

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC A CHICOUTIMI

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ A
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC A CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR
MARC L'HEUREUX
B.Sc.

CARACTÉRISATION GÉOCHIMIQUE
DES VOLCANITES ET D'UNE CHEMINÉE D'ALTÉRATION
DANS LA PARTIE OUEST DU BLOC DE POWELL,
ROUYN-NORANDA, QUÉBEC

OCTOBRE 1992



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

Une zone à filonnets minéralisés ("stockwork") encaissée dans la formation andésitique des volcanites de la partie ouest du bloc de Powell (YBP), situé à 2 km au nord de Rouyn-Noranda, est caractérisée par une forte altération chimique semblable à celle associée aux gisements de sulfures massifs volcanogènes avoisinants. Selon les travaux stratigraphiques de Rosen-Spence (1976), la Formation andésitique de Powell ferait partie du même cycle volcanique contenant la plupart des gisements Cu-Zn de la région, et constituerait donc un horizon favorable à l'emplacement d'une lentille minéralisée.

Un échantillonnage lithogéochimique effectué sur le terrain avait pour buts d'étudier les effets de l'altération sur les YBP et sur la zone minéralisée à filonnets, et de vérifier, par des critères essentiellement géochimiques, la position stratigraphique qu'occupent les YBP par rapport à l'horizon favorable ("Séquence des Mines") des gisements Cu-Zn du secteur.

L'index d'altération ($I.A. = [(MgO + K2O) / (MgO + K2O + CaO + Na2O)] \times 100$) de Ishikawa et al. (1976) a permis de démontrer que la plupart des YBP sont altérées, et particulièrement l'andésite de Powell. Toutes les volcanites du secteur étudié auraient subi une altération métamorphique et/ou spilitique. Cependant, la zone à filonnets minéralisés, qui est très altérée, montre une mobilité des éléments typique d'une altération hydrothermale volcanogène de haute température. Les ΣFeO , MgO, K₂O, H₂O+, Co, Cu et Zn sont enrichis durant l'altération tandis que les CaO, Na₂O, CO₂, Cr et Ni y sont appauvris. Les éléments lithophiles à grands rayons ioniques (LILE; ex.: Rb, Sr, Cs, Ba) sont également très mobiles à l'altération, alors que les éléments à grandes forces de champ (HFSE; ex.: Y, Zr, Nb, Th) et les éléments des terres-rares (ETR) montrent très peu de mobilité. Les patrons d'altération de la zone à filonnets minéralisés sont identiques à ceux des gisements Cu-Zn avoisinants de Corbet et de Millenbach.

Les rapports en HFSE, les patrons de ETR et les diagrammes multi-éléments suggèrent un lien comagmatique entre les YBP et le stock trondhjemitique de Powell, liant ainsi ce bloc à celui contenant la "Séquence des Mines" (bloc de Flavrian). Les mêmes rapports et patrons en éléments traces incompatibles et en ETR démontrent une géochimie identique à celle des unités du bloc de Flavrian, hôtes de la plupart des gisements de sulfures massifs du camp de Rouyn-Noranda, appuyant ainsi les corrélations stratigraphiques de Rosen-Spence (1976).

Il en ressort donc que la zone à filonnets minéralisés révèle des patrons d'altération identiques à ceux des gisements Cu-Zn volcanogènes du secteur suggérant que leurs processus hydrothermaux étaient analogues et que l'andésite de Powell, contenant la zone minéralisée, peut être corrélée stratigraphiquement avec le contact de la "Séquence des Mines".

Remerciements

Je tiens d'abord à exprimer toute ma reconnaissance aux professeurs qui ont formé mon comité de mémoire, M. Jacques Carignan, Mme Sarah-Jane Barnes et M. Pierre Cousineau pour leurs précieux conseils, leur disponibilité et leur encadrement pendant la durée du travail.

Je tiens à remercier spécialement M. André J. Ouellet, directeur de l'exploration (Canada) et co-directeur de mon projet, de même que M. Robin Potvin, géologue de projet, tous deux de la compagnie Cambior Inc., pour leur soutien logistique et leur intérêt vis-à-vis de ce projet.

Des remerciements sont adressés également à M. Wulf Müller et à Mme Danielle Giovenazzo, le premier pour avoir consacré du temps sur le terrain et générée des discussions houleuses, mais non moins pertinentes aux travaux, et la deuxième pour avoir lu et critiqué ce document.

La qualité de l'échantillonnage lithogéochimique est redevable aux assistants de terrain Alain Carrier, étudiant en géologie à l'UQAM, Chantale Gaudreault, étudiante en géologie à l'UQAC, de même que Patrick Perrier et Yvon "watch le pinch" Ranger, tous deux techniciens chez Cambior Inc. Les conseils et l'aide technique de M. Serge Lehouiller, technicien senior, et de M. Yves Goulet, technicien, également de chez Cambior Inc., ont grandement été appréciés.

Des sentiments particuliers sont dirigés vers mon amie, Dominique Beaudry, afin de lui témoigner toute ma reconnaissance pour son aide lors de la révision finale et sa patience durant la réalisation de ce document.

Ce travail a été soutenu financièrement par des bourses du Centre d'Études sur les Ressources Minérales (CERM) et par la compagnie Cambior inc.

TABLE DES MATIERES

Résumé	II
Remerciements	III
Liste des figures	VII
Listes des planches photographiques	X
Liste des tableaux	XI
1. Introduction	1
2. Cadre géologique régional	3
3. Géologie locale	7
3.1. Complexe Volcanique Central (CVC)	7
3.2. Lithologies de la partie ouest du bloc de Powell	9
3.2.1. Les roches andésitiques	11
3.2.2. Les roches volcaniques felsiques	14
3.2.3. Les sédiments volcaniques	16
3.2.4. La zone d'altération minéralisée	16
4. Géochimie	21
4.1. Méthodologie	21
4.2. Altérations des volcanites	22
4.2.1. Andésites	22
4.2.1.1. Éléments majeurs	22
4.2.1.2. Éléments traces	27

4.2.2. Rhyolites	30
4.3. Zone d'altération minéralisée (zone #7)	32
4.3.1. Effets et nature de l'altération	32
4.3.2. Comparaison avec les gisements Cu-Zn avoisinants	38
4.4. Classification des volcanites	40
4.4.1. Éléments majeurs	40
4.4.2. Éléments traces	41
 5. Origine des volcanites de la partie ouest	
du bloc de Powell	52
5.1. Magmatisme calco-alcalin	52
5.2. Magmatisme tholéïtique	58
5.3. Commentaires sur l'implication géotectonique	60
5.4. Essai de corrélations stratigraphiques	61
 6. Conclusions	66
 Références	70
 ANNEXE 1 - Tableaux des résultats analytiques et normatifs	78
 ANNEXE 2 - Carte géologique, échelle 1:5 000	(en pochette)
 ANNEXE 3 - Carte de localisation des échantillons	(en pochette)
 ANNEXE 4 - Carte de l'index d'altération (I.A.)	(en pochette)

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la ville de Rouyn-Noranda et des limites du Groupe volcanique de Blake River (région ombragée) dans la ceinture de roches vertes de l'Abitibi (modifié de Goodwin et Ridler 1970; de Rosen-Spence 1976). Les différents complexes volcaniques sont représentés en lignes pointillées.	4
Figure 2 : Localisation des blocs structureux, des intrusions et des failles majeures de la région du Complexe Volcanique Central (CVC), Groupe de Blake River (modifié de Péloquin et al. 1990).	5
Figure 3 : Géologie générale du Complexe Volcanique Central et de la région avoisinante (tiré de Rosen-spence 1976). Les différents cycles volcaniques sont identifiés sous "Rhyolite Zone".	8
Figure 4 : Géologie schématisée du secteur d'étude et localisation des différentes zones volcanotectoniques dans la partie ouest du bloc de Powell (modifié de Lichtbleu 1989).	10
Figure 5 : Variation latérale en biseau d'une coulée endésitique coussinée de la zone *5. La flèche indique le sens de l'écoulement latéral de la coulée (voir la légende en annexe 2).	12
Figure 6 : Diagrammes binaires des oxydes majeurs par rapport à l'index d'altération (I.A.) de Ishikawa (1976) dans l'endésite de Powell.	24
Figure 7 : Diagramme binaire K ₂ O+Na ₂ O vs (K ₂ O/K ₂ O+Na ₂ O)*100 de Hughes (1973) démontrant que les andésites de Powell les moins altérées (I.A.<50) ont subi une altération spilitique.	26
Figure 8 : Diagramme de Grant (1986) démontrant les gains et les pertes en éléments entre une andésite très altérée (I.A. = 97, en ordonnée) et une andésite peu altérée (I.A. = 37, en abscisse).	29

Figure 9 : Diagramme de Grant (1986) démontrant les gains et les pertes en éléments entre une rhyolite très altérée (I.A. = 93, en ordonnée) et une rhyolite peu altérée (I.A. = 33, en abscisse).	31
Figure 10 : Diagrammes binaires montrant les variations du CaO+Na ₂ O; du FeO+MgO; du K ₂ O; et du SiO ₂ par rapport à l'index d'altération (I.A.) dans la zone #7 de l'andésite de Powell.	33
Figure 11 : Variations chimiques observées dans le triangle AFM (Irvine et Baragar 1971) en fonction du degré d'altération dans la zone #7 de l'andésite de Powell.	35
Figure 12 : Tétraèdre de Riverin et Hodgson (1980) présentant les variations chimiques à l'intérieur de la cheminée d'altération: a) du gisement de Millenbach (Riverin et Hodgson 1980) en ligne tiretée; b) du gisement de Corbet (Knuckey et Watkins 1982) en ligne pointillée; et c) de la zone #7 dans l'andésite de Powell en ligne pleine.	39
Figure 13 : Diagramme binaire Zr-SiO ₂ délimitant les différentes volcanites de la partie ouest du bloc de Powell.	42
Figure 14: a) Patrons de ETR normalisés à chondrite (Taylor et Gorton 1977) et b) Patrons multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) pour l'andésite de Powell.	46
Figure 15: a) Patrons de ETR normalisés à chondrite (Taylor et Gorton 1977) et b) Patrons multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) pour la rhyolite de Brownlee.	47
Figure 16: a) Patrons de ETR normalisés à chondrite (Taylor et Gorton 1977) et b) Patrons multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) pour la rhyolite de Héré.	48
Figure 17: a) Patrons de ETR normalisés à chondrite (Taylor et Gorton 1977) et b) Patrons multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) pour la rhyolite et le LMH.	50

Figure 18 : Teneurs en ETR normalisées à chondrite (Taylor et Gorton 1977) pour la trondhjemite de Powell.	53
Figure 19 : patrons de ETR normalisés à chondrite (Taylor et Gorton 1977) montrant des profils similaires entre les rhyolites de Brownlee et de Héré, et la trondhjemite de Powell.	53
Figure 20 : Diagramme multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) présentant des profils similaires entre les rhyolites de Brownlee et de Héré, et la trondhjemite de Powell.	55
Figure 21 : Diagrammes binaires a) Zr vs Yb et b) Y vs Yb démontrant, par leurs variations linéaires, des rapports constants entre les laves calco-alcalines du bloc de Powell et le pluton de Powell. La variation linéaire suggère un lien comagmatique des deux parties.	57
Figure 22 : Coupe stratigraphique NW-SE de l'empilement volcanique de la partie ouest du bloc de Powell (modifié de Lichtblau et Dimroth 1980).	59
Figure 23 : Coupe stratigraphique démontrent les corrélations des formations volcaniques de part et d'autre de la faille Beauchastel et la position des gisements Cu-Zn dans le CVC. Le contact andésite-rhyolite d'Amulet se corrèle avec le contact andésite de Powell-rhyolite de Brownlee (modifié de Rosen-Spence 1976).	62
Figure 24 : Diagramme multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) présentant des profils similaires entre l'andésite de Powell et l'andésite d'Amulet.	65
Figure 25 : Diagramme multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) présentant des profils similaires entre la rhyolite de Brownlee et la rhyolite d'Amulet.	65

Liste des planches photographiques

Planche 1a : Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) d'un agrégat de quartz et plagioclase dans une matrice de plagioclase microlitique et de chlorite interstitielle appartenant à la rhyolite de Brownlee.	13
Planche 1b : Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) d'un des échantillons les moins altérés de l'andésite de Powell.	13
Planche 2a : Photographie avec vue vers le nord-ouest de la zone à filonnets minéralisés (zone #7).	17
Planche 2b : Photographie avec vue de près de la zone à filonnets minéralisés (zone #7). La morphologie est typique d'une zone de "stockwork" associée aux gisements Cu-Zn volcanogènes de type Noranda (Franklin et al. 1981).	17
Planche 3a : Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) d'un échantillon très altéré de l'andésite de Powell.	19
Planche 3b : Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) d'un échantillon très altéré de l'andésite de Powell (planche 3a). La chlorite occupe plus de 60% du volume de la roche.	19
Planche 4a : Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) de la relation minérale dans la zone de "stockwork". Les sulfures (minéralisation cubique) sont entourés d'une auréole de chlorite.	20
Planche 4b : Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) de la relation minérale dans la zone de "stockwork" (planche 4a). La chlorite bleutée est typique d'une composition ferrifère.	20

Liste des tableaux

Tableau 1 : Rapports de quelques éléments traces des volcanites de la partie ouest du bloc de Powell.	43
Tableau 2 : Rapports de quelques éléments traces des roches effusives mafiques des différentes unités calco-alcalines (Gélinas et al. 1984) et des rhyolites (Peradis et al. 1988) du Groupe de Blake River.	44
Tableau 3 : Rapports de quelques éléments traces de la trondhjemite de Powell et des rhyolites appartenant au troisième cycle de volcanisme dans le Complexe Volcanique Central.	56
Tableau 4 : Rapports de quelques éléments traces des andésites appartenant au troisième cycle de volcanisme dans le Complexe Volcanique Central.	64

1. INTRODUCTION

Le potentiel économique en métaux de base de la région de Rouyn-Noranda dans le nord-ouest québécois a suscité, depuis les années 1920, d'importantes études géologiques. En effet, 22 dépôts de sulfures massifs ont été découverts jusqu'à présent dans cette région (Gibson et Watkinson 1990). Les gisements de sulfures massifs sont de type cuivre-zinc, d'origine volcanogène, et se retrouvent au contact de certains horizons stratigraphiques connus (Spence et de Rosen-Spence 1975). Il ont été documentés par Franklin et al. (1981) sous l'appellation de "type-Noranda".

En 1988, la compagnie minière Cambior inc. commandait une étude lithogéochimique sur une de leurs propriétés minières située à deux kilomètres au nord de la ville de Rouyn-Noranda. Une cartographie de ce secteur avait permis de découvrir dans le passé une zone à filonnets (stockwork), anomalie en cuivre et en zinc, à l'intérieur d'un secteur fortement altéré des andésites de la Formation de Powell. L'intérêt économique soulevé par la présence du "stockwork" amena la compagnie à s'interroger sur l'importance de la position stratigraphique qu'occupait l'indice minéralisé et la nature de la zone d'altération associée.

Une campagne de cartographie détaillée et d'échantillonnage lithogéochimique a donc été entreprise au cours des saisons estivales 1989-90 sur une période totale de 13 semaines.

L'objectif de ce travail est de caractériser, par des critères géochimiques, la zone altérée à filonnets minéralisés (Cu-Zn) de même que son environnement volcanique. Pour ce faire, deux points principaux seront développés: (1) le premier point de cette étude visera à déterminer la nature de l'altération qui affecte principalement l'andésite de Powell et le secteur de la zone minéralisée tout en y observant les variations pétrographiques et géochimiques. Les patrons d'altération de l'andésite de Powell seront comparés avec ceux des gisements Cu-Zn avoisinants, notamment ceux de Millenbach (Riverin 1977; Cartignan 1979; Riverin et Hodgson 1980) et de Corbet (Knuckey et Watkins 1982); (2) le deuxième point visera à caractériser géochimiquement les différentes formations volcaniques de la partie ouest du bloc de Powell afin de les comparer et de les situer par rapport à la stratigraphie du secteur. Une étude comparative avec des horizons volcaniques porteurs de minéralisation de la région sera effectuée afin de vérifier le potentiel minéral des andésites de Powell.

2. CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Le secteur étudié fait partie du Groupe volcanique de Blake River (GBR) situé dans la partie sud-ouest de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi au Québec (Goodwin et Ridler 1970) (figure 1). Les roches du GBR, d'âge archéen (2703-2698 Ma) (Mortensen 1987), sont le produit d'un volcanisme sous-marin (de Rosen-Spence 1976) caractérisé par des séquences bimodales, dominées par des andésites et des rhyolites, d'affinités calco-alcaline et tholéïtique (Gélinas et al. 1977). Trois failles majeures marquent, de façon approximative, le contact entre le GBR et les autres groupes avoisinants: la faille Porcupine-Destor, la faille du Lac Parfouru et la faille Cadillac-Larder Lake (Dimroth et al. 1982; Pélloquin et al. 1990) (figure 2).

La partie québécoise du GBR est divisée en différents blocs structureux, délimités principalement par des failles majeures et des intrusions (Pélloquin et al. 1990). Les blocs structureux de Flavrian et de Powell composent ensemble ce qui est appelé le Complexe Volcanique Central (CVC) (anciennement appelé Complexe de Noranda), qui est très connu pour ses gisements de sulfures massifs volcanogènes. La partie ouest du bloc structural de Powell fait l'objet de la présente étude (figure 2).

Les roches du GBR sont généralement affectées par un métamorphisme régional aux faciès prehnite-pumpellyite à schistes verts inférieur (Jolly 1980; Dimroth et al. 1983b; Gélinas et al. 1984; Camiré et Watkinson

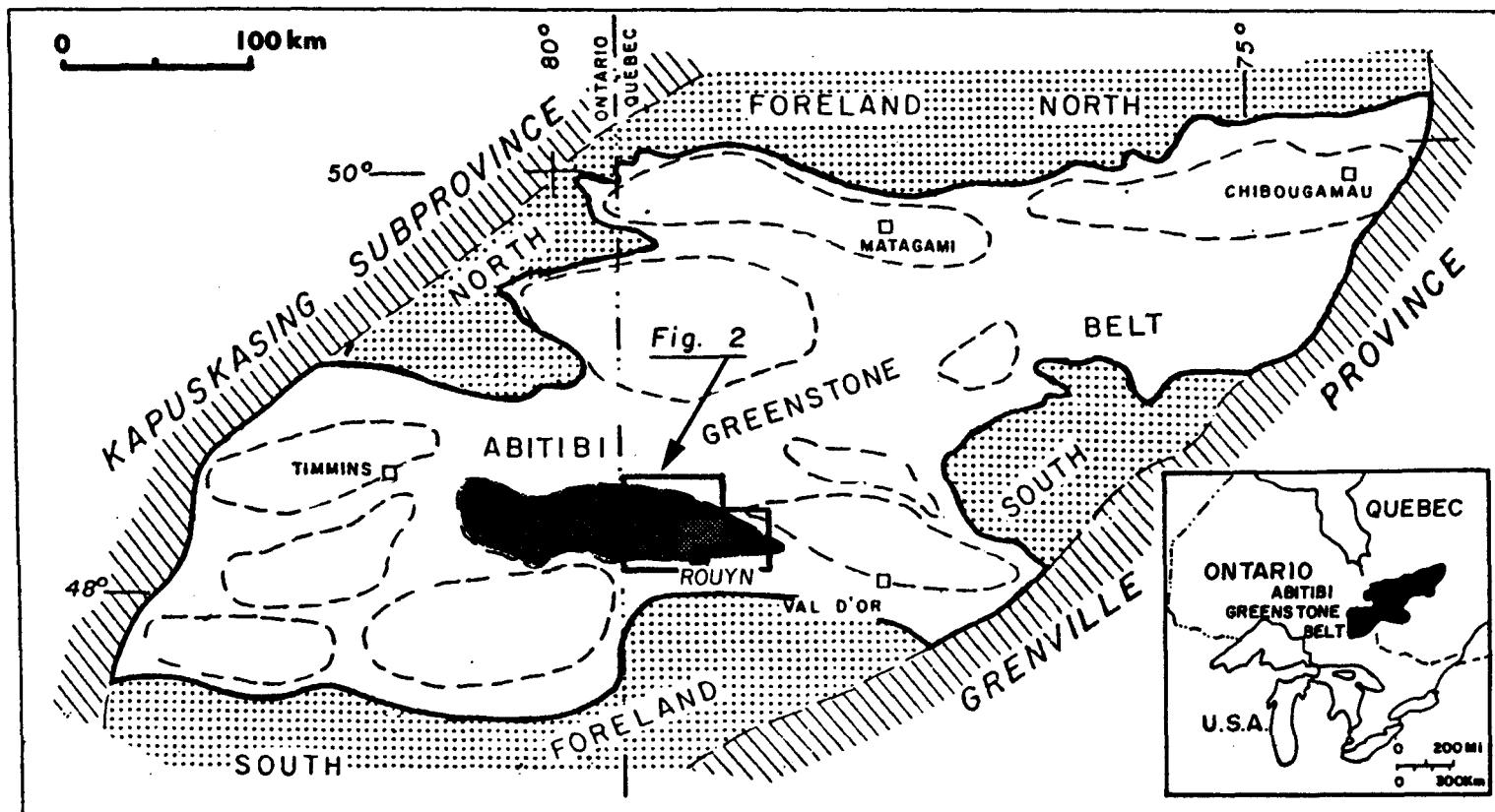


Figure 1: Localisation de la ville de Rouyn-Noranda et des limites du Groupe volcanique de Blake River (région ombragée) dans la ceinture de roches vertes de l'Abitibi (modifié de Goodwin et Ridler 1970; de Rosen-Spence 1976). Les différents complexes volcaniques sont représentés en lignes pointillées.

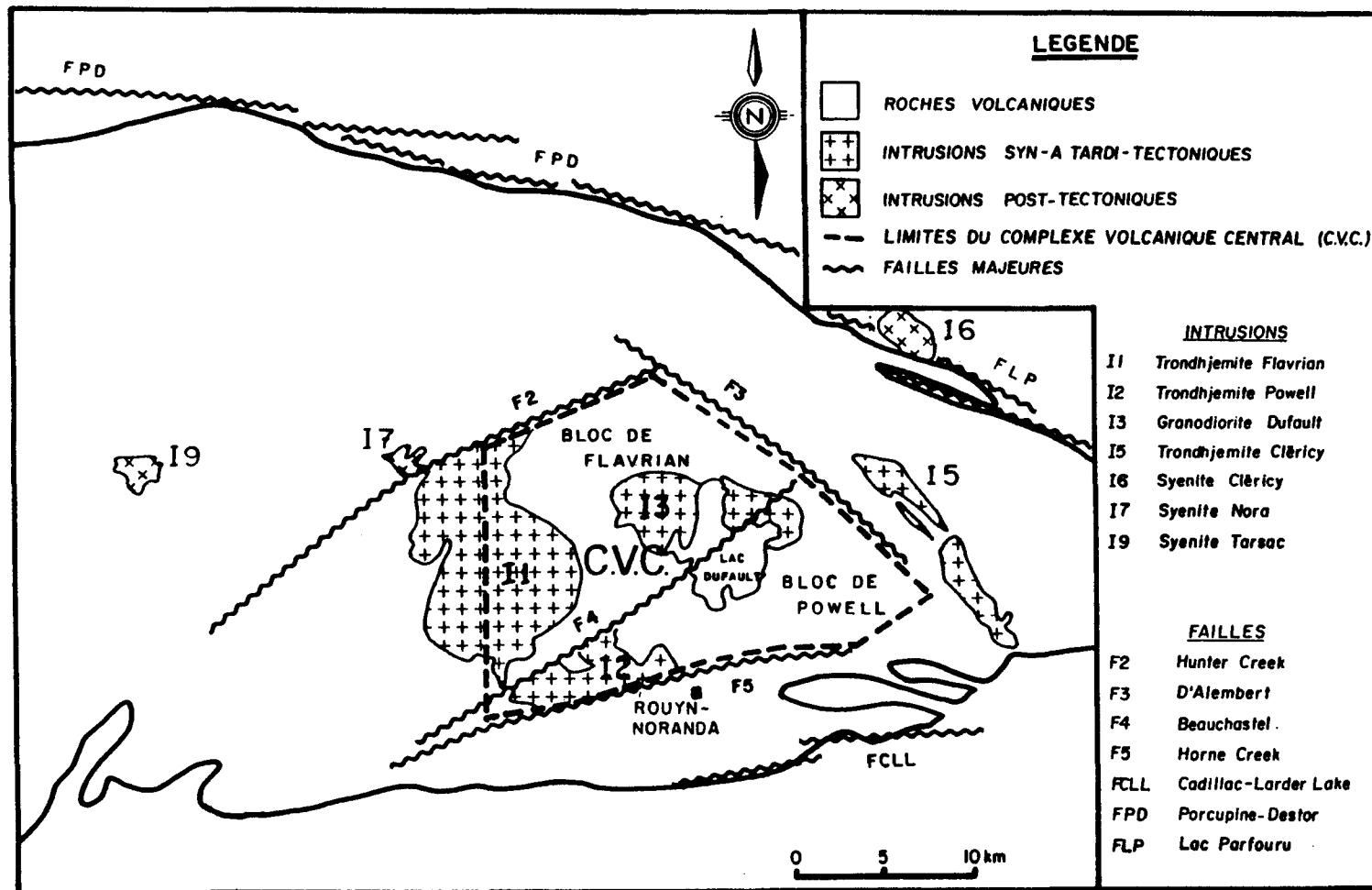


Figure 2: Localisation des blocs structuraux, des intrusions et des failles majeures de la région du Complexe Volcanique Central (CVC), Groupe de Blake River (modifié de Péloquin et al. 1990).

1990), le dernier étant surtout concentré dans le CYC. Un métamorphisme de contact local, au faciès amphibolite, est également observé autour de certaines intrusions syn- à tardi-tectoniques (Gélinas et al. 1984; Pearson 1986; Rive et al. 1990).

Les intrusions se regroupent principalement selon deux suites distinctes dans le GBR (Rive et al. 1990): (1) une suite syn- à tardi-tectonique (2701 Ma) (Mortensen 1987), d'affinité surtout trondhjemite, représentée par le pluton de Flavrian, le stock de Powell et le sill de Cléricy, et (2) une suite plus jeune, d'affinité surtout syénitique, dans laquelle on retrouve les stocks de Cléricy (2684 Ma) (Mortensen, communication personnelle dans Bourne et L'Heureux 1991), de Nore et de Tarsac. Le pluton de Flavrian et le stock de Powell représenteraient la chambre magmatique du CYC (Goldie 1978, 1979; Paradis 1988). Finalement, une série de dykes et de sills gabbroïques d'âge protérozoïque recoupent toutes les unités volcaniques et intrusives.

3. GÉOLOGIE LOCALE

3.1. Complexe Volcanique Central (CVC)

Le CVC, qui est composé des blocs structuraux de Flavrian et de Powell, est considéré comme étant une large zone de subsidence synvolcanique, délimitée au nord par la faille Hunter Creek, et au sud, par la faille Horne Creek (de Rosen-Spence 1976) (figure 2). La partie sud de la zone de subsidence fut documentée par Lichtbleau et Dimroth (1980) comme étant une bordure de caldeira. Gibson et Watkinson (1990) préfèrent plutôt le terme "chaudron" à celui de "caldeira" pour caractériser le CVC, puisque le terme "chaudron", contrairement à celui de "caldeira" (de forme circulaire), fait abstraction de la forme, de la taille et de la profondeur de la dépression volcanotectonique.

La lithostratigraphie du secteur du CVC a été divisée en cinq cycles volcaniques ("rhyolitic zones") comprenant chacun une unité basale andésitique et une unité sommitale de rhyolite et/ou d'andésite plus ou moins silicifiée (de Rosen-Spence 1976; Gibson et al. 1983; Gibson et Watkinson 1990) (figure 3). Le troisième cycle constitue la "Séquence des Mines" (Spence et de Rosen-Spence 1975), hôte de la plupart des gisements de sulfures massifs du camp minier de Rouyn-Noranda. Cette séquence se serait mise en place pendant un épisode de subsidence du chaudron (Gibson et Watkinson 1990).

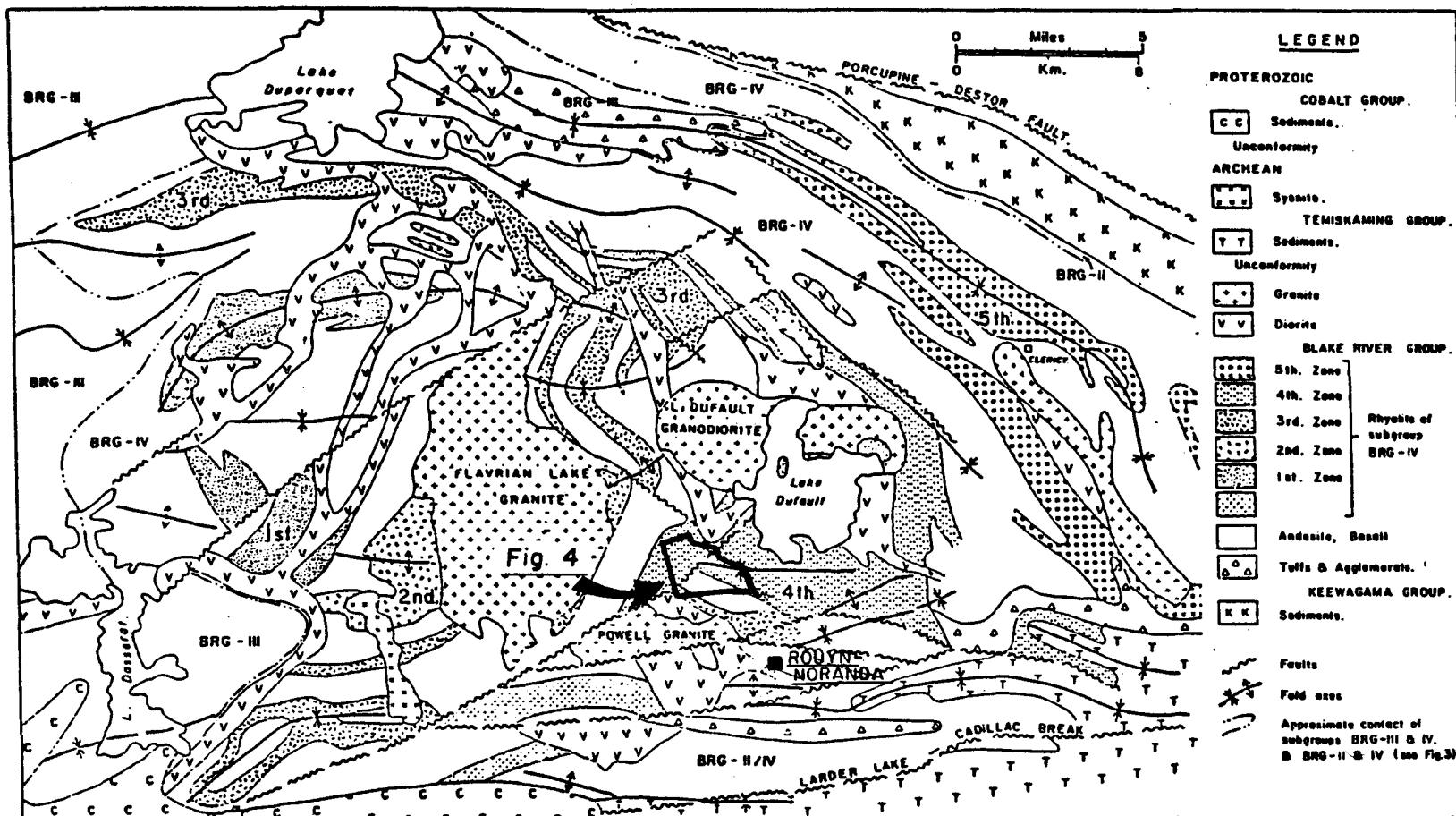


Figure 3: Géologie générale du Complexe Volcanique Central et de la région avoisinante (tiré de Rosen-Spence 1976). Les différents cycles volcaniques sont identifiés sous "Rhyolite Zone".

