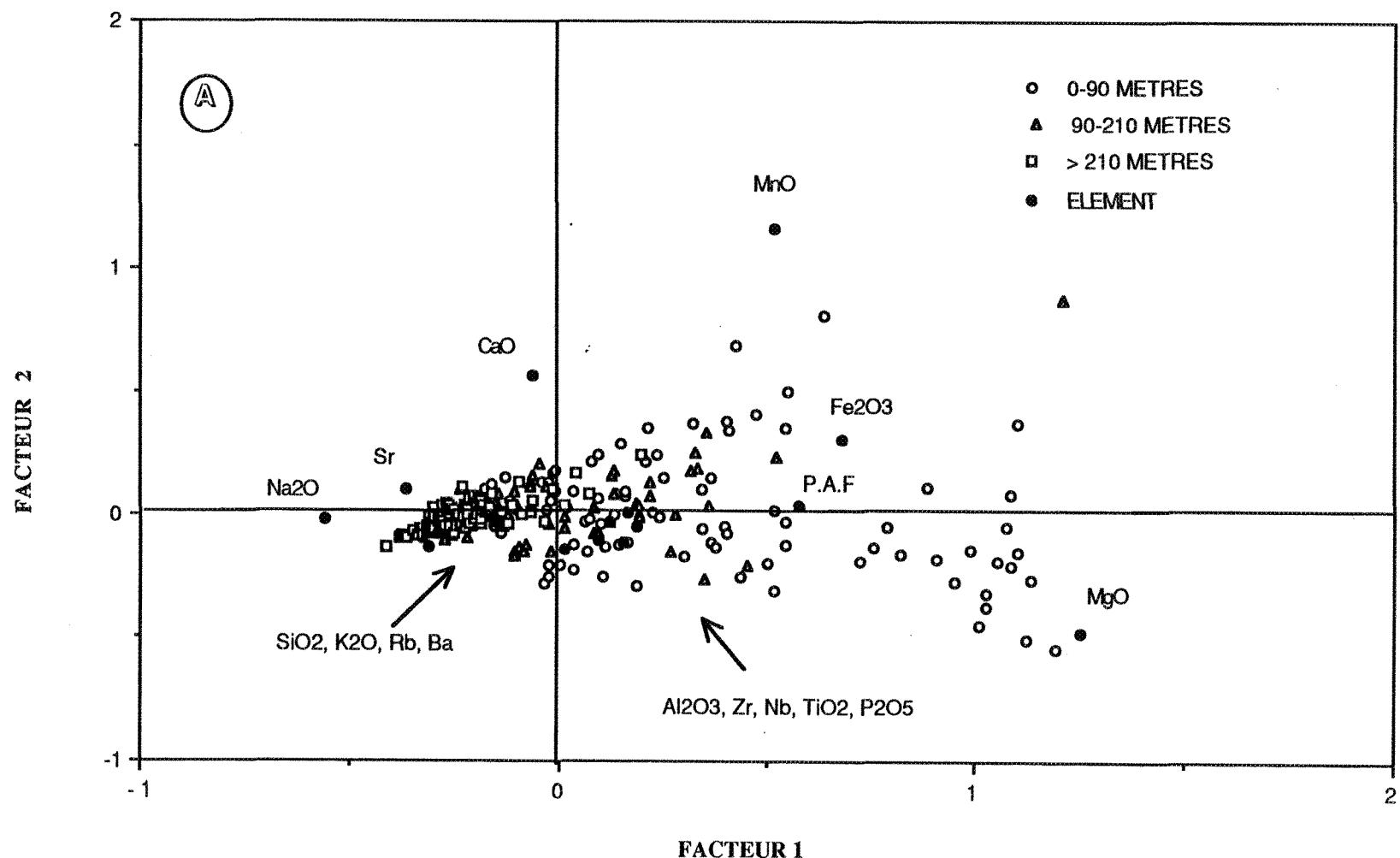


FIGURE. 17 Analyse des correspondances appliquée à l'ensemble des échantillons (n=292).  
A) Facteur 2 vs Facteur 1, B) Facteur 3 vs Facteur 1, C) Facteur 3 vs Facteur 2.

