

Université de Montréal

Reappraisal of the Blake River Group Stratigraphy and its Place in the Archean
Volcanic Record

par

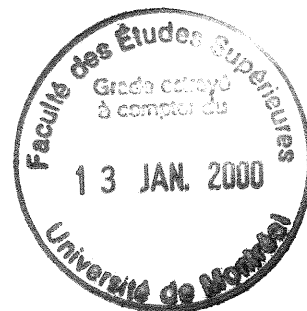
Alice Shirley Péloquin

Département de la géologie
Faculté des arts et des sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Philosophiæ Doctor (Ph.D)
en géologie

FÉVRIER 1999

© A. S. Péloquin, 1999



QE
3
US4
2000
v. 001

U

U

U

Page d'indentification du jury

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée:
Reappraisal of the Blake River Group Stratigraphy and its Place in the Archean
Volcanic Record.

présentée par
Alice Shirley Péloquin

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

Dr. John Stix, Président-rapporteur
Dr. John N. Ludden, Directeur de recherche
Dr. Pierre Verpaelst, Codirecteur
Dr. Jacques G. Martignole, Membre du jury
Dr. Phil Thurston, Examineur externe
Représentant du doyen de la FES

Thèse acceptée le:.....

Abstract

The Archean Blake River Group is located at the southern limit of the Southern Volcanic Zone of the Abitibi Sub-province of the Superior Province of Canada. It is interpreted to be an incipient back-arc basin formed during a circa 2700 Ma extension event recognized in the area.

The Blake River Group is subdivided into three sub-groups based on lithological and geochemical variations. The Noranda sub-group is composed of interlayered andesites and rhyolites. Andesites dominate the Misema sub-group; there are few rhyolites. The Rouyn-Pelletier sub-group is characterized by basalts with rare andesites and rhyolites.

The stratigraphic relationship between the three sub-groups is established using a key-bed, the highly spherulitic Fish-roe rhyolite. This unit is defined by its crystallization spherulites, and distinct geochemistry compared to the general Blake River Group rhyolite data. Statistical analysis of the geochemical data for the Blake River Group rhyolites supports the conclusion that the highly spherulitic rhyolites constitute a single population that is distinct from the general Blake River Group rhyolite population. This suggests that the Fish-roe spherulitic rhyolites are a single unit.

The presence of the Fish-roe rhyolite in all three of the sub-groups suggests that the sub-groups are, at least in part, contemporaneous, and that the Blake River Group is the product of complex interaction between magmatic systems rather than of the evolution of one system. This interpretation, that the lithological and geochemical variations are lateral within a single basin, indicates along-ridge variations with a system peripheral to the main ridge. The along-ridge systems are the Misema and Noranda sub-groups, the Rouyn-Pelletier sub-group being the peripheral system. The Misema is the more mature part of the basin where rhyolitic volcanism has subsided. The andesites of the Misema sub-group exhibit three geochemical affinities: tholeiitic, LREE-enriched and transitional between the former two. The Noranda sub-group represents the propagating tip of the ridge; the andesites are of the same type as those observed in the Misema sub-group, but rhyolites are abundant. The Rouyn-Pelletier sub-group is an independent magmatic system at the edge of the main basin. This system is dominated by tholeiitic basalts.

Petrogenetic modelling of the Noranda sub-group lavas shows that the transitional andesites may be produced by binary mixing of the tholeiitic and LREE-enriched magmas. Crystallization modelling shows that the transitional lava models, with and without rhyolite contamination, and the

tholeiitic model with rhyolite contamination produce evolutionary trends that approximate the trends of the actual data.

Of the modern geotectonic analogues suggested by the lithological and geochemical variations in the Blake River Group, and the geographic distribution of the subgroups, the nascent back-arc basin environment best fits the observed characteristics. Such basins contain basalts, andesites and rhyodacites, the felsic rocks being produced at the propagating tip of the ridge. Two principal geochemical affinities are recognized in the back-arc magmas in general (tholeiitic and calc-alkalic), as well as lavas intermediate to the two; negative Nb anomalies are observed in some lavas due to the subduction zone component. Multiple ridges may be concurrently active in back-arc basins, and volcanogenic massive sulphide deposits form in association with the felsic rocks at propagating ridge tips. All these characteristics of the modern nascent back-arc basin environment are shared by the Blake River Group. The Blake River Group may, therefore, be an ancient equivalent to the leading edge of a propagating ridge such as the Valu Fa ridge at the tip of the East Lau Spreading Centre of the Lau Basin.

Sommaire

Le Groupe de Blake River se trouve à la limite sud de la Zone Volcanique Sud de la Sous-province de l'Abitibi dans la Province de Supérieur de l'âge archeene. Le groupe est interprété comme un bassin naissant dans un environnement d'arrière-arc, et il ferait partie d'un épisode d'extension qui s'est produit dans la Zone Volcanique Sud vers 2700 Ma.

Le Groupe de Blake River est subdivisé en trois sous-groupes. Cette subdivision informelle est basée sur les variations lithologiques et géochimiques. Le sous-groupe de Noranda consiste en andésites et en rhyolites interlitées. Le sous-groupe de Misema est composé surtout d'andésite, avec très peu de rhyolite. Le sous-groupe de Rouyn-Pelletier est caractérisé par des basaltes et peu d'andésite ou de rhyolite.

Les relations stratigraphiques entre les trois sous-groupes du Groupe de Blake River sont établies à l'aide d'une unité repère, la rhyolite hautement sphérolitique de Fish-roe. Cette unité rhyolitique se distingue des autres par ses sphérolites de cristallisation, et par sa géochimie distinctive comparée aux autres rhyolites du Groupe de Blake River. L'analyse statistique des données géochimiques des rhyolites du Groupe de Blake River montre que les rhyolites sphérolitiques constituent une seule population distincte de la population des rhyolites du Groupe de Blake River en général. Ceci suggère que les rhyolites sphérolitiques de Fish-roe sont une seule unité stratigraphique.

La présence de la rhyolite de Fish-roe dans chacun des trois sous-groupes suggère que les sous-groupes sont en partie contemporains, et que le Groupe de Blake River résulte d'interactions complexes entre plus d'un système magmatique, plutôt que d'un seul système en évolution. Cette interprétation que les lithologies et la géochimie varient latéralement à l'intérieur d'un seul bassin, place les variations le long d'un axe de ride et à la périphérie de cette ride. Le premier de ces deux systèmes a produit les sous-groupes de Misema et Noranda, tandis que le deuxième a généré le sous-groupe de Rouyn-Pelletier. Le Misema représente la partie plus mature de la ride; les andésites y dominent et les rhyolites y sont rares. Les andésites montrent trois affinités géochimiques: tholéiitique, enrichie en terres rares légères et transitionnelle entre des deux premiers types. Pour sa part, le Noranda représente le point de propagation le plus tardif du bassin naissant; les andésites sont de même types que celles du sous-groupe de Misema, mais les rhyolites y sont abondantes. Le deuxième système de magma mafique, représenté par le sous-groupe de Rouyn-Pelletier, est à la périphérie du bassin principal qui comprend les sous-groupes de Misema et Noranda. Ce système est dominé par les basaltes tholéiitiques.