Trois épisodes de subsidence seraient survenus au cours de l'évolution du chaudron de Noranda (Gibson et Watkinson 1990). Un premier épisode de subsidence aurait débuté avec l'éruption de l'unité inférieure de la "Séquence des Mines", et la subsidence du deuxième cycle, qui constitue le deuxième épisode, aurait pris fin lors de l'extrusion des unités supérieures de cette même séquence. Le troisième épisode de subsidence serait apparu lors de la mise en place des laves du quatrième cycle de volcanisme.

3.2. Lithologies de la partie ouest du bloc de Powell

Le terrain de la présente étude se situe dans la partie ouest du bloc de Powell, entre le pluton de Powell et le lac Dufault. Il a été travaillé et divisé de nouveau en différentes zones volcanotectoniques, selon la nomenclature et la continuité de celles étudiées, plus au sud, par Lichtblau (1989). Ces zones sont délimitées par des changements de faciès volcanique et sont séparées par des failles synvolcaniques connues (de Rosen-Spence 1976; Lichtblau et Dimroth 1980; Dimroth et al. 1982; Lichtblau 1989). Dans le secteur étudié, on observe donc, du sud-est vers le nord-ouest, les zones #5 à #8 séparées par les failles Anglo, Héré et Beauchastel (figure 4).

Trois des dix-neuf formations volcaniques du CYC ont été reconnues sur la propriété (figure 4; annexe 1). De la base au sommet, on retrouve la rhyolite de Brownlee, l'andésite de Powell et la rhyolite de Héré. Les deux premières formations font partie du troisième cycle de volcanisme et la dernière appartient au quatrième cycle (de Rosen-Spence 1976).

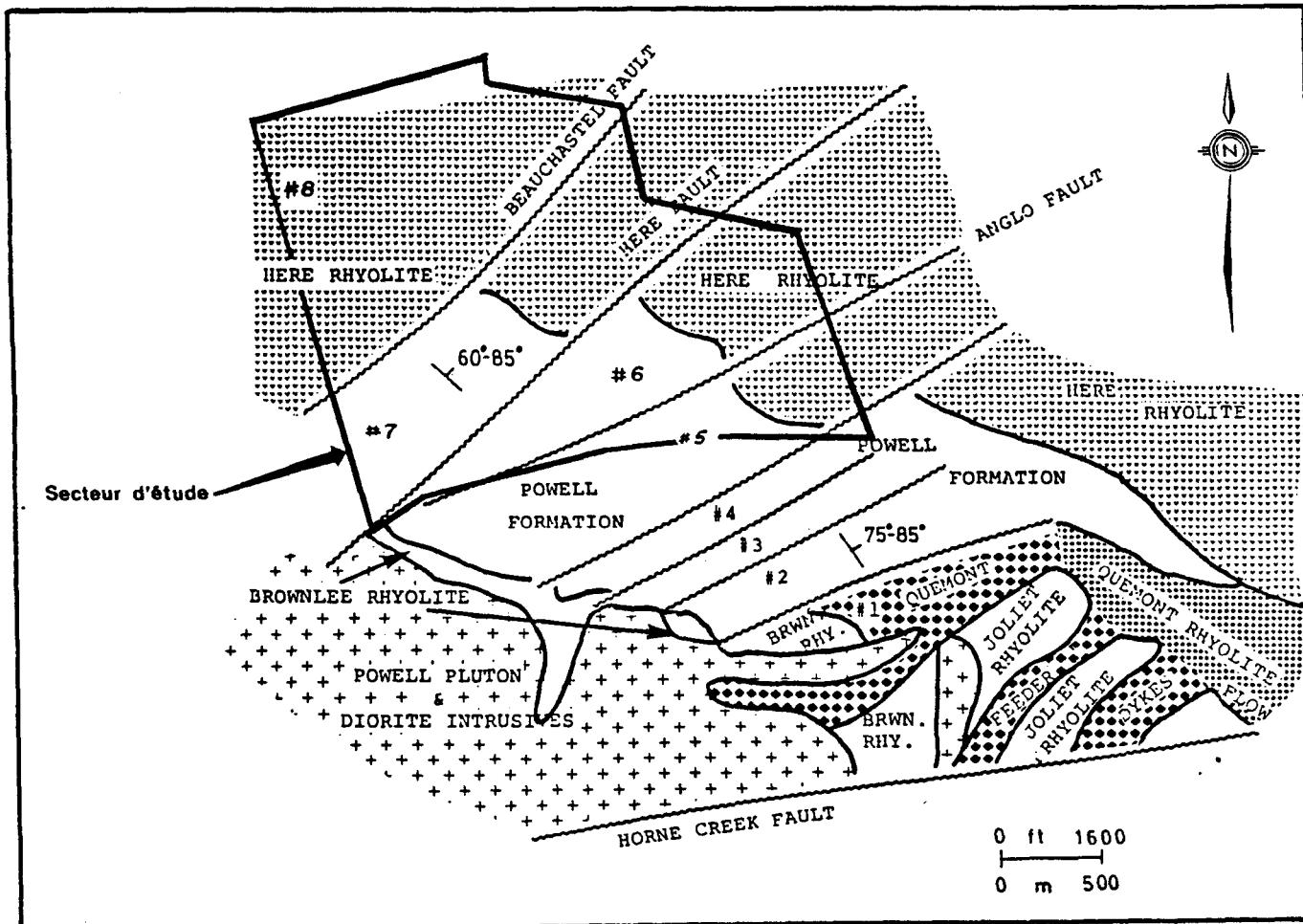


Figure 4: Géologie schématisée du secteur d'étude et localisation des différentes zones volcanotectoniques dans la partie ouest du bloc de Powell (modifié de Lichtblau 1989).

3.2.1. Les roches andésitiques

Les roches andésitiques du secteur étudié font partie de la Formation de Powell et montrent des successions de coulées massives (avec ou sans joints polygonaux), coussinées, bréchiques et de brèches de coussins pouvant contenir jusqu'à 50% d'amygdales de quartz-carbonate (annexe 2). Entre les failles Beauchastel et Héré (zone #7), l'épaisseur réelle de la Formation est évaluée à environ 850 m (L'Heureux 1990). Le litage des unités présente des attitudes variant de N270° à N315° d'une zone à l'autre, mais dans tous les cas, la polarité est orientée vers le nord-nord-est. Les différentes unités à l'intérieur de la Formation andésitique de Powell montrent une altération en chlorite allant de modérée à intense. Certaines coulées coussinées de la zone #5 évoluent latéralement en coulées bréchiques et finissent par se pincer vers l'est-sud-est, suggérant ainsi une région source provenant de l'ouest (Lichtblau 1989; L'Heureux 1990) (figure 5). Cependant, Gaudreault (1991) suggère une origine venant de l'est pour les andésites de la zone #7, ce qui pourrait donc confiner un centre extrusif de type fissural le long de la faille Anglo vers le stock de Powell.

Microscopiquement, les andésites de Powell les moins altérées sont à phénocristaux de feldspath et quartz dans une matrice microlitique d'albite, de chlorite et de séricite (planche 1b). En lumière polarisée, la chlorite apparaît dans des tons de brun et de gris, ce qui est typique des chlorites magnésiennes et ferro-magnésiennes (Pearson 1986; Riverin 1977). Des cristaux losangiques de carbonate sont également observés.

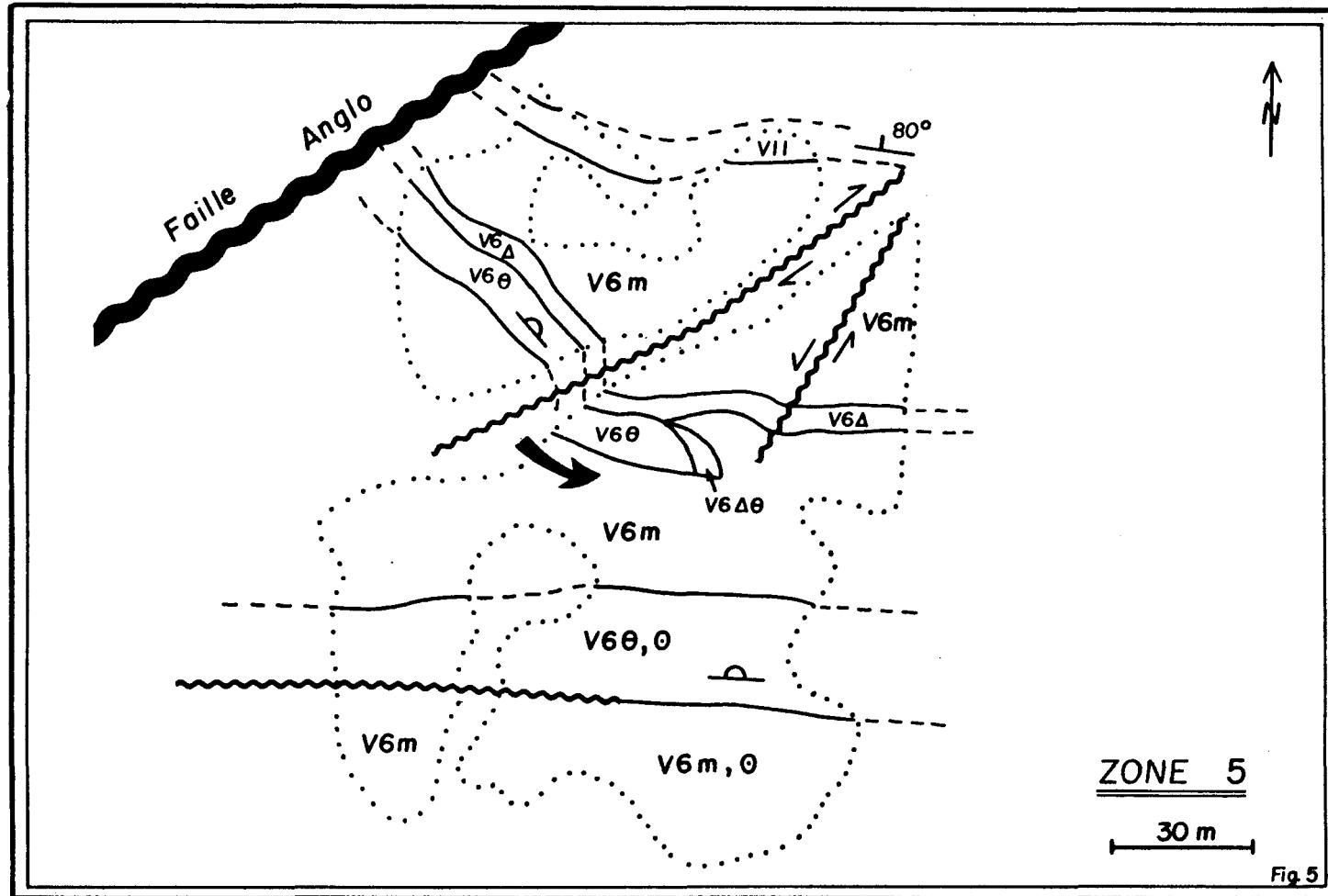


Figure 5 : Variation latérale en biseau d'une coulée andésitique coussinée de la zone #5. La flèche indique le sens de l'écoulement latéral de la coulée (voir la légende en annexe 2).

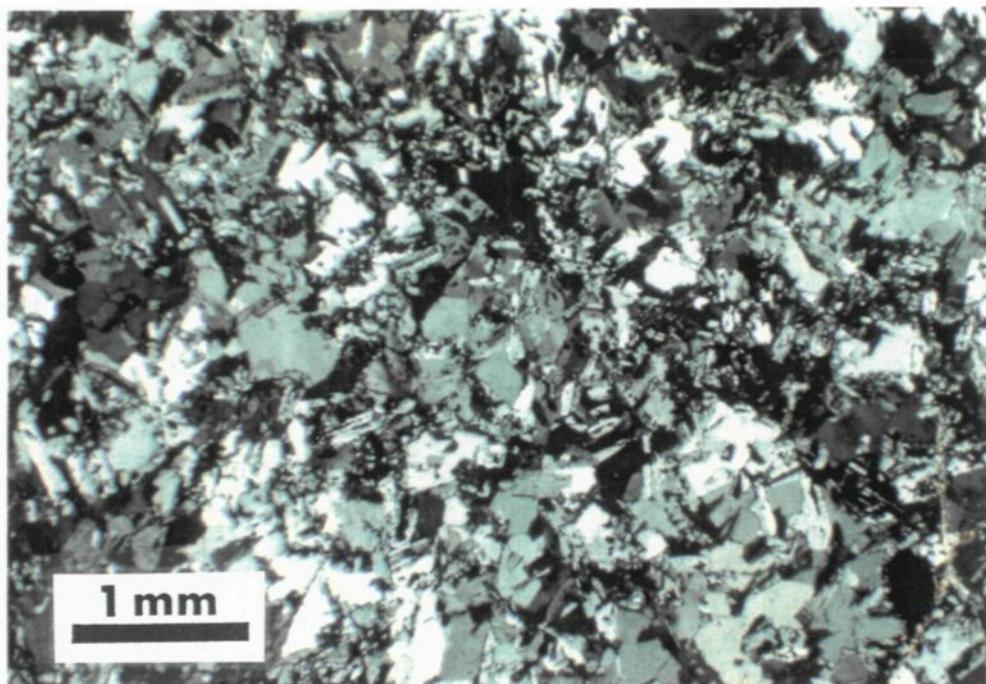


Planche 1a: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) d'un agrégat de quartz et plagioclase dans une matrice de plagioclase microlitique et de chlorite appartenant à la rhyolite de Brownlee.

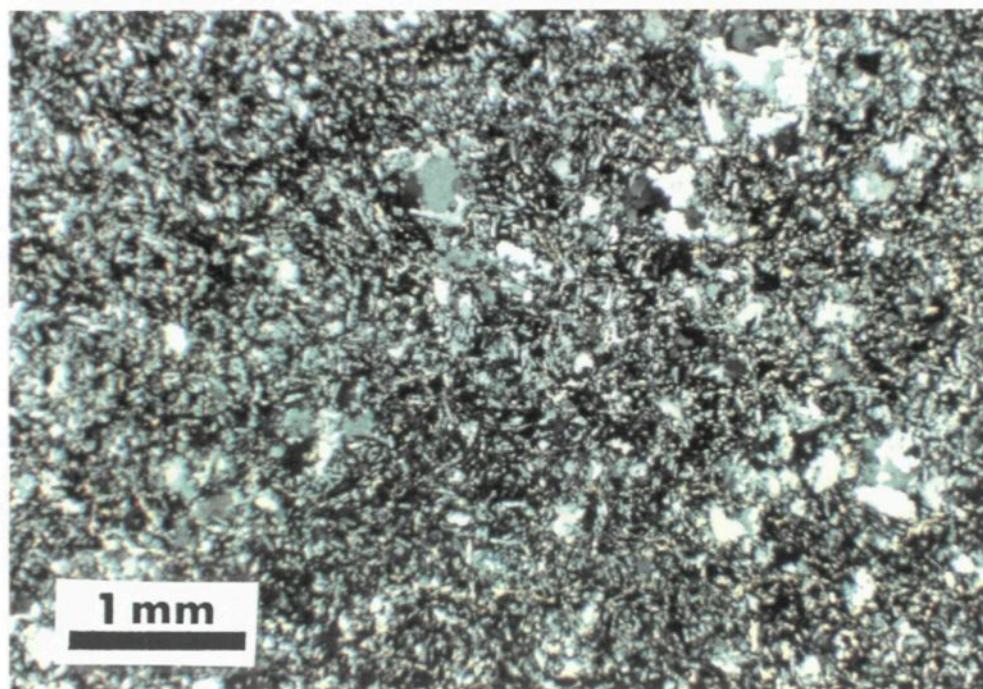


Planche 1b : Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) d'un des échantillons le moins altéré de l'andésite de Powell.

De nombreux dykes synvolcaniques de composition felsique à intermédiaire recoupent la stratification. Ces dykes montrent des dimensions variables, de 5 cm à plus de 2 m de largeur. Certains sont bordés par des veines de quartz et sont minéralisés en sulfures. Des fractures de dégazage développées perpendiculairement à la stratification sont également observées sur le terrain. Leur partie interne est composée à 50-70% de fragments andésitiques dans une matrice chloriteuse. Ces conduits de dégazage sont interprétés comme étant des phénomènes précoces survenus lors de l'épanchement des laves et peuvent donc signifier un milieu relativement proximal à l'édifice volcanique (L'Heureux 1990; Gaudreault 1991).

3.2.2. Les roches volcaniques felsiques

Les roches volcaniques felsiques de la partie ouest du bloc de Powell sont représentées par la rhyolite de Brownlee, la rhyolite de Héré et le membre rhyolitique de Powell (de Rosen-Spence 1976; Lichtblau 1989; L'Heureux 1990) (annexe 2).

La rhyolite de Brownlee effleure très peu sur le terrain. On la retrouve dans la limite sud-ouest des zones #6 et #7. Selon de Rosen-Spence (1976), cette rhyolite formerait la base des formations volcaniques du bloc de Powell. Elle est de couleur crème et généralement massive avec des microphénocristaux de feldspath. Elle apparaît comme étant bréchifiée et ayant été séricitisée à son contact supérieur avec l'andésite de Powell. Microscopiquement, la rhyolite de Brownlee se

présente comme un agrégat de grains de quartz et de bâtonnets de plagioclase recristallisés dans une matrice de plagioclase microlitique avec un peu de chlorite interstitielle (planche 1a). Finalement, une unité de tuf mafique, plus ou moins bien définie, affleure ponctuellement au contact supérieur de la rhyolite, mais ce tuf n'est pas observé en forage.

La rhyolite de la Formation de Héré affleure sur plus de 50% de la surface du secteur travaillé et constitue la formation sommitale du terrain d'étude. Son épaisseur totale est évaluée à environ 1 km près de la faille Beauchastel. Sur le terrain, la rhyolite se présente sous forme de grandes coulées tabulaires massives (avec ou sans joints polygonaux), à texture sphérolitique et bréchiforme. Cette rhyolite est de couleur blanchâtre et contient des microphénocristaux de plagioclase. L'activité d'effondrement du chaudron, dans ce secteur, était déjà complétée lors de la mise en place des premières coulées de la rhyolite de Héré (de Rosen-Spence 1976; Gibson et Watkinson 1990).

Une unité rhyolitique appelée rhyolite de Powell (Lichtblau 1989), se retrouve dans la partie sud-est de la zone #5 et constitue un membre à l'intérieur de la Formation andésitique de Powell. La rhyolite est massive, de couleur blanchâtre et contient jusqu'à 30% de phénocristaux de quartz. Elle s'étend sur une distance de 700 m parallèlement à la stratification de l'andésite de Powell et atteint une épaisseur maximale de 140 m près de ses dykes nourriciers. La rhyolite de Powell proviendrait, selon Lichtblau (1989), d'au moins deux dykes nourriciers situés à environ 300m au sud de la zone d'étude, dans la zone #1 (centre extrusif rhyolitique de Powell;

annexe 2). Les levees rhyolitiques se seraient épanchées vers le nord-ouest dans un bassin d'effondrement formé lors de la subsidence volcanotectonique.

3.2.3. Les sédiments volcaniques

Une unité de tuf à lapillis de 3 m d'épaisseur, appelée "Lower Marker Horizon" (LMH) par Lichtbleu (1989), repose en quasi-discordance à l'intérieur de l'andésite de Powell (zone #5) entre la faille Anglo et le dyke nourricier de Quémont le plus à l'est (**annexe 2**). Les lapillis sont principalement de composition rhyolitique et faiblement vésiculeuses. Les structures primaires dans le LMH indiquent une région source dans la direction de la brèche de Quémont, située plus au sud-est (Lichtbleu 1989). D'autres petits horizons de sédiments volcaniques, moins continus, sont également observés à l'intérieur de l'andésite de Powell. Ces horizons sont généralement composés de cendres fines à grossières et de matériel hyaloclastique (Gaudreault 1991).

3.2.4. La zone d'altération minéralisée

Une zone à filonnets minéralisés (stockwork) est observée dans un secteur fortement altéré de l'andésite de Powell, près du contact avec la rhyolite de Héré dans la zone #7. La zone à filonnets est de couleur rouille et possède un réseau de fractures plus ou moins polygonales minéralisées en pyrite fine, caractéristique de la zone de "stockwork" associée aux gisements volcanogènes de type "Noranda" (planches 2a et 2b). Une



Planche 2a: Photographie avec vue vers le nord-ouest de la zone à filonnets minéralisés (zone #7).



Planche 2b: Photographie avec vue de près de la zone à filonnets minéralisés (zone #7). La morphologie est typique d'une zone de "stockwork" associée aux gisements Cu-Zn volcanogènes de type Noranda (Franklin et al. 1981).

chloritisation et une séricitisation, de fortes à intenses, caractérisent la partie interne de la zone à filonnets et la zone périphérique (cheminée d'altération).

Microscopiquement, les andésites les plus altérées montrent une chloritisation intense occupant jusqu'à 60% du volume de la roche. Quelques phénocristaux de feldspath plus ou moins reliques, de même que des grains de quartz, sont disposés de façon non jointive dans une matrice chloriteuse (planches 3a et 3b). En bordure des veines minéralisées, les sulfures possèdent une auréole de chlorite bleue entourée de séricite, et baignent dans une fine matrice de quartz, feldspath, séricite et chlorite (planches 4a et 4b). La couleur bleutée de la chlorite (en lumière polarisée) serait typique d'une composition ferrugineuse (Pearson 1986; Riverin 1977). Les proportions minéralogiques sont très variables à l'intérieur de la cheminée d'altération, dû à l'hétérogénéité de cette dernière. Le contenu en chlorite augmente de façon importante en bordure des filonnets minéralisés.

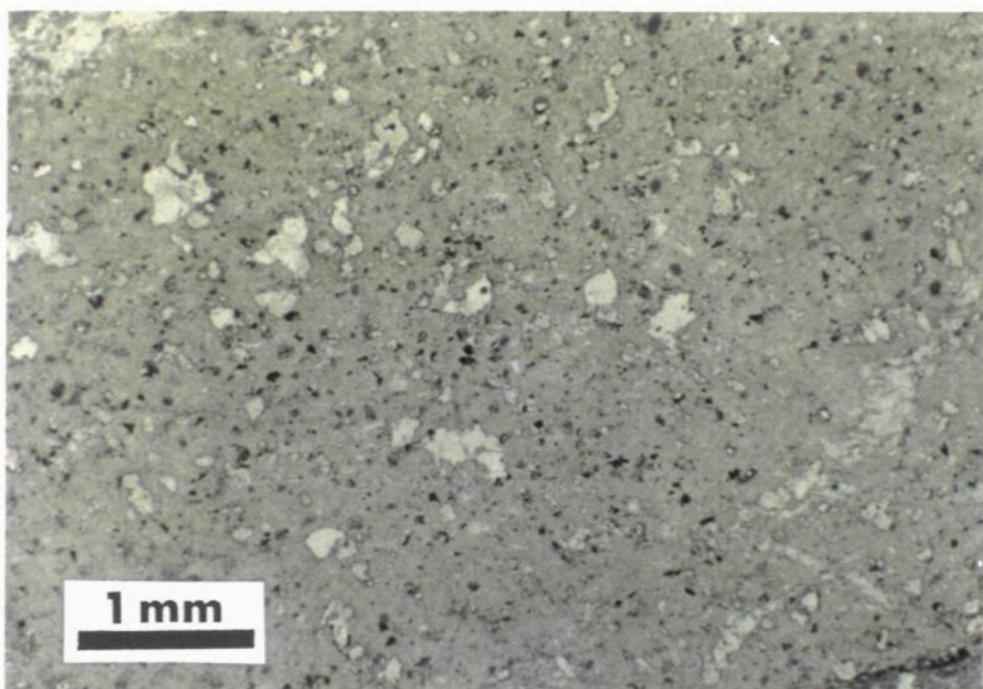


Planche 3a: Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) d'un échantillon très altéré de l'andésite de Powell.

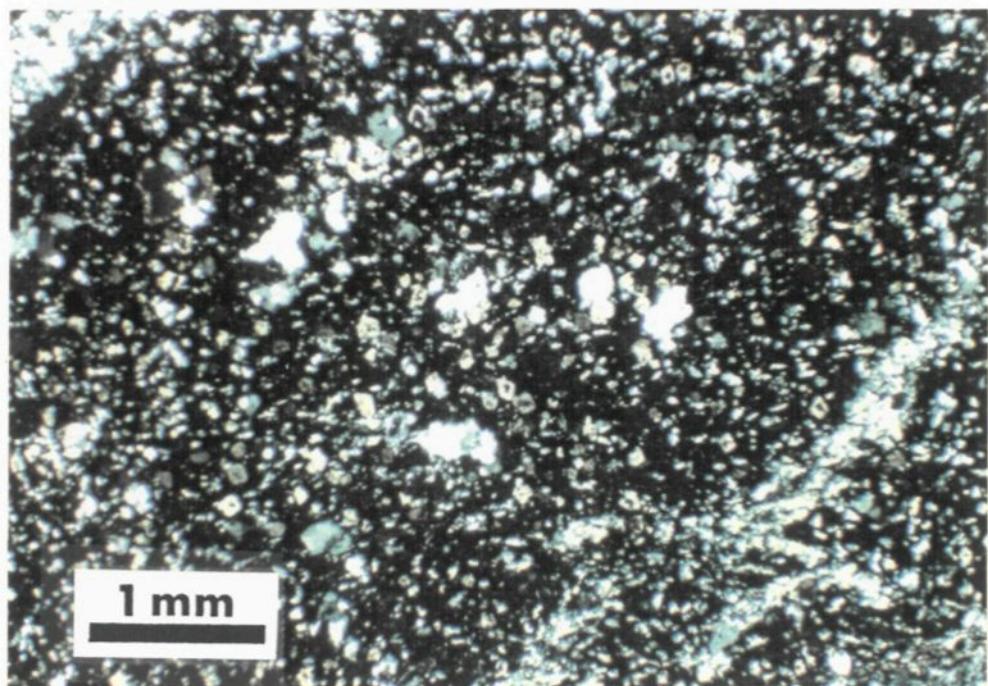


Planche 3b: Photomicrographie en lumière polarisée (x2.5) d'un échantillon très altéré de l'andésite de Powell (planche 3a). La chlorite occupe plus de 60% du volume de la roche.

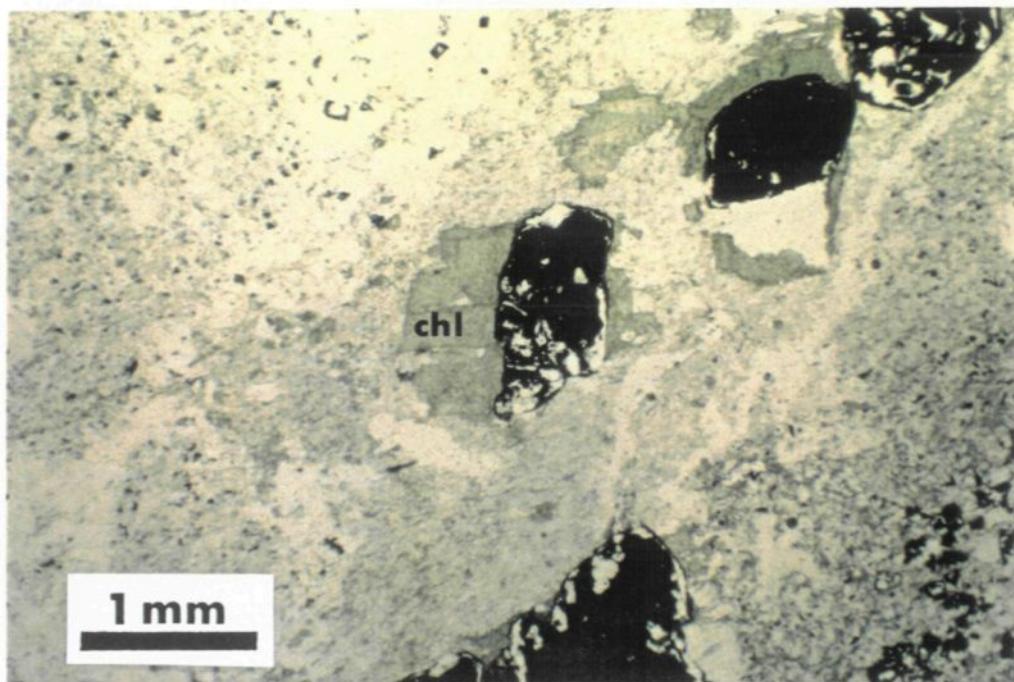


Planche 4a: Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) de la relation minérale dans la zone de "stockwork". Les sulfures (minéralisation cubique) sont entourés d'une auréole de chlorite.