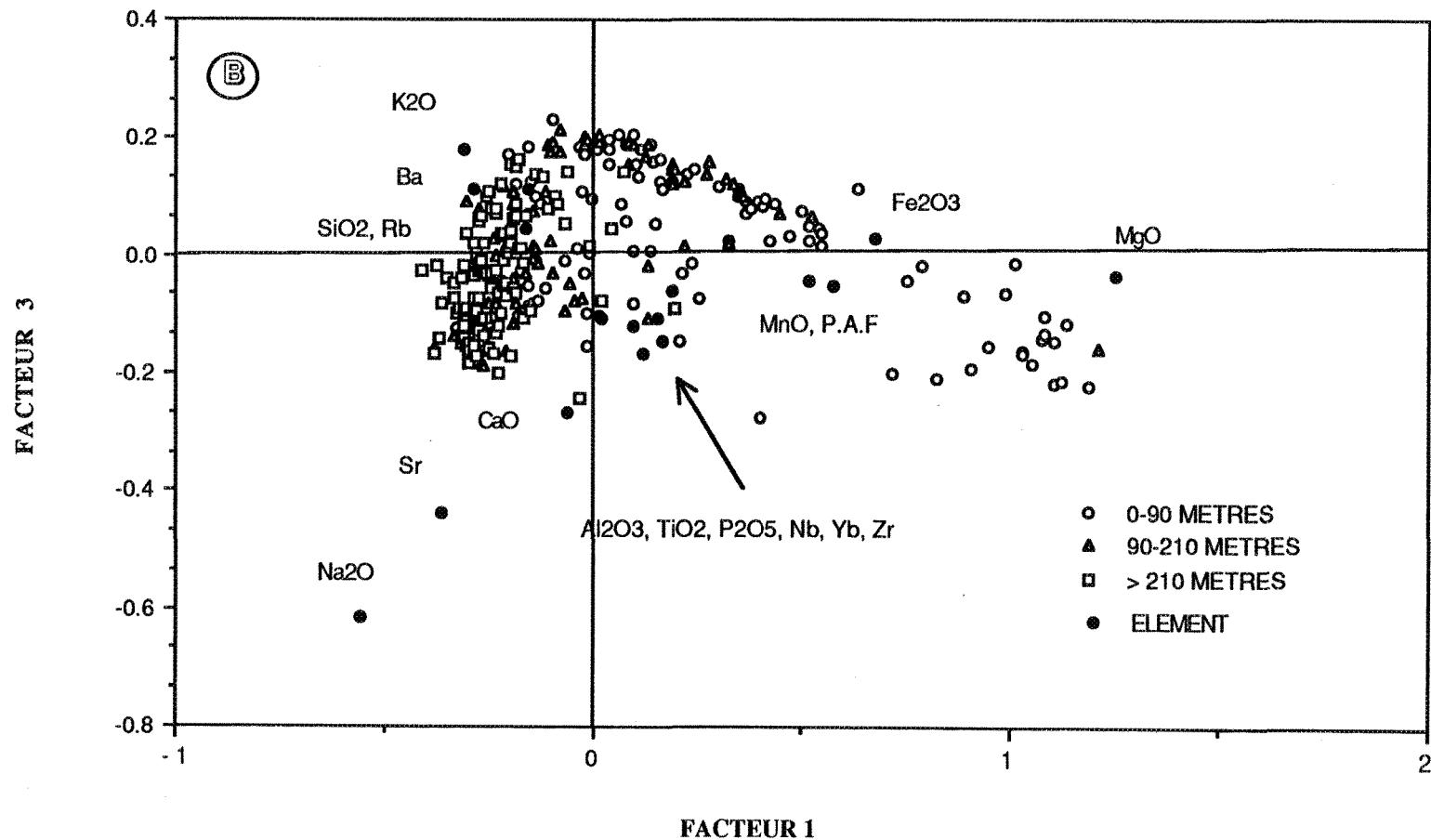


FIGURE. 17 (Suite 1).