La modélisation pétrogénétique du sous-groupe de Noranda démontre que les laves mafiques transitionnelles auraient pu être générées par le mélange binaire des laves mafiques tholéitiques et des laves enrichies en terres rares légères. Ces laves transitionnelles sont les seules qui auraient pu évoluer jusqu'aux rhyolites sans invoquer la contamination. L'émulation des analyses felsiques par les modèles des laves tholéitiques et des laves enrichies en terres rares légères est améliorée par l'ajout d'un contaminant rhyolitique; toutefois dans le cas des andésites enrichies en terres rares légères, il n'y a pas de correspondance entre l'analyse et la composition calculée. Par contre, il y a une bonne correspondance entre les analyses et le modèle de lave tholéitique contaminée par la rhyolite.

Les variations lithologiques et géochimiques et la géométrie des sous-groupes suggèrent deux environnements géotectoniques qu'on peut observer actuellement: les bassins naissants dans un arrière-arc et les zones d'interaction de point chaud (*hot spot*) avec une ride océanique. L'environnement qui correspond le mieux aux caractéristiques observées dans le Groupe de Blake River est celui d'un bassin naissant dans un arrière-arc. Dans de tels bassins, on trouve des basaltes, des andésites et des rhyodacites; les roches les plus felsiques sont produites près du point de propagation de la ride; on y trouve aussi deux affinités principales de laves, tholéitiques et calco-alcalines ainsi que des laves avec les caractéristiques des deux; l'anomalie négative en Nb y est présente à cause d'un constituant de magma d'arc insulaire; il y peut avoir plus d'une ride active en même temps; les dépôts de sulfures massifs volcanogènes, lorsque présents sur les rides, sont associés avec les roches felsiques. Toutes ces caractéristiques suggèrent que le Groupe de Blake River est un équivalent ancien d'une pointe de ride en propagation telle que le *Valu Fa Ridge*, sur la pointe du *East Lau Spreading Centre* du bassin de Lau.

Résumé

Le Groupe de Blake River est un des plus important camps miniers au Canada pour les métaux usuels et précieux. Situé dans les environs de la ville de Rouyn-Noranda dans le nord-ouest du Québec, le Groupe de Blake River se trouve à la bordure sud de la Sous-province de l'Abitibi dans la Province Supérieure d'âge Archéen (Figure 1.1). Les gisements de métaux usuels sont des sulfures massifs volcanogènes (SMV). Donc, les géologues d'exploration, ainsi que les chercheurs scientifiques, s'intéressent à l'origine des roches volcaniques du Groupe de Blake River, ce que en fait l'une des régions les plus étudiées au monde.

Cette thèse a été entreprise dans le cadre de travaux pour le M.R.N.Q. et du projet Abitibi-Grenville du programme LITHOPROBE. Les buts de cette étude sont:

1. d'établir les relations stratigraphiques entre la partie ouest du Groupe de Blake River (où peu d'études ont été faites depuis plusieurs années) et le complexe de chaudron de Noranda (qui a été étudié en profondeur);
2. d'améliorer la caractérisation géochimique du Groupe de Blake River au Québec à l'aide des nouvelles données provenant de la partie ouest du groupe et
3. d'utiliser la stratigraphie et la géochimie du Groupe de Blake River pour définir son environnement de formation, en tenant compte du modèle de formation et d'évolution de la Sous-province de l'Abitibi interprété à partir des données de LITHOPROBE.

Le corps de la thèse consiste en trois publications (Chapitres 3 à 5) qui touchent à ces problèmes de stratigraphie, de corrélation stratigraphique, de caractérisation géochimique et d'interprétation paléogéographique.

La Province de Supérieur du Canada était interprétée comme un complexe d'accrétion comprenant des arcs volcaniques, des plutons, des bassins sédimentaires, des bassins marginaux et des plateaux océaniques (Thurston and Chivers, 1990; Kimura et al., 1993; Calvert and Ludden, 1999). À l'intérieur de la Province de Supérieur, la Sous-province de l'Abitibi a été interprétée comme un terrain d'accrétion pris entre les sous-provinces d'Opatica et de Pontiac (Ludden and Pélouin, 1996; Kimura et al., 1993; Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998; Jackson and Sutcliffe, 1990; Jackson et al., 1994; Calvert et al., 1995) (Figure 1.1). Cependant, des études récentes et actuelles, entreprises par la Commission Géologique du Canada et l'*Ontario Geological Survey*, comprennent des âges radiométriques qui indiquent que certains assemblages, proposés auparavant d'être allochtones (Jackson et Fyon, 1991; Jackson et al. 1994), contiennent des zircons hérités et sont en fait autochtones (Heather et al. 1995; Heather et al. 1996; Ayer et al. 1999a; Ayer et al. 1999b). Par contre, la subdivision de l'Abitibi elle-même en trois zones, les zones volcaniques Nord (ZVN) et Sud (ZVS) séparées par la zone centrale de granite et gneiss (Ludden et al., 1986), reste intacte.

La ZVS a subi un épisode d'extension aux environs de 2700 Ma, qui a créé des bassins volcaniques (Ludden et al., 1986; Ludden and Hubert, 1986; Kimura et al., 1993; Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998). Le Groupe de Blake River se trouve à la limite sud de la ZVS. Il s'est formé entre 2677 et 2707 Ma (Vaillancourt, 1996) et est interprété comme faisant partie de l'épisode d'extension. Ses limites nord et sud sont des failles majeures (Figure 1.2). La Faille de Cadillac - Larder Lake, au sud, a subi un mouvement tardif et a juxtaposé le Groupe de Blake River et la Sous-province de Pontiac. La Faille de Porcupine - Destor, qui délimite au nord les groupes de Blake River et de Kinojévis, ne coïncide pas avec les isogrades

métamorphiques, ni ne les déplace, ni les définit (Powell et al., 1995). Ceci suggère que cette faille est précoce.

Le Groupe de Blake River est subdivisé en trois sous-groupes (Figure 1.2) selon les classifications antérieures (Goodwin, 1977; Gélinas et al., 1984a et 1984b) et les variations lithologiques et géochimiques. Le sous-groupe de Noranda, défini par Goodwin (1977), est le plus étudié; il consiste en andésites et rhyolites interlitées. Il couvre la partie est du Groupe de Blake River, incluant le complexe de chaudière de Noranda et ses dépôts de SMV. Le sous-groupe de Misema, situé à l'ouest de celui de Noranda, a été aussi défini par Goodwin (1977). Il consiste surtout en andésite, avec très peu de rhyolite. Au niveau de la géochimie, les roches du sous-groupe de Misema sont identiques à celles du sous-groupe de Noranda. Le dernier sous-groupe, le Rouyn-Pelletier, se trouve à la limite sud du Groupe de Blake River, et inclut les unités chimico-stratigraphiques de Rouyn et de Pelletier telles que définies par Gélinas et al. (1984a et 1984b). Ce sous-groupe est caractérisé par des basaltes tholéïtiques et peu d'andésite ou de rhyolite.