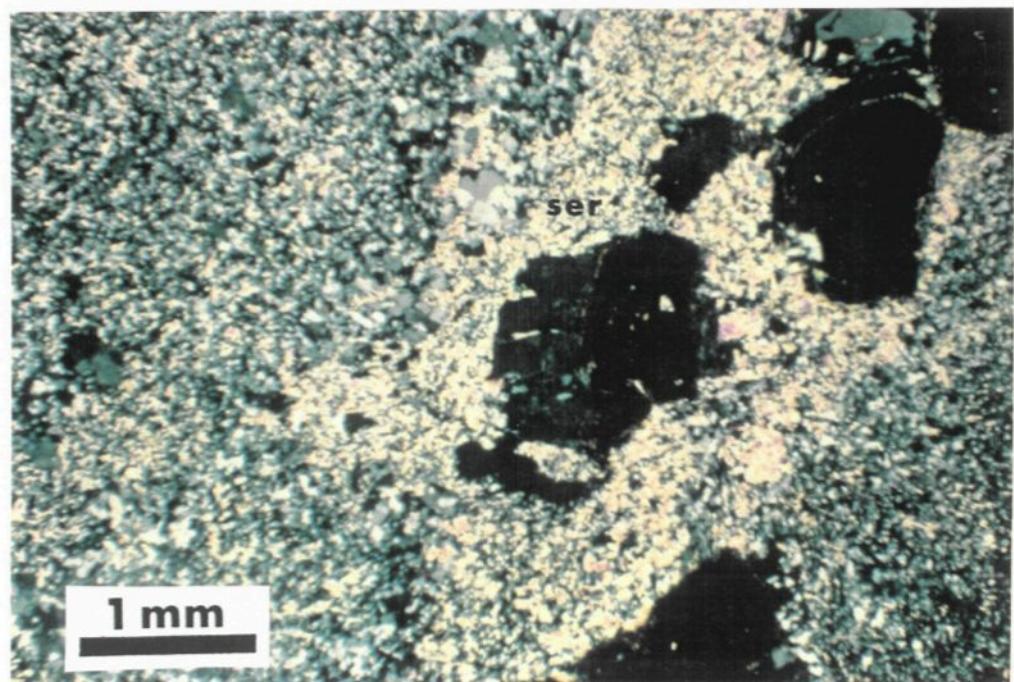


Planche 4b: Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) de la relation minérale dans la zone de "stockwork" (planche 4a). La chlorite bleutée est typique d'une composition ferrifère.

4. GÉOCHIMIE

4.1. Méthodologie

Plus de 175 échantillons ont été recueillis sur le terrain pour fins d'analyse totale d'éléments majeurs, et 24 d'entre eux ont également été analysés pour les éléments traces et les ETR. Chaque échantillon a été scié au préalable dans le but d'en soustraire la surface d'altération et les veinules de quartz-carbonate. Les échantillons provenant des faciès bréchiformes, des zones trop cisaillées et des zones de bordures ont été retirés du traitement afin de préserver une certaine homogénéité géochimique. Au total, 118 échantillons ont été retenus, dont 57% proviennent des andésites, 40% des rhyolites et 3% des tufs.

Les éléments majeurs, les éléments volatils (CO_2 , S, et H_2O^+) et quelques éléments traces (Cu, Zn et Ni) ont été analysés au laboratoire Métriclab inc. de Ste-Marthe-sur-le-Lac selon différentes méthodes: SiO_2 , TiO_2 , P_2O_5 et S par fluorescence-X; Al_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O et MnO par méthode des plasmas; Cu, Zn et Ni par absorption atomique; CO_2 par gravimétrie et H_2O^+ par différence de poids des éléments volatils. Le H_2O^- peut constituer jusqu'à 0.5% du poids du H_2O^+ (H. Blais 1992, communication personnelle). Les éléments Zr, Nb, Y, Rb et Sr ont été déterminés par fluorescence-X au Geochemical Laboratories de l'Université McGill (Montréal) sur des poudres pressées. La limite de détection de ces

éléments est évaluée à 5 ppm. Les ETR et autres éléments traces (Ba, Cs, Co, Cr, Sc, Hf, U et Ta) ont été analysés à l'Université du Québec à Chicoutimi par INAA selon la méthode de Bédard et Barnes (1990).

4.2. Altérations des volcanites

Avant toute tentative de classification des roches volcaniques leurs patrons d'altération doivent être pris en considération afin d'utiliser les échantillons les moins altérés pour fins de classification. Par ailleurs les spécimens les plus altérés pourront servir à identifier le type d'altération ayant affecté les volcanites de la partie ouest du bloc de Powell.

4.2.1. Andésites

4.2.1.1. Éléments majeurs

Les volcanites de la partie ouest du bloc de Powell sont caractérisées par une forte altération chimique, et ce particulièrement dans les andésites. En effet, plus de 95% de ces dernières ne répondent pas aux critères de sélection de roches fraîches établis par Gélinas et al. (1977) avec la présence de corindon normatif, une absence de clinopyroxène normatif et des pertes au feu excédant 3.8% (annexe 1). Chimiquement, on observe un lessivage en CaO et Na₂O, et un enrichissement en FeO, ±MgO et H₂O+. Cette mobilité des éléments rend difficile la classification magmatique (tholéïtique ou calco-alcaline) des laves puisque la plupart

des diagrammes de classification connus (Irvine et Baragar 1971; Miyashiro 1974; Jensen 1976) contiennent au moins un de ces éléments. Il est cependant possible, à partir de l'index d'altération de Ishikawa et al. (1976) (dans Hashiguchi et al. 1983), de sélectionner des échantillons montrant un degré d'altération moindre que certains autres. L'index d'altération (I.A.) est défini comme suit (% poids des oxydes):

$$\text{I.A.} = [(\text{MgO} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})] \times 100.$$

Les échantillons d'andésite peu altérés montrent un I.A. < 50 tandis que les spécimens chloritisés et/ou sérichtisés et/ou dont les feldspaths ont été lessivés révèlent un I.A. ≥ 51, voire > 90 dans des cas de très fortes altérations (figure 6). Les variations chimiques observées peuvent être produites par le métamorphisme régional aux schistes verts, la spilitisation de même que l'altération hydrothermale de haute température. Dans le diagramme de Hughes (1973), on observe d'ailleurs que les échantillons d'andésite les moins altérés (I.A. < 50) se positionnent à l'extérieur du "spectre igné", dans le champ des spilites et des kératophyres, signifiant ainsi que ces derniers sont tous affectés par un minimum d'altération (figure 7).

Les andésites les plus altérées montrent des gains en MgO, K₂O, ΣFeO, H₂O+ et très légèrement en TiO₂ et SiO₂ avec des pertes importantes en CaO, Na₂O et CO₂ (figure 6; annexe 1). Al₂O₃, MnO et P₂O₅ ne semblent pas

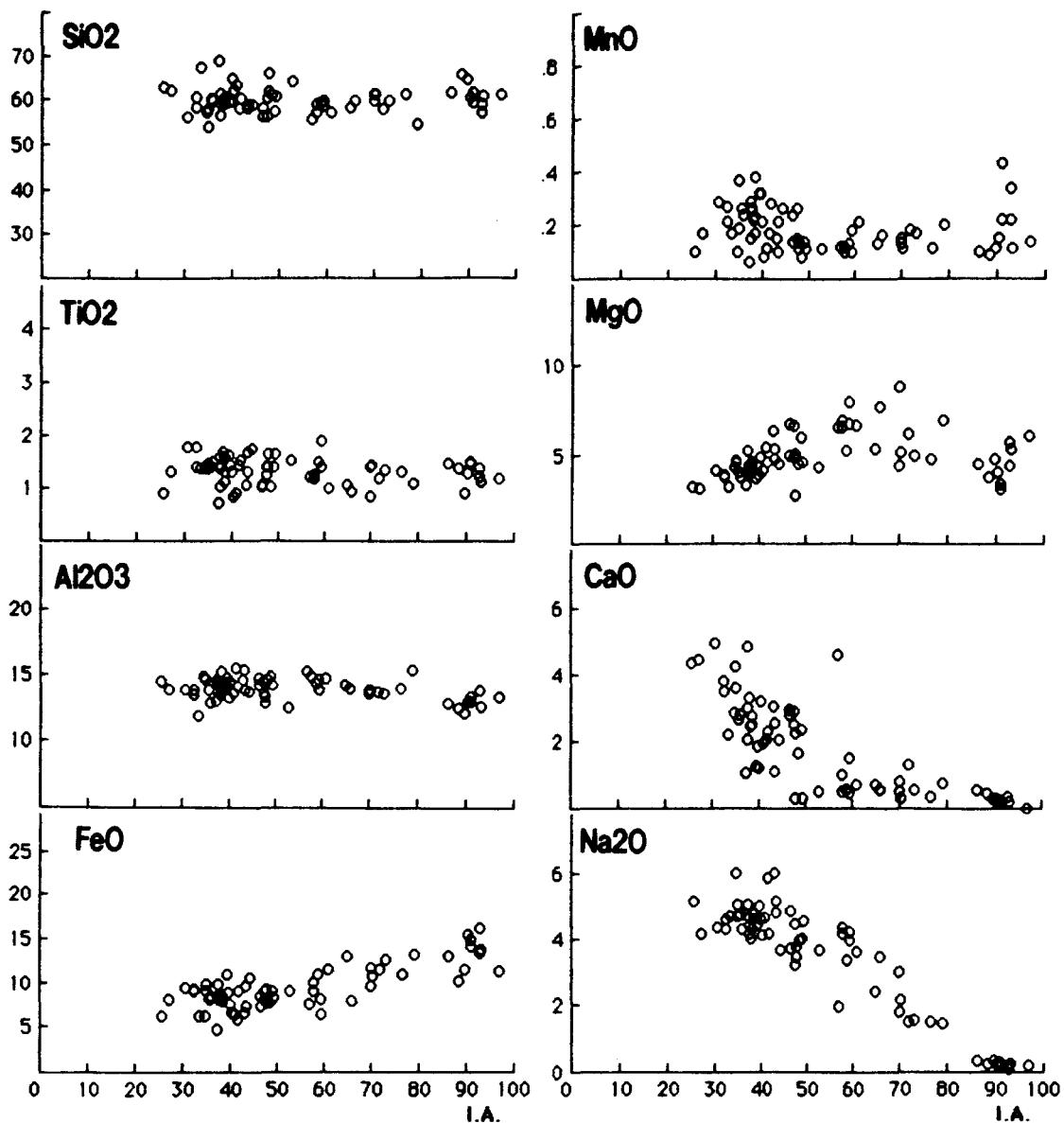


Figure 6: Diagrammes binaires montrant la variation des oxydes majeurs par rapport à l'index d'altération (I.A.) de Ishikawa (1976) dans l'andésite de Powell.

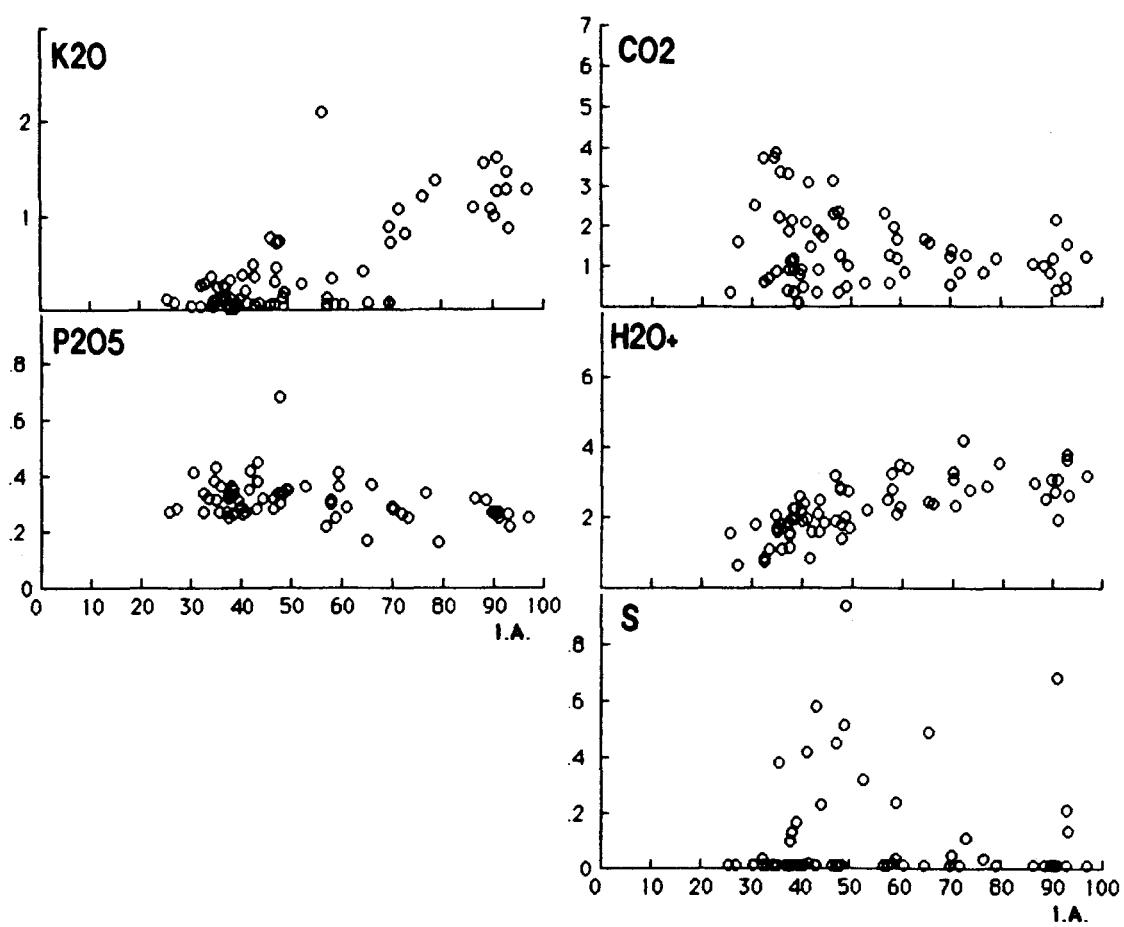


Figure 6 (suite)

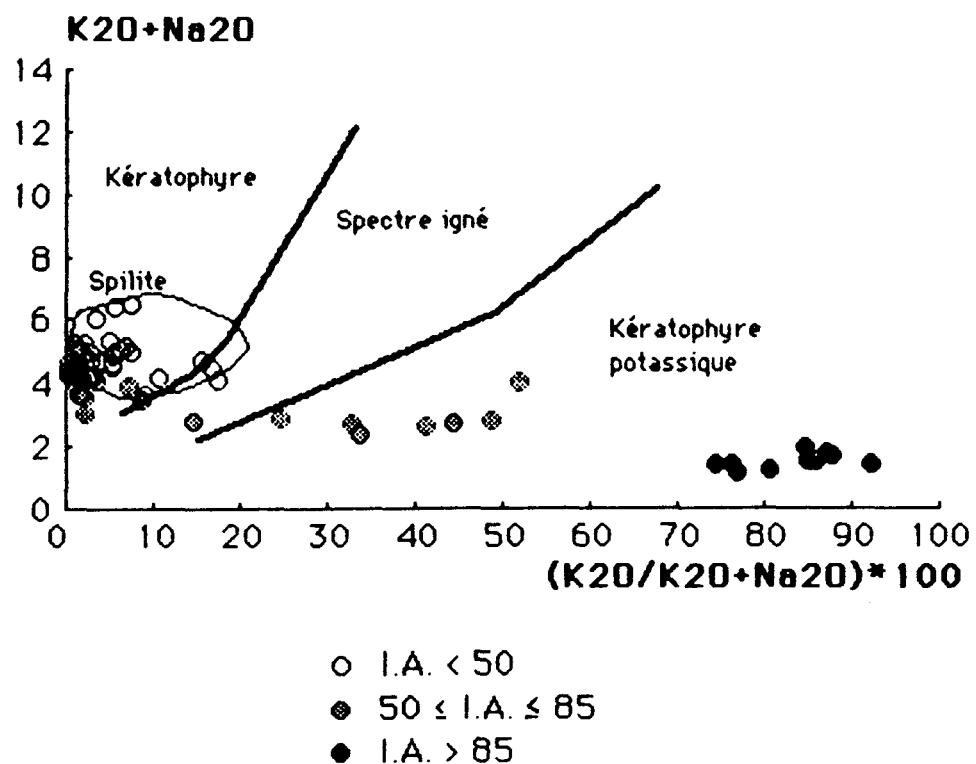


Figure 7: Diagramme binaire $K_2O + Na_2O$ vs $(K_2O / (K_2O + Na_2O)) * 100$ de Hughes (1973) démontrent que les andésites de Powell les moins altérées (I.A. < 50) ont subi une altération spilitique.

avoir été affectés par l'altération. Le S montre une certaine dispersion par rapport au degré d'altération. Les pertes en CaO et Na₂O sont attribuables à un lessivage des feldspaths. Par contre, l'enrichissement en K₂O et en MgO, ΣFeO et H₂O+ reflète, respectivement, la cristallisation de séricite et le remplacement des minéraux ferro-magnésiens primaires par la chlorite tel qu'observé à proximité des gisements de sulfures massifs volcanogènes (Carignan 1979; Knuckey et al. 1982; Knuckey et Watkins 1982).

Laflèche (1991) mentionne que les I.A. obtenus à partir d'une compilation de volcanites mafiques fraîches reliées aux ridges océaniques (MORB) et aux îles-en-arc (IAB) affichent respectivement des valeurs de 36 ± 6 et de 34 ± 10. Ceci suggère que les échantillons révélant un I.A. < 50 peuvent être utilisés pour des fins de classification magmatique étant donné la faible mobilité de leurs éléments majeurs.

4.2.1.2. Éléments traces

Les différents groupes d'éléments traces démontrent une mobilité variable durant l'altération, qu'elle soit métamorphique, spilitique ou hydrothermale (Condé et al. 1977; Ludden et al. 1982; Campbell et al. 1984; Lesher et al. 1986). Par exemple, les éléments lithophiles à grands rayons ioniques (LILE) comme le Rb, le Ba et le Sr sont extrêmement mobiles, tandis que les éléments incompatibles à grandes forces de champ (HFSE), tel que Y, Zr, Nb et Hf, et les ETR lourdes (Gd à Lu) demeurent

relativement immobiles, sauf dans des cas d'altération très intense (Campbell et al. 1984). La mobilité de ces éléments varie avec le degré et le type d'altération.

Afin d'évaluer vraiment l'influence de l'altération sur les éléments traces dans les andésites de la partie ouest du bloc de Powell, un échantillon représentatif peu altéré (#115692, I.A. = 37) a été comparé à un échantillon très altéré, chloritisé et séricitisé, provenant du secteur d'altération de la zone #7 (#8015, I.A. = 97) (Annexe 1). En utilisant la méthode de Grant (1986), qui constitue une variation plus directe de la méthode de Gresens (1967), les gains et les pertes en éléments majeurs et traces peuvent être facilement visualisés de part et d'autre de la ligne de masse et volume constants (figure 8). Les oxydes et les éléments traces sont, selon le cas, multipliés ou divisés par un facteur de sorte à s'intégrer facilement dans le diagramme. Tous les gains et pertes en éléments peuvent être lus sur le diagramme de Grant d'après la distance verticale qui les séparent de la ligne de masse et volume constants par rapport à la distance verticale qui les séparent de l'abscisse.

Les métaux de transition (Sc, Cr, Co, Ni, Cu et Zn) montrent une mobilité variable durant l'altération. Le Sc ne semble pas être affecté par l'altération. Par contre, le groupe des éléments chalcophiles (Cu, Zn) enregistrent un enrichissement important pendant l'altération. Les pertes en Cr et Ni seraient attribuables à la destruction des minéraux ferro-magnésiens primaires et ne devraient donc pas être présents dans la structure de la chlorite. Les LILE montrent une très grande mobilité avec

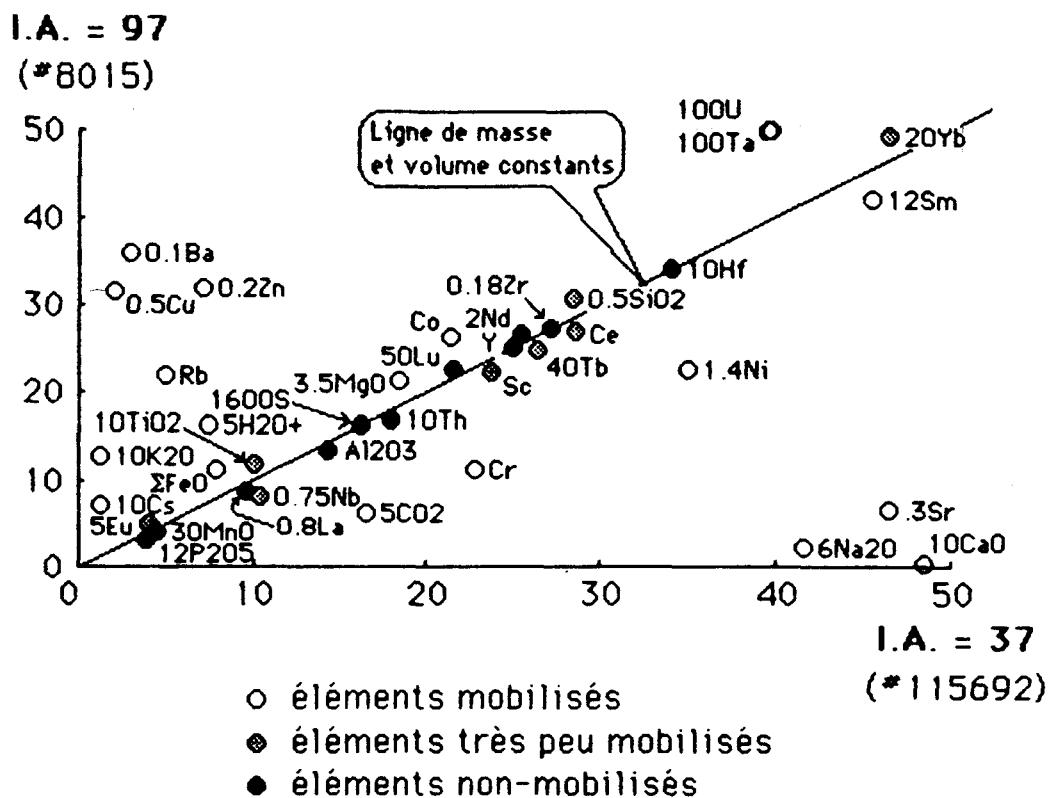


Figure 8: Diagramme de Grant (1986) démontrant les gains et les pertes en éléments entre une andésite très altérée (I.A. = 97, en ordonnée) et une andésite peu altérée (I.A. = 37, en abscisse).

des gains en Rb, Cs et Ba et un lessivage en Sr. Géochimiquement, le Rb et le Ba ont tendance à se substituer au K, et le Sr au Ca, ce qui explique leurs comportements analogues lors du processus d'altération. Les HFSE et les ETR demeurent, de leurs côtés, très peu mobiles sinon totalement immobiles. Parmi les HFSE, le Y, le Zr, le Hf et le Th semblent les moins mobiles puisqu'ils sont localisés sur la ligne de masse et volume constants (figure 8). Les ETR demeurent cependant très faiblement mobiles, et ce, contrairement à Campbell et al. (1984), sans discrimination apparente entre les ETR légères et lourdes. Il en ressort donc que certains HFSE (Y, Zr, Hf et Th) et le groupe des ETR demeurent immobiles à l'altération, et peuvent être utilisés pour fins de classification des volcanites de la partie ouest de bloc de Powell.

4.2.2. Rhyolites

Le degré d'altération dans les rhyolites de Brownlee, de Héré et de Powell est, comme dans l'andésite de Powell, déterminé à partir de l'index d'altération (I.A.). Les rhyolites archéennes, dites fraîches, de la région de Rouyn-Noranda, révèlent un I.A. se situant autour de 30 (Lefèvre, communication personnelle). Le peu d'échantillons de rhyolite affectés par une forte altération se trouvent à proximité d'indices minéralisés. À la figure 9, où une rhyolite altérée est comparée à une rhyolite fraîche, on note que les mêmes éléments, majeurs et traces, sont affectés par l'altération, mais de façon et à des degrés différents. Le MgO, le H₂O+ et, de manière moindre, le MnO sont enrichis durant l'altération alors que le CaO,

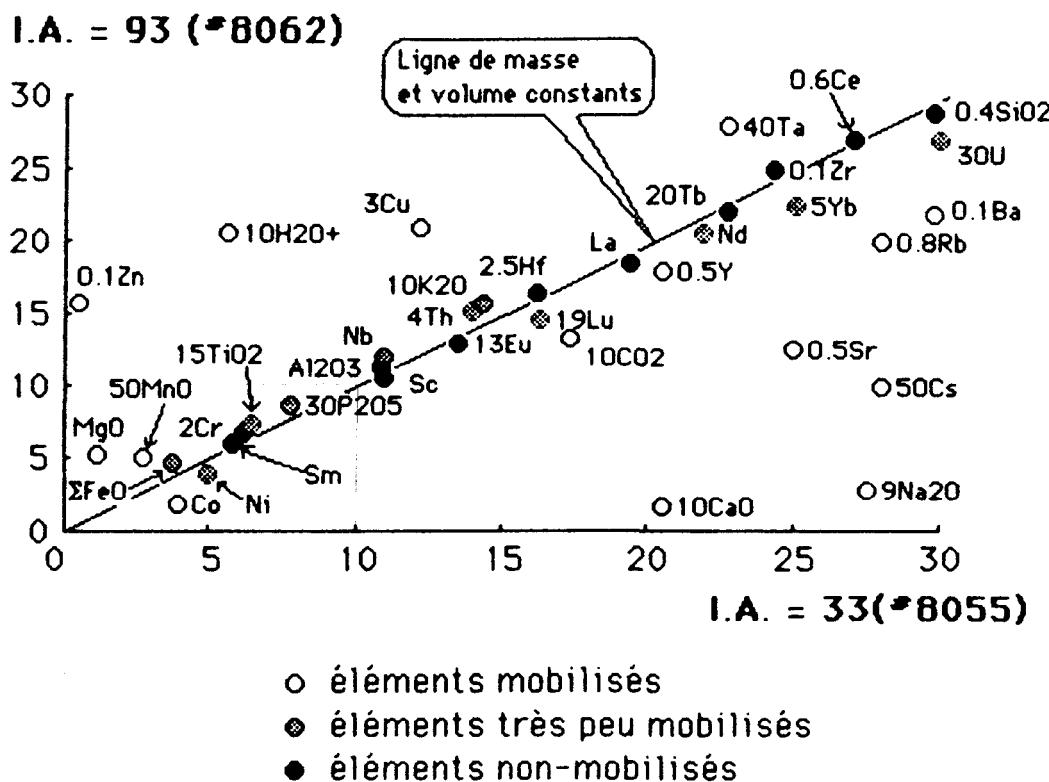


Figure 9: Diagramme de Grant (1986) démontrant les gains et les pertes en éléments entre une rhyolite très altérée (I.A. = 93, en ordonnée) et une rhyolite peu altérée (I.A. = 33, en abscisse).

Le Na₂O et le CO₂ sont lessivés. Cette mobilité des éléments, mis à part le CO₂, est caractéristique d'une altération spilitique de fond marin (Scott et Hajash, Jr 1976; Seyfried, Jr et al. 1978). Les LILE comme le Rb, le Sr, le Cs et le Ba sont marqués par un appauvrissement important. Les métaux de transition montrent d'une part un enrichissement en Cu et Zn, et d'autre part un appauvrissement en Co. Les HFSE, notamment le Zr, le Nb, le Hf et le Th, de même que les ETR sont les éléments qui affichent la moins grande mobilité, tel qu'observé dans les andésites. Les rhyolites seront donc classifiées et discutées sur les mêmes bases géochimiques que celles des andésites.

4.3. Zone d'altération minéralisée (zone #7)

4.3.1. Effets et nature de l'altération

Un résumé des principaux changements chimiques des oxydes causés par l'accroissement de l'altération dans la zone #7 de l'andésite de Powell sont présentés à la figure 10. La variation chimique des oxydes reflète les changements minéralogiques observés durant le processus d'altération (Gélinas et al. 1977; Knuckey et al. 1982; Tanguay et al. 1990). Le CaO et le Na₂O sont groupés pour représenter les plagioclases, le FeO et le MgO pour la chlorite, le K₂O pour la séricite et le SiO₂ pour le quartz (silice). L'accroissement de l'altération est caractérisé par un lessivage en CaO et en Na₂O, et des gains en FeO, MgO, K₂O et, à moindre mesure, en SiO₂. Le

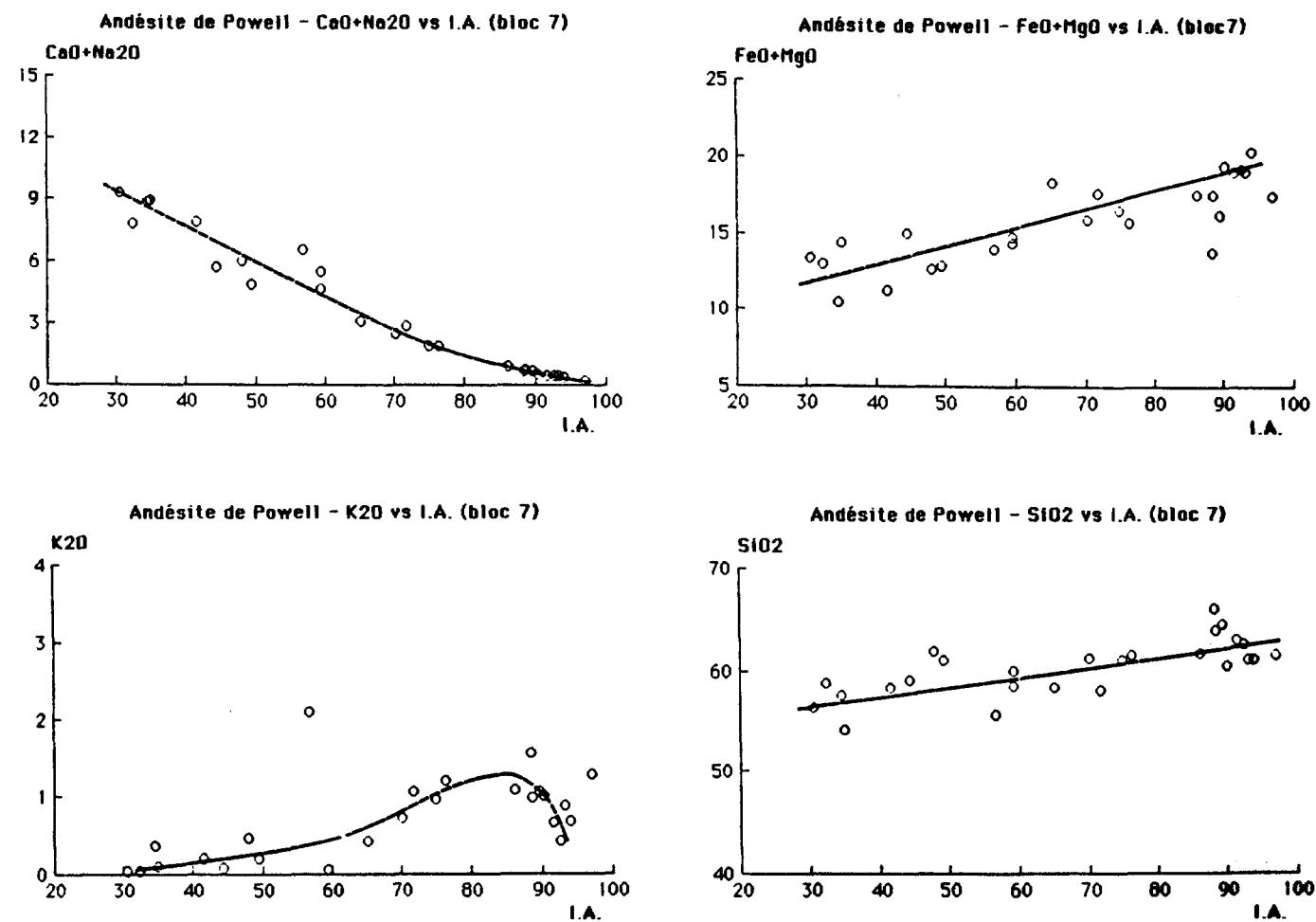


Figure 10: Diagrammes binaires montrant les variations du $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$; du $\text{FeO}+\text{MgO}$; du K_2O ; et du SiO_2 par rapport à l'intensité de l'altération (I.A.) dans la zone #7 de l'andésite de Powell.

comportement du K_2O semble cependant variable lorsque le I.A. se situe autour de 90. Ces changements chimiques se traduisent, respectivement, par une destruction des plagioclases, une chloritisation et une séricitisation accrues, ainsi qu'une silicification de la roche. Bien que la silicification soit difficilement observable en lame mince, elle constitue une altération régionale dans les laves andésitiques et rhyolitiques d'Amulet (Gibson et al. 1983). Ces modifications minéralogiques et chimiques sont observées dans les cheminées d'altération des gisements de sulfures massifs volcanogènes de l'Abitibi (Riverin et Hodgson 1980; Knuckey et Watkins 1982; Knuckey et al. 1982; Gibson et al. 1983; Tanguay et al. 1990).