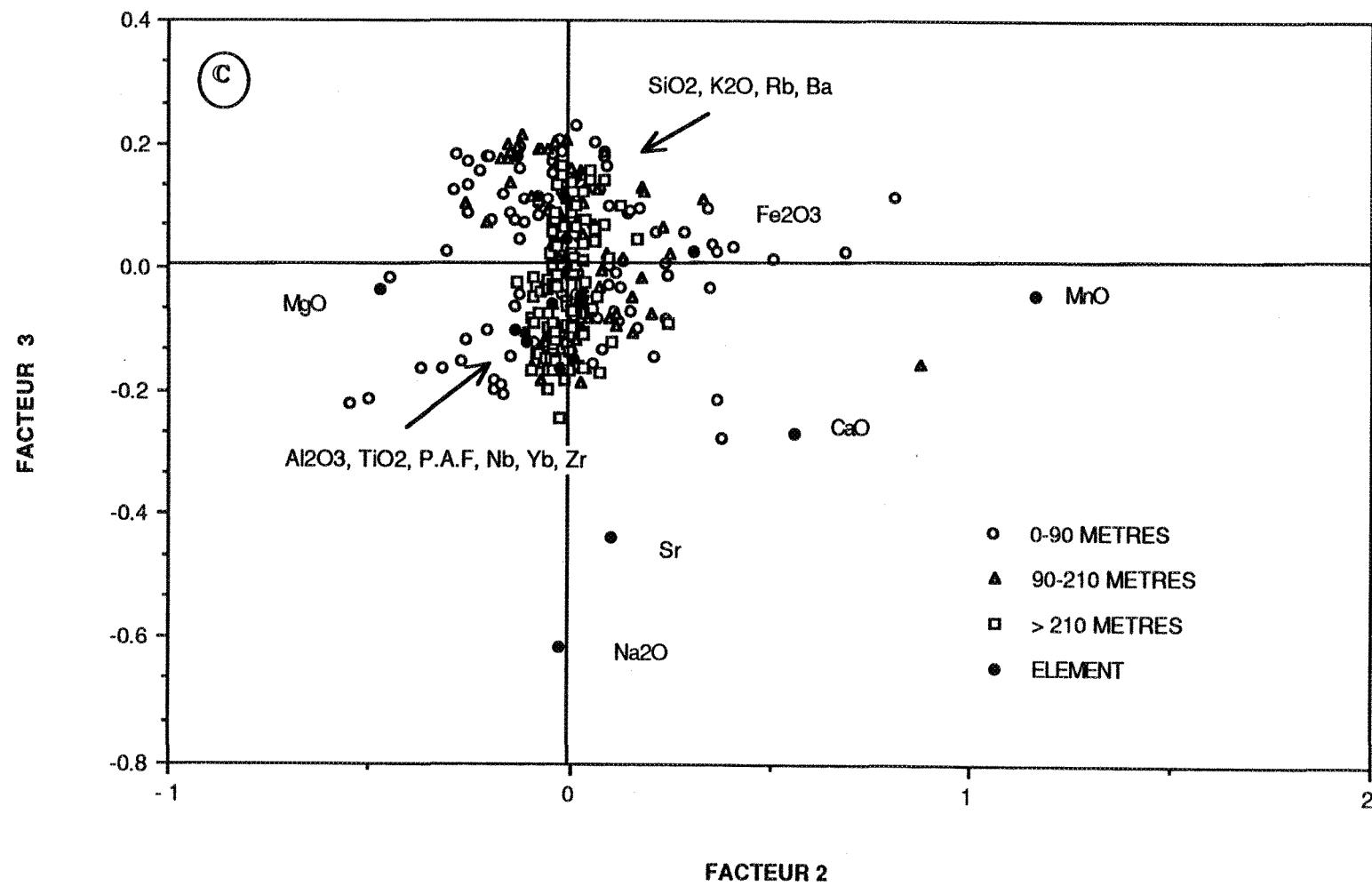


FIGURE. 17 (Suite 2).

L'examen des variations enrégistrées pour le facteur 2 indique que les éléments tels le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO et CaO caractérisent la zone centrale de la cheminée d'altération. La nette opposition entre le MgO et le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (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 corollaire établi entre ce dernier facteur et le caractère minéralisé de la zone centrale de la cheminée d'altération.

Le Na<sub>2</sub>O et le Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> expliquent plus de 76.5% des variations enrégistrées 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<sub>2</sub>O, Rb et Ba versus le Na<sub>2</sub>O et Sr.

Le facteur 4 est responsable pour 62.9% des variations du K<sub>2</sub>O, 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<sub>2</sub>O 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

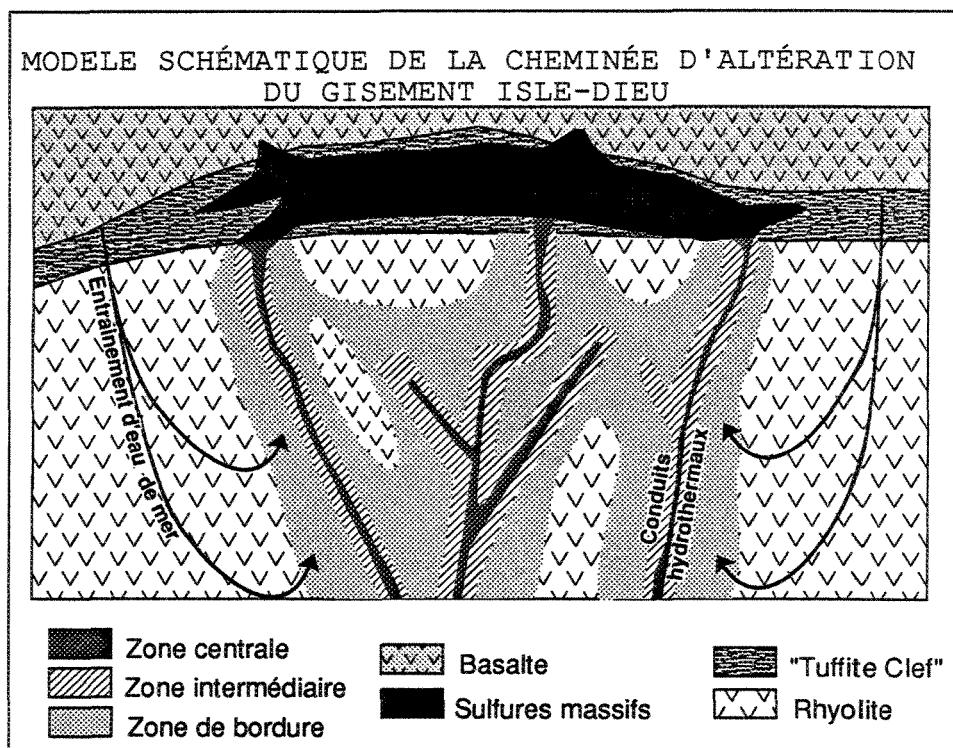
### DISCUSSION

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'expliquer les hausses considérables de certains éléments reconnus comme peu mobiles, en particulier le zirconium.