Le terme "sous-groupe" n'existe plus dans le Code stratigraphique nord-américain (1983); donc, son utilisation est informelle. La interprétation que le Groupe de Blake River est un bassin d'arrière-arc (Péloquin et al., in preparation) laisse supposer que le groupe est peut-être autochtone par rapport aux unités adjacentes. On exclut ainsi la reclassification du Groupe de Blake River en super-groupe; cette classification serait plus à propos pour l'ensemble des groupes qui font partie de l'environnement de formation du Groupe de Blake River. La classification des "sous-groupes" en formations serait sans doute préférable, mais elle est rendue difficile par l'usage commun déjà bien implanté de cette classification pour les unités se trouvant à l'intérieur du sous-groupe de Noranda (Gibson 1989).

Les relations stratigraphiques entre les trois sous-groupes du Groupe de Blake River sont établies à l'aide d'une unité repère, la rhyolite de Fish-roe. Cette unité se distingue par son caractère hautement sphérolitique sur le terrain, et par sa texture et sa géochimie en laboratoire. La présence de cette unité repère dans chacun des sous-groupes suggère que

les sous-groupes sont, au moins en partie, contemporains. Le chapitre 3 (Péloquin et al., 1996), démontre qu'à partir de la texture, la pétrographie et la géochimie, la rhyolite de Fish-roe peut être classée comme une unité repère tel que stipulé par le *North-American Commission on Stratigraphic Nomenclature* (1983) dans l'article 25c du Code stratigraphique nord-américain. L'article 9 du même code inclut la composition, la texture et la géochimie parmi les critères acceptables pour définir une unité stratigraphique. L'article 25c définit une unité repère comme «une unité mince, lithologiquement distincte et largement répandue. Les unités repères individuelles peuvent être tracées latéralement au-delà des limites d'une unité formelle (Article 23c)».¹

Les rhyolites hautement sphérolitiques se présentent en faciès de coulée et en faciès clastique (volcanoclastique, probablement pyroclastique); les deux faciès contiennent des sphérolites, visibles à l'œil sur les affleurements (Figure 3.2a), qui ressemblent, au niveau de la texture interne, aux sphérolites de cristallisation produites par la surfusion (Kirkpatrick, 1978; Natland 1978; Natland, 1980). Cette texture sphérolitique est distincte de la texture des sphérolites de dévitrification communes dans les rhyolites (Figure 3.2b et c). Trois unités de ces rhyolites sont définies (Tableau 3-I): une unité à faciès de coulée avec les gloméro-phénocristaux de plagioclase (la rhyolite de Fish-roe; Figure 3.2d), une unité fragmentaire sans phénocristaux, et une deuxième coulée, très restreinte, qui est porphyrique en quartz et plagioclase. Par contre, les trois unités sont géochimiquement identiques entre elles et sont distinctes des autres rhyolites du Groupe de Blake River.

Les teneurs en Ti, Y, Yb et Zr sont plus élevées dans les rhyolites sphérolitiques comparé aux autres rhyolites du Groupe de Blake River, tandis que la teneur en La est similaire dans les deux populations de rhyolites (Figure 3.5; Tableau 3-II). Ces valeurs donnent des rapports plus élevés en Ti/Zr_n^2 et des rapports plus bas en Zr/Y_n et La/Yb_n dans les rhyolites sphérolitiques (Figure 3.4; Tableau 3-II). Donc, elles peuvent être utilisées

¹ traduction par l'auteur

²_n normalisé à chondrite

comme unités repères. Un test statistique de Student appliqué aux données géochimiques des rhyolites du Groupe de Blake River montre que les rhyolites sphérolitiques constituent une seule population avec une probabilité de 95% (Figure 3.7), et que cette population est distincte de la population des rhyolites du Groupe de Blake River en général. Encore, la probabilité est à 95%. Ceci suggère que les rhyolites sphérolitiques constituent une seule unité stratigraphique.

La présence de la rhyolite hautement sphérolitique fragmentaire dans les sous-groupes de Misema et de Noranda suggère que ces deux domaines se sont formés, au moins en partie, en même temps. La même conclusion peut être tirée pour la relation entre les sous-groupes de Rouyn-Pelletier et de Noranda, car la rhyolite de Fish-roe se trouve dans ces deux domaines. Ces relations entre les trois sous-groupes suggèrent que le Groupe de Blake River et ses gisements de SMV sont le produit d'interactions complexes entre des systèmes magmatiques contemporains, plutôt que le résultat d'un seul système à évolution verticale.

Ces variations lithologiques et géochimiques latérales entre les trois sous-groupes du Groupe de Blake River, à l'intérieur d'un même bassin, peuvent indiquer des variations le long d'un axe de ride et à la périphérie de cette ride (Figure 3.8). Les environnements géotectoniques suggérés par cette géométrie sont les zones de ride en propagation, tels que les bassins marginaux naissants, et les zones d'interactions d'un point chaud du manteau (*hot spot - mantle plume*) avec une ride océanique. Ces analogies sont regardées plus en détail dans le chapitre 5 (Péloquin et al., in preparation).

Les trois sous-groupes du Groupe de Blake River au Québec constituent deux systèmes principaux de magma mafique à intermédiaire. Le premier comprend les sous-groupes de Misema et Noranda, qui constituent deux secteurs de la même ride. Le Misema représente la partie la plus mature du bassin; les andésites dominent et les rhyolites sont rares. Les andésites montrent trois affinités géochimiques. Pour sa part, le Noranda représente le point d'extension du bassin naissant; les andésites sont de même type que celles du sous-groupe de Misema, mais les rhyolites y sont abondantes. Le deuxième

système de magma mafique, le sous-groupe de Rouyn-Pelletier, est périphérique au bassin principal des sous-groupes de Misema et Noranda. Ce système est dominé par les basaltes tholéïtiques. Le chapitre 4 (Péloquin et al., accepté), examine la relation entre les sous-groupes de Noranda et Misema, et donne un aperçu sur le sous-groupe de Rouyn-Pelletier.

Pour fin de comparaison de la stratigraphie et la chimico-stratigraphie, le sous-groupe de Noranda, composé d'andésites et de rhyolites interstratifiées, a été divisé en cinq blocs délimités les failles de Hunter Creek et de Rivière Mouilleuse et par le cisaillement de D'Alembert (Figure 4.2). Ces blocs portent les noms de Flavrian, D'Alembert, Hunter, Mouilleuse et Arnoux. Le sous-groupe de Misema, dominé par les andésites, est divisé en deux blocs par la faille de Baie Fabie: les blocs Kanasuta et Després. Le déplacement le long des failles de Baie Fabie et de Rivière Mouilleuse reste inconnu, tandis que la présence des rhyolites hautement sphérolitiques des deux côtés de la faille de Hunter Creek indique soit un mouvement vertical (ascendant du bloc Flavrian au sud), soit un mouvement senestre. Le cisaillement de D'Alembert semble recouper la faille de Hunter Creek et indique un mouvement horizontal; mais les cisaillements à l'intérieur du bloc D'Alembert répètent la stratigraphie du secteur et montrent aussi un mouvement vertical.