Le diagramme ternaire AFM (Irvine et Baragar 1971) démontre bien l'évolution géochimique de l'andésite de Powell par rapport au degré d'altération (figure 11). Cette évolution semble se définir selon trois groupes: les andésites peu altérées ($I.A. < 50$); les andésites fortement altérées ($I.A. > 85$); et un groupe à caractère transitionnel ($50 \leq I.A. \leq 85$). Les échantillons peu altérés se positionnent de façon groupée dans le champ calco-alcalin. Ceux à caractère transitionnel se répartissent selon deux tendances opposées, l'une vers le pôle magnésien (MgO) et l'autre vers le pôle ferrifère (ΣFeO), traversant ainsi la limite entre les champs calco-alcalin et tholéïtique. Les échantillons fortement altérés, par contre, se concentrent vers le pôle ΣFeO dans le champ tholéïtique.

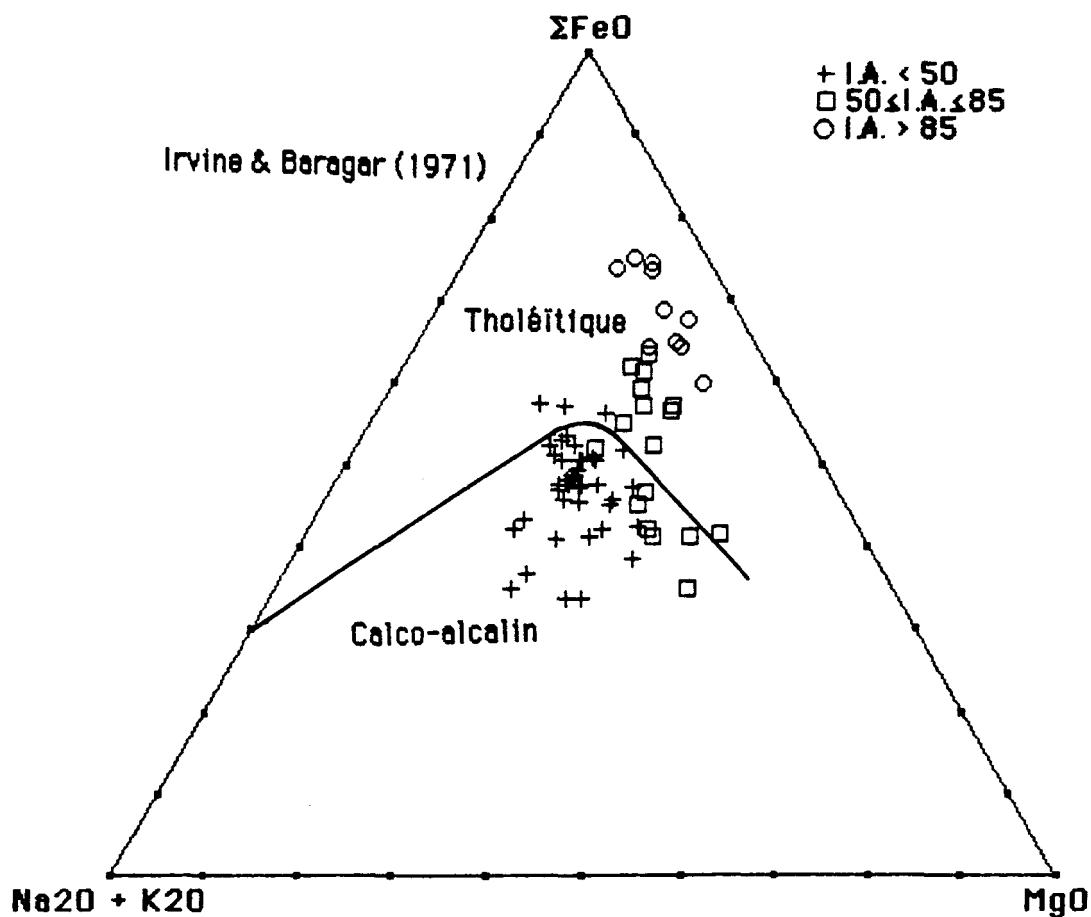


Figure 11: Variations chimiques observées dans le triangle AFM (Irvine et Baragar 1971) en fonction du degré d'altération dans la zone #7 de l'andésite de Powell.

Les échantillons peu altérés ($I.A. < 50$) des andésites de la zone #7 montrent une nette appartenance à la série calco-alcaline, contrairement à ceux des deux autres groupes. Or, il est à noter que les échantillons affichant un $I.A. < 50$ devraient conserver leur position dans la série magmatique à laquelle ils appartiennent et ce, malgré le fait qu'ils ne répondent pas aux critères de roche "fraîche" de Gélinas et al. (1977), puisque leurs éléments montrent peu de mobilité. Les andésites ayant un $I.A. < 50$ peuvent donc être utilisées de façon fiable pour fins de classification de série magmatique dans le diagramme ternaire AFM.

Le groupe transitionnel d'altération ($50 \leq I.A. \leq 85$) se définit selon deux directions opposées sur le diagramme ternaire AFM (figure 11), soit une vers le pôle magnésien et l'autre vers le pôle ferrifère, alors que le groupe fortement altéré ($I.A. > 85$) tend essentiellement vers le pôle ferrifère. Cette évolution géochimique semble compatible avec les observations pétrographiques faites sur les andésites de Powell. En effet, la chlorite ferrifère est observée exclusivement dans les sections très altérées possédant un $I.A. > 85$, alors que la chlorite magnésienne et la chlorite ferro-magnésienne se retrouvent dans les échantillons ayant un $I.A. \leq 85$.

Lors de la spilitisation des laves, le contenu en magnésium augmente et le contenu en fer demeure relativement inchangé (Seyfried et al. 1978), ce qui explique en partie la tendance vers le pôle MgO de certains échantillons à caractère transitionnel ($51 \leq I.A. \leq 85$). Cependant, les échantillons fortement altérés ($I.A. > 85$) et les échantillons

transitionnels ($51 \leq I.A. \leq 85$) orientés vers le pôle ΣFeO seraient liés à un événement hydrothermal minéralisateur, dans lequel on retrouve la chlorite ferrifère associée à la minéralisation sulfurée (planche 4b).

L'augmentation significative du contenu en fer a été observée par Carignan (1979), Knuckey et Watkins (1982), Knuckey et al. (1982), et Tanguay et al. (1990) dans la cheminée d'altération de différents gisements de sulfures massifs de l'Abitibi. A l'annexe 4, il est possible de conscrire la cheminée d'altération de la zone *7 à partir des valeurs de l'I.A. supérieures à 85.

L'andésite de Powell aurait donc pu subir deux événements métasomatiques distincts: une spilitisation et une activité hydrothermale. La spilitisation constitue l'altération de base provoquée par l'eau de mer occasionnant principalement un enrichissement en MgO et des pertes en CaO et Na_2O . Cet échange roche-eau de mer a pour conséquence d'augmenter la quantité de chlorite et d'albitiser les feldspaths dans la roche, tel qu'observé dans les laves mafiques métamorphisées au faciès des schistes verts (Seyfried et al. 1978). L'albitisation des feldspaths serait relative et reliée au lessivage trop important du CaO (Gélinas et al. 1977). Les fluides hydrothermaux minéralisateurs auraient, de leurs côtés, percolé le long d'un conduit, l'enrichissant ainsi en FeO et K_2O , ce qui explique les auréoles de chlorite ferrifère et de séricite autour de la minéralisation en sulfures (planche 4b) dans la cheminée d'altération de la zone *7.

4.3.2. Comparaison avec les gisements Cu-Zn avoisinants.

Plusieurs études de caractéristiques géochimiques ont été effectuées sur les cheminées d'altération des gisements de sulfures massifs Cu-Zn du CYC, notamment ceux de Corbet et de Millenbach. Le premier est localisé à l'intérieur de l'andésite de Flavrian, près du contact avec la rhyolite de Northwest. Le deuxième se trouve à l'intérieur d'un dôme de rhyolite porphyrique à phénocrystaux de quartz et feldspath, entre la rhyolite d'Amulet et l'andésite d'Amulet (andésite de Millenbach). Les deux gisements font partie du troisième cycle de volcanisme du CYC.

Le tétraèdre F-C-A-K (Riverin et Hodgson 1980), illustré à la figure 12, démontre les variations géochimiques observées entre les roches fraîches et celles provenant de la cheminée d'altération de la zone #7, dans l'andésite de Powell (présente étude), et des gisements de Millenbach (Riverin et Hodgson 1980) et de Corbet (Knuckey et Watkins 1982). Dans le cas des trois cheminées d'altération, il est possible de constater une orientation générale vers le pôle FeO+MgO (chlorite) et un éloignement du pôle CaO+Na₂O (lessivage des plagioclases).

Sur le triangle C-K-F du tétraèdre, le K₂O (séricite) montre une abondance variable près du pôle FeO+MgO, là où l'altération est à son maximum. La même tendance est observée à la figure 10. De son côté, le triangle K-A-C montre une orientation vers le pôle Al₂O₃, qui demeure relativement immobile durant le métasomatisme, et illustre un

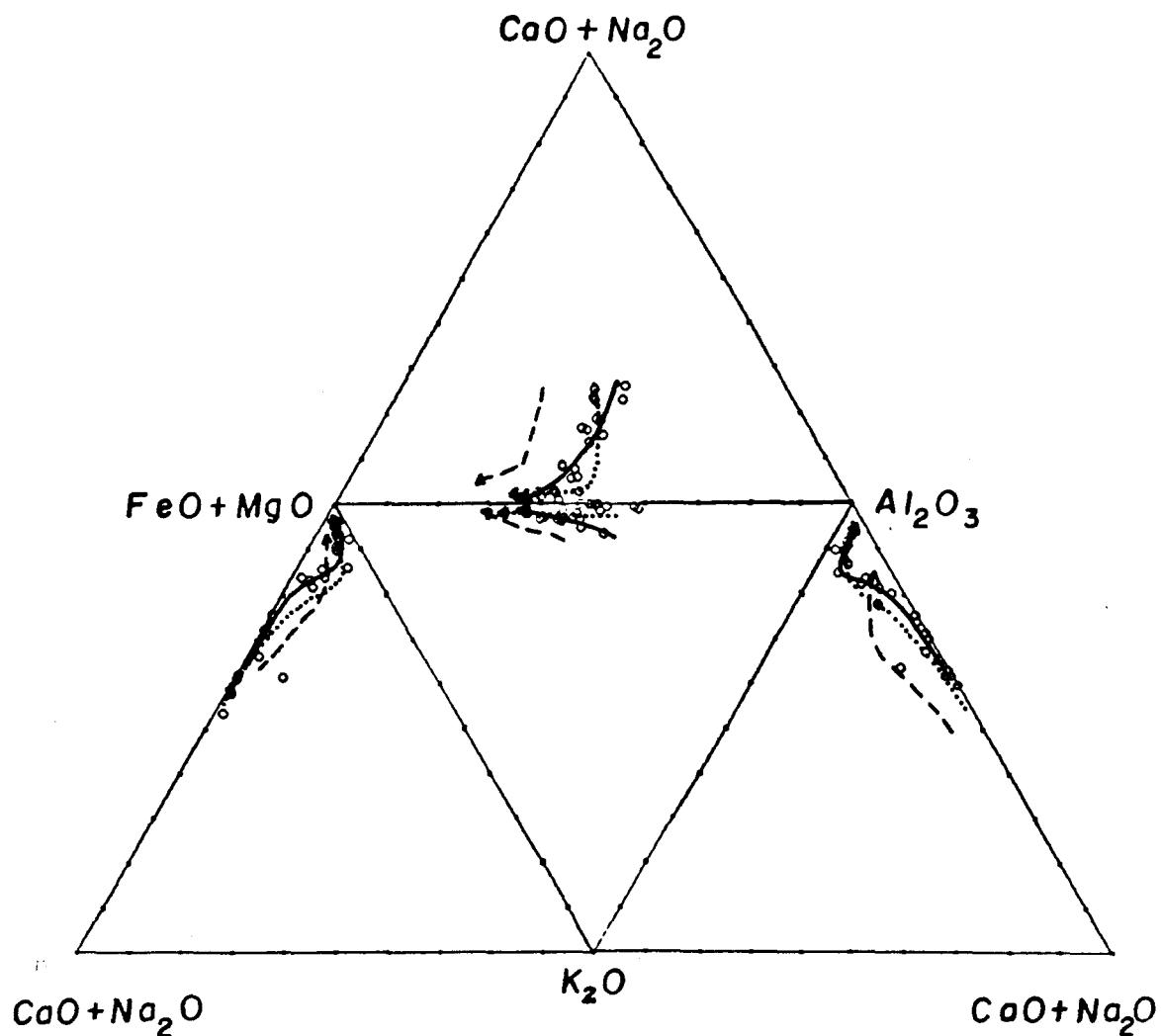


Figure 12: Tétraèdre de Riverin et Hodgson (1980) présentant les variations chimiques à l'intérieur de la cheminée d'altération:
 a) du gisement de Millenbach (Riverin et Hodgson 1980) en ligne tiretée; b) du gisement de Corbet (Knuckey et Watkins 1982) en ligne pointillée; et c) de la zone #7 dans l'andésite de Powell en ligne pleine.

comportement du K₂O similaire à celui du triangle C-K-F. Les similitudes observées entre les patrons d'altération de la cheminée de la zone #7, dans l'andésite de Powell, et ceux des gisements de Millenbach et de Corbet suggèrent fortement que ces derniers ont été générées par des processus hydrothermaux semblables (Knuckey et Watkins 1982). La cheminée d'altération affleurante de la zone #7 peut donc faire partie d'un réseau de conduits hydrothermaux propice à la minéralisation en métaux de base de type Cu-Zn volcanogène.

4.3. Classification des volcanites

4.3.1. Éléments majeurs

La nomenclature des roches effusives est habituellement basée sur la teneur en silice. Les andésites contiennent entre 54 et 62% de SiO₂, tandis que les rhyolites en contiennent plus de 71% (Gélinas 1977). Certains échantillons d'andésite silicifiée montrent des valeurs allant jusqu'à 70% de SiO₂ (annexe 1). Ces échantillons d'andésite silicifiée possèdent des teneurs en TiO₂ généralement trop élevées (TiO₂ > 0.7%) pour être confondues avec des rhyolites (TiO₂ < 0.7%; annexe 1). De plus, les critères de terrain leur confèrent une appartenance andésitique avec des structures et des textures typiques telles que coulée de coussins, surface d'altération de couleur chamois, etc. Étant donné la légère mobilité du SiO₂ durant l'altération, le Zr, qui est complètement immobile, sera utilisé

parallèlement comme critère de différenciation des volcanites. A la figure 13, les andésites se distinguent nettement des rhyolites et du tuf (LMH), ces derniers occupent une position intermédiaire.

4.3.2. Éléments traces

Les roches de la partie ouest du bloc de Powell font partie de l'unité calco-alcaline de Dufault, tel que défini par Gélinas et al. (1977). La classification en séries magmatiques a été établie par ces derniers à partir d'analyses de roches fraîches reportées sur un diagramme AFM (Irvine et Baragar 1971). De leur côté, Ujike et Goodwin (1987) ont démontré que les roches calco-alcalines du CVC expriment un rapport La/Yb normalisé supérieur ou égal à 2.2 ($[La/Yb]_n \geq 2.2$) et que celles d'affinité tholéïtique ont un $[La/Yb]_n < 2.2$. Puisqu'il est connu que les ETR demeurent relativement immobiles face aux processus d'altération chimique modérée (Ludden et al. 1982; Lesher et al. 1986), le rapport $[La/Yb]_n$ peut donc représenter un mode de classification appréciable.

Dans le tableau 1, on constate que les andésites de la partie ouest du bloc de Powell exhibent approximativement les mêmes rapports en éléments traces immobiles que ceux des unités andésitiques calco-alcalines du GBR (tableau 2), mis à part le rapport La/Yb. On note que les rapports d'éléments traces sont passablement différents d'une unité à l'autre. L'unité calco-alcaline de Dufault est évidemment celle qui montre le plus de similitude avec les laves du bloc de Powell. Selon Ludden et al. (1982), les rapports Zr/Y et Zr/Ti seraient plus immobiles

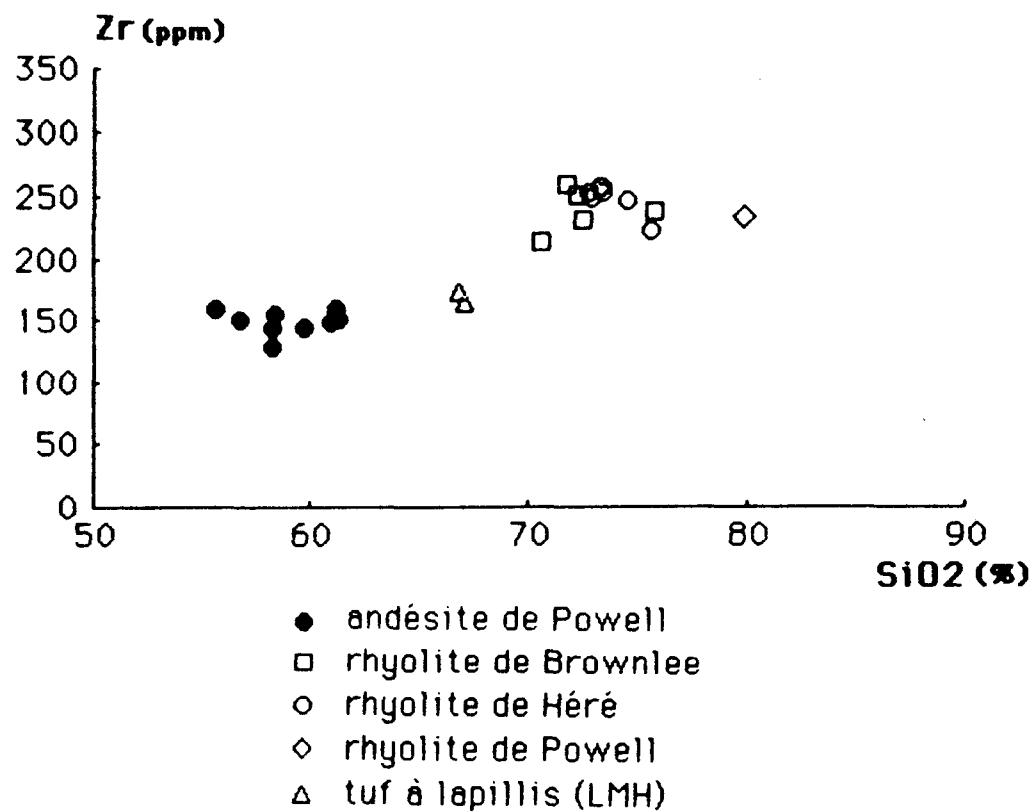


Figure 13: Diagramme binaire Zr-SiO₂ délimitant les différentes volcanites de la partie ouest du bloc de Powell.

n Formation	9 Andésite Powell	5 Rhyolite Brownlee	7 Rhyolite Héré
Zr/Y	5.20-6.55 (6.05)*	3.53-6.39 (5.35)	5.04-7.10 (6.04)
Y/Nb	1.47-2.31 (2.03)	1.64-3.19 (2.30)	2.38-4.64 (3.27)
Tl/Zr	34.6-60.4 (47.8)	10.7-14.6 (12.4)	10.6-13.5 (11.6)
La/Sm	3.02-3.69 (3.21)	2.63-3.48 (3.13)	3.15-3.56 (3.35)
La/Yb	4.25-6.56 (5.09)	3.39-3.92 (3.58)	3.85-5.38 (4.42)
Tl/Y	226-395 (288)	48-74 (65)	56-85 (70)
[La/Yb]n	2.59-4.33 (3.35)	2.24-2.59 (2.36)	2.55-3.08 (2.92)

n Formation	1 Rhyolite Powell	2 "Lower Marker Horizon"
Zr/Y	4.91	4.53-4.66 (4.59)
Y/Nb	3.92	2.92
Tl/Zr	9.3	27.2
La/Sm	2.83	2.65-2.80 (2.73)
La/Yb	2.73	3.24-3.92 (3.58)
Tl/Y	46	123-127 (125)
[La/Yb]n	1.80	2.14-2.59 (2.36)

Tableau 1: Rapports de quelques éléments traces des volcanites de la partie ouest du bloc de Powell.*Les valeurs moyennes sont entre parenthèses.

**Quelques rapports d'éléments traces des laves mafiques
calco-alcalines du Groupe de Blake River.**

Unités calco-alcalines	Rb/Sr	Zr/Y	Y/Nb	La/Sm	La/Yb	Ti/Zr	Ti/Y
Renault	0.06–0.19 (0.12)	4.7–6.7 (5.5)	2.5–3.8 (3.2)	3.7–4.4 (4.0)	5.4– 7.4 (6.6)	44– 64 (54)	259–318 (294)
Clérivy	0.08–0.14 (0.11)	3.9–4.2 (4.0)	4.6–5.2 (4.9)	2.5–2.8 (2.6)	3.9– 4.6 (4.2)	71– 72 (71)	279–300 (289)
Dufault	0.05–0.18 (0.12)	4.6–6.8 (5.6)	1.8–2.9 (2.3)	2.9–4.1 (3.4)	5.5–18.8 (9.7)	35– 66 (52)	230–343 (277)
Duprat-Montbray*	0.02–0.34 (0.05)	2.5–6.7 (3.7)	2.1–4.4 (3.6)	2.4–3.3 (2.6)	2.6– 3.6 (3.2)	60–156 (96)	196–498 (334)
Moyenne	0.12	5.4	3.0	3.5	8.4	54	283

Rhyolites	
Zr/Y	1.8–6.5 (4.3)
Y/Nb	2.3–5.3 (3.8)
Ti/Zr	5–23 (15)
La/Sm	2.4–5.6 (3.5)
La/Yb	2.0–5.9 (3.8)

Tableau 2: Rapports de quelques éléments traces des roches effusives mafiques des différentes unités calco-alcalines (Gélinas et al. 1984) et des rhyolites (Paradis et al. 1988) du Groupe de Blake River.

que les ETR à la forte altération, ce qui pourrait expliquer la légère variation du rapport La/Yb. Les rhyolites de Brownlee et de Héré montrent plutôt des différences dans les rapports impliquant le titane (Ti/Zr, Ti/Y). Ceci est dû au contenu variable du titane dans les rhyolites (annexe 1). De plus, on remarque une grande variation des rapports entre la plus petite et la plus grande valeur dans les rhyolites du GBR ($Ti/Zr = 5-23$; $Ti/Y = 26-51$) (tableau 2).

A l'exception de la rhyolite de Powell et du tuf à lapillis (LMH), toutes les roches volcaniques de la zone d'étude montrent un $[La/Yb] \geq 2.2$ définissant ainsi une affinité générale calco-alcaline du secteur (tableau 1). Les andésites de la Formation de Powell et les rhyolites des formations de Brownlee et de Héré montrent, de façon globale, des patrons de ETR modérément fractionnés ($[La/Yb]_n = 2.24 - 4.33$; figures 14a, 15a, et 16a) avec un enrichissement en ETR légères, ce qui est caractéristique des suites calco-alcalines du Blake River (Fowler et Jensen 1989).

L'abondance en ETR dans les andésites est de 35 à 50 fois chondrite avec une légère anomalie négative en europium (Eu/Eu^*) allant jusqu'à 0.6 dans certains échantillons (figure 14a). Le diagramme multi-éléments de Thompson (1982) illustre une forte anomalie négative en Sr et des anomalies variables en Rb et Ba, ce qui peut être attribuable à la grande mobilité des LILE (figure 14b). L'anomalie négative en Sr peut cependant être causée par la cristallisation du plagioclase dans la chambre magmatique. De légères anomalies négatives en Ta et en Ti sont également observées dans l'andésite.

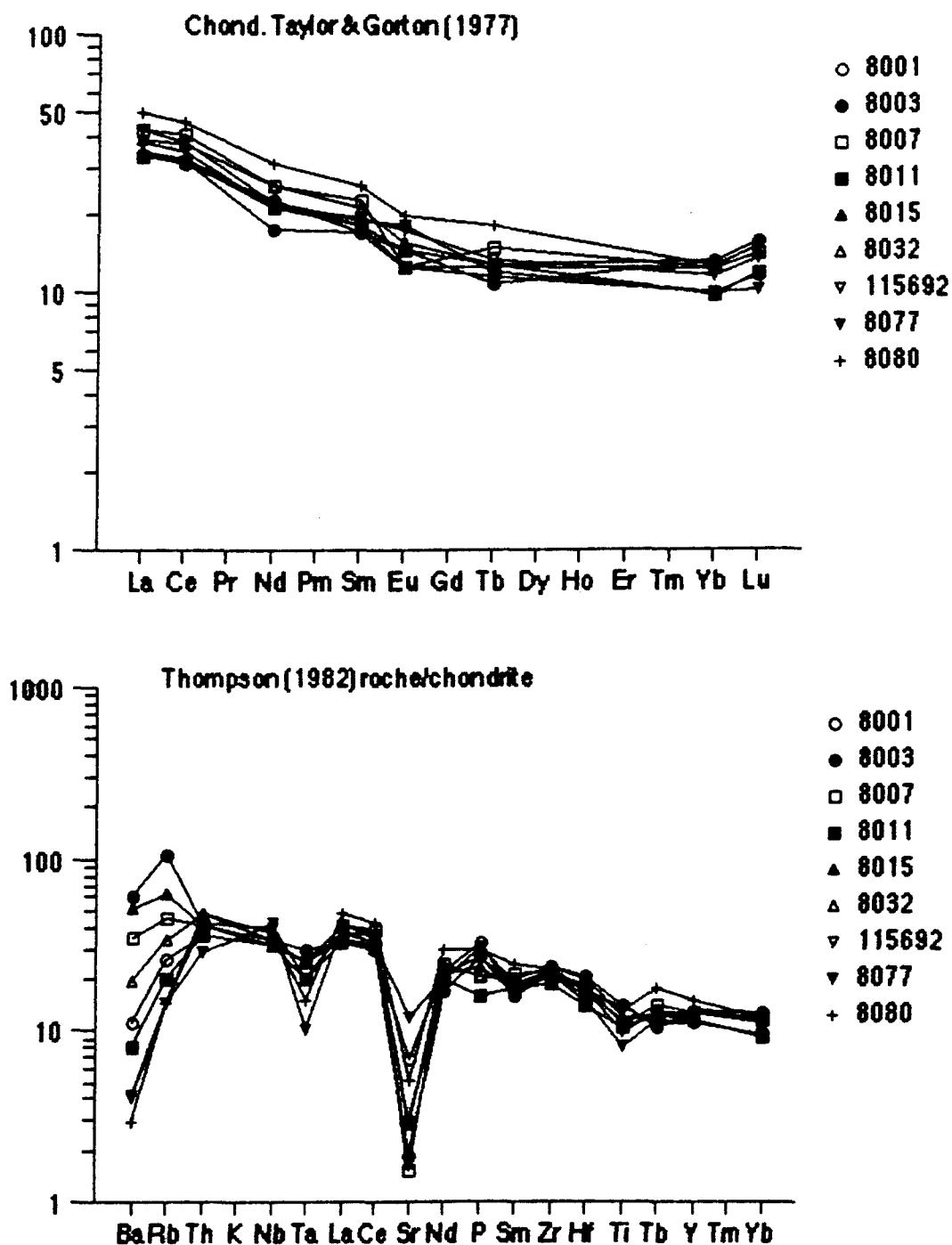


Figure 14: a) Petrons de ETR normalisés à chondrite (Taylor et Gorton 1977) et b) Petrons multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) pour l'endésite de Powell.