Quoique les halos anomalias, 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 cœur 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 ferrifère 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs le SiO<sub>2</sub> et le Na<sub>2</sub>O est un corollaire qui tend à appuyer ces constatations.

Le facteur 2 montre une affinité minéralisatrice par l'association Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-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 enrégistrée 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 enrégistrées 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 subséquemment. En établissant un corollaire 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.

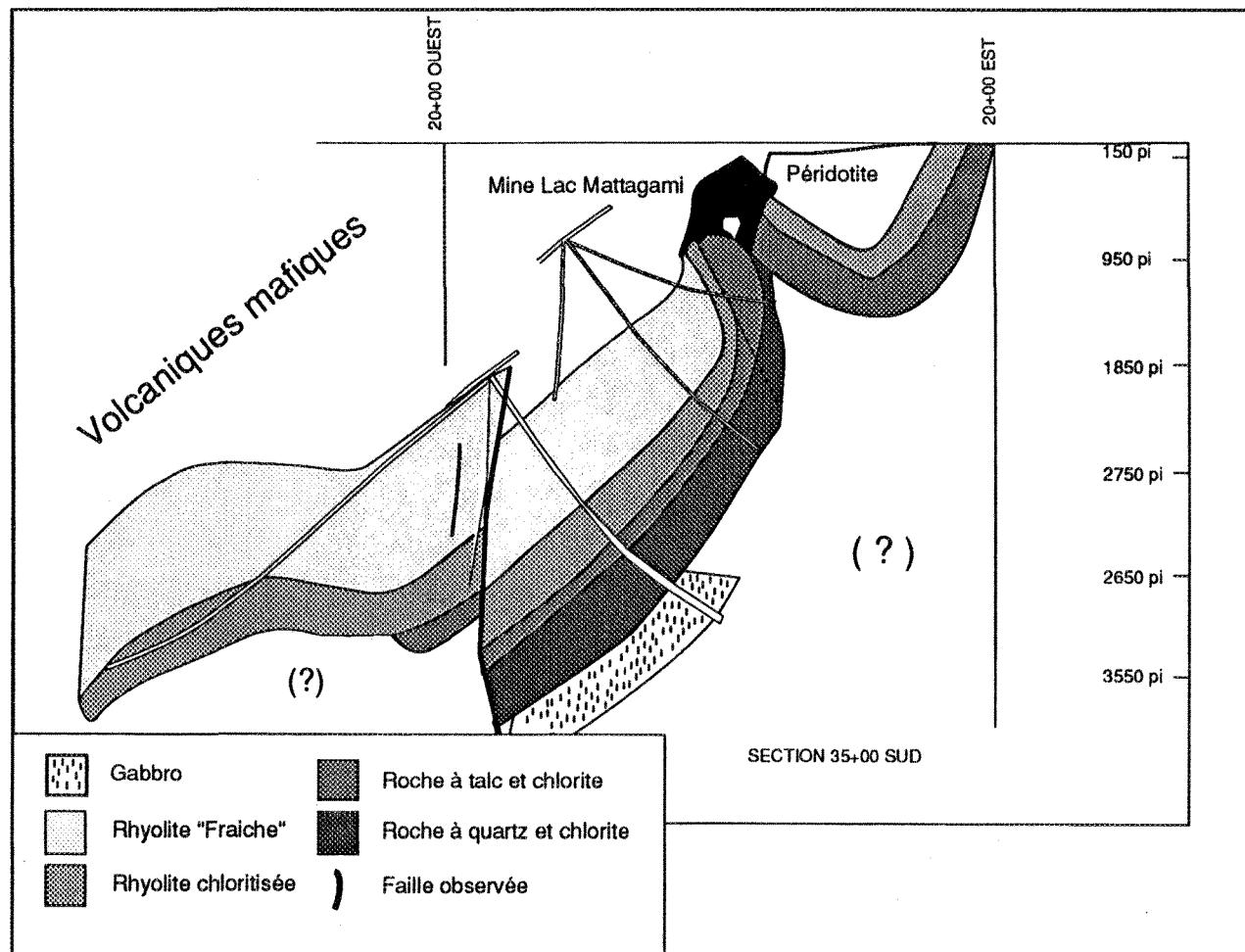


FIGURE. 19 Section 35+00 Sud montrant les zonalités d'altération de la rhyolite sous le gisement de Mine Lac Mattagami. Avec la permission de Minéraux Noranda Inc.