Les andésites des sous-groupes de Misema et de Noranda ont deux affinités géochimiques principales: 1) tholéïtique ou non-enrichie, qui montre un enrichissement en Fe et Ti (Figures 4.8 et 4.9; Tableau 4-II) sans anomalie négative en Nb ni d'enrichissement en éléments légers des terres rares, (Figures 4.11 et 4.14; Tableau 4-II); et 2) enrichie, qui montre un enrichissement en éléments légers des terres rares sans toutefois mériter d'être désignée calco-alcaline et qui n'est pas enrichie en Fe et Ti (Figures 4.8 et 4.9; Tableau 4-II), mais qui a des anomalies négatives en Nb (Figures 4.11 et 4.14; Tableau 4-II). Un troisième type d'andésite montre une tendance transitionnelle entre des deux types principaux (Figures 4.8, 4.9, 4.11 et 4.14; Tableau 4-II) et est probablement le produit du mélange des deux premiers. L'association de ces andésites sur le terrain indique que les systèmes magmatiques qui les ont produites ont fonctionné en même temps.

Entre les blocs du sous-groupe de Noranda, ni les andésites, ni les rhyolites ne montrent des différences géochimiques importantes (Figures 4.8 à 4.14; Tableau 4-II). Sur la coupe chimico-stratigraphique du bloc Flavrian, l'évolution des éléments majeurs indique que les unités de rhyolites et d'andésites sont distinctes et ont évolué de façon indépendante (Figure 4.17a). En montant dans la stratigraphie, la rhyolite de Northwest augmente en Si et diminue en Fe, tandis que l'andésite de Rusty Ridge diminue en Si et augmente en Fe (Figure 4.17a). Par contre, le rapport Zr/Y_n montre une décroissance jusqu'à la fin de la mise en place de l'andésite de Rusty Ridge, après laquelle il augmente abruptement et reste stable par la suite (Figure 4.17b). À l'exception de la rhyolite de Fish-roe définie ci-haut comme unité repère, aucune unité analysée n'est assez distincte pour permettre de définir un lien entre les blocs Flavrian et Hunter à l'échelle de cette étude (Figures 4.17 et 4.18).

Entre le sous-groupe de Misema et celui de Noranda, il n'existe pas de différence évidente au niveau des andésites (Figures 4.8 à 4.14; Tableau 4-II). Les rhyolites ne montrent pas plus de différence, mais il y a très peu de rhyolite dans le sous-groupe de Misema. Par contre le sous-groupe de Rouyn-Pelletier est nettement plus primitif (Figure 4.14; Tableau 4-II). On retient donc le modèle de Groupe de Blake River, avec les sous-groupes de Misema et de Noranda représentant les variations magmatiques le long d'une ride, et le sous-groupe de Rouyn-Pelletier comme système périphérique au bassin (Figure 4.19).

La présence des roches d'affinités géochimiques différentes est depuis longtemps une des caractéristiques les plus reconnues du Groupe de Blake River (Goodwin, 1977; Gélinas et al., 1977). Cette caractéristique, interprétée auparavant comme une évolution magmatique de l'affinité tholéiitique vers l'affinité calco-alcaline, est fondamentale pour l'interprétation de la genèse et de l'évolution du Groupe de Blake River (Goodwin, 1977; Gélinas et al., 1977; Gélinas et al., 1984a et 1984b; Smith, 1980). La constatation que les affinités alternent d'une unité à l'autre a amené des nouvelles interprétations sur la genèse du Groupe de Blake River (Capdevila et al., 1982; Gélinas et Ludden, 1984; Ujike et

Goodwin, 1987; Laflèche et al., 1992a; Laflèche et al., 1992b). La modélisation pétrogénétique des basaltes et andésites, ainsi que les analogies entre des environnements modernes et celui du Groupe de Blake River, sont présentées dans chapitre 5 (Péloquin et al., en préparation).

La base de données du sous-groupe de Noranda a été utilisée dans la modélisation pétrogénétique. Les modèles ont été élaborés avec les logiciels XSTALN et BINMIX de D. Francis (McGill University, Montréal, Québec). Étant donné l'évidence de l'incorporation des rhyolites préexistantes dans les roches volcaniques du chaudron de Noranda (les zircons hérités dans les rhyolites ont le même âge que les rhyolites ailleurs dans le Groupe de Blake River; Vaillancourt, 1996), deux modèles de cristallisation ont été testés pour chacune des affinités géochimiques des basaltes et andésites (Figures 5.5 à 5.7; Tableaux 5-IV à 5-VII, 5-IX et 5-X). Le premier modèle en est un de cristallisation fractionnée, et le deuxième est un modèle de cristallisation fractionnée avec contamination par une rhyolite. Au niveau des éléments majeurs, tous les modèles de cristallisation fractionnée fonctionnent dans les limites raisonnables (Figure 5.5), mais ce n'est pas le cas pour les éléments en trace et des terres rares (Figures 5.6 et 5.7). Pour les roches tholéïtiques et enrichies en terres rares légères, il faut de la contamination pour augmenter le rapport de La/Yb et créer une anomalie négative en Nb dans les roches tholéïtiques, et pour diminuer le rapport de La/Yb et réduire l'anomalie négative en Nb dans les roches enrichies en éléments de terres rares légères. Les deux modèles de cristallisation pour les basaltes et andésites transitionnelles, sans et avec contamination, sont valables (Figures 5.5 à 5.7), mais le modèle sans contamination donne une anomalie négative en Nb un peu plus faible que ce qui est observé dans la rhyolite (Figure 5.7).

La formation des basaltes et andésites transitionnelles par le mélange d'un basalte tholéïtique et d'une andésite enrichie en terres rares légères a été investigué (Figures 5.5 à 5.7; Tableau 5-VIII). La géochimie des roches transitionnelles est consistante avec le mélange binaire des deux autres affinités géochimiques.

Le sous-groupe de Rouyn-Pelletier, étant à part des deux autres sous-groupes, a été traité à part. Ici la relation entre les laves plus primitives et les laves plus évoluées a été étudiée. Trois modèles de cristallisation ont été testés: cristallisation fractionnée, cristallisation fractionnée avec de la contamination en rhyolite, et cristallisation fractionnée avec de la contamination en andésite enrichie en terres rares légères (Figures 5.8 et 5.9; Tableaux 5-XI à 5-XIII). Chacun de ces modèles fonctionne dans une certaine mesure, mais aucun ne fonctionne pour tous les éléments.