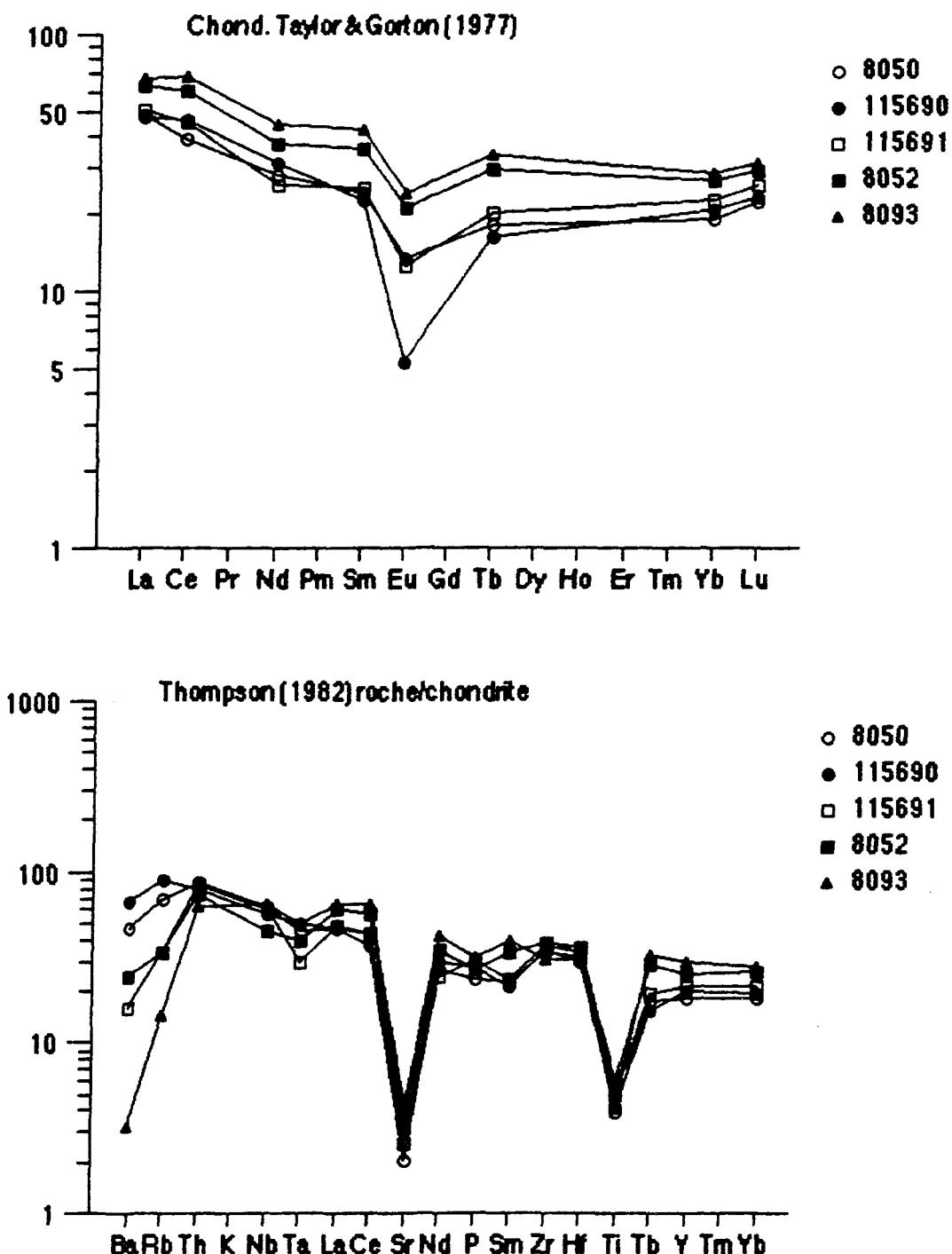


Figure 15: a) Patrons de ETR normalisés à chondrite (Taylor et Gorton 1977) et b) Patrons multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) pour la rhyolite de Brownlee.

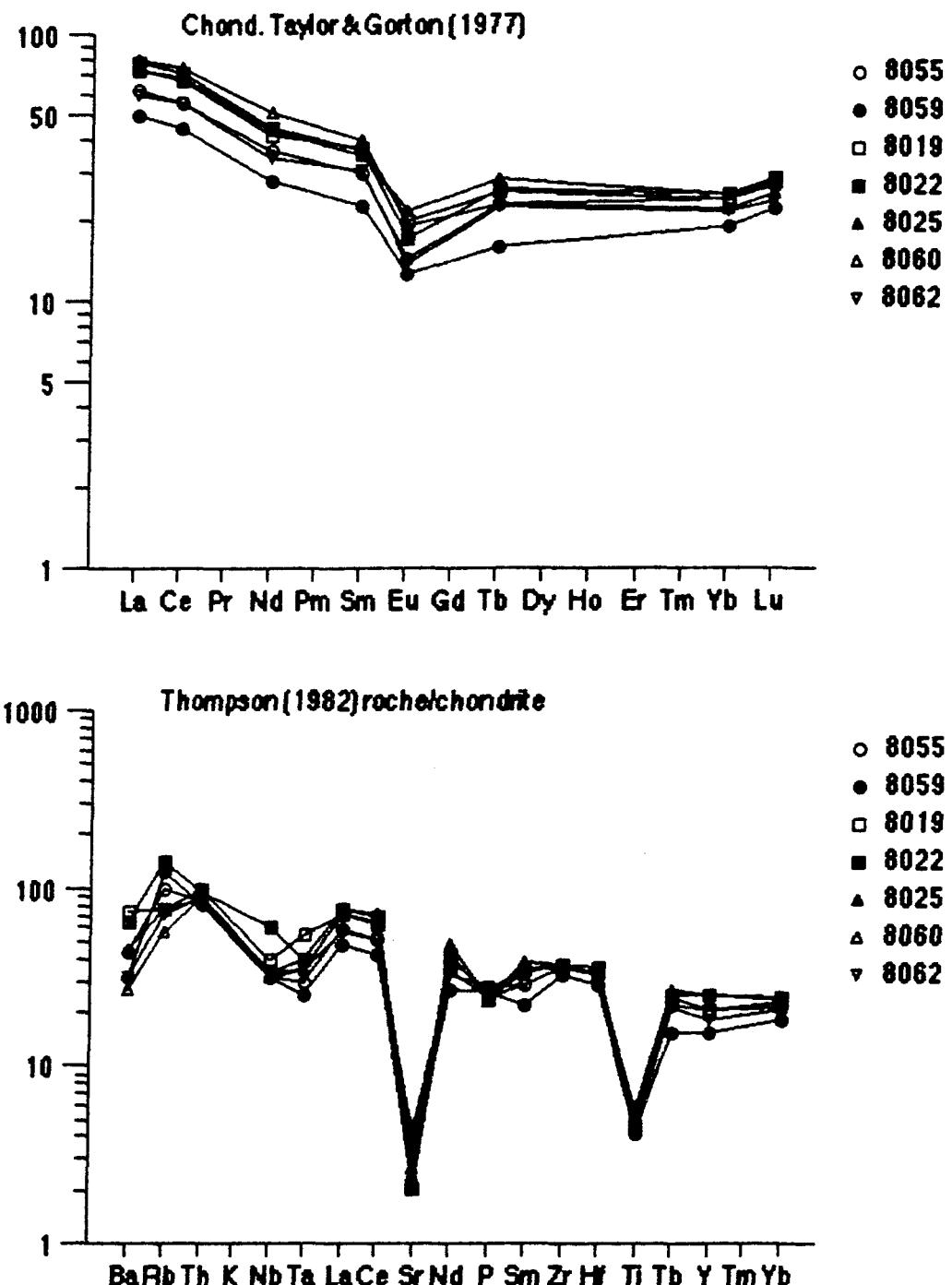


Figure 16: a) Petrons de ETR normalisés à chondrite (Taylor et Gorton 1977) et b) Petrons multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) pour la rhyolite de Héré.

Les rhyolites de Brownlee et de Héré sont respectivement enrichies en ETR de 50 à 70 et de 50 à 80 fois chondrite avec des anomalies négatives moyennes en europium révélant un Eu/Eu* moyen de 0.55 (figures 15a et 16a). Un seul spécimen dans la rhyolite de Brownlee exhibe une anomalie négative en europium plus importante avec un Eu/Eu* de 0.25. Des anomalies négatives plus marquées en Sr et Ti sont également observées sur les patrons multi-éléments (figures 15b et 16b). Le Rb et le Ba montrent un comportement variable dans les deux formations rhyolitiques, tandis que la rhyolite de Brownlee expose des anomalies en Nb et Ta plus marquées par rapport à la rhyolite de Héré.

La rhyolite de Powell est nettement d'affinité tholeïtique avec un fractionnement moindre de ses ETR ($[La/Yb]_n = 1.80$) par rapport aux unités calco-alcalines (figure 17a). L'abondance en ETR de la rhyolite de Powell est d'environ 45 fois chondrite avec une forte anomalie négative de l'europium ($Eu/Eu^* = 0.29$). Une légère anomalie positive en Th, Zr et Hf est détectable sur le patron multi-éléments (figure 17b). Ces éléments sont probablement enrichis dans les phénocristaux de quartz contenus dans la rhyolite.

L'unité de tuf à lapillis (LMH) montre une différence de fractionnement de ses ETR par des rapports La/Yb normalisés de 2.14 et de 2.59 avec une anomalie négative moyenne de l'europium (Eu/Eu^*) de 0.46 (figure 17a; annexe 2). L'échantillon le plus fractionné ($[La/Yb]_n = 2.59$) est plus enrichi en lanthanides (La, Ce) par rapport à l'autre, lui conférant ainsi une affinité calco-alcaline. Le caractère hétérogène des roches

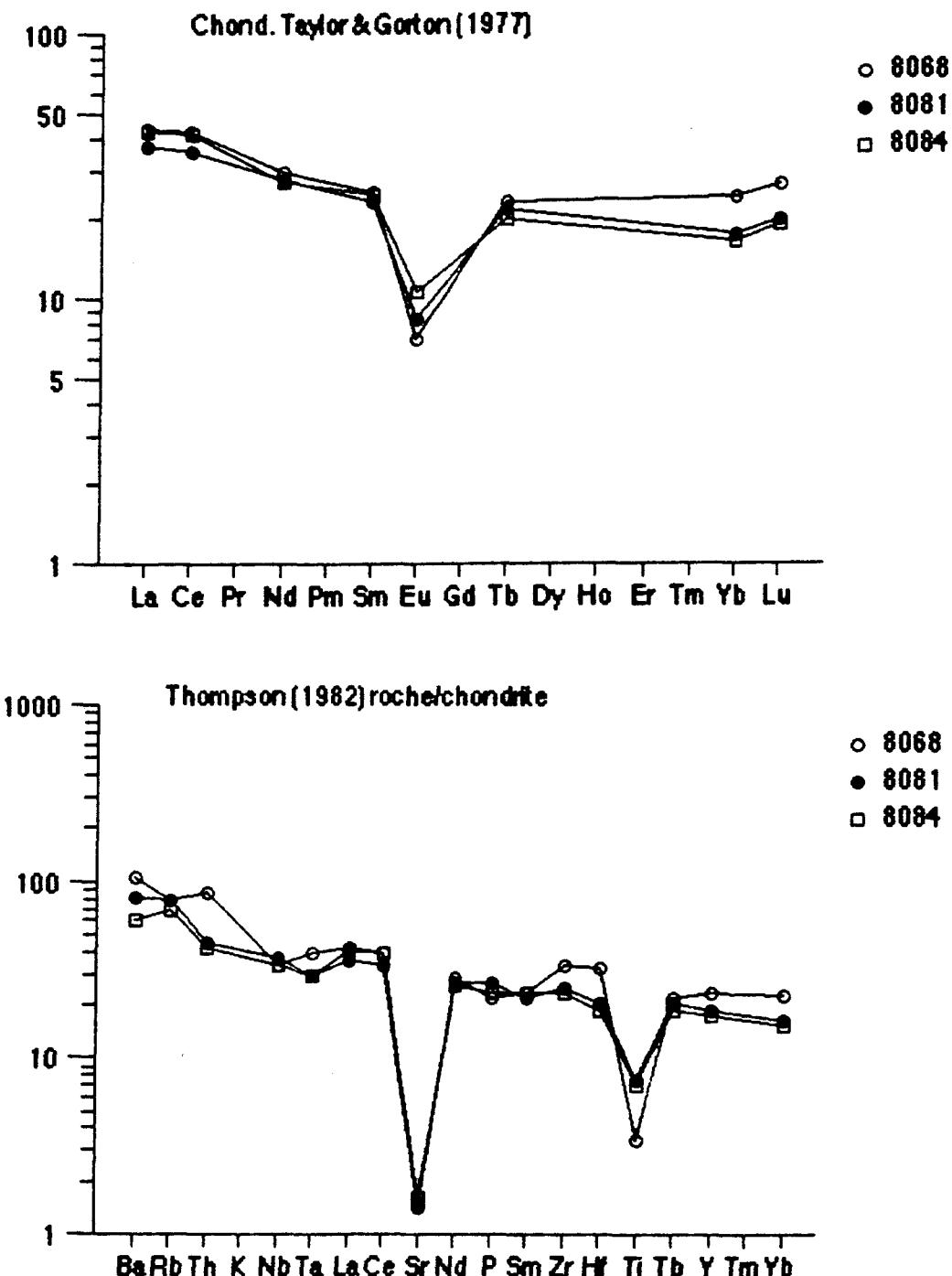


Figure 17: a) Patrons de ETR normalisés à chondrite (Taylor et Gorton 1977) et b) Patrons multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) pour la rhyolite ○ et le "Lower Marker Horizon" ● □.

tuffacées peut toutefois fausser la détermination de la série magmatique. Il est à noter que le rapport $[La/Yb]_{\text{N}}$ de l'échantillon #8081 se situe très près de la limite de 2.2. Le LMH devrait donc être considéré comme étant d'affinité calco-alcaline. Sur le diagramme multi-éléments le LMH exhibe des patrons semblables à ceux des rhyolites avec des anomalies négatives en Sr et Ti (figure 17 b).

5. ORIGINE DES VOLCANITES DE LA PARTIE OUEST DU BLOC DE POWELL

Il a été démontré par Goldie (1979) que le pluton de Flavrian et le stock de Powell sont géochimiquement similaires et semblent faire partie de la même suite intrusive. Le pluton syntectonique de Flavrian est, par ailleurs, considéré comme étant comagmatique avec les roches effusives du GBR (Goldie 1978, 1979; Mortensen 1987; Paradis et al. 1988). En effet, les roches trondhjémítiques et gabbroïques du pluton de Flavrian révèlent respectivement une géochimie identique à celle des rhyolites et des andésites moyennes du GBR (Paradis et al. 1988). Les mêmes relations géochimiques sont observées, dans la présente étude, entre la trondhjémite de Powell et les rhyolites de Brownlee et de Héré dans le bloc de Powell.

5.1. Magmatisme calco-alcalin

Les roches trondhjémítiques du stock de Powell affichent, comme les rhyolites de Brownlee et de Héré, une affinité calco-alcaline ($[La/Yb]_N \geq 2.2$). Les patrons de ETR de la trondhjémite de Powell, illustrés à la figure 18, montrent une abondance en ETR d'environ 55 fois chondrite avec des anomalies négatives en europium (Eu/Eu^*) variant entre 0.55 et 0.50. On remarque d'ailleurs que les patrons de ETR de la trondhjémite et des rhyolites sont très similaires (figure 19) de par leur pente et leur anomalie négative en Eu.

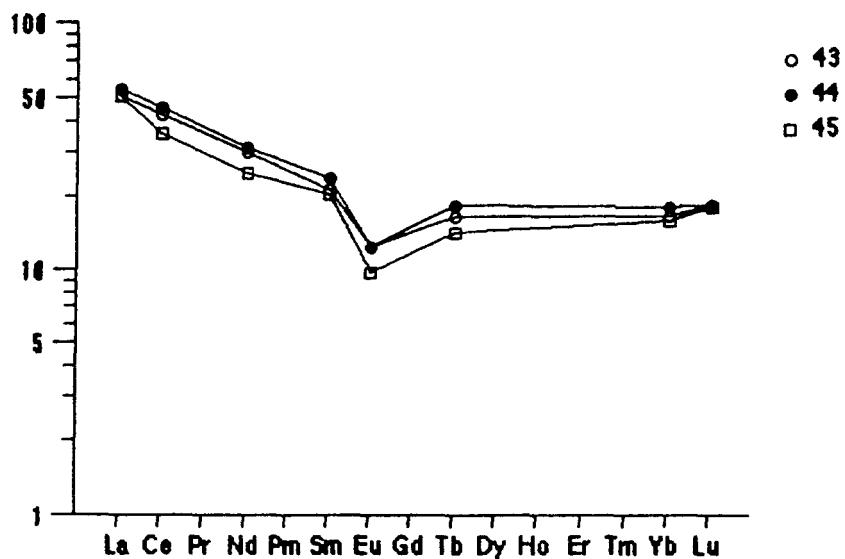


Figure 18: Patrons de ETR normalisés à chondrite (Taylor et Gorton 1977) pour la trondhjemite de Powell.

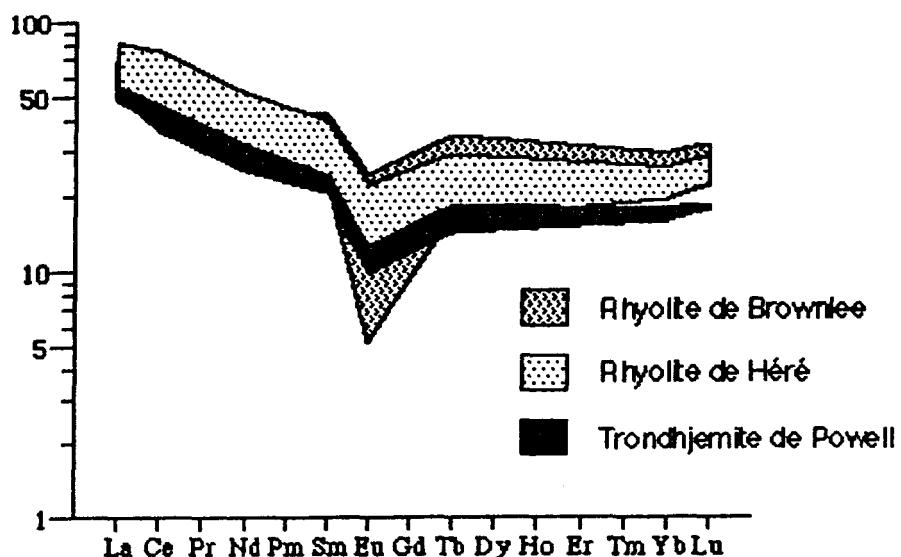


Figure 19: Patrons de ETR normalisées à chondrite (Taylor et Gorton 1977) montrant des profils similaires entre les rhyolites de Brownlee et de Héré, et la trondhjemite de Powell.

Sur le diagramme multi-éléments de Thompson (1982), on observe également une grande similitude tant au niveau de l'enveloppe des patrons multi-éléments des rhyolites et de la trondhjemite (figure 20). En effet, ces dernières sont caractérisées par les mêmes anomalies négatives en Ba, Rb, Sr et en Ti, Nb, Ta (TNT), mis à part le P. Le Ba et le Rb, souvent substitués pour le K, sont cependant considérés comme étant très mobiles. La plupart des rapports en éléments traces des rhyolites chevauchent ceux de la trondhjemite de Powell (tableau 3), notamment le rapport Zr/Y qui est considéré comme étant le plus immobile. Les diagrammes binaires Y/Yb et Zr/Yb démontrent également, par leurs variations linéaires (figures 21a et 21b), des rapports constants suggérant ainsi un caractère cogénétique entre les laves et le pluton dans le bloc de Powell. Les observations de terrain suggéraient également que les andésites de la Formation de Powell provenaient d'un centre extrusif situé à l'ouest pour la zone #5 (Lichtblau 1989; L'Heureux 1990) et à l'est pour la zone #7 (Gaudreault 1991), soit dans la région du stock de Powell le long de la faille Anglo. Ce centre extrusif devait générer des laves d'affinité calco-alcaline. L'unité calco-alcaline de tuf à lapillis (LMH) située dans la zone #5 proviendrait, selon Lichtblau (1989), d'une autre région source localisée à l'est près de la brèche de Quémont #1 (annexe 2).

Dans l'hypothèse d'un lien cogénétique entre les laves de la partie ouest du bloc de Powell et le stock trondhjemémitique de Powell, il est plausible d'associer géochimiquement les laves du bloc de Powell avec celles du bloc de Flavrian, puisque les plutons de Powell et de Flavrian sont connus comme faisant partie de la même suite intrusive (Goldie

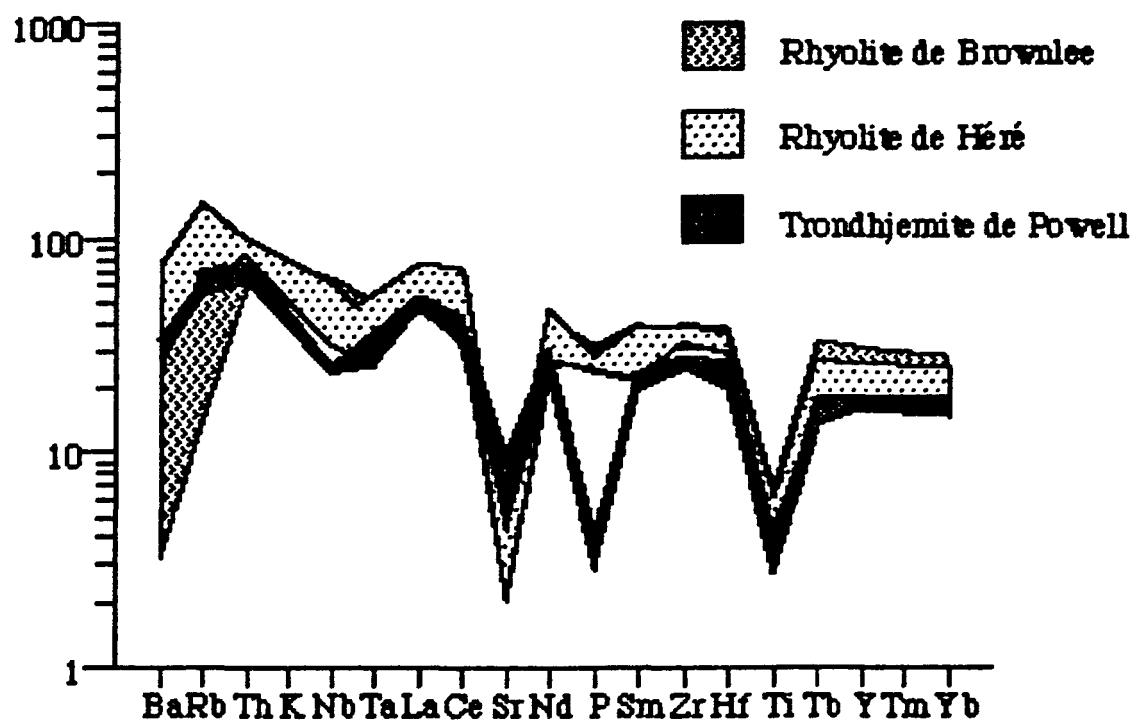


Figure 20: Diagramme multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) présentant des profils similaires entre les rhyolites de Brownlee et de Héré, et la trondhjemite de Powell.

n No. échantillon	5 Formation	Rhyolite Brownlee	7 Rhyolite Héré	3 151a, 915-2, 915-4 Rhyolite Amulet *	1 259 Rhyolite * Northwest	1 915-1 Rhyolite * Waite	3 43, 44, 45 Trondhjemite * Powell
Zr/Y	3.53-6.39 (5.35)	5.04-7.10 (6.04)	4.61-6.25 (5.55)	4.69	5.48	5.31-5.59 (5.44)	
Y/Nb	1.64-3.19 (2.30)	2.38-4.64 (3.27)		5.82		4.00-4.38 (4.21)	
Ti/Zr	10.7-14.6 (12.4)	10.6-13.5 (11.6)	5.4-12.6 (8.2)	5.8	6.9	8.8-9.9 (9.5)	
La/Sr	2.63-3.48 (3.13)	3.15-3.56 (3.35)	2.53-2.91 (2.77)	2.53	2.28	3.70-4.10 (3.90)	
La/Yb	3.39-3.92 (3.58)	3.85-5.38 (4.42)	3.27-4.59 (3.80)	3.04	2.32	4.59-4.85 (4.72)	
Ti/Y	48-74 (65)	56-85 (70)	30-79 (47)	27	38	48-55 (52)	
[La/Yb]n	2.24-2.59 (2.36)	2.55-3.08 (2.92)	1.61-2.33 (2.51)	2.01	1.53	3.03-3.20 (3.11)	

* Valeurs minimum, maximum et moyennes présentées. Données provenant de Ujike et Goodwin (1987), Camiré et Watkinson (1990) et Gaulin (1992).

Tableau 3: Rapports de quelques éléments traces de la trondhjemite de Powell et des rhyolites appartenant au troisième cycle de volcanisme dans le Complexe Volcanique Central. Les valeurs moyennes sont entre parenthèses.

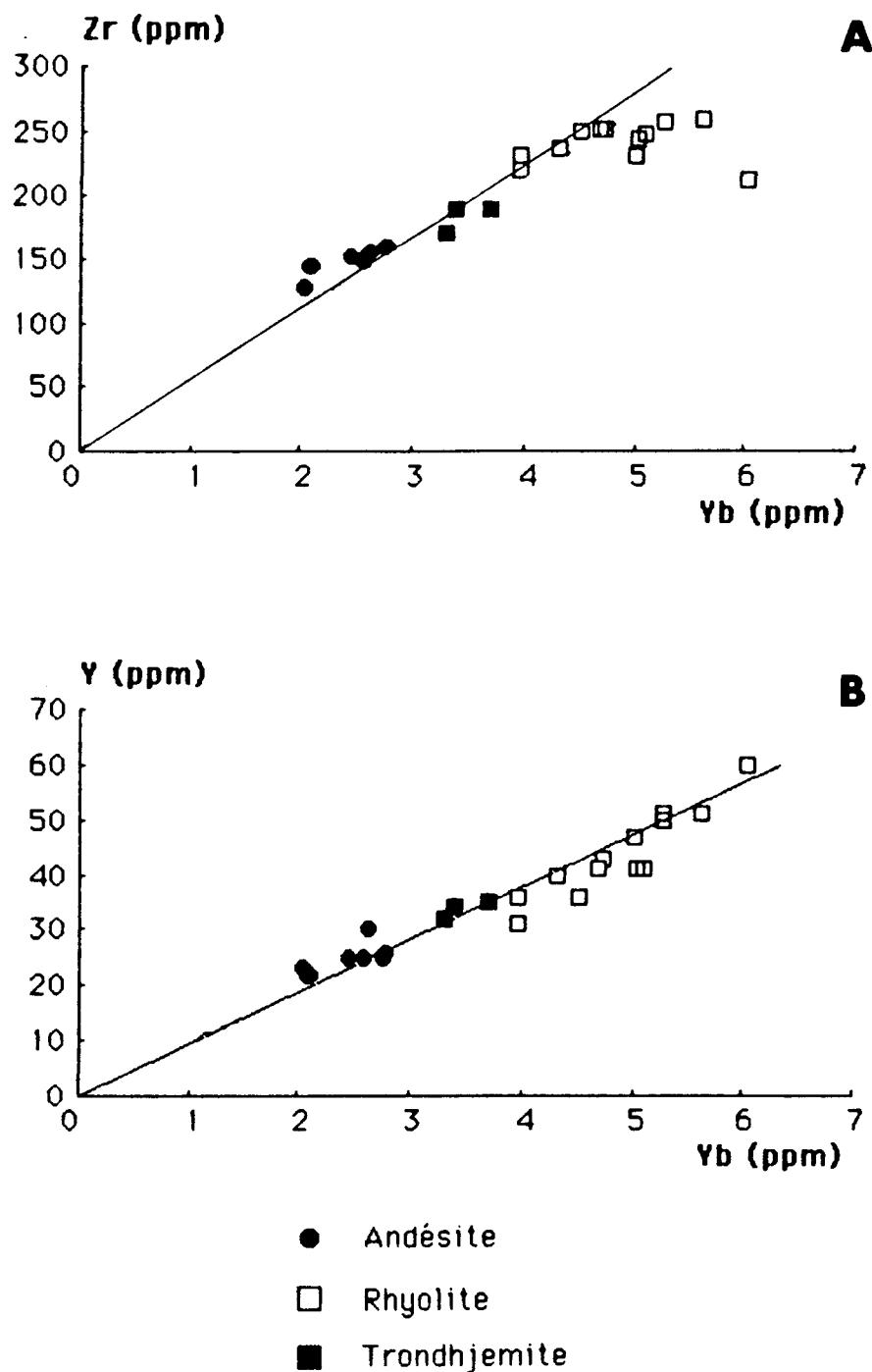


Figure 21: Diagrammes binaires a) Zr vs Yb et b) Y vs Yb démontrant, par leurs variations linéaires, des rapports constants entre les laves calco-alcalines du bloc de Powell et le pluton de Powell. La variation linéaire suggère un lien comagmatique des deux parties.

1979). La démonstration d'un lien comagmatique possible entre le pluton et les laves, dans le bloc de Flavrian (Paradis et al. 1988) d'une part et dans le bloc de Powell (présente étude) d'autre part, peut donc permettre de faire des essais de corrélation stratigraphique entre les formations volcaniques de ces deux blocs, et ce, de part et d'autre de la faille Beauchastel.

5.2. Magmatisme tholéïtique

Les volcanites d'affinité tholéïtique sont représentées, sur le terrain d'étude, par le membre rhyolitique de Powell. La rhyolite de Powell montre un caractère magmatique nettement tholéïtique avec des rapports $[La/Yb]_n=1.80$.

Contrairement aux laves calco-alcalines qui sembleraient provenir d'un centre extrusif situé à l'ouest, les volcanites tholéïtiques du terrain d'étude proviendraient d'un autre centre extrusif situé au sud-est. Selon les travaux de Lichtbleu (1989), le membre rhyolitique de Powell proviendrait du centre extrusif rhyolitique de Powell, localisé au sud-est dans la zone *1 (**annexe 2**). Une reconstruction de la stratigraphie volcanique du secteur, exécutée par Lichtbleu et Dimroth (1980), est illustrée à la figure 22.