## CHAPITRE VIII

### CONCLUSION ET APPOINT 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 anostomosés. 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 observation par la nette opposition entre le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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<sub>2</sub>O, le Na<sub>2</sub>O, 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 Garon 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<sup>e</sup> 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 crystalline 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, Montréal, 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 archean 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 Mattagami 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. Géologie 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

Élément	Précision analytique *
SiO <sub>2</sub>	0.01%
TiO <sub>2</sub>	0.01%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01%
MgO	0.01%
CaO	0.01%
Na <sub>2</sub> O	0.01%
K <sub>2</sub> O	0.01%
MnO	0.01%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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)

**TABLEAU 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 <sub>2</sub>	67.90	72.30	75.00	73.50	73.40	64.10	80.50	75.70	76.00	75.60	73.70
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.34	0.31	0.33	0.28	0.42	0.25	0.33	0.31	0.29	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.50	12.40	11.70	10.80	10.20	14.30	8.17	11.60	11.40	11.10	10.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	1.71	2.14	1.41	2.98	2.51	5.59	3.31	1.74	3.32	5.44	3.29
K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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	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	180	231	220	200	212	250	188	200	200	181	196
Zr	640	707	623	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	1069	1094	1096	1100	1100	1100
SiO <sub>2</sub>	73.70	74.30	76.20	76.20	73.90	73.40	71.60	72.60	68.70	71.10	72.80
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.30	0.29	0.28	0.25	0.31	0.27	0.30	0.24	0.24	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.20	11.10	10.50	9.60	9.28	11.10	9.75	11.70	9.55	10.40	10.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	3.29	3.40	3.90	2.19	3.23	3.29	0.70	1.79	2.72	4.31	3.55
K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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 <sub>2</sub>	77.70	78.80	70.90	73.60	73.30	73.80	67.00	76.00	74.70	71.30	66.10
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.25	0.33	0.31	0.33	0.30	0.22	0.30	0.30	0.31	0.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.30	9.47	11.50	11.60	11.50	11.00	8.80	11.10	11.10	11.20	10.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	4.12	2.02	4.94	2.65	2.84	5.46	0.45	4.49	5.36	2.39	2.32
K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SiO <sub>2</sub>	70.70	71.00	73.70	74.60	64.50	71.10	73.30
TiO <sub>2</sub>	0.32	0.26	0.23	0.24	0.27	0.30	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.20	9.79	8.50	9.15	8.18	11.00	11.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	4.29	3.98	3.42	1.87	0.93	3.33	3.55
K <sub>2</sub> O	0.84	0.57	0.41	1.64	0.27	0.87	1.47
MnO	0.10	0.74	0.58	0.16	0.70	0.18	0.13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SIO2	76.40	70.80	74.60	72.10	70.20	72.70	74.20	73.70	72.70	67.30	74.70
TIO2	0.24	0.29	0.29	0.29	0.30	0.29	0.28	0.24	0.30	0.29	0.29
Al2O3	8.92	10.60	9.70	11.10	10.80	11.10	10.10	8.73	10.80	10.40	10.80
Fe2O3	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
Na2O	2.12	1.83	0.97	4.45	2.22	0.14	4.26	0.50	4.62	2.25	3.82
K2O	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
P2O5	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
SIO2	73.30	62.50	70.00	74.60	59.70	75.40	69.30	65.90	75.80	67.60	77.70
TIO2	0.36	0.26	0.30	0.28	0.36	0.28	0.24	0.27	0.31	0.26	0.28
Al2O3	11.50	10.00	10.80	9.88	11.30	10.00	8.50	10.20	11.80	9.58	10.60
Fe2O3	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
Na2O	4.28	2.15	1.20	3.88	0.06	4.67	0.42	0.07	5.61	3.09	5.34
K2O	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
P2O5	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	610	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
SIO2	73.70	79.20	75.80	51.80	61.50	68.10	59.10	56.50	73.40	73.70	21.80
TIO2	0.25	0.29	0.29	0.27	0.29	0.28	0.27	1.41	0.32	0.32	0.11
Al2O3	9.34	10.20	10.30	9.32	9.80	10.00	9.68	11.30	11.40	10.60	3.23
Fe2O3	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
Na2O	3.57	5.87	4.89	0.01	0.01	1.75	0.04	2.41	5.09	4.59	0.18
K2O	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
P2O5	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	1600	1621	1623	1625	1641
SiO <sub>2</sub>	75.40	59.20	55.20	76.00	70.40	58.90	60.80	29.10	58.20	66.50	75.50
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.26	0.25	0.23	0.34	0.27	0.28	0.17	0.23	0.29	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.00	9.09	8.84	7.68	13.30	9.28	9.41	5.53	7.91	10.60	10.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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	0.87	8.43	3.15	2.87	2.22
Na <sub>2</sub> O	1.66	1.36	0.10	0.13	5.82	1.59	0.01	0.24	0.69	2.39	4.55
K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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 <sub>2</sub>	43.40	48.00	69.40	72.40	57.00	31.20	66.80	72.30	75.70	72.90	52.20
TiO <sub>2</sub>	0.25	0.24	0.29	0.22	0.32	0.36	0.23	0.31	0.29	0.25	0.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.82	8.38	10.40	7.37	11.70	15.80	8.21	10.50	11.00	8.81	8.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	0.20	0.07	1.05	0.62	2.73	0.22	0.54	3.78	5.11	3.81	0.14
K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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	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	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 <sub>2</sub>	73.90	71.50	55.90
TiO <sub>2</sub>	0.22	0.22	0.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.87	7.46	8.87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.35	10.20	13.40
MgO	3.07	5.28	12.20
CaO	0.06	0.46	1.52
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.62	0.18
K <sub>2</sub> O	0.88	0.93	0.85
MnO	0.06	0.07	0.29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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