La modélisation pétrogénétique démontre que les laves mafiques transitionnelles auraient pu être formées par le mélange binaire des laves mafiques tholéiitiques et enrichies en terres rares légères. Ces laves transitionnelles sont les seules qui auraient pu évoluer jusqu'aux rhyolites sans nécessiter la contamination. L'émulation des analyses felsiques par les modélisations des laves tholéiitiques et enrichies en terres rares légères s'améliore si on ajoute un contaminant rhyolitique. Toutefois, dans le cas des andésites enrichies en terres rares légères, la correspondance n'est pas assez bonne pour retenir ce modèle simple. L'évolution des andésites enrichies en terres rares légères est sans doute plus compliquée que le permet le modèle. Par contre, la correspondance entre les analyses et le modèle tholéiitique contaminé en rhyolite est bonne.

Le dernier sujet abordé concerne les analogies observées entre les environnements géotectoniques modernes et celui du Groupe de Blake River au Québec. Des telles comparaisons sont toujours problématiques. Néanmoins, elles restent encore la meilleure façon de caractériser les données de l'environnement ancien et de les examiner dans un cadre compréhensif. Les caractéristiques du Groupe de Blake River qui doivent être identifiées pour établir la comparaison sont:

1. la présence des basaltes, des andésites et des rhyolites;
2. la distribution de ces lithologies: les basaltes concentrées dans le sous-groupe de Rouyn-Pelletier, les rhyolites concentrées dans le sous-groupe de Noranda, et la domination des andésites dans le sous-groupe de Misema;

3. la division des roches mafiques-intermédiaires en trois affinités géochimiques: tholéïtite, enrichie en terres rares légères et transitionnelles entre les premiers deux;
4. la présence d'une anomalie négative en Nb dans les laves enrichies en terres rares légères et transitionnelles;
5. la relation contemporaine des trois sous-groupes démontrée par la présence d'une unité repère (les rhyolites hautement sphérolitiques - la rhyolite de Fish-roe);
6. la concentration des dépôts de SMV dans le sous-groupe de Noranda, souvent associés avec la rhyolite

Les exemples d'environnement continental ont été éliminés à cause de leur contenu total élevé en éléments des terres rares comparé au Groupe de Blake River (Tableau 5.II). Les environnements océaniques retenus comme analogues possibles sont les bassins naissants en milieu d'arc insulaire et les zones d'interaction entre les rides océaniques et les points chauds (*hot spots*). Ces environnements exhibent l'association des andésites d'affinités géochimiques différentes et les variations lithologiques (basalte, andésite et andésite plus rhyolite).

Les exemples spécifiques choisis pour fin de comparaison avec le Groupe de Blake River sont les bassins des Îles Mariannes (Fryer, 1995; Gribble et al., 1998) et de Lau (Hawkins, 1995) pour les bassins d'arrière-arc, et l'Islande (Jonasson et al., 1992; Jonasson, 1994; MacDonald et al., 1990; McGarvie et al., 1990; Gudmundsson, 1995) pour les zones d'interaction entre une ride océanique et un point chaud. La distribution des lithologies du Groupe de Blake River (les basaltes en bordure, et les andésites et rhyolites au centre) ressemble à celle de l'axe de ride et de la zone externe de l'axe de ride (*on-axis - off-axis*) d'Islande; elle rappelle aussi la progression de la croûte océanique en

bordure du volcanisme d'ouverture du bassin et d'expansion océanique de bassin de Lau. Les correspondances entre les analyses géochimiques des bassins d'arrière-arc et celle du Groupe de Blake River sont meilleures que les correspondances établies avec celles d'Islande, surtout au niveau du contenu en La, et des rapports La/Yb et Nb/Th (Figure 5.10). En plus des ressemblances de géométrie, de lithologie et de géochimie entre les bassins d'arrière-arc et le Groupe de Blake River, on trouve des dépôts de SMV associés aux roches felsiques dans les deux endroits (c.f. Gibson and Watkinson, 1990 - Noranda; c.f. Ishibashi and Urabe, 1995 - bassins d'arrière-arc).

En résumé, le Groupe de Blake River est divisé en trois sous-groupes, définis par des différences lithologiques. Le Rouyn-Pelletier consiste surtout en basaltes tholéiitiques; le Misema, en andésites tholéiitiques, enrichies en terres rares légères et transitionnelle entre les deux, avec peu de rhyolites; le Noranda contient des andésites identiques aux celles du Misema avec les rhyolites abondantes. La contemporanéité, au moins en partie, des trois sous-groupes est indiquée par la présence d'une unité repère, la rhyolite hautement sphérolitique de Fish-roe, dans les trois sous-groupes. Les trois affinités géochimiques des roches mafiques-intermédiaires sont interdigitées. La modélisation lithochimique montre que les roches transitionnelles ont pu être formées par le mélange binaire de magmas tholéiitique et de magma enrichi en terres rares légères. La modélisation montre aussi que la cristallisation fractionnée du magma transitionnel, avec ou sans contaminant rhyolitique, et la cristallisation fractionnée de tholéiite avec contamination en rhyolite auraient pu produire des rhyolites. Les modèles testés avec les andésites enrichies en terres rare ne reproduisent pas la répartition des données réelles, ce qui indique que leur évolution est trop compliquée pour être expliquée par des modèles simples. L'environnement moderne qui correspond le mieux aux caractéristiques observées dans le Groupe de Blake River est celui d'un bassin naissant d'arrière-arc. Dans le bassin de Lau, par exemple, se trouvent des basaltes, des andésites et des rhyodacites; les roches les plus évoluées sont produites près du point de propagation de la ride; deux affinités principales de laves existent, tholéiitique et calco-alcaline; les magmas ont réagi réciproquement pour produire des laves avec les caractéristiques des deux; les anomalies

négatives en Nb sont présentes dans les laves qui contiennent un constituant de magma d'arc insulaire; plus d'une ride est active en même temps; des dépôts de SMV se forment sur le point du *East Lau Spreading Centre* composé d'andésite et rhyodacite (*Valu Fa Ridge*). Toutes ces caractéristiques, ainsi que la géométrie et l'échelle (Figure 5.11), suggère que le Groupe du Blake River peut être un équivalent ancien du *Valu Fa Ridge*, sur le point du *East Lau Spreading Centre*.

TABLE OF CONTENTS / TABLE DE MATIÈRE

Page d'identification du jury	ii
Abstract	iii
Sommaire	v
Résumé	vii
TABLE OF CONTENTS / TABLE DE MATIÈRE	xix
List of Figures / Liste des Figures	xxii
List of Tables / Liste des Tableaux	xxvii
List of Appendices / Liste des Annexes	xxix
Dedication / Dédicace	xxx
Acknowledgements / Remerciements	xxxix
1.0 INTRODUCTION	1
1.1 Literature review and history	1
1.2 Purpose and Methodology	4
1.3 Classifications and Terminology	8
1.4 Structure of the Thesis	16
2.0 GEOLOGICAL SETTING	20
3.0 SPHERULITIC RHYOLITES OF THE ARCHEAN BLAKE RIVER GROUP, CANADA: IMPLICATIONS FOR STRATIGRAPHIC CORRELATION AND VMS EXPLORATION.	27
3.0.1 Abstract	28
3.0.2 Résumé	29
3.1 Introduction	30
3.2 Petrography and Texture	34
3.3 Geochemistry	37
3.4 Statistical Analysis of Geochemical Data	43
3.5 Stratigraphic and Tectonic Implications	45