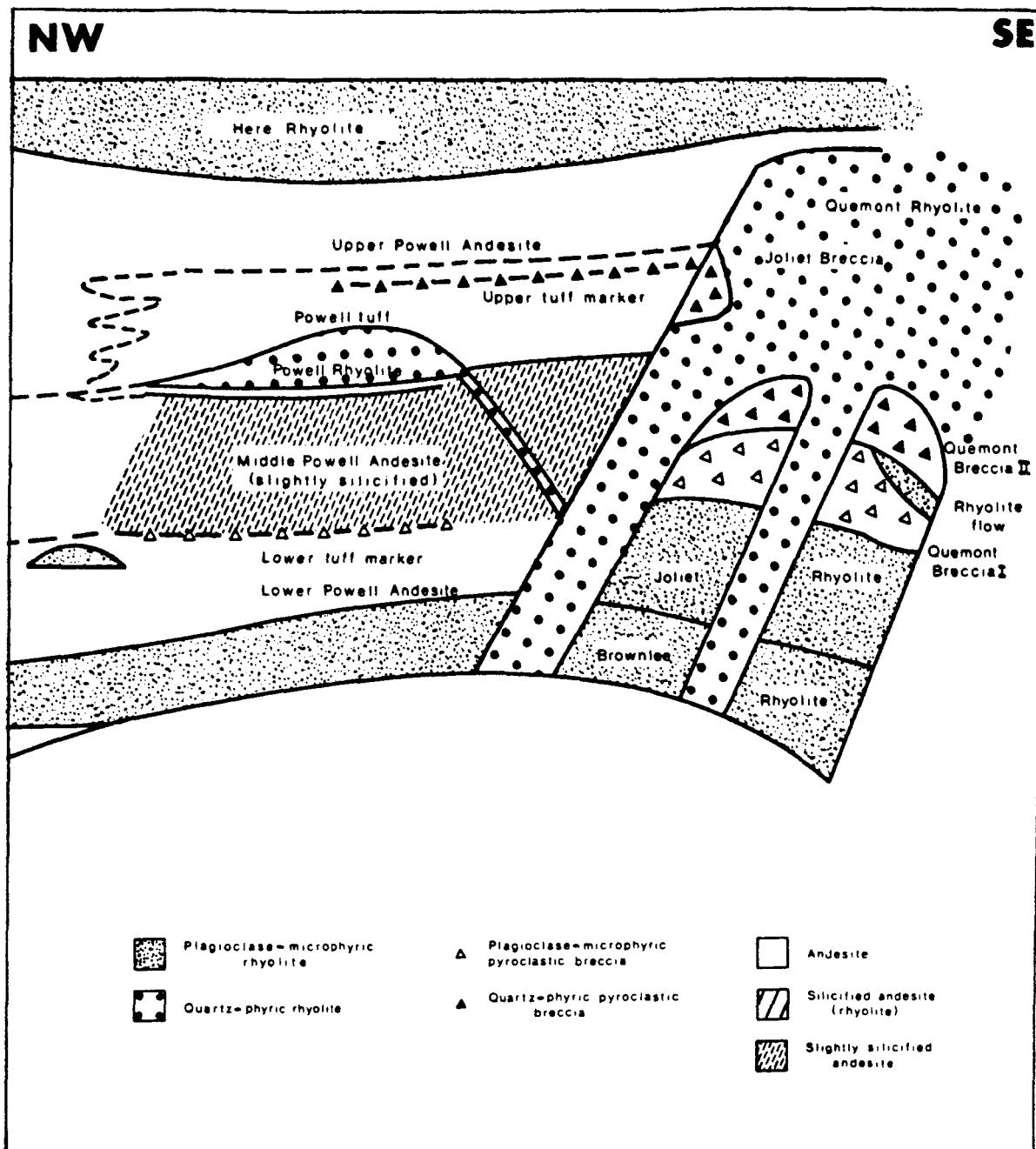


Figure 22: Coupe stratigraphique NW-SE de l'empilement volcanique de la partie ouest du bloc de Powell (modifié de Lichtblau et Dimroth 1980).

5.3. Commentaires sur l'implication géotectonique

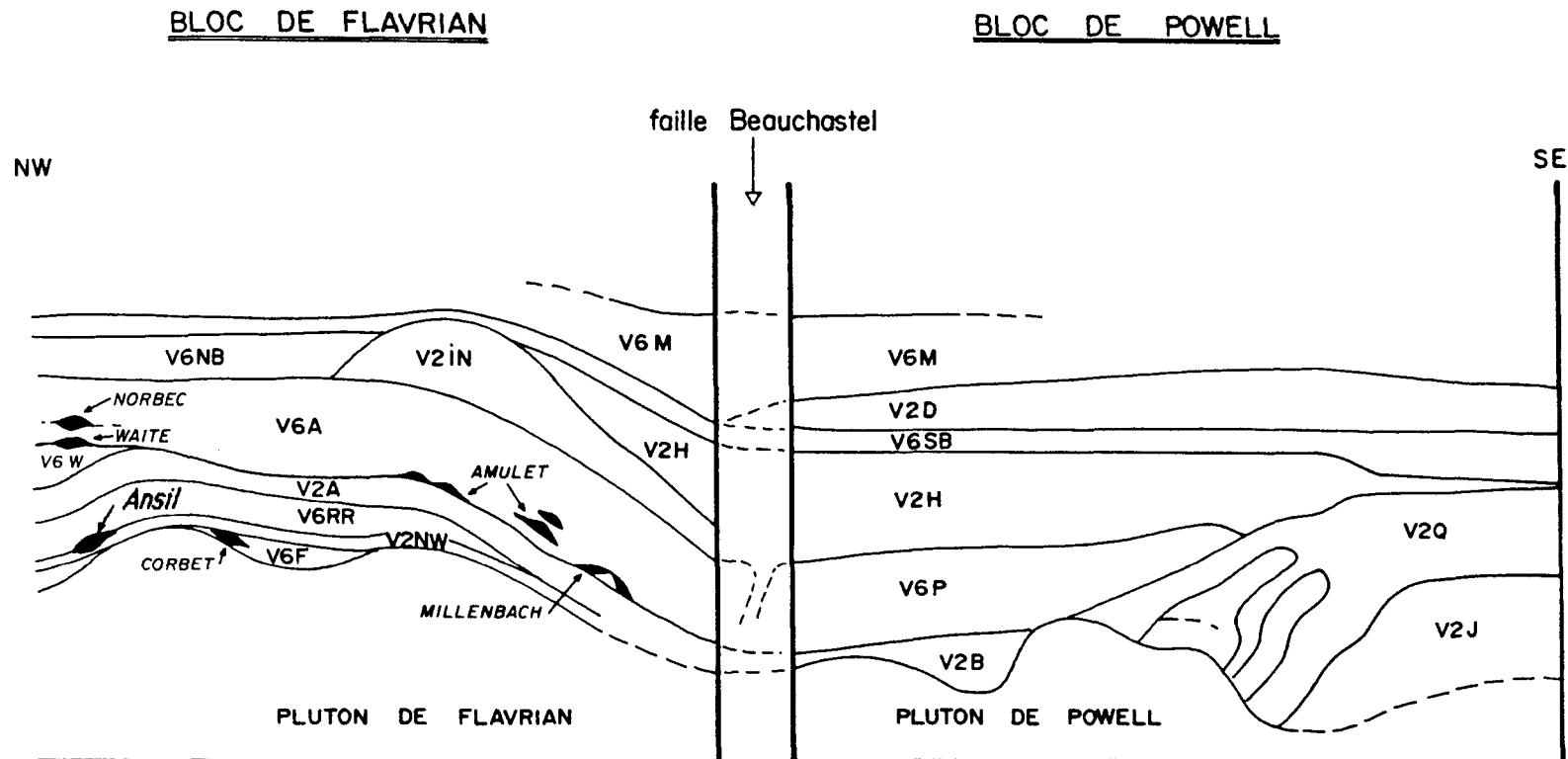
Bien que le but de ce travail ne soit pas spécifiquement axé sur une étude de la pétrogenèse et de l'environnement géotectonique du CVC, il est intéressant de noter que les diagrammes multi-éléments utilisés ci-haut peuvent fournir des informations autres que comparatives. Le modèle géotectonique d'arc insulaire, proposé par Dimroth et al. (1982; 1983a; 1983b) pour expliquer le développement de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, semble s'harmoniser avec les caractéristiques géochimiques observées dans les volcanites de la partie ouest du bloc de Powell.

Les rhyolites et la trondhjemite du bloc de Powell exhibent de fortes anomalies négatives en Eu et Sr avec des valeurs de Eu/Eu* variant de 0.25 à 0.55. De plus, la valeur Eu/Eu* tend à décroître des andésites vers les rhyolites (1.15 à 0.25), signifiant ainsi que le plagioclase jouait un rôle dans le processus de cristallisation fractionnée (Wilson, 1988) et que ce processus prenait place à une profondeur crustale (Ujike et Goodwin 1987). L'origine de l'anomalie négative TNT observée sur les diagrammes multi-éléments demeure plus ou moins incertaine, mais différents modèles ont été proposés. Le Nb et le Ta sont appauvris dans les systèmes convergents d'arcs insulaires (Joron et Treuil 1977). La grande pression d'eau et la grande fugacité de l'oxygène, impliquées dans la genèse de ces magmas, rehausseraient la stabilité de phases oxydes comme le rutile et le sphène (Hellman et Green 1979). Le Nb et le Ta seraient, après coup, retenus dans le manteau ou dans la lithosphère subductée (Wood 1979).

Ces données, purement qualitatives, ne font que corroborer de façon globale le modèle géotectonique proposé par Dimroth et al. (1982; 1983a; 1983b). Plusieurs autres modèles géotectoniques et pétrogénétiques ont été soumis par différents auteurs pour tenter d'expliquer le développement de la ceinture de l'Abitibi. Ludden et Hubert (1986) ont proposé un volcanisme dans une série de bassins de rift alors qu'Ujike et Goodwin (1987) suggéraient un diapirisme de type arrière-arc. Une étude pétrogénétique détaillée dans les volcanites du bloc de Powell pourrait appuyer un de ces modèles avec une meilleure définition.

5.4. Essai de corrélations stratigraphiques

Le contact stratigraphique de la rhyolite de Brownlee et de l'andésite de Powell serait, d'après les travaux de Rosen-Spence (1976), un contact favorable pour la mise en place de sulfures massifs volcanogènes. Ses travaux de reconstitution stratigraphique dans le CVC lui ont permis, grâce à des critères surtout volcanologiques, de corrélérer le contact rhyolite de Brownlee-andésite de Powell, dans le bloc de Powell, avec le contact rhyolite d'Amulet - andésite d'Amulet, dans le bloc de Flavrien (figure 23). Ce dernier contact, appelé "Séquence des Mines", est l'hôte de plusieurs gisements de sulfures massifs, dont celui de Millenbach. La zone d'altération observée dans l'andésite de Powell pourrait donc faire partie du même cycle minéralisateur (troisième cycle) que celui retrouvé au contact de la rhyolite et de l'andésite d'Amulet.



V6 = Andésite; V2 = rhyolite; A = Amulet; B = Brownlee; D = Don; F = Flavrian; H = Héré; IN = InSCO;
J = Joliet; M = Mespi; NB = Newbec; NW = Northwest; P = Powell; Q = Quémont; RR = Rusty Ridge;
SB = South Bay; W = Waite.

Figure 23: Coupe stratigraphique démontrant les corrélations des formations volcaniques de part et d'autre de la faille Beauchastel et la position des gisements Cu-Zn dans le CYC. Le contact andésite-rhyolite d'Amulet se corrèle avec le contact andésite-rhyolite de Brownlee (modifié de Rosen-Spence 1976).

Dans le tableau 4, où sont affichés des rapports en éléments traces des andésites du CVC appartenant au troisième cycle de volcanisme, on constate que l'andésite d'Amulet est la plus similaire géochimiquement à l'andésite de Powell. Dans tous les cas, leurs rapports en éléments traces se chevauchent, appuyant ainsi la corrélation stratigraphique de Rosen-Spence (1976). L'expression des similitudes géochimiques des deux formations andésitiques s'illustre bien sur le diagramme multi-éléments de Thompson (1982) (figure 24).

La corrélation stratigraphique des rhyolites de Brownlee et d'Amulet est également corroborée géochimiquement. En effet, ces deux rhyolites sont les seules, appartenant au troisième cycle de volcanisme, dont tous les rapports en éléments traces se chevauchent (tableau 2). Ces caractéristiques géochimiques semblables sont présentées sur le diagramme de Thompson (1982) (figure 25).

Ces critères essentiellement géochimiques viennent appuyer les corrélations stratigraphiques faites par de Rosen-Spence (1976) de part et d'autre de la faille Beauchastel, qui sépare les blocs de Powell et de Flavrian. Le contact de la rhyolite de Brownlee et de l'andésite de Powell s'avérerait un contact favorable pour les dépôts de sulfures massifs volcanogènes puisqu'il montre, respectivement, les même caractères géochimiques que la rhyolite et l'andésite d'Amulet. La zone ou cheminée d'altération contenue dans l'andésite de Powell (zone *7) pourrait faire partie du même événement de mise en place que celui des gisements du bloc de Flavrian.

n No. échantillon	9 Formation	1 Andésite Powell	1 915-7 Andésite Amulet *	1 725-5 Andésite Waite *	1 730-3 Rhyolite Waite * (membre andésitique)	2 151c, 915-2 Andésite Rusty Ridge *
Zr/Y	5.20-6.55 (6.05)	6.13	5.43	4.70	3.37-3.86 (3.61)	
Y/Nb	1.47-2.31 (2.03)					
Ti/Zr	34.6-60.4 (47.8)	43.2	63.1	60.0	58.1-87.1 (72.6)	
La/Sr	3.02-3.69 (3.21)	3.22	3.48	2.54	2.20-2.40 (2.30)	
La/Yb	4.25-6.56 (5.09)	4.94	5.72	3.75	2.56-2.62 (2.59)	
Ti/Y	226-395 (288)	265	343	282	196-336 (266)	
[La/Yb]n	2.59-4.33 (3.35)	3.27	3.78	2.48	1.69-1.73 (1.71)	

* Valeurs minimum, maximum et moyennes présentées. Données provenant de Ujike et Goodwin (1987); Camiré et Watkinson (1990).

Tableau 4: Rapports de quelques éléments traces des andésites appartenant au troisième cycle de volcanisme dans le Complexe Volcanique Central. Les valeurs moyennes sont entre parenthèses.

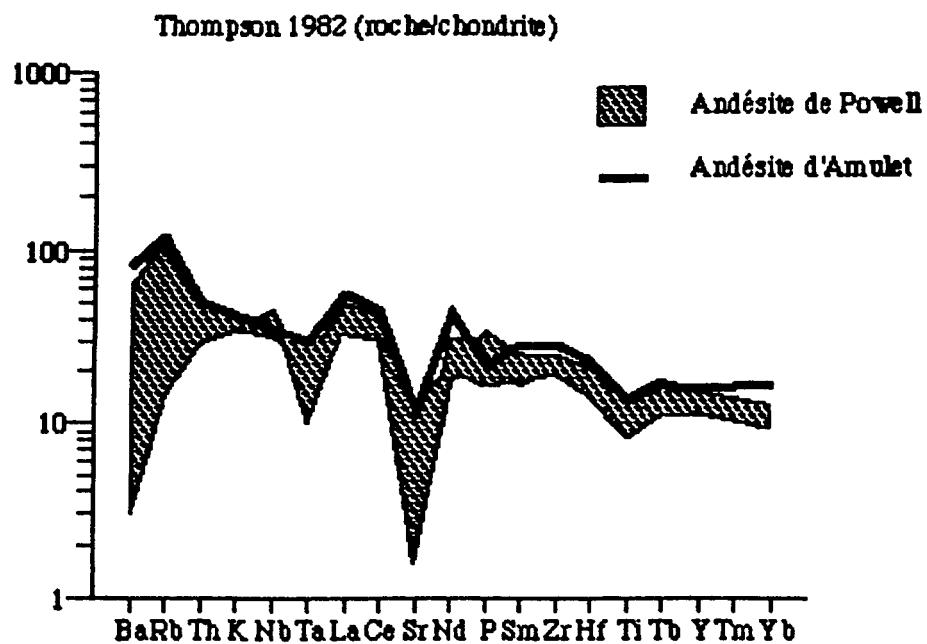


Figure 24: Diagramme multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) présentant des profils similaires entre l'andésite de Powell et l'andésite d'Amulet.

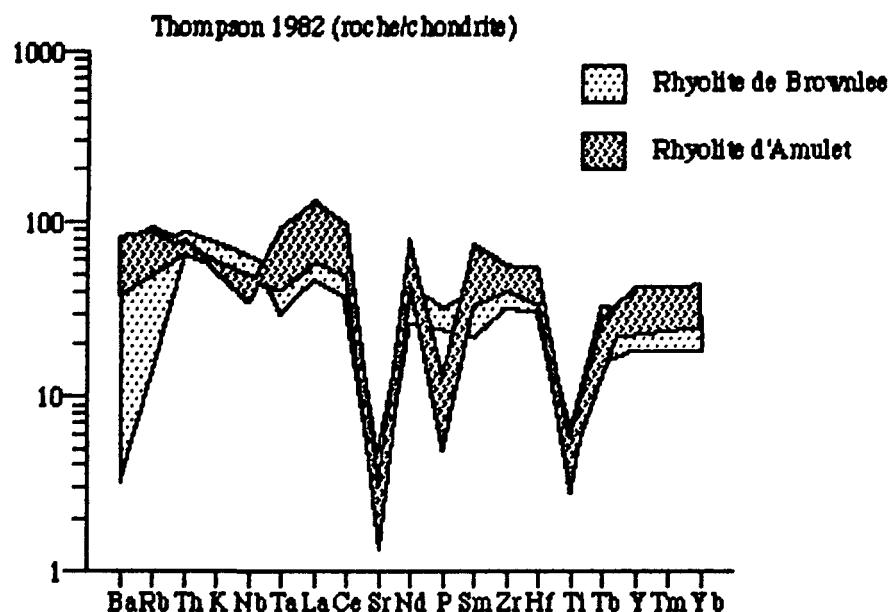


Figure 25: Diagramme multi-éléments normalisés à chondrite (Thompson 1982) présentant des profils similaires entre la rhyolite de Brownlee et la rhyolite d'Amulet.

6. CONCLUSIONS

Ce travail avait pour principal but de caractériser, par des critères géochimiques, la zone altérée à filonnets minéralisés (Cu-Zn) contenue dans l'andésite de Powell, de même que son environnement volcanique. Pour ce faire, le traitement des données devait, dans un premier temps, déterminer la nature de l'altération affectant les volcanites de la partie ouest du bloc de Powell, ainsi que la zone d'altération minéralisée (zone #7) dans l'andésite de Powell, et dans un deuxième temps, caractériser géochimiquement les volcanites du secteur d'étude, de sorte à les situer dans la stratigraphie du Complexe Volcanique Central. Suite au traitement géochimique, les conclusions suivantes ont été retenues:

- Les volcanites de la partie ouest du bloc de Powell, et plus particulièrement les andésites, sont caractérisées par une forte altération chimique exposant, dans 95% des cas, du corindon normatif (CIPW) et des pertes au feu excédant 3.0%. L'utilisation des éléments traces résistant à l'altération, tels que les HFSE et les ETR, s'avère donc nécessaire pour la caractérisation géochimique.

- Les andésites de la Formation de Powell ont subi un métasomatisme de base à caractère spilitique. Les spilites montrent principalement un enrichissement en MgO et des pertes en CaO et Na₂O. Minéralogiquement, une augmentation de la quantité de chlorite magnésienne et une destruction des plagioclases sont observées.

- Le secteur fortement altéré de la zone #7, dans l'andésite de Powell, montre des variations chimiques et minéralogiques typiques de certaines cheminées d'altération hydrothermale des gisements Cu-Zn de l'Abitibi. Des gains principalement en ΣFeO , $\pm MgO$, H_2O et K_2O (Rb, Cs, Ba), Co, Cu et Zn, de même qu'un lessivage en CaO (Sr), Na₂O, CO₂, Cr et Ni correspondent minéralogiquement à une chloritisation (ferrifère) et une séricitisation autour des sulfures, de même qu'un lessivage des plagioclases.

- L'étude combinée du diagramme ternaire AFM (Irvine et Baragar 1971) et de l'index d'altération (I.A.; Ishikawa et al. 1976) constitue un moyen de séparer les laves ayant acquis un caractère spilitique de celles ayant eu un apport hydrothermal. Les andésites de Powell dites peu altérées (I.A. < 50) se regroupent dans le champ calco-alcalin et gardent donc leur position respective dans la série magmatique. Les spécimens transitionnels (50 ≤ I.A. ≤ 85) définissent deux directions, l'une vers le pôle MgO et l'autre vers le pôle FeO, séparant ainsi les deux phénomènes métasomatiques soit, les spilites vers le pôle MgO et les roches altérées hydrothermalement vers le pôle FeO. Par contre, les échantillons fortement altérés (I.A. > 85) sont essentiellement orientés vers le pôle FeO, ce qui explique l'association des sulfures à la chlorite ferrifère.

- Sur le tétraèdre F-C-A-K (Riverin et Hodgson 1980), la cheminée d'altération de la zone #7 affiche un comportement géochimique semblable à celui des gisements de Corbet et de Millenbach, lui conférant ainsi des processus hydrothermaux semblables.
- La rhyolite de Brownlee et la rhyolite de Héré sont d'affinité magmatique calco-alcaline avec des rapports $[La/Yb]_{\text{N}}$ normalisés ≥ 2.2 . Ces deux formations rhyolitiques montrent des caractéristiques géochimiques semblables à celles du pluton trondhjemite de Powell. Les diagrammes des ETR, multi-éléments et les rapports en éléments traces suggèrent un lien comagmatique entre les rhyolites et le pluton.
- L'andésite de Powell est d'affinité calco-alcaline ($[La/Yb]_{\text{N}} \geq 2.2$). Des critères volcanologiques suggèrent une source provenant de l'ouest du secteur d'étude, le long de la faille Anglo et possiblement vers le pluton de Powell. Le "Lower Marker Horizon" (LMH), également d'affinité calco-alcaline, proviendrait plutôt du dyke nourricier de Quémont #1 (annexe 2).
- La rhyolite de Powell appartient à la série magmatique tholéïtique ($[La/Yb]_{\text{N}} < 2.2$). Selon Lichtbleu (1989), la rhyolite de Powell proviendrait du centre extrusif rhyolitique de Powell situé au sud-est du terrain d'étude (annexe 2).

- Les diagrammes multi-éléments corroborent le modèle d'arc insulaire proposé par Dimroth et al. (1982; 1983a; 1983b) pour expliquer le développement de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi. En effet, selon Wood (1979), des anomalies négatives en Ti, Nb et Ta, telles qu'observées dans les volcanites de Powell, sont typiques des systèmes convergents d'arcs insulaires.
- Le contact rhyolite de Brownlee-andésite de Powell se corréléreriait, selon de Rosen-Spence (1976) avec le contact rhyolite-andésite d'Amulet de part et d'autre de la faille Beauchastel. Les rapports en éléments traces et les diagrammes multi-éléments similaires de la présente étude confirment cette corrélation. Le contact rhyolite-andésite d'Amulet, qui fait partie du troisième cycle de volcanisme du CVC, est l'hôte de plusieurs gisements Cu-Zn volcanogènes, dont celui de Millenbach.

Dans ce travail, il a été établi par des critères géochimiques que les volcanites de la partie ouest du bloc de Powell appartiennent au troisième cycle de volcanisme du Complexe Volcanique Central et que le contact rhyolite de Brownlee-andésite de Powell constitue un horizon propice à la mise en place d'une minéralisation volcanogène en Cu-Zn. De plus, la cheminée d'altération située dans la zone #7 du terrain d'étude montre des caractéristiques géochimiques et minéralogiques semblables à celles des autres gisements Cu-Zn volcanogènes de l'Abitibi. Le secteur étudié dans la partie ouest du bloc de Powell représente donc un environnement favorable pour la prospection des métaux de base.

REFERENCES

- Bédard, L. P., et Barnes, S.-J. 1990. Instrumental neutron activation analysis by collecting only one spectrum: Results for international geochemical reference samples. *Geostandards Newsletter*, **14**: 479-484.
- Bourne, J. H., et L'Heureux, M. 1991. The petrography and geochemistry of the Clericy Pluton: an ultrapotassic pyroxenite-syenite suite of late Archaean age from the Abitibi region, Quebec. *Precambrian Research*, **52**: 37-51.
- Camiré, G., et Watkinson, D. H. 1990. Volcanic stratigraphy in the Hunter Creek Fault area, Rouyn-Noranda, Quebec. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, **27**: 1348-1358.
- 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.
- Cartignan, J. 1979. Géochimie et géostatistique appliquées à l'exploration des gisements volcanogènes: le gisement de Millenbach. Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique, Montréal, Québec.
- Condie, K. C., Viljoen, M. J., et Kable, E. J. D. 1977. Effects of alteration on element distributions in Archean tholeiites from the Barberton greenstone belt, South Africa. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **64**: 75-89.
- de Rosen-Spence, A. F. 1976. Stratigraphy, development and petrogenesis of the Central Noranda volcanic pile, Noranda, Quebec. Thèse de doctorat, Université de Toronto, Toronto, Ontario.

Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M., et Goulet, N. 1982. Evolution of the south-central part of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part I: Stratigraphy and paleogeographic model. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, 19: 1729-1758.

Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., et Rocheleau, M. 1983a. Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part II: Tectonic evolution and geochemical model. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, 20: 1355-1373.

Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., et Rocheleau, M. 1983b. Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, 20: 1374-1388.

→ Fowler, A. D., et Jensen L.S. 1989. Quantitative trace-element modelling of the crystallization history of the Kinojévis and Blake River groups, Abitibi Greenstone Belt, Ontario. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, 26: 1356-1367.

Franklin, J. M., Lydon, J. W., et Sangster, D. F. 1981. Volcanic-associated massive sulphide deposits. *Economic Geology* 75th Anniversary Volume, pp.485-627.

Gaudreault, C. 1991. Etude des structures volcaniques dans l'unité andésitique de la Formation de Powell, entre les failles de Beauchastel et de Héré, Rouyn-Noranda, Québec. Projet de fin d'études, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.

Gélinas, L., Brooks, C., Perreault, G., Carignan, J., Trudel, P., et Grasso, F. 1977. Chemo-stratigraphic divisions within the Abitibi Volcanic Belt, Rouyn-Noranda District, Québec. *Dans* Volcanic regimes in Canada. *Édité par* W. R. A. Baragar, L. C. Coleman, et J. M. Hall. Association Géologique du Canada, Special Paper 16, pp. 265-295.

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

- Gibson, H. L., Watkinson, D. H., et Combe, C. D. A. 1983. Silicification: Hydrothermal alteration in an Archean geothermal system within the Amulet rhyolite formation, Noranda, Québec. *Economic Geology*, **78**: 954-971.
- Gibson, H. L., et Watkinson, D. H. 1990. Volcanogenic massive sulphide deposits of the Noranda Cauldron and Shield Volcano, Quebec. *Dans La Ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois: Synthèse de 60 ans d'exploration minière. Édité par M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Simard. L'Institut canadien des mines et de la métallurgie, Volume spécial 43*, pp. 119-132.
- Goodwin, A. M., et Ridler, R. N. 1970. The Abitibi Orogenic Belt. *Commission Géologique du Canada, Paper 70-40*, pp. 1-30.
- Goldie, R. J. 1978. Magma mixing in the Flavrian pluton. Noranda area, Quebec. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, **15**: 132-144.
- Goldie, R. J. 1979. Consanguineous Archean intrusive and extrusive rocks, Noranda: Chemical similarities and differences. *Precambrian Research*, **9**: 275-287.
- Grant, J. A. 1986. The isocon diagram - A simple solution to Gresen's equation for metasomatic alteration. *Economic Geology*, **81**: 1976-1982.
- Gresens, R. L. 1967. Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology*, **2**: 44-65.
- Hashiguchi, H., Yamada, R., et Inoue, T. 1983. Practical application of low Na₂O anomalies in footwall acid lava for delimiting promising areas around the Kosaka and Fukasawa Kuroko deposits, Akita Prefecture, Japan. *Economic Geology, Monograph 5*, pp. 387-394.
- Hellman, P. L., et Green, T. H. 1979. The role of sphene as an accessory phase in the high pressure partial melting of hydrous compositions. *Earth and Planetary Science Letters*, **42**: 191-201.

- Hughes, C. J. 1973. Spilites, keratophyres, and the igneous spectrum. *Geological Magazine*, **109**: 513-527.
- Irvine, T. N., et Baragar, W. R. A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, **8**: 523-548.
- Jensen, L. S. 1976. A new cation plot for classifying subalkaline volcanic rocks. *Ontario Division of Mines, Miscellaneous Paper* 66.
- Jolly, T. W. 1980. Development and degradation of Archean lavas, Abitibi area, Canada, in light of major element geochemistry. *Journal of Petrology*, **21**: 323-363.
- Joron, J. L., et Treuil, M. 1977. Utilisation des propriétés des éléments fortement hygromagmatophiles pour l'étude de la composition chimique et de l'hétérogénéité du manteau. *Société Géologique de France, Bulletin*, **19**: 1197-1205.
- Knuckey, M. J., Comba, C. D. A. et, Riverin, G. 1982. Structure, metal zoning and alteration at the Millenbach deposit, Noranda, Quebec. *Dans Precambrien sulphide deposits. Édité par R. W. Hutchison, C. D. Spence, et J. M. Franklin. Association Géologique du Canada, Volume spécial 25*, pp. 255-296.
- Knuckey, M. J., et Watkins, J. J. 1982. The geology of the Corbet massive sulphide deposit, Noranda district, Quebec, Canada. *Dans Precambrien sulphide deposits. Édité par R. W. Hutchison, C. D. Spence, et J. M. Franklin. Association Géologique du Canada, Volume spécial 25*, pp. 297-318.
- Lecasse, J. 1984. Drilling program hole 446-84-9, -9A, Héré project. Document interne de la compagnie minière SOQUEM, Québec.
- Laflèche, M. R. 1991. Pétrologie et géochimie des éléments traces du magmatisme archéen de la patrie sud de la ceinture volcano-plutonique de l'Abitibi, Québec. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, Montpellier, France.

Lesher, C. M., Goodwin, A. M., Campbell, I. H., and Gorton, M. P. 1986. 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.

Lichtblau, A. 1989. Stratigraphy and facies at the south margin of the Archean Noranda Caldera. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Qué.