## Profondeur 1700-1861 (pi)

ECHANTILLON	85-11	86-61	M-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
SiO <sub>2</sub>	62.00	70.10	43.60	58.60	62.80	66.10	61.10	54.20	77.30	65.60	66.20
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.21	0.42	0.28	0.28	0.32	0.32	0.32	0.23	0.26	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.50	7.11	14.70	10.40	9.05	11.50	10.70	11.00	8.56	8.98	9.36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.01	2.29	0.07	4.75	0.41	0.02	3.58	0.01	0.18
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SiO <sub>2</sub>	62.10	34.90	58.60	70.40	66.60	34.90	69.80	66.50	74.00	34.10	66.30
TiO <sub>2</sub>	0.30	0.52	0.28	0.27	0.27	0.51	0.21	0.28	0.20	0.40	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.20	19.40	9.60	9.66	10.00	17.90	7.65	10.40	6.30	19.00	9.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	0.01	1.80	0.01	2.76	4.02	0.03	0.01	2.80	0.12	1.47	0.03
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SiO <sub>2</sub>	63.80	75.90	30.30	74.60	62.30	70.20	60.10	70.70	29.50	59.40	72.20
TiO <sub>2</sub>	0.33	0.17	0.53	0.22	0.31	0.23	0.33	0.28	0.20	0.24	0.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.20	5.75	19.20	7.38	10.30	8.18	11.40	10.80	17.70	8.30	10.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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	8.48	1.17	19.10	5.89	0.88
CaO	2.77	0.32	0.18	0.05	0.02	0.42	0.08	1.73	0.23	1.52	1.34
Na <sub>2</sub> O	0.73	0.13	0.75	0.02	0.01	0.43	0.04	1.41	0.01	0.19	1.60
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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