3.6 Acknowledgements	51
3.7 References	51
4.0 STRATIGRAPHIE DE LA PARTIE OUEST DU GROUPE BLAKE RIVER, SOUS-PROVINCE DE L'ABITIBI, QUÉBEC.	56
4.0.1 Résumé	57
4.0.2 Abstract	59
4.1 Introduction	61
4.2 Objectif et Méthodologie	64
4.3 Remerciements	66
4.4 Cadre Géologique Régional	67
4.5 Stratigraphie	69
4.5.1 Andésites	69
4.5.2 Rhyolites	73
4.6 Altération et Déformation	78
4.7 Géochimie	79
4.7.1 Éléments Majeurs	80
4.7.1.1 Les andésites	80
4.7.1.2 Les rhyolites	80
4.7.2 Éléments en traces	80
4.7.2.1 Andésites	80
4.7.2.2 Rhyolites	90
4.7.2.3 Sous-groupe de Rouyn-Pelletier	91
4.8 Variations Verticales	96
4.8.1 Bloc Flavrian	96
4.8.2 Bloc Hunter	98
4.9 Corrélations	98
4.10 Discussion	101
4.11 Références	104
4.12 Addenda aux Tableaux 4-I et 4-II	109

5.0 THE EASTERN BLAKE RIVER GROUP: A PROPAGATING BACK-ARC BASIN HOSTING VOLCANOGENIC MASSIVE SULPHIDE DEPOSITS	110
5.0.1 Abstract	111
5.0.2 Résumé	113
5.1 Introduction	115
5.2 Geological Setting of the Blake River Group	119
5.3 Stratigraphic relationships of the Blake River Group	124
5.4 Sampling Strategy and Analytical Techniques	125
5.5 Geochemistry	126
5.5.1 Geochemistry of the andesites and basalts	129
5.5.2 Geochemistry of the rhyolites	152
5.6 Modern Analogy for the Eastern Blake River Group	153
5.6.1 Lithologies and Basin Geometry	154
5.6.2 Geochemistry	155
5.6.3 Metallogeny	158
5.7 Summary and Conclusions	159
5.8 References	162
6.0 CONCLUSION	170
7.0 REFERENCES	176

LIST OF FIGURES / LISTE DES FIGURES

- Figure 1.1: Geology of the Abitibi Sub-province of the Superior Province of Canada, showing the Volcanic Zone divisions (Ludden and Hubert, 1986; Ludden et al., 1986) and the Blake River Group. 2
- Figure 1.2: Geology of the Blake River Group showing the sub-groups, the marker units (Fish-roe rhyolite) and the area studied. 6
- Figure 1.3: Geochemical diagrams showing divisions of mafic-intermediate rocks of the Blake River Group in Québec into tholeiitic, LREE-enriched and transitional. a) Mg vs. Fe (cation %) b) Zr/Y_n vs. Zr_n c) La/Yb_n vs. La_n 9
- Figure 1.4: Diagrams from Watson and Harrison (1983, 1984) for the highly spherulitic rhyolites and the Blake River Group rhyolites in general. a) P2O5 versus SiO2. b) Zr (ppm) versus (Na + K + 2Ca)/(Al x Si). 13
- Figure 1.5: Enrichment-depletion diagrams for the Fish-roe rhyolite in the Noranda Cauldron Complex compared to the underlying, Amulet and Waite, rhyolites and the overlying Norque and D'Alembert rhyolites. a) major elements. b) trace and rare earth elements. Enrichment-depletion diagrams for the averages of each of the Amulet, Waite, Norque and D'Alembert rhyolites compared to the average of the four units. a) major elements. b) trace and rare earth elements. 14
- Figure 3.1: Geologic map of the Blake River Group geology (modified from Pélouquin et al., 1990). 31
- Figure 3.2: a) Detail of the lobe-and-breccia facies of the Fish-roe rhyolite flow, showing flow banding and spherulites in the lobe borders. b) devitrification spherulites in Blake River Group rhyolites. c) spherulites in the Fish-roe rhyolite. d) parallel-lath plagioclase glomerophencrysts in the lobe-and-breccia facies of the Fish-roe rhyolite flow. 35
- Figure 3.3: Major element variation diagrams for the Blake River Group rhyolites in general, and the Fish-roe rhyolite: a) Fe vs Si; b) Mg vs Si; c) Al vs Si; d) Ti vs Si; e) Ca vs Si; f) P vs Si. 38
- Figure 3.4: Trace and RE element variation diagrams for the Blake River Group rhyolites in general, and the Fish-roe rhyolite: a) Yb vs La; b) Zr vs La; c) Sm vs La; d) Y vs La; e) Zr/Y vs Zr (Chondrite Normalized); d) La/Yb vs La (Chondrite Normalized); e) Ti/Zr vs Zr (Chondrite Normalized). 41
- Figure 3.5: Enrichment/depletion diagrams highly-spherulitic rhyolites/Blake River Group rhyolites. a) major elements (cations), and b) trace and rare earth elements. 42

- Figure 3.6: Chondrite-normalized Spider diagrams for the highly-spherulitic rhyolites and the other Blake River Group rhyolites. 44
- Figure 3.7: The two-tailed Student t-Test analysis results for a 95% confidence level of the null-hypothesis of a) the average of the fragmental spherulitic rhyolite compared to that of the Fish-roe rhyolite, b) the average of the QFP spherulitic rhyolite compared to that of the Fish-roe rhyolite, and c) the average of all the highly-spherulitic rhyolites compared to that of all other Blake River Group rhyolites. 46
- Figure 3.8: The proposed geographic relationship of the Noranda, Misema and Rouyn-Pelletier Subgroups at the time of their formation. a) schematic cross-sectional view of the Noranda and Rouyn-Pelletier Subgroups. b) schematic cross-sectional view of the Misema and Rouyn-Pelletier Subgroups. c) schema of the relationship between the three subgroups 49
- Figure 4.1: Localisation de la Sous-Province de l'Abitibi et du Groupe de Blake River dans la Province de Supérieur. 62
- Figure 4.2. Géologie du Groupe de Blake River avec les sous-groupes, les unités repères (la rhyolite de Fish-roe) et le secteur d'étude. 63
- Figure 4.3: Géologie du secteur étudié avec les sous-groupes, les rhyolites hautement sphérolitiques, les blocs structuraux et les coupes chimico-stratigraphiques. 65
- Figure 4.4: La carte de métamorphisme du Groupe de Blake River adaptée de Powell et al. (1995) 70
- Figure 4.5: a) andésite coussinée silicifiée, b) brèche andésitique montrant des fragments partiellement et entièrement silicifiés, c) photomicrographie d'un microphénocrystal de pyroxène relique, d) photomicrographie d'un pseudomorphe d'une microphénocrystal d'olivine. 71
- Figure 4.6 a) faciès lobes et brèches montrant l'autobréchification en bordure d'un lobe, b) brèche rhyolitique à blocs et à lapilli, c) photomicrographie des sphérolites de dévitrification dans une rhyolite, d) photomicrographie de la texture perlitique dans un brèche rhyolitique. 74
- Figure 4.7 Les rhyolites hautement sphérolitiques: a) faciès lobes et brèches dans le bloc Hunter, b) coulée PQF dans le bloc Kanasuta, c) photomicrographie des sphérolites de cristallisation, d) photomicrographie des gloméro-phénocristaux de plagioclase. 77
- Figure 4.8: Diagrammes de Mg versus Fe (en % cationique) pour chaque bloc structural dans le secteur d'étude. 81
- Figure 4.9: Diagrammes de Ti versus Si (en % cationique) pour chaque bloc structural dans le secteur d'étude. 82