Lichtblau, A. P., et Dimroth, E. 1980. Stratigraphy and facies at the south margin of the Archean Noranda caldera, Noranda, Quebec. *Dans Current Research, Part A. Commission Géologique du Canada*, Paper 80-1A, pp. 69-76.

L'Heureux, M. 1990. Campagne de cartographie et d'échantillonnage lithogéochimique - été 1990 - projet Héré Fault (158). Document interne, Cambior inc., Division Exploration, Val d'Or, Québec.

Ludden, J., et Hubert, C. 1986. Geologic evolution of the Late Archean Abitibi greenstone belt of Canada. *Geology*, **14**: 707-711.

Ludden, J. et Gélinas, L., et Trudel, P. 1982. Archean metavolcanics from the Rouyn-Noranda district, Abitibi Greenstone Belt, Quebec. 2. Mobility of trace elements and petrogenetic constraints, **19**: 2276-2287.

Miyashiro, A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, **274**: 321-355.

Miyashiro, A. 1978. Nature of alkalic volcanic rock series. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **66**: 91-104.

Mortensen, J. K. 1987. Preliminary U-Pb zircon ages for volcanic and plutonic rocks of the Noranda - Lac Abitibi area, Abitibi Subprovince, Quebec. *Dans Current Research, part A. Commission Géologique du Canada*, Paper 87-1A, pp. 581-590.

Paradis, S., Ludden, J. et Gélinas, L. 1988. Evidence for contrasting compositional spectra in comagmatic intrusive and extrusive rocks of late Archean Blake River Group, Abitibi, Québec. Canadian Journal of Earth Sciences, 25: 134-144.

Pearson, V. 1986. Pétrographie, géochimie et interprétation d'un assemblage à cordierite-anthophyllite dans les roches mafiques archéennes de Macanda, Canton Beauchastel, Noranda, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.

Peloquin, S., Potvin, R., Paradis, S., Laflèche, M. R., Verpaelst, P., et Harold, H. L. 1990. The Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Quebec: A stratigraphic synthesis. *Dans* La Ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois: Synthèse de 60 ans d'exploration minière. *Édité par* M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Simard. L'Institut canadien des mines et de la métallurgie, Volume spécial 43, pp. 107-118.

Rive, M., Pintson, H., et Ludden, J. N. 1990. Characteristics of late Archean plutonic rocks from the Abitibi and Pontiac Sub-provinces, Superior Province, Canada. *Dans* La Ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois: Synthèse de 60 ans d'exploration minière. *Édité par* M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Simard. L'Institut canadien des mines et de la métallurgie, Volume spécial 43, pp. 65-76.

Riverin, G., and Hodgson, C. J. 1980. Wall-rock alteration at the Millenbach Cu-Zn Mine, Noranda, Quebec. Economic Geology, 75: 424-444.

Riverin, G. 1977. Wall-rock alteration at the Millenbach mine, Noranda area, Quebec. Thèse de doctorat, Université Queen's, Kingston, Ontario.

Rock, N. M. S. 1989. CIPW: A terminal-interactive FORTRAN 77 program for tabulating Extended CIPW norms from large batches of analyses. COGS Computer Contributions, 5: 17-41.

- Seyfried Jr, W. E., Mottl, M. J., et Bischoff, J. L. 1978. Seawater/basalt ratio on the chemistry and mineralogy of spinrites from the ocean floor. *Nature*, **275**: 211-213.
- Scott, R. B., et Hajash, Jr, A. 1976. Initial submarine alteration of basaltic pillow lavas: a microprobe study. *American Journal of Science*, **276**: 480-501.
- Spence, C. D., et de Rosen-Spence, A. F. 1975. The place of sulphide mineralization in the volcanic sequence at Noranda, Quebec. *Economic Geology*, **70**: 90-101.
- Tanguay, R., Carignan, J., Piché, M., Beaudry, C., et Bonenfant, A. 1990. Caractéristiques pétrologiques et géochimiques de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu, Matagami, Québec. *Dans La Ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois: Synthèse de 60 ans d'exploration minière. Édité par M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Simard. L'Institut canadien des mines et de la métallurgie*, Volume spécial 43, pp. 349-361.
- Taylor, S. R. et Gorton, M. K. 1977. Geochemical application of spark-source mass spectrometry. III: element sensitivity, precision and accuracy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **41**: 1375-1380.
- Thompson, R. N. 1982. Magmatism of the British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*, **18**: 49-107.
- Ujike, O., et Goodwin, A. M. 1987. Geochemistry and origin of Archean felsic metavolcanic rocks, central Noranda area, Quebec, Canada. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, **24**: 2551-2567.
- Watkins, J. J. 1980. The geology of the Corbet Cu-Zn deposit and the environment of ore deposition in the Central Noranda area. *Mémoire de maîtrise, Université Queen's, Kingston, Ontario*.
- Wilson, M. 1988. Igneous petrogenesis. Unwin Hyman Inc., Londres. 466 p.

Wood, D. A. 1979. A variably veined suboceanic upper mantle - genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence. *Geology*, 7: 499-503.

ANNEXE 1

Tableaux des résultats analytiques et normatifs

Echantillon		8001 V6 str. py 7	8003 V6 str. py 7	8007 V6 m 7	8011 V6 m 7	8015 V6 m 7	8030 V6m cis. 7
Unité (a)	Zone (b)						
SiO ₂		58.30	61.20	61.00	58.30	61.40	58.50
TiO ₂		1.45	1.44	1.12	1.07	1.19	1.90
Al ₂ O ₃		15.47	13.91	12.61	14.28	13.34	13.86
Σ FeO		5.82	10.72	13.61	12.92	11.32	6.42
MnO		0.17	0.11	0.11	0.13	0.14	0.18
MgO		5.43	5.14	5.37	5.35	6.09	7.95
CaO		2.06	0.31	0.20	0.68	0.02	1.49
Na ₂ O		5.84	2.17	0.26	2.41	0.21	3.96
K ₂ O		0.20	0.71	0.87	0.42	1.27	0.05
P ₂ O ₅		0.35	0.28	0.22	0.17	0.25	0.41
C _O 2		3.11	1.40	1.54	1.68	1.22	1.17
S		0.42	0.05	0.14	0.01	0.01	0.24
H ₂ O+		0.87	2.36	2.64	2.43	3.22	3.50
P.A.F.	(c)	4.40	3.81	4.32	4.12	4.45	4.91
Total		99.49	99.80	99.69	99.85	99.68	99.63
Cu		9	267	60	7	63	54
Zn		303	104	156	79	159	155
I.A.	(d)	42	70	93	65	97	59
norme							
C.I.P.W.	(e)						
qz		9.68	32.93	41.57	27.14	41.65	19.51
ab		51.92	19.15	2.31	21.25	1.87	35.34
or		1.24	4.38	5.39	2.59	7.89	0.31
an		8.33	1.60	1.04	2.36	0.10	4.97
di		-	-	-	-	-	-
hy		20.73	27.00	32.61	31.47	31.08	27.57
mt		1.48	2.70	3.45	3.25	2.87	1.64
il		2.89	2.85	2.23	2.12	2.37	3.81
ap	(f)	0.85	0.00	0.00	0.41	0.00	1.00
cm		2.88	9.39	11.40	9.41	12.17	5.87

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V6 = andésite; m = massive; str. py. = "stringer" de pyrite; cis = cisaillée

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P₂O₅, P₂O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite recalculée à 100% P₂O₅.

Echantillon		8032	8033	8041	8048	8092	*115692
Unité (a)	V6 str. py	7	V6 str. py	7	V6m	7	V6m
Zone (b)							
SiO ₂	55.60	61.40	58.00	64.50	61.90	56.80	
TiO ₂	1.22	1.32	1.18	0.91	1.67	1.02	
Al ₂ O ₃	15.24	14.05	13.70	12.13	13.34	14.35	
ΣFeO	7.43	10.93	11.41	11.47	7.61	8.04	
MnO	0.12	0.11	0.18	0.11	0.14	0.15	
MgO	6.53	4.81	6.17	4.77	5.06	5.26	
CaO	4.62	0.35	1.32	0.31	2.26	4.84	
Na ₂ O	1.94	1.50	1.52	0.37	3.73	4.15	
K ₂ O	2.10	1.20	1.07	1.07	0.45	0.12	
P ₂ O ₅	0.22	0.34	0.26	0.27	0.68	0.32	
CO ₂	2.32	0.85	0.81	0.83	1.27	3.31	
S	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	
H ₂ O+	2.52	2.91	4.22	3.10	1.78	1.50	
P.A.F.	(c)	4.85	3.80	5.04	3.94	3.06	4.82
Total		99.87	99.81	99.85	99.85	99.90	99.87
Cu		59	178	5	7	3	4
Zn		32	85	175	67	60	36
I.A.	(d)	57	76	72	90	48	37
norme							
C.I.P.W.	(e)						
qz	13.94	35.45	28.54	45.53	24.98	11.24	
ab	17.25	13.24	13.54	3.27	32.55	36.89	
or	13.04	7.40	6.66	6.60	2.74	0.75	
an	22.58	1.81	5.11	1.60	6.98	21.19	
di	-	-	-	-	-	1.51	
hy	26.33	26.67	31.58	28.08	21.59	23.57	
mt	1.89	2.76	2.90	2.89	1.90	2.04	
il	2.44	2.62	2.36	1.80	3.27	2.04	
ap	(f)	0.54	0.00	0.63	0.00	1.62	0.78
cm		2.00	10.06	8.70	10.23	4.37	0.00

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

* Echantillon prélevé dans le forage 446-84-9, SOQUEM (Lacasse 1984).

(a) V6 = andésite; m = massive; css = coussinée; str. py. = "stringer" de pyrite.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P2O₅, P2O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite recalculée à 100% P2O₅.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8311 V6m 7	8315 V6m 7	8321 V6cj 7	8322 V6m 7	8390 V6css, py 7	8392 V6m 7
SiO ₂	56.40	54.10	65.90	61.6	60.20	59.90
TiO ₂	1.77	1.48	1.39	1.46	1.51	1.68
Al ₂ O ₃	13.93	14.73	12.53	12.91	12.83	13.54
ΣFeO	9.36	9.67	10.06	13.00	8.42	8.67
MnO	0.29	0.19	0.09	0.10	0.24	0.22
MgO	4.08	4.72	3.78	4.47	3.74	4.15
CaO	4.95	4.24	0.47	0.55	2.81	2.46
Na ₂ O	4.37	4.70	0.23	0.34	4.30	4.31
K ₂ O	0.04	0.09	1.55	1.09	0.24	0.01
P ₂ O ₅	0.41	0.43	0.31	0.32	0.36	0.36
CO ₂	2.55	3.84	1.01	1.04	3.38	2.16
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.38	0.10
H ₂ O+	1.81	1.70	2.55	2.98	1.11	2.23
P.A.F.	(c)	4.37	5.55	3.57	4.03	4.49
Total	99.97	99.90	99.88	99.87	99.52	99.79
Cu	117	4	23	48	148	117
Zn	178	79	71	62	120	189
I.A.	(d)	31	35	88	86	36
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	11.58	6.55	49.04	42.79	20.22	20.75
ab	38.62	42.08	2.02	3.00	38.39	38.21
or	0.25	0.56	9.49	6.71	1.50	0.06
an	19.09	19.28	0.32	0.66	12.23	10.32
di	3.12	-	-	-	-	-
hy	20.49	24.79	22.40	28.54	20.31	21.28
mt	2.36	2.47	2.52	3.27	2.15	2.20
il	3.51	2.97	2.74	2.89	3.03	3.34
ap	(f)	0.99	1.05	0.74	0.77	0.88
cm		0.00	0.23	10.74	11.39	1.32
						2.96

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V6 = andésite; m = massive; css = coussinée; py = pyrite; cj = joints polygonaux.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P205, P205 est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite recalculée à 100% P205.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8393 V6 css 7	8394 V6 m, py 7	8395 V6 css 7	8396 V6 m, py 7	8397 V6 m 7	8398 V6 m, py 7
SiO ₂	61.20	57.10	60.40	59.00	58.80	61.00
TiO ₂	1.41	1.39	1.29	1.74	1.78	1.67
Al ₂ O ₃	13.64	13.82	12.97	13.72	13.49	14.30
ΣFeO	11.55	16.20	15.33	10.55	9.23	8.29
MnO	0.13	0.34	0.15	0.26	0.21	0.11
MgO	4.45	4.40	4.02	4.49	3.73	4.58
CaO	0.49	0.33	0.30	2.05	3.51	0.32
Na ₂ O	1.81	0.11	0.24	3.64	4.30	4.55
K ₂ O	0.89	1.28	1.00	0.07	0.03	0.19
P2O ₅	0.29	0.26	0.26	0.32	0.34	0.35
CO ₂	0.51	0.44	1.20	1.73	3.70	0.99
S	0.01	0.21	0.01	0.23	0.04	0.94
H ₂ O+	3.28	3.82	2.77	1.84	0.74	1.69
P.A.F.	(c)	3.80	4.47	3.98	3.80	4.48
Total	99.86	99.70	99.94	99.64	99.90	98.98
Cu	51	279	18	68	30	141
Zn	170	526	118	155	115	259
I.A.	(d)	70	93	90	44	32
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	35.18	36.28	41.11	22.52	17.50	23.21
ab	15.91	0.98	2.12	32.08	38.07	40.46
or	5.46	7.94	6.16	0.43	0.19	1.18
an	0.56	1.72	1.55	8.41	15.90	1.67
di	-	-	-	-	-	-
hy	26.43	33.97	31.25	24.80	20.80	21.71
mt	2.90	4.11	3.86	2.66	2.33	2.11
il	2.78	2.77	2.55	3.44	3.54	3.33
ap	(f)	0.70	0.00	0.00	0.77	0.82
cm	10.08	12.24	11.41	4.89	0.85	6.33

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V6 = andésite; m = massive; py = pyrite; css = coussinée.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashigushi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P2O₅, P2O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite recalculée à 100% P2O₅.

Echantillon		8399	8401	8374	8077	8379	8380
Unité	(a)	V6 m, cis.	V6m	V6m	V6css	V6m	V6m
Zone	(b)	7	7	6	6	6	6
SiO ₂		59.90	57.60	58.60	59.70	69.20	63.40
TiO ₂		1.41	1.38	1.07	0.83	0.73	0.91
Al ₂ O ₃		14.57	14.93	14.63	13.62	13.05	13.67
ΣFeO		8.02	6.21	6.60	9.53	4.62	6.32
MnO		0.10	0.10	0.15	0.15	0.06	0.11
MgO		6.77	4.33	6.41	8.77	3.32	4.16
CaO		0.45	2.85	3.06	0.79	1.04	1.96
Na ₂ O		4.22	6.00	6.02	2.98	5.04	4.63
K ₂ O		0.05	0.35	0.49	0.07	0.26	0.38
P ₂ O ₅		0.36	0.38	0.28	0.28	0.27	0.27
CO ₂		1.66	3.70	0.35	1.22	0.41	2.09
S		0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+		2.31	2.06	2.11	3.11	1.87	1.96
P.A.F.	(c)	4.01	5.77	4.86	4.34	2.29	4.06
Total		99.86	99.90	99.78	101.06	99.88	99.87
Cu		302	12	7	4	4	4
Zn		309	76	29	239	43	56
I.A.	(d)	59	35	43	70	37	41
norme C.I.P.W.	(e)						
qz		20.79	7.22	3.28	24.20	30.69	22.80
ab		37.34	53.88	52.29	26.34	43.67	40.85
or		0.31	2.19	2.97	0.43	1.57	2.34
an		2.33	12.37	11.75	2.18	3.48	8.30
dl		-	-	1.58	-	-	-
hy		27.33	18.61	23.74	34.18	14.08	18.83
mt		2.03	1.59	1.64	2.12	1.14	1.59
il		2.80	2.78	2.09	1.65	1.42	1.80
ap	(f)	0.00	0.93	0.67	0.68	0.64	0.65
cm		7.06	0.43	0.00	8.23	3.31	2.84

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V6 = andésite; m = massive; cis = cisaillée.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);
les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P2O₅, P2O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite
recalculée à 100% P2O₅.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8381 V6m 6	8383 V6m 6	8403 V6m 6	8405 V6m 6	8406 V6m 6	8407 V6m 6
SiO ₂	62.50	63.30	57.20	61.10	54.60	56.20
TiO ₂	0.85	0.90	1.19	1.03	1.09	1.04
Al ₂ O ₃	14.44	14.47	14.90	14.68	15.39	14.73
ΣFeO	6.61	6.12	9.86	7.66	13.07	7.27
MnO	0.08	0.10	0.10	0.08	0.20	0.24
MgO	4.83	3.15	6.94	4.54	6.98	6.77
CaO	3.20	4.37	1.02	1.66	0.77	2.95
Na ₂ O	4.11	5.16	4.16	3.97	1.44	4.86
K ₂ O	0.11	0.12	0.14	0.74	1.37	0.05
P ₂ O ₅	0.26	0.27	0.30	0.34	0.16	0.32
CO ₂	0.46	0.35	1.27	2.07	1.20	2.30
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+	2.39	1.57	2.79	1.98	3.53	3.20
P.A.F.	(c)	2.86	1.93	4.07	4.06	4.74
Total	99.85	99.89	99.88	99.86	99.81	99.94
Cu	226	55	2	191	64	4
Zn	56	39	53	45	83	35
I.A.	(d)	40	26	58	48	47
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	21.77	17.34	15.84	22.47	22.62	8.56
ab	35.82	44.53	36.68	35.02	12.79	43.49
or	0.67	0.72	0.86	4.56	8.50	0.31
an	14.60	16.28	3.23	6.27	2.91	13.27
di	-	3.33	-	-	-	-
hy	20.79	13.91	30.78	21.54	36.27	27.44
mt	1.65	1.51	2.48	1.93	3.32	1.86
il	1.66	1.74	2.35	2.04	2.17	2.09
ap	(f)	0.62	0.64	0.72	0.82	0.78
cm		2.43	0.00	7.05	5.36	11.04
						2.20

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V6 - andésite; m - massive.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P2O₅, P2O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite recalculée à 100% P2O₅.

Echantillon Unité (a)	8408 V6m 6	8409 V6css 6	8410 V6m 6	8413 V6m 6	8415 V6css 6	8417 V6m 6
Zone (b)						
SiO ₂	59.50	59.80	58.30	60.10	61.80	61.00
TiO ₂	1.14	1.33	1.07	1.41	1.60	1.42
Al ₂ O ₃	15.20	13.61	14.23	14.16	13.76	13.89
ΣFeO	8.52	12.63	8.51	8.70	8.33	9.06
MnO	0.17	0.17	0.14	0.26	0.26	0.27
MgO	4.42	4.95	4.96	4.38	4.16	3.80
CaO	2.48	0.54	2.82	3.29	2.99	3.79
Na ₂ O	4.81	1.57	3.72	4.01	4.38	4.62
K ₂ O	0.14	0.80	0.76	0.06	0.25	0.26
P ₂ O ₅	0.26	0.25	0.28	0.33	0.33	0.27
CO ₂	1.17	1.27	3.17	1.15	0.92	0.62
S	0.01	0.11	0.01	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+	1.97	2.80	1.90	1.93	1.14	0.86
P.A.F.	(c)	3.15	4.18	5.08	3.09	2.07
Total	99.79	99.83	99.87	99.79	99.93	99.87
Cu	20	66	679	32	46	3
Zn	38	79	42	46	49	30
I.A.	(d)	38	73	47	38	33
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	15.51	33.85	17.15	19.72	19.67	15.44
ab	42.05	13.86	33.16	35.04	37.82	39.68
or	0.85	4.93	4.73	0.37	1.51	1.56
an	10.96	1.09	12.81	14.63	12.94	16.64
di	-	-	-	-	-	0.54
hy	22.29	29.65	24.19	22.15	20.47	20.55
mt	2.13	3.18	2.17	2.17	2.05	2.22
il	2.24	2.64	2.14	2.77	3.10	2.74
ap	(f)	0.62	0.60	0.68	0.79	0.63
cm	3.36	10.20	2.98	2.38	1.67	0.00

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V6 = andésite; m = massive; css = coussinée.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P₂O₅, P₂O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite recalculée à 100% P₂O₅.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8419 V6m 6	8422 V6m 6	8424 V6css 6	8426 V6css 6	8435 V6m, py 6	8457 V6css 6
SiO ₂	60.80	64.40	66.20	67.70	59.10	59.90
TiO ₂	1.60	1.53	1.42	1.37	1.32	0.93
Al ₂ O ₃	13.71	12.47	12.93	11.85	13.88	13.97
ΣFeO	7.95	8.93	9.20	6.24	7.37	7.84
MnO	0.38	0.11	0.11	0.17	0.21	0.16
MgO	4.34	4.31	2.69	3.21	5.31	7.67
CaO	2.75	0.48	0.31	2.22	2.57	0.54
Na ₂ O	4.76	3.63	3.43	4.72	4.80	3.47
K ₂ O	0.32	0.28	0.72	0.28	0.35	0.08
P ₂ O ₅	0.35	0.36	0.30	0.32	0.38	0.37
C _O 2	0.35	0.58	1.25	0.69	1.89	1.56
S	0.13	0.32	0.01	0.01	0.58	0.49
H ₂ O+	2.24	2.22	1.39	1.10	1.58	2.40
P.A.F.	(c)	2.72	3.12	2.65	1.80	4.05
Total	99.68	99.62	99.96	99.88	99.34	99.38
Cu	242	26	3	4	7	90
Zn	440	98	106	47	145	260
I.A.	(d)	38	53	48	33	66
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	16.73	32.12	34.82	27.88	14.18	24.56
ab	41.48	31.78	29.87	40.68	42.57	30.89
or	1.95	1.71	4.38	1.69	2.17	0.50
an	11.70	0.03	1.58	9.09	10.76	0.28
di	-	-	-	-	-	-
hy	20.80	21.86	18.17	15.21	22.98	30.54
mt	1.98	2.23	2.29	1.54	1.87	1.99
il	3.13	3.01	2.78	2.65	2.63	1.86
ap	(f)	0.84	0.86	0.00	0.76	0.92
cm		1.41	6.40	6.12	0.52	8.50

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V6 = andésite; m = massive; py = pyrite; css = coussinée.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P2O₅, P2O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite recalculée à 100% P2O₅.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8072 V6 css 5	8429 V6 css, py 5	8430 V6 m 5	8080 V6 css 5	8338 V6 m 5	8339 V6 m 5
SiO₂	59.40	57.40	60.60	58.40	56.20	58.20
TiO ₂	1.39	1.41	1.40	1.36	1.24	1.68
Al ₂ O ₃	14.63	14.88	13.65	14.59	14.44	15.38
ΣFeO	9.71	9.00	8.91	9.04	8.13	9.49
MnO	0.29	0.14	0.15	0.37	0.26	0.10
MgO	3.90	5.97	4.84	4.60	6.62	4.76
CaO	2.06	2.36	2.48	3.60	2.92	1.11
Na ₂ O	4.63	3.98	3.19	5.07	4.44	5.16
K ₂ O	0.13	0.14	0.30	0.04	0.05	0.05
P ₂ O ₅	0.25	0.35	0.34	0.31	0.34	0.45
C _O 2	1.89	0.46	0.35	0.87	2.37	0.94
S	0.01	0.51	0.45	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+	1.55	2.74	2.80	1.60	2.87	2.51
P.A.F.	(c)	3.45	3.71	3.60	2.48	5.25
Total	99.84	99.34	99.46	99.86	99.89	99.84
Cu	13	90	64	4	10	3
Zn	75	553	207	65	370	110
I.A.	(d)	38	49	48	35	48
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	17.56	16.55	25.50	10.16	11.04	15.35
ab	40.58	35.16	28.12	43.99	39.64	45.23
or	0.80	0.86	1.85	0.24	0.31	0.31
an	8.89	9.84	10.50	16.24	12.94	2.66
di	-	-	-	-	-	-
hy	22.56	26.74	23.65	23.34	27.96	23.59
mt	2.43	2.27	2.24	2.24	2.07	2.38
il	2.73	2.80	2.77	2.65	2.48	3.31
ap	(f)	0.60	0.85	0.82	0.74	0.83
cm		3.86	4.94	4.56	0.41	2.73
						6.11

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V6 = andésite; m = massive; css = coussinée; py = pyrite.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashigushi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P205, P205 est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite recalculée à 100% P205.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8340 V6 css 5	8341 V6 css 5	8345 V6 m 5	8348 V6 m 5	8349 V6 css 5	8354 V6 m 5
SiO ₂	57.00	58.90	58.90	60.50	59.90	62.20
TiO ₂	1.00	1.21	1.25	1.32	1.62	1.31
Al ₂ O ₃	14.75	13.83	14.92	14.20	14.41	13.87
ΣFeO	11.37	13.30	8.99	8.27	10.84	8.03
MnO	0.21	0.22	0.12	0.23	0.32	0.17
MgO	6.66	5.70	6.57	4.55	3.66	3.11
CaO	0.68	0.36	0.49	2.74	1.24	4.43
Na ₂ O	3.60	0.20	4.34	4.60	4.46	4.13
K ₂ O	0.06	1.46	0.06	0.02	0.02	0.08
P ₂ O ₅	0.29	0.26	0.31	0.33	0.31	0.28
C _O 2	0.83	0.71	0.58	0.90	0.09	1.63
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.17	0.01
H ₂ O+	3.41	3.67	3.25	2.26	2.62	0.64
P.A.F.	(c)	4.25	4.39	3.84	3.17	2.88
Total	99.87	99.83	99.79	99.93	99.66	99.89
Cu	42	48	18	24	89	5
Zn	286	262	121	151	2180	171
I.A.	(d)	61	93	58	38	27
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	19.28	37.34	19.22	17.94	21.21	20.87
ab	31.79	1.77	38.21	40.17	38.92	35.75
or	0.37	9.02	0.37	0.12	0.12	0.48
an	1.54	0.09	0.42	11.80	4.26	19.51
di	-	-	-	-	-	0.92
hy	32.89	32.97	28.43	22.04	23.17	17.27
mt	2.87	3.36	2.26	2.06	2.70	1.99
il	1.98	2.40	2.47	2.59	3.17	2.55
ap	(f)	0.70	0.63	0.75	0.79	0.66
cm	8.58	12.43	7.87	2.50	5.71	0.00

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V6 = andésite; m = massive; css = coussinée.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashigushi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P₂O₅, P₂O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite recalculée à 100% P₂O₅.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8355 V6css 5	8359 V6css 5	8362 V6 css, py 5	8365 V6css 5	8366 V6m 5	8367 V6m 5
SiO ₂	60.50	59.20	59.40	61.80	59.90	60.40
TiO ₂	1.52	1.49	1.51	1.47	1.44	1.40
Al ₂ O ₃	14.15	14.38	12.99	13.41	14.76	13.85
ΣFeO	8.94	10.84	14.75	14.05	8.80	8.08
MnO	0.28	0.13	0.43	0.22	0.32	0.26
MgO	4.55	5.22	3.42	3.06	4.40	4.03
CaO	2.28	0.56	0.24	0.17	1.84	2.66
Na ₂ O	4.13	3.33	0.22	0.29	5.00	4.77
K ₂ O	0.07	0.33	1.25	1.61	0.08	0.10
P ₂ O ₅	0.42	0.25	0.27	0.25	0.28	0.27
CO ₂	1.47	1.98	2.14	0.41	0.78	2.23
S	0.02	0.02	0.68	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+	1.59	2.11	1.94	3.10	2.22	1.80
P.A.F.	(c)	3.08	4.11	4.76	3.52	3.01
Total	99.92	99.84	99.24	99.85	99.83	99.86
Cu	111	7	173	48	38	2
Zn	1.37	254	998	245	346	349
I.A.	(d)	42	59	91	40	36
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	21.48	25.31	41.22	42.40	16.40	17.64
ab	36.03	29.38	1.97	2.55	43.63	42.06
or	0.43	2.03	7.82	9.88	0.49	0.62
an	8.83	1.19	1.26	0.88	7.53	11.91
di	-	-	-	-	-	-
hy	22.75	27.33	29.45	26.58	22.38	20.54
mt	2.23	2.73	3.77	3.53	2.19	2.04
il	2.98	2.95	3.04	2.90	2.82	2.77
ap	(f)	1.00	0.60	0.00	0.67	0.65
cm		4.27	8.47	11.47	11.30	3.89
						1.78

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V6 = andésite; m = massive; css = coussinée; py = pyrite.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashigushi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P2O₅, P2O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite recalculée à 100% P2O₅.

Echantillon	8368
Unité (a)	V6 css
Zone (b)	5
SiO ₂	64.90
TiO ₂	1.31
Al ₂ O ₃	13.27
Σ FeO	7.48
MnO	0.21
MgO	3.82
CaO	1.19
Na ₂ O	4.60
K ₂ O	0.06
P ₂ O ₅	0.29
CO ₂	0.90
S	0.01
H ₂ O+	1.91
P.A.F.	(c) 2.82
Total	99.95
Cu	5
Zn	227
I.A.	(d) 40
norme	
C.I.P.W.	(e)
qz	27.19
ab	40.02
or	0.36
an	4.12
dl	-
hy	18.91
mt	1.86
il	2.56
ap	(f) 0.69
cm	4.29

Annexe 1: Résultats analytiques de l'andésite de Powell et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V6 = andésite; css = coussinée.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme CIPW calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock 1989);
les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P₂O₅, P₂O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est ensuite
recalculée à 100% P₂O₅.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8050 V2Brlee 7	8052 V2Brlee 6	8093 V2Brlee 2	*115690 V2Brlee 7	*115691 V2Brlee 7	8302 V2Brlee 7
SiO ₂	72.50	71.80	70.60	75.80	72.80	74.80
TiO ₂	0.41	0.63	0.48	0.43	0.51	0.34
Al ₂ O ₃	11.06	11.83	12.41	10.41	12.13	11.30
ΣFeO	5.62	6.65	5.84	4.92	4.44	4.21
MnO	0.08	0.05	0.09	0.02	0.04	0.06
MgO	4.16	2.70	3.20	2.40	2.67	2.70
CaO	0.64	0.45	0.32	0.29	0.58	0.22
Na ₂ O	1.18	1.85	4.30	1.26	3.88	2.02
K ₂ O	1.11	1.18	0.31	1.80	0.67	1.44
P ₂ O ₅	0.25	0.28	0.33	0.29	0.32	0.26
C _O 2	1.17	1.04	1.40	1.56	1.61	0.46
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+	1.66	1.49	0.54	0.63	0.25	1.97
P.A.F.	(c)	2.84	2.54	1.95	2.20	1.87
Total		99.85	99.96	99.83	99.82	99.91
Cu		5	4	5	2	130
Zn		54	45	187	26	33
I.A.	(d)	74	63	43	73	43
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	52.64	49.67	36.30	55.95	41.60	52.00
ab	10.28	16.05	37.26	10.95	33.46	17.59
or	6.76	7.15	1.88	10.92	4.04	8.76
an	1.59	0.41	1.63	1.48	0.80	1.12
hy	18.37	15.63	16.04	12.64	12.44	12.63
mt	1.40	1.65	1.45	1.22	1.09	1.05
il	0.80	1.23	0.93	0.84	0.99	0.66
ap	(f)	0.60	0.67	0.00	0.00	0.76
cm		7.57	7.55	4.53	6.02	4.82
						6.19

Annexe 1: Résultats analytiques de la rhyolite de Brownlee et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

* Echantillons prélevés dans le forage 446-84-9, SOQUEM (Lacasse 1984).