## Profondeur 1700-1861 (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
SiO <sub>2</sub>	29.80	75.90	70.90	69.90	73.80	31.20	73.20	76.10	73.80	43.10	74.10
TiO <sub>2</sub>	0.63	0.22	0.28	0.30	0.20	0.61	0.34	0.31	0.19	0.47	0.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.00	7.21	10.80	10.80	6.72	21.40	12.50	10.90	6.93	16.70	11.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.06	3.58	3.66	0.07	0.06	5.35	3.94	0.14	0.01	0.29
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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	1.82	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
SiO <sub>2</sub>	28.60	73.80	65.80	74.50	78.00	78.20	64.10	74.50	69.00	58.30	59.50
TiO <sub>2</sub>	0.65	0.24	0.27	0.25	0.29	0.23	0.25	0.29	0.33	0.26	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.80	9.56	9.13	9.00	10.90	8.77	8.90	10.50	12.20	9.33	7.11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.01	1.71	0.01	4.24	0.01	1.62	0.01	0.03	0.48	0.01
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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	160	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
SiO <sub>2</sub>	32.40	27.70	70.80	52.30	60.80
TiO <sub>2</sub>	0.57	0.62	0.24	0.30	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.80	22.10	8.82	10.60	9.46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.01	0.07	0.35
K <sub>2</sub> O	0.30	0.17	0.86	0.06	0.04
MnO	0.08	0.17	0.04	0.42	0.10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SiO <sub>2</sub>	74.90	74.30	71.80	76.00	67.90	61.70	76.50	61.90	66.10	69.00	74.90
TiO <sub>2</sub>	0.30	0.28	0.31	0.31	0.27	0.28	0.30	0.58	0.24	0.28	0.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.90	10.70	11.00	11.60	9.94	10.40	10.90	10.60	7.82	10.10	9.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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	0.67	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
Na <sub>2</sub> O	0.01	2.99	0.01	5.36	3.28	1.71	2.04	3.19	0.01	0.01	4.24
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SiO <sub>2</sub>	69.50	46.40	70.70	67.60	75.30	73.60	75.70	36.40	61.70	59.90	72.20
TiO <sub>2</sub>	0.29	1.96	0.23	0.21	0.29	0.28	0.24	0.54	0.29	0.31	0.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.40	11.90	8.00	7.63	10.90	10.10	8.62	20.00	9.71	10.60	11.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	1.22	1.99	0.03	0.40	4.86	2.97	3.10	1.93	0.35	0.02	2.65
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SiO <sub>2</sub>	26.40	77.90	31.90	74.00	65.30	66.80	76.40	47.70	72.50	71.00	75.00
TiO <sub>2</sub>	0.52	0.31	0.42	0.30	0.26	0.26	0.28	0.23	0.25	0.30	0.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.20	11.20	15.10	10.60	8.85	8.76	10.70	7.82	9.85	10.70	10.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	0.08	6.34	0.04	4.18	0.39	0.02	4.65	0.01	2.87	4.24	5.20
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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	99.68	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	86-46	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 <sub>2</sub>	73.00	72.00	74.60	50.50	52.70	72.60	71.70	73.40	73.40	75.50	74.10
TiO <sub>2</sub>	0.21	0.30	0.28	0.30	0.23	0.30	0.31	0.30	0.21	0.28	0.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.48	10.80	10.90	10.10	7.82	11.10	11.40	10.70	7.52	10.20	11.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	0.06	3.46	4.73	0.29	0.09	2.18	4.05	2.80	0.01	0.01	4.08
K <sub>2</sub> O	0.50	3.09	1.34	0.03	0.05	4.11	0.61	1.68	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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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 <sub>2</sub>	68.20	69.30	71.50	74.10	65.70	72.30	77.80	70.80	73.30	74.90	72.50
TiO <sub>2</sub>	0.25	0.34	0.31	0.29	0.27	0.30	0.29	0.28	0.28	0.29	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.57	12.70	10.90	10.30	9.69	11.10	10.60	11.00	10.40	10.80	10.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	0.35	2.72	3.77	0.13	0.44	4.16	4.01	1.18	3.11	1.24	3.37
K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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 <sub>2</sub>	76.50	65.50	75.30	73.60	78.20	72.20	76.50	28.90	75.80	29.30	75.70
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.32	0.28	0.34	0.30	0.28	0.26	0.57	0.30	0.60	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.70	11.50	10.50	12.30	10.80	9.74	9.87	19.20	10.90	18.70	11.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	5.32	4.45	3.71	5.25	6.12	0.91	3.43	0.03	2.76	0.01	5.53
K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SiO <sub>2</sub>	78.40	75.40	76.30	73.20	71.50	74.40	73.10	75.40	64.90	65.90	75.50
TiO <sub>2</sub>	0.23	0.30	0.29	0.36	0.28	0.28	0.29	0.33	0.26	0.28	0.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.50	10.70	10.90	13.40	10.40	10.30	10.50	11.50	9.68	10.00	10.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.71	3.30	2.17	3.48	6.48	4.08	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
Na <sub>2</sub> O	2.23	3.62	5.53	1.09	3.74	5.29	3.17	4.95	0.56	0.06	3.67
K <sub>2</sub> O	1.74	1.79	0.94	4.18	1.87	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SiO <sub>2</sub>	73.00	73.10	74.50
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.27	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.70	9.23	10.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.44	8.54	5.01
MgO	0.57	3.45	2.90
CaO	1.20	0.02	0.09
Na <sub>2</sub> O	3.32	0.01	0.08
K <sub>2</sub> O	2.12	1.15	2.81
MnO	0.10	0.04	0.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SiO <sub>2</sub>	70.50	75.20	73.10	79.90	76.20	78.20	67.90	72.10	76.10	80.80	74.00
TiO <sub>2</sub>	0.39	0.26	0.33	0.27	0.27	0.27	0.25	0.31	0.30	0.25	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.20	8.81	13.00	9.69	9.97	9.27	8.16	11.30	11.20	9.08	11.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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	0.80	1.89	1.47	0.49	1.53
Na <sub>2</sub> O	5.36	0.07	3.39	2.01	0.29	0.29	0.10	3.26	4.49	4.39	5.08
K <sub>2</sub> O	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	0.06	0.15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SiO <sub>2</sub>	68.70	71.20	73.50	73.60	74.40	72.70	74.90	76.60	76.10	76.90	69.50
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.26	0.30	0.29	0.29	0.31	0.28	0.26	0.32	0.29	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.05	8.68	10.50	11.00	10.40	11.20	10.80	9.89	11.40	10.40	12.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.02	4.45	4.98	2.07	2.26	5.23	3.62	5.34	3.37	1.90
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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
SiO <sub>2</sub>	77.20	70.90	74.30	76.30	76.80	76.90	65.10	70.30	73.10	73.10	76.90
TiO <sub>2</sub>	0.31	0.32	0.28	0.29	0.27	0.33	0.40	0.31	0.31	0.28	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.50	11.60	10.20	10.00	10.40	11.70	14.10	11.10	11.10	10.50	9.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	3.87	1.41	1.80	2.48	4.67	3.50	0.75	5.00	5.45	0.96	0.98
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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	98.99	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
SiO <sub>2</sub>	70.40	74.00	78.50	74.30	68.80	74.80	78.50	75.50	76.60	68.70	76.70
TiO <sub>2</sub>	0.35	0.32	0.32	0.28	0.37	0.30	0.23	0.28	0.28	0.36	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.50	12.10	11.20	9.92	13.70	10.90	8.20	10.30	10.60	13.00	10.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	2.19	5.94	4.94	4.17	1.89	0.66	0.53	5.86	0.75	1.16	6.03
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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	2.62	1.93	1.62	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
SiO <sub>2</sub>	74.80	74.40	73.00	73.10	75.60	72.40	77.80	82.00	76.90	72.20	76.60
TiO <sub>2</sub>	0.30	0.28	0.29	0.31	0.30	0.30	0.30	0.27	0.32	0.32	0.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.40	10.10	11.20	11.10	10.80	11.90	10.90	9.94	11.30	11.10	11.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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
Na <sub>2</sub> O	4.42	2.26	0.49	0.44	4.99	2.75	4.37	4.63	4.90	5.39	5.13
K <sub>2</sub> O	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
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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**