Figure 4.10: Diagrammes de Al versus Si (en % cationique) pour chaque bloc structural dans le secteur d'étude.	83
Figure 4.11: a) La/Yb _n versus La _n pour toutes les analyses de cette étude. b) Nb/Th _n versus Nb/La _n pour toutes les analyses de cette étude.	84
Figure 4.12: Diagrammes La/Yb _n versus La _n pour chaque bloc structural dans le secteur étudié.	87
Figure 4.13: Diagrammes Ni versus Zr pour chaque bloc structuraux dans le secteur étudié.	88
Figure 4.14: Diagrammes «araignées» (Spider) pour chaque bloc structural dans le secteur étudié.	89
Figure 4.15: Diagrammes des gains et pertes en a) éléments majeurs (% cationiques) et b) éléments en traces et des terres rares, pour les rhyolites hautement sphérolitiques normalisées par rapport aux teneurs moyennes des rhyolites du Groupe de Blake River.	92
Figure 4.16: Diagrammes géochimiques pour le sous-groupe de Rouyn-Pelletier, au sud du secteur étudié: a) Mg versus Fe (% cationique); b) Ti versus Si (% cationique); c) Al versus Si (% cationique); d) La/Yb _n versus La _n ; e) Nb/Th _n versus Nb/La _n ; f) Les diagrammes «araignées» (Spider) pour le sous-groupe de Rouyn-Pelletier.	93
Figure 4.17: Les coupes chimico-stratigraphiques F1 et F2 du bloc Flavrian: a) pour quelques éléments majeurs, b) pour quelques rapports d'éléments en traces et des terres rares.	97
Figure 4.18: Les coupes chimico-stratigraphiques H2, H3, H4, H7, H8 et H10 du bloc Hunter: a) pour quelques éléments majeurs, b) pour quelques rapports d'éléments en traces et des terres rares.	99
Figure 4.19: Relation paléogéographique proposée pour les sous-groupes de Noranda, de Misema et de Rouyn-Pelletier lors de leurs formations. a) schéma d'une coupe à travers les sous-groupes de Noranda et de Rouyn-Pelletier. b) schéma d'un coupe à travers les sous-groupes de Noranda et de Misema. c) schéma de la relation entre les trois sous-groupes.	103
Figure 5.1: Geology of the Abitibi Sub-province of the Superior Province of Canada, showing the Volcanic Zone divisions (Ludden et al., 1986; Ludden and Hubert, 1986) and the Blake River Group.	116
Figure 5.2: Geology of the Blake River Group showing the subgroups, the marker units (Fish-roe rhyolite) and the areas studied.	120

- Figure 5.3: Variation diagrams showing the three mafic - intermediate rock affinities of the eastern Blake River Group: tholeiitic, LREE-enriched and transitional. a) Mg versus Fe cation % diagram for the Blake River Group. b) Ni versus Zr (ppm) diagram for the Noranda and Misema sub-groups. c) La/Yb versus La diagram for the Blake River Group. 130
- Figure 5.4: Chondrite normalized trace and rare earth element diagrams for the Blake River Group. Mafic and intermediate rocks: Tholeiitic a) Noranda sub-group b) Misema sub-group; LREE-enriched rocks c) Noranda sub-group d) Misema sub-group; Transitional e) Noranda sub-group f) Misema sub-group. Felsic rocks: g) Noranda sub-group h) Misema sub-group. The Rouyn-Pelletier sub-group: i) mafic, intermediate and felsic rocks. 131
- Figure 5.5: Major element variation diagrams for the Noranda sub-group, showing the fractional crystallization model results, with and without rhyolite contamination for the tholeiitic, LREE-enriched and transitional lavas. The results of binary mixing a tholeiitic basalt and a LREE-enriched andesite are also shown. a) Mg versus Si (cation %). b) Mg versus Fe (cation %). c) Ti versus Mg (cation %). d) Al versus Mg (cation %). 137
- Figure 5.6: Trace and rare earth element diagrams for the Noranda sub-group, showing the fractional crystallization model results, with and without rhyolite contamination for the tholeiitic, LREE-enriched and transitional lavas. The results of binary mixing a tholeiitic basalt and a LREE-enriched andesite are also shown. a) Ni versus Zr (ppm); b) La/Yb versus La (ppm); c) Nb/Th versus Zr (ppm) 138
- Figure 5.7: Chondrite normalized trace and rare earth element diagram for the Noranda sub-group, showing the fractional crystallization and binary mixing model results: Tholeiitic crystallization models a) crystallization, b) crystallization with rhyolite contamination; LREE-enriched crystallization models c) crystallization, d) crystallization with rhyolite contamination; Transitional crystallization models e) crystallization; f) crystallization with contamination; Binary mixing model g) mixing of a tholeiitic basalt and an LREE-enriched andesite. 139
- Figure 5.8: Major, trace and rare earth element variation diagrams for the lavas of the Rouyn-Pelletier sub-group, showing trends for fractional crystallization, and fractional crystallization with LREE-enriched andesite contamination and with rhyolite contamination. a) Mg versus Fe (cation %) b) Ti versus Mg (cation %) c) La/Yb versus La (ppm) d) Nb/Th versus Zr (ppm) 150
- Figure 5.9: Chondrite normalized trace and rare earth element diagrams for the Rouyn-Pelletier sub-group crystallization and binary mixing models a) crystallization of a tholeiitic basalt; b) crystallization of a tholeiitic basalt with LREE-enriched andesite contamination; c) crystallization of a tholeiitic basalt with rhyolite contamination. 151