(a) V2 Brlee = rhyolite de Brownlee

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme C.I.P.W. calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock, 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P2O5, P2O5 est soustrait de l'analyse chimique qui est recalculée à 100% P2O5.

Echantillon		8068	8332	8081	8084
Unité (a)		V2PwII	V2PwII	V11LMH	V11LMH
Zone (b)		5	5	5	5
SiO ₂		79.90	77.80	66.90	67.10
TiO ₂		0.36	0.36	0.78	0.74
Al ₂ O ₃		9.29	8.79	11.74	11.42
ΣFeO		5.35	4.98	10.66	11.47
MnO		0.06	0.08	0.13	0.10
MgO		1.05	2.44	3.90	3.62
CaO		0.16	0.22	0.25	0.21
Na ₂ O		0.20	1.93	0.24	0.23
K ₂ O		1.82	1.09	1.53	1.36
P ₂ O ₅		0.23	0.24	0.28	0.25
CO ₂		1.04	0.07	1.24	0.97
S		0.01	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+		1.01	1.88	2.18	2.35
P.A.F.	(c)	2.06	1.96	3.43	3.33
Total		100.48	99.89	99.84	99.83
Cu		60	50	25	16
Zn		39	65	174	116
I.A.	(d)	89	62	92	92
norme C.I.P.W.	(e)				
qz		67.78	56.53	48.66	49.51
ab		1.72	16.70	2.11	2.02
or		10.94	6.59	9.39	8.33
an		0.81	1.12	1.29	1.08
hy		9.92	13.01	24.76	25.20
mt		1.32	1.23	2.68	2.87
il		0.70	0.70	1.54	1.46
ap	(f)	0.00	0.00	0.00	0.00
cm		6.82	4.13	9.59	9.53

**Annexe 1: Résultats analytiques de la rhyolite de Powell
et du LMH (Lower Marker Horizon), et calcul de la norme CIPW.**

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V2 = rhyolite; V11 = tuf à lapillis; PwII = Powell;

LMH = "Lower Marker Horizon".

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme C.I.P.W. calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock, 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P2O₅, P2O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est recalculée
à 100% P2O₅.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8055 V2m 8	8059 V2m 8	8436 V2m 8	8437 V2m 8	8438 V2m 8	8440 V2m 8
SiO ₂	74.50	75.60	74.10	74.90	74.00	73.10
TiO ₂	0.43	0.44	0.52	0.58	0.46	0.48
Al ₂ O ₃	10.89	10.67	11.49	11.80	11.28	11.83
ΣFeO	3.77	3.20	3.77	3.82	4.17	3.16
MnO	0.06	0.07	0.05	0.02	0.05	0.08
MgO	1.14	0.98	0.96	0.64	0.95	0.70
CaO	2.05	2.08	1.54	1.02	1.53	2.00
Na ₂ O	3.06	1.54	3.69	3.40	3.86	1.19
K ₂ O	1.43	2.18	1.16	1.61	1.06	4.18
P ₂ O ₅	0.26	0.27	0.34	0.31	0.21	0.27
CO ₂	1.73	2.21	1.10	0.69	0.94	1.73
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+	0.56	0.64	1.14	1.16	1.28	1.18
P.A.F.	(c)	2.30	2.86	2.25	1.86	2.23
Total	99.89	99.89	99.87	99.96	99.80	99.91
Cu	4	49	16	31	6	3
Zn	51	37	125	88	116	58
I.A.	(d)	33	47	29	34	27
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	44.75	52.88	43.33	45.47	41.98	45.19
ab	26.52	13.42	31.96	29.31	33.45	10.38
or	8.65	13.27	7.02	9.69	6.42	25.46
an	8.68	8.81	5.55	3.09	6.37	8.41
di	-	-	-	-	-	-
hy	7.79	6.59	7.16	6.22	7.82	5.77
mt	0.93	0.80	0.93	0.94	1.03	0.79
il	0.84	0.86	1.01	1.12	0.89	0.94
ap	(f)	0.62	0.64	0.81	0.73	0.50
cm		1.23	2.72	2.23	3.41	1.54
						2.43

Annexe 1: Résultats analytiques de la rhyolite de Héré et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V2 = rhyolite; m = massive.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme C.I.P.W. calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock, 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P2O₅, P2O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est recalculée à 100% sans P2O₅.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8441 V2m 8	8442 V2m 8	8443 V2m 8	8444 V2m 8	8445 V2m 8	8446 V2m 8
SiO ₂	74.00	73.70	73.50	73.80	74.50	74.00
TiO ₂	0.42	0.50	0.51	0.44	0.50	0.41
Al ₂ O ₃	11.04	11.87	11.48	11.05	11.34	11.98
ΣFeO	2.76	4.54	4.22	4.02	3.75	4.33
MnO	0.09	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04
MgO	0.72	0.93	0.93	1.26	1.30	1.30
CaO	2.75	1.13	1.44	1.30	0.99	0.76
Na ₂ O	3.25	3.43	3.30	0.63	1.82	3.86
K ₂ O	1.72	1.37	1.47	4.61	3.12	1.25
P ₂ O ₅	0.29	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26
CO ₂	2.30	1.10	0.97	1.47	0.69	0.74
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+	0.54	1.03	1.69	0.91	1.59	0.96
P.A.F. (c)	2.85	2.14	2.67	2.39	2.29	1.71
Total	99.89	99.94	99.85	99.82	99.93	99.90
Cu	41	352	21	63	6	96
Zn	58	69	80	73	94	93
I.A. (d)	29	34	34	75	61	36
norme C.I.P.W. (e)						
qz	42.33	43.77	43.77	47.46	47.67	42.13
ab	28.33	29.65	28.71	5.47	15.76	33.24
or	10.47	8.27	8.93	27.94	18.87	7.52
an	10.77	3.93	5.53	4.81	3.22	2.11
di	1.13	-	-	-	-	-
hy	4.78	8.24	7.81	8.44	8.03	8.95
mt	0.69	1.12	1.05	1.00	0.93	1.07
il	0.82	0.97	1.00	0.86	0.97	0.79
ap (f)	0.69	0.64	0.64	0.64	0.64	0.61
cm	0.00	3.41	2.56	3.39	3.90	3.58

Annexe 1: Résultats analytiques de la rhyolite de Héré et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V2 = rhyolite; m = massive.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme C.I.P.W. calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock, 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P2O₅, P2O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est recalculée à 100% sans P2O₅.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8447 V2m 8	8448 V2m 8	8452 V2 vés. 8	8453 V2m 8	8454 V2m 8	8019 V2 amg cj 7
SiO ₂	75.80	78.00	72.80	75.50	79.50	72.90
TiO ₂	0.46	0.35	0.51	0.42	0.37	0.48
Al ₂ O ₃	11.21	10.12	12.40	10.64	8.31	11.75
ΣFeO	3.43	2.58	3.26	2.53	0.86	4.06
MnO	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05
MgO	1.06	0.83	1.14	0.62	0.13	2.21
CaO	0.82	1.06	1.49	2.23	2.86	1.00
Na ₂ O	3.10	4.89	3.12	3.38	3.77	2.97
K ₂ O	1.77	0.26	1.95	1.36	0.80	1.79
P ₂ O ₅	0.29	0.29	0.29	0.31	0.31	0.28
CO ₂	0.51	1.28	1.68	2.55	2.41	1.98
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+	1.36	0.06	0.90	0.03	0.17	0.33
P.A.F. (c)	1.88	1.35	2.59	2.59	2.59	2.32
Total	99.87	99.77	99.60	99.64	99.55	99.81
Cu	5	3	6	82	319	2
Zn	64	37	47	32	10	28
I.A. (d)	42	15	40	26	12	50
norme C.I.P.W. (e)						
qz	47.48	45.12	42.59	45.76	52.22	42.86
ab	26.75	42.02	27.20	29.46	32.90	25.76
or	10.67	1.56	11.87	8.28	4.88	10.84
an	2.22	3.42	5.66	9.31	3.49	3.21
di	-	-	-	-	2.09	-
hy	6.99	5.32	6.93	4.70	0.00	10.85
mt	0.85	0.63	0.81	0.63	0.21	1.01
il	0.89	0.68	1.00	0.82	0.72	0.93
ap (f)	0.69	0.68	0.69	0.74	0.74	0.66
cm	3.47	0.57	3.24	0.30	0.00	3.87

Annexe 1: Résultats analytiques de la rhyolite de Héré et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V2 = rhyolite; m = massive; vés = vésiculaire; amyg. = amygdalaire; cj = joints polygonaux.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashigushi et al. (1983).

(e) Norme C.I.P.W. calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock, 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P205, P205 est soustrait de l'analyse chimique qui est recalculée à 100% sans P205.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8020 V2m 7	8022 V2cis. 7	8025 V2br cis. 7	8027 V2br 7	8028 V2cj cis. 7	8351 V2m 7
SiO₂	72.70	73.30	73.40	74.00	70.30	74.20
TiO₂	0.52	0.47	0.58	0.56	0.62	0.66
Al₂O₃	11.19	12.01	11.36	11.14	11.79	10.44
ΣFeO	4.05	3.77	4.06	3.61	3.95	5.66
MnO	0.05	0.05	0.13	0.16	0.21	0.18
MgO	1.46	2.08	3.76	3.69	4.62	2.46
CaO	1.42	0.88	0.48	0.28	0.86	0.32
Na₂O	3.60	1.90	2.92	2.50	3.37	0.16
K₂O	1.77	2.47	1.25	1.25	0.77	2.40
P₂O₅	0.33	0.25	0.26	0.31	0.28	0.27
CO₂	1.13	1.56	1.51	2.32	1.61	1.96
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
H₂O+	1.59	1.19	0.11	0.12	1.52	1.16
P.A.F.	(c)	2.73	2.76	1.63	2.45	3.14
Total	99.82	99.94	99.83	99.95	99.91	99.88
Cu	9	29	56	8	16	56
Zn	23	32	84	141	93	1462
I.A.	(d)	39	62	60	64	56
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	39.55	47.70	44.19	47.83	38.77	58.41
ab	31.35	16.53	25.14	21.75	29.45	1.40
or	10.77	15.01	7.52	7.60	4.70	14.69
an	5.03	2.81	0.69	1.43	2.52	1.64
dl	-	-	-	-	-	-
hy	8.89	10.14	14.68	14.09	17.04	13.91
mt	1.01	0.94	1.00	0.90	0.99	1.42
il	1.02	0.92	1.12	1.09	1.22	1.30
ap	(f)	0.79	0.60	0.61	0.00	0.67
cm		1.61	5.36	5.04	5.31	4.67
						7.25

Annexe 1: Résultats analytiques de la rhyolite de Héré et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V2 = rhyolite; m = massive; br. = brèchiforme; c.j. = joints polygonaux; cis. = cisaillée.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme C.I.P.W. calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock, 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P₂O₅, P₂O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est recalculée à 100% sans P₂O₅.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8449 V2c.j. 7	8450 V2c.j. 7	8451 V2c.j. 7	8384 V2c.j. 6	8385 V2m 6	8386 V2m 6
SiO ₂	73.40	75.00	72.80	73.60	73.70	74.00
TiO ₂	0.54	0.32	0.50	0.53	0.54	0.46
Al ₂ O ₃	11.52	10.09	11.42	11.76	11.77	11.79
ΣFeO	4.38	3.44	3.35	3.77	4.24	3.60
MnO	0.06	0.09	0.06	0.02	0.02	0.06
MgO	1.15	0.87	0.77	1.93	1.18	1.38
CaO	1.37	2.13	2.42	0.74	0.79	0.68
Na ₂ O	2.16	3.70	2.95	4.19	4.63	5.81
K ₂ O	1.95	0.79	1.71	1.02	1.12	0.25
P ₂ O ₅	0.28	0.27	0.26	0.23	0.28	0.30
CO ₂	1.66	2.67	3.13	0.76	0.85	0.35
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+	1.10	0.14	0.18	1.28	0.81	1.15
P.A.F.	(c)	2.77	2.82	3.32	2.05	1.67
Total	99.58	99.52	99.56	99.84	99.94	99.84
Cu	39	3	7	16	6	37
Zn	34	37	18	73	31	41
I.A.	(d)	47	22	32	37	30
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	48.54	44.79	43.25	40.31	38.09	35.11
ab	18.87	32.36	25.92	36.23	39.84	49.97
or	11.89	4.83	10.49	6.16	6.73	1.50
an	5.13	8.88	10.70	2.22	2.13	1.44
di	-	0.19	-	-	-	-
hy	8.59	6.83	6.20	9.54	8.26	8.04
mt	1.09	0.86	0.84	0.93	1.04	0.88
il	1.06	0.63	0.99	1.03	1.04	0.89
ap	(f)	0.67	0.65	0.63	0.54	0.66
cm		4.17	0.00	0.97	3.03	2.21
						1.47

Annexe 1: Résultats analytiques de la rhyolite de Héré et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V2 = rhyolite; m = massive; c.j. = joints polygonaux.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme C.I.P.W. calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock, 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P2O₅, P2O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est recalculée à 100% sans P2O₅.

Echantillon Unité (a) Zone (b)	8387 V2m 6	8388 V2m, amg. 6	8389 V2m 6	8423 V2m 6	8431 V2sphér. 6	8432 V2m 6
SiO ₂	72.00	74.20	73.90	75.10	73.80	73.40
TiO ₂	0.47	0.53	0.48	0.42	0.53	0.52
Al ₂ O ₃	11.48	11.83	11.87	10.63	11.84	11.75
ΣFeO	4.05	3.93	4.46	3.37	4.19	4.49
MnO	0.04	0.03	0.01	0.05	0.03	0.02
MgO	1.95	1.23	1.63	1.30	2.53	2.75
CaO	1.39	0.45	0.19	1.24	0.23	0.18
Na ₂ O	5.51	6.00	5.29	5.29	3.74	4.25
K ₂ O	0.01	0.20	0.43	0.27	0.68	0.43
P ₂ O ₅	0.29	0.29	0.29	0.31	0.34	0.29
CO ₂	1.89	0.44	0.76	1.27	0.60	0.23
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
H ₂ O+	0.86	0.72	0.51	0.64	1.36	1.64
P.A.F.	(c)	2.76	1.17	1.28	1.92	1.88
Total		99.95	99.86	99.83	99.90	99.88
Cu		5	5	6	4	17
Zn		37	39	35	39	173
I.A.	(d)	22	18	27	19	45
norme C.I.P.W.	(e)					
qz	33.46	34.81	36.72	38.42	43.87	40.89
ab	47.94	51.41	45.52	45.66	32.41	36.75
or	0.06	1.20	2.58	1.63	4.12	2.60
an	5.14	0.34	0.96	4.21	1.17	0.91
di	-	-	-	-	-	-
hy	10.20	7.94	9.80	7.58	11.72	12.69
mt	1.01	0.96	1.10	0.83	1.04	1.11
il	0.92	1.02	0.93	0.81	1.03	1.01
ap	(f)	0.69	0.68	0.00	0.73	0.00
cm		0.59	1.64	2.40	0.13	4.64
						4.05

Annexe 1: Résultats analytiques de la rhyolite de Héré et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V2 = rhyolite; m = massive; sphér. = sphérolitique; amg. = amygdalaire.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashigushi et al. (1983).

(e) Norme C.I.P.W. calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock, 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P₂O₅, P₂O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est recalculée à 100% sans P₂O₅.

Echantillon		8060	8062	8350
Unité (a)		V2 sphér.	V2m	V2m
Zone (b)		5	5	5
SiO₂		73.40	72.20	79.90
TiO₂		0.46	0.49	0.28
Al₂O₃		12.12	11.34	8.71
ΣFeO		4.93	4.68	5.16
MnO		0.02	0.10	0.07
MgO		2.14	5.22	1.56
CaO		0.28	0.17	0.08
Na₂O		2.84	0.31	0.16
K₂O		1.42	1.58	1.69
P₂O₅		0.25	0.29	0.25
CO₂		1.15	1.33	0.58
S		0.01	0.01	0.01
H₂O+		0.86	2.07	1.44
P.A.F.	(c)	2.02	3.41	2.03
Total		99.88	99.79	99.89
Cu		18	7	416
Zn		40	160	107
I.A.	(d)	53	93	93
norme				
C.I.P.W.	(e)			
qz		45.85	55.58	68.39
ab		24.60	2.73	1.39
or		8.59	9.71	10.22
an		1.42	0.88	0.41
di		-	-	-
hy		11.90	19.80	11.16
mt		1.22	1.18	1.28
il		0.89	0.97	0.54
ap	(f)	0.00	0.00	0.00
cm		5.53	9.16	6.62

Annexe 1: Résultats analytiques de la rhyolite de Héré et calcul de la norme CIPW.

Notes: Oxydes en % poids; minéraux normatifs en % cationique; et éléments traces en ppm.

(a) V2 = rhyolite; m = massive; sphér. = sphérolitique.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) P.A.F. = CO₂ + S + H₂O+.

(d) I.A. = Indice d'altération de Ishikawa et al. (1976) dans Hashiguchi et al. (1983).

(e) Norme C.I.P.W. calculée à partir d'un programme en Fortran 77 (Rock, 1989);

les analyses chimiques sont recalculées à 100% sans volatils.

(f) Lorsque CaO < P₂O₅, P₂O₅ est soustrait de l'analyse chimique qui est recalculée à 100% sans P₂O₅.

Echantillon	8001	8003	8007	8011	8015	8032	*115692
Unité (a)	V6 str. py	V6 str. py	V6 m	V6 m	V6 m	V6 str. py	V6 m
Zone (b)	7	7	7	7	7	7	7
Série (c)	CA 42	CA 70	CA 93	CA 65	CA 97	CA 57	CA 37
Rb	9	37	16	7	22	12	<5
Cs	0.44	0.42	0.40	0.19	0.71	0.37	0.12
Ba	77	421	238	56	359	133	29
Sr	81	22	18	35	20	33	139
La	10.8	10.8	13.4	10.7	11.0	12.4	12.1
Ce	25.8	26.1	33.4	26.2	27.0	30.8	28.6
Nd	13.7	10.6	15.5	12.7	13.3	15.6	12.7
Sm	3.29	3.29	4.38	3.54	3.49	4.11	3.79
Eu	0.92	1.06	0.92	1.06	0.91	1.13	1.27
Tb	0.57	0.54	0.74	0.63	0.62	0.64	0.66
Yb	2.10	2.76	2.56	2.03	2.58	2.78	2.44
Lu	0.37	0.50	0.45	0.38	0.45	0.51	0.43
Ni	22	18	23	23	16	36	25
Co	14.6	19.7	24.7	25.7	26.1	11.8	21.4
Cr	57.4	14.0	10.3	26.3	11.4	6.0	22.8
Sc	23.9	27.8	23.6	24.5	22.1	21.9	23.8
Zr	144	160	149	128	151	160	151
Y	22	25	25	23	25	26	25
Nb	11	12	12	11	11	12	14
Hf	3.2	4.1	3.6	2.8	3.4	4.0	3.4
Th	1.5	1.7	1.7	1.5	1.7	2.0	1.8
U	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4
Ta	0.4	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4
Zr/Y	6.55	6.40	5.96	5.57	6.04	6.15	6.04
Y/Nb	2.00	2.08	2.08	2.09	2.27	2.17	1.79
Tl/Zr	60.4	54.0	45.1	50.1	47.2	45.7	40.5
La/Sm	3.28	3.29	3.06	3.01	3.14	3.02	3.20
La/Yb	5.14	3.92	5.24	5.25	4.25	4.46	4.96
Tl/Y	395	345	269	279	285	281	245
[La/Yb]n	3.39	2.59	3.46	3.46	2.81	2.95	3.28

Annexe 1: Résultats analytiques et quelques rapports de terres-rares et d'éléments traces pour les volcanites de la partie ouest du bloc de Powell.

Notes: Les éléments traces et terres-rares sont exprimés en ppm.

* Echantillons prélevés dans le forage 446-84-9, SOQUEM (Lacasse 1984).

(a) V6 = andésite; str. py. = "stringer de pyrite"; m = massive; css = coussinée.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) Série magmatique d'après [La/Yb]n; CA = calco-alcalin; TH = tholéitique.

Echantillon	8077	8080	8050	8052	8093	*115690	*115691
Unité (a)	V6css	V6css	V2Brlee	V2Brlee	V2Brlee	V2Brlee br	V2Brlee
Zone (b)	6	5	7	6	2	7	7
Série (c)	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA
I.A.	70	35	74	63	43	73	43
Rb	<5	<5	24	12	<5	31	12
Cs	0.30	0.11	0.39	0.27	0.30	0.39	0.25
Ba	28	20	318	170	22	458	111
Sr	33	60	24	43	51	36	30
La	13.6	15.8	15.5	20.0	21.4	15.1	16.0
Ce	31.4	36.9	31.8	49.3	56.8	38.0	37.3
Nd	13.4	18.9	17.1	22.3	26.8	18.8	15.6
Sm	3.70	4.98	4.63	6.94	8.15	4.35	4.84
Eu	1.31	1.44	0.97	1.54	1.74	0.38	0.92
Tb	0.59	0.90	0.90	1.49	1.68	0.81	1.01
Yb	2.08	2.62	3.96	5.63	6.04	4.32	4.72
Lu	0.33	0.48	0.71	0.95	1.02	0.74	0.84
Ni	33	13	9	5	5	5	4
Co	18.3	13.2	7.8	4.3	1.9	3.9	5.8
Cr	57.7	2.1	3.9	4.7	6.0	2.4	4.0
Sc	19.4	23.0	11.1	17.4	16.1	9.6	10.7
Zr	144	156	230	259	212	237	251
Y	22	30	36	51	60	40	43
Nb	15	13	22	16	23	20	21
Hf	3.0	3.5	6.3	7.1	6.1	5.9	6.8
Th	1.2	2.0	3.7	3.1	2.6	3.3	3.5
U	0.2	0.4	0.9	0.7	0.7	0.9	0.9
Ta	0.2	0.3	0.9	0.8	1.0	1.0	0.6
Zr/Y	6.55	5.20	6.39	5.08	3.53	5.93	5.84
Y/Nb	1.47	2.31	1.64	3.19	2.61	2.00	2.05
Tl/Zr	34.6	52.3	10.7	14.6	13.6	10.9	12.2
La/Sm	3.69	3.17	3.36	2.87	2.63	3.48	3.30
La/Yb	6.56	6.03	3.92	3.54	3.55	3.50	3.39
Ti/Y	226	272	68	74	48	64	71
[La/Yb]n	4.33	3.98	2.59	2.34	2.34	2.31	2.24

Annexe 1: Résultats analytiques et quelques rapports de terres-rares et d'éléments traces pour les volcanites de la partie ouest du bloc de Powell.

Notes: Les éléments traces et terres-rares sont exprimés en ppm.

* Echantillons prélevés dans le forage 446-84-9, SOQUEM (Lacasse 1984).

(a) V2 = rhyolite; V6 = andésite; str. py. = "stringer de pyrite; br = brèchiforme.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) Série magmatique d'après [La/Yb]n; CA = calco-alcalin; TH = tholéitique.

Echantillon	8068 V2qzPwll	8061 V11LMH	8084 V11LMH	8055 V2m	8059 V2m	8019 V2mag. cj	8022 V2cis., alt.
Unité (a)							
Zone (b)	5	5	5	8	8	7	7
Série (c)	TH 89	CA 92	CA 92	CA 33	CA 47	CA 50	CA 62
Rb	28	28	24	35	44	27	49
Cs	0.18	0.40	0.29	0.56	0.51	0.73	1.14
Ba	731	568	422	298	216	508	441
Sr	18	17	19	50	39	42	24
La	13.7	11.8	13.5	19.4	15.7	23.2	24.7
Ce	34.5	29.3	33.9	45.2	36.5	55.1	59.3
Nd	18.1	17.0	16.5	21.9	17.0	24.8	27.0
Sm	4.85	4.46	4.81	5.84	4.42	7.16	7.10
Eu	0.51	0.60	0.77	1.04	0.91	1.43	1.24
Tb	1.15	1.07	0.98	1.14	0.79	1.27	1.31
Yb	5.02	3.65	3.44	5.03	3.97	5.09	5.28
Lu	0.87	0.64	0.61	0.86	0.72	0.90	0.92
Ni	4	13	14	5	5	3	3
Co	7.8	16.4	17.1	3.9	2.5	4.4	2.6
Cr	2.9	1.6	1.1	3.1	5.2	13.2	14.0
Sc	7.9	16.0	15.5	11.0	9.5	11.2	11.8
Zr	231	172	163	244	220	248	257
Y	47	38	35	41	31	41	50
Nb	12	13	12	11	11	14	21
Hf	6.5	4.1	3.8	6.5	5.8	6.7	7.2
Th	3.7	1.9	1.8	3.5	3.4	4.1	4.0
U	0.9	0.5	0.4	1.0	0.8	1.0	1.0
Ta	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5	1.1	0.8
Zr/Y	4.91	4.53	4.66	5.95	7.10	6.05	5.14
Y/Nb	3.92	2.92	2.92	3.73	2.82	2.93	2.38
Tl/Zr	9.3	27.2	27.2	10.6	12.0	11.6	11.0
La/Sm	2.83	2.65	2.80	3.32	3.56	3.24	3.47
La/Yb	2.73	3.24	3.92	3.85	3.96	4.56	4.67
Tl/Y	46	123	127	63	85	70	56
[La/Yb]n	1.80	2.14	2.59	2.55	2.62	3.01	3.08

Annexe 1: Résultats analytiques et quelques rapports de terres-rares et d'éléments traces pour les volcanites de la partie ouest du bloc de Powell.

Notes: Les éléments traces et terres-rares sont exprimés en ppm.

(a) V2 = rhyolite; V11 = tuf à lapillis; m = massive; Pwll = Powell;
LMH = "Lower Marker Horizon".

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) Série magmatique d'après [La/Yb]n; CA = calco-alcalin; TH = tholéïtique.

Echantillon	8025	8060	8062
Unité (a)	V2 cis.	V2 sphér.	V2m
Zone (b)	7	5	5
Série (c)	CA 60	CA 53	CA 93
Rb	27	20	25
Cs	0.43	0.17	0.20
Ba	316	187	219
Sr	28	31	25
La	23.1	25.2	18.6
Ce	56.3	61.3	44.9
Nd	19.1	30.2	20.6
Sm	6.75	7.72	5.91
Eu	1.57	1.37	1.00
Tb	1.42	1.14	1.11
Yb	5.27	4.68	4.50
Lu	0.91	0.82	0.77
Ni	9	4	4
Co	6.3	1.7	1.9
Cr	18.9	4.8	3.4
Sc	13.2	10.4	10.5
Zr	257	251	249
Y	51	41	36
Nb	11	12	12
Hf	6.5	6.6	6.6
Th	3.7	3.8	3.8
U	0.8	0.9	0.9
Ta	0.7	0.8	0.7
Zr/Y	5.04	6.12	6.92
Y/Nb	4.64	3.42	3.00
Tl/Zr	13.5	11.0	11.8
La/Sm	3.43	3.26	3.15
La/Yb	4.39	5.38	4.14
Ti/Y	68	67	82
[La/Yb]n	2.90	3.55	2.73

Annexe 1: Résultats analytiques et quelques rapports de terres-rares et d'éléments traces pour les volcanites de la partie ouest du bloc de Powell.

Notes: Les éléments traces et terres-rares sont exprimés en ppm.

(a) V2 = rhyolite; m = massive; amg = amygdalaire; cj = joints polygonaux; cis = cisaillée; sphér. = sphérolitique.

(b) Numéro de la zone volcanotectonique (modifié de Lichtblau 1989).

(c) Série magmatique d'après [La/Yb]n; CA = calco-alcalin; TH = tholéïtique.

Echantillon Unité Série	43 <i>1TPwII</i> CA	44 <i>1TPwII</i> CA	45 <i>1TPwII</i> CA
SiO ₂	74.20	73.90	74.20
TiO ₂	0.31	0.28	0.28
Al ₂ O ₃	13.20	13.00	13.00
ΣFe ₂ O ₃	3.42	3.13	2.99
MnO	0.01	0.02	0.01
MgO	0.51	0.41	0.69
CaO	1.99	1.65	1.29
Na ₂ O	4.90	5.09	4.72
K ₂ O	0.54	0.58	0.54
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.03
L.O.I.	1.54	1.91	1.90
Rb	19	20	24
Ba	194	229	160
Sr	110	74	56
Cs	0.3	0.3	0.4
La	16	17	16
Ce	35	37	29
Nd	18	19	15
Sm	4.1	4.6	3.9
Eu	0.9	0.9	0.7
Tb	0.8	0.9	0.7
Yb	3.4	3.7	3.3
Lu	0.59	0.59	0.58
Zr	190	190	170
Y	34	35	32
Nb	8	8	8
Hf	5.1	5.2	4
U	0.8	1.1	1.1
Th	3.0	3.2	2.7
Ta	0.6	0.7	0.5
Zr/Y	5.59	5.43	5.31
Y/Nb	4.25	4.38	4.00
Tl/Zr	9.8	8.8	9.9
La/Sm	3.90	3.70	4.10
La/Yb	4.71	4.59	4.85
Ti/Y	55	48	52
[La/Yb] _n	3.11	3.03	3.20

Annexe 1: Résultats analytiques de la trondhjemite de Powell (MERQ, Gaulin 1992)
et quelques rapports en éléments traces.

Notes: Oxydes en % poids; éléments traces en ppm.
(a) Série magmatique d'après [La/Yb]_n; Ca = Calco-alcalin.