#Echantillon	1 <b>70-06</b>	1 <b>70-07</b>	1 <b>70-15</b>	1 <b>70-16</b>	1 <b>70-17</b>	1 <b>70-18</b>	1 <b>70-21</b>	1 <b>83-02</b>	1 <b>86-24</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	80.5	74.3	73.4	77.9	75.4	75	73.7	78.4	74.2
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.25	0.3	0.28	0.31	0.28	0.31	0.28	0.23	0.28
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	8.17	11.1	10.2	11.2	10	11.7	10.2	8.5	10.1
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3.04	4.82	5.22	1.37	3.57	2.91	4.42	3.71	4.31
<b>MgO</b>	0.34	0.63	1.14	0.32	0.59	0.53	0.81	0.33	0.77
<b>CaO</b>	0.84	0.78	1.92	0.89	1.75	2.07	3.28	1.95	2.38
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3.31	3.4	2.51	6.34	4.67	1.41	3.29	2.23	4.26
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1.39	3.39	1.8	1.26	1.37	3.17	1.19	1.74	0.81
<b>MnO</b>	0.06	0.08	0.1	0.05	0.12	0.04	0.04	0.11	0.14
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
<b>PaF</b>	1.85	1	2.93	0.77	2	2.7	3	2.23	2
<b>Total</b>	99.5	99.83	99.53	100.45	99.78	99.87	100.24	99.46	99.29
<b>IND. ALT. (*)</b>	29.42	49.02	39.89	17.93	23.39	51.53	23.34	33.12	19.22
<b>Rb</b>	43	65	40	31	25	100	55	43	31
<b>Sr</b>	34	27	53	63	88	17	36	46	63
<b>Y</b>	188	168	212	140	198	220	196	166	182
<b>Zr</b>	491	591	604	610	558	623	589	476	567
<b>Nb</b>	25	46	57	25	38	44	29	29	30
<b>Ba</b>	274	716	374	429	289	652	191	308	162
<b>Hf</b>	7	9	10	13	11	8	9	6	10
<b>Co</b>	0.5	1	2	0.5	0.5	0.5	5	1	2
<b>Ga</b>	14	18	17	17	15	24	19	14	16
<b>La</b>	37	39	35	31	36	30	39	33	30
<b>Ce</b>	92	99	90	80	90	80	95	82	77
<b>Nd</b>	65.9	67	67.7	58.1	66.1	52.3	64.9	56.8	53.7
<b>Sm</b>	15.4	17.7	16.1	14.1	16.1	13.4	15.4	13.7	13.8
<b>Eu</b>	2.4	3.2	2.1	2.9	3	2.7	2.7	2.3	2.9
<b>Gd</b>	11.7	17.3	13.8	14.7	15.1	15.9	14.1	11.9	15
<b>Dy</b>	5.6	14.8	11.3	12.4	13.2	11.4	10.1	7	12.5
<b>Er</b>	4.1	9.8	8.3	8.5	9.7	7.6	7	5	7.9
<b>Lu</b>	0.9	1.4	1.4	1.4	1.6	1.2	1.3	0.9	1.3
<b>Densité</b>	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 <sub>2</sub>	72.1	73.5	68.4	72.2	75.5	76.6	76.9	76.9	82	78.5	75.7
TiO <sub>2</sub>	0.31	0.3	0.65	0.32	0.28	0.26	0.26	0.32	0.27	0.23	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.3	10.5	11.5	11.1	10.3	9.89	9.32	11.3	9.94	8.2	11.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	3.26	4.45	3.49	5.39	5.86	3.62	0.98	4.9	4.63	0.53	5.53
K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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 <sub>2</sub>	74	78.2	61.9	73.1	65.9	50	78.6
TiO <sub>2</sub>	0.2	0.27	0.58	0.29	0.28	0.77	0.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.3	9.27	10.6	10.5	10	14	9.47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	0.12	0.29	3.19	3.17	0.06	0.01	2.02
K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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 <sub>2</sub>	74.5	74.6	66.2	62.3	34.1	62.1	65.5	66.3	29.3	34.9
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.23	0.28	0.31	0.4	0.3	0.32	0.26	0.6	0.52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.5	7.43	9.36	10.3	19	10.2	11.5	9.13	18.7	19.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.18	0.01	1.47	0.01	4.45	0.03	0.01	1.8
K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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

<b>Eu</b>	<b>Gd</b>	<b>Dy</b>	<b>Er</b>	<b>Lu</b>	<b>DENSITE</b>
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