- Figure 5.10: Variation diagrams comparing the Blake River Group mafic-intermediate lavas to modern ridge-plume and supra-subduction zone environments: zone of ridge-plume interaction - Iceland; island arcs - New Britain and Luzon arcs; backarc basins - Lau Basin and Mariana Trough. The Rouyn-Pelletier subgroup lavas are shown separately, as they are geochemically distinct from the other Blake River Group lavas (the Noranda and Misema sub-groups). a) Mg versus Fe (cation %); b) Log-La (ppm) versus Mg (cation %); c) La/Yb versus Log-La (ppm); d) Nb/Th versus Log Nb/La (chondrite normalized). 156
- Figure 5.11: Maps of a) the Blake River Group in the Superior Province of Canada and b) the Lau basin in the South Pacific. Shows scale of Blake River Group compared to the propagating tip (Valu Fa Ridge - VF) of the East Lau Spreading Centre (ELSC). (Lau basin map from Hawkins, 1995) 161
- Figure 6.1: The proposed geographic relationship of the Noranda, Misema and Rouyn-Pelletier Subgroups at the time of their formation. a) schematic cross-sectional view of the Noranda and Rouyn-Pelletier subgroups. b) schematic cross-sectional view of the Misema and Rouyn-Pelletier subgroups. c) schema of the relationship between the three subgroups 172
- Figure 6.2: Maps of a) the Blake River Group in the Superior Province of Canada and b) the Lau basin in the South Pacific. Shows scale of Blake River Group compared to the propagating tip (Valu Fa Ridge - VF) of the East Lau Spreading Centre (ELSC). (Lau basin map from Hawkins, 1995) 175

LIST OF TABLES / LISTE DES TABLEAUX

Table 1-I: General geochemical characteristics of the mafic-intermediate rocks of the Blake River Group.	10
Table 3-I: General field, petrographic and geochemical characteristics of the highly-spherulitic rhyolites in the Blake River Group.	33
Table 3-II: Chemical analyses of the highly-spherulitic rhyolites with averages of the individual units and of all the units combined. Average chemical compositions of the other Blake River Group rhyolites broken down into the Noranda and Misema Subgroups, and combined. Also average chemical compositions of mafic to intermediate and felsic rock types of the Blake River Group (from Péloquin et al., 1989a, 1989b, unpub. data).	39
Tableau 4-I: Moyennes de certains éléments des roches volcaniques selon leurs blocs structuraux, lithologies et affinités.	86
Tableau 4-II: Moyennes de certains éléments des roches volcaniques selon leurs sous-groupes, lithologies et affinités.	95
Table 5-I: Selected analyses from the Blake River Group in Québec	127
Table 5-II: Andesites of the Blake River Group compared to compiled data on andesites from Cullers and Graf (1984:Table 8.1)	129
Table 5-III: Trace and rare earth element values, ratios and chondrite normalized values and ratios for selected analyses from the eastern Blake River Group	133
Table 5-IV: Parameters and results of the crystallization model of the tholeiitic andesites of the Noranda sub-group	135
Table 5-V: Parameters and results of the crystallization model of the tholeiitic andesites of the Noranda sub-group with a rhyolite contaminant	136
Table 5-VI: Parameters and results of the crystallization model for the LREE-enriched andesites of the Noranda sub-group	141
Table 5-VII: Parameters and results of the crystallization model of the LREE-enriched andesites of the Noranda sub-group with a rhyolite contaminant	142
Table 5-VIII: Parameters and results of the binary mixing model between a tholeiitic and LREE-enriched andesite of the Noranda sub-group	143
Table 5-IX: Parameters and results of the crystallization model of the transitional andesites of the Noranda sub-group	145

Table 5-X: Parameters and results of the crystallization model of the transitional andesites of the Noranda sub-group with a rhyolite contaminant	146
Table 5-XI: Parameters and results of the crystallization model of the tholeiitic andesites of the Rouyn-Pelletier sub-group	147
Table 5-XII: Parameters and results of the crystallization model of the tholeiitic andesites of the Rouyn-Pelletier sub-group with a LREE-enriched andesite from the Noranda sub-group as contaminant	148
Table 5-XIII: Parameters and results of the crystallization model of the tholeiitic andesites of the Rouyn-Pelletier sub-group with a rhyolite from the Noranda sub-group as contaminant	149

LIST OF APPENDICES / LISTE DES ANNEXES

Appendix A: Seismic reflection profiles across the "Mine Series" in the Noranda camp of the Abitibi belt, eastern Canada (Verpaelst et al. 1995).	A-i
Appendix B: Stratigraphie et Pétrographie (Péloquin et al., non-publié).	A-xxiv
Appendix C: Data on Analytical Laboratories and Methods	A-xxvii
Appendix D: Tables of Analyses and Sample Locations	A-lviii
Appendix E: Mineral Kd's (Modelling program - XSTALN)	A-lxxix
Appendix F: Calculated Mineral Chemistry (modelling program - XSTALN) .	A-lxxxii
Appendix G: Binary Mixing Models between Tholeiites and a Rhyolite of the Noranda sub-group, Parameters and Results (modelling program - BINMIX) . . .	A-xci

*I dedicate this thesis to
my parents, Kathleen and Ralph,
my spouse, Phil,
and
my son, Isaac.*

ACKNOWLEDGEMENTS / REMERCIEMENTS

This thesis was financed by the Service géologique du Nord-Ouest, Ministère des Ressources Naturelles du Québec through the Unité de Recherche et de Service en Technologie Minérale, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (A.S. Péloquin); by the National Science and Engineering Research Council of Canada, Strategic Grant to J.N. Ludden; and by the Fonds pour la Formation de Chercheurs et à l'Aide à la Recherche and the Université de Montréal, Doctorate Scholarships to A.S. Péloquin.

I wish to thank Dr. John Ludden for his support, moral as well as financial and scientific, and Dr. Pierre Verpaelst for his support and friendship, as well as for initiating this project. Gilles Gauthier was indispensable in the ICP-MS lab, assuring the best possible data, and Amira Khouri assisted in the sample preparation for the ICP-MS. The support staff and technicians at the Université de Montréal helped in ways too numerous to mention. Dr. Denis Marcotte, École Polytechnique de Montréal, provided the statistical analyses for Chapter 3. Dr. Don Francis, McGill University, provided his modelling programs and took the time (and time again) to help me get them running. I also wish to thank Dr. Claude Hubert for the many discussions on the structure and evolution of the Blake River Group, and Dr. Alex Brown for his part in the realization of this project. Finally, I thank my family and friends for putting up with a very long "final thesis phase".

1.0 INTRODUCTION

The Blake River Group constitutes one of the premiere mining camps of Canada for both base and precious metals. Located in the Rouyn-Noranda area of Northwestern Québec, the Blake River Group is the southern-most part of the Abitibi Sub-province of the Archean Superior Province (Figure 1.1). The base metal deposits are volcanogenic massive sulphides, making the origin of the volcanic rocks comprising the Blake River Group of interest to research and exploration geologists. For this reason, the area is one of the best studied in the world.

1.1 Literature review and history

The discovery of the Horne polymetallic mine (Cu-Au-Ag) in 1920 opened up the Blake River Group in Québec for geological studies. Wilson's and Ambrose's reports in 1941 were among the first comprehensive works in the area (Wilson, 1941; Ambrose, 1941). Systematic mapping was undertaken by the Ministère des Ressources Naturelles du Québec in the 1950's and 1960's (Robinson, 1950; L'Espérance, 1951; Dugas and Gilbert, 1955; Dugas, 1957; Behr et al., 1958; Hogg, 1959; Dugas, 1964; Dugas and Hogg, 1965; Hogg and Dugas, 1965). All of the data from these studies was compiled in 1977 for the Geoscientific Compilation Maps (updated versions: M.R.N.Q., 1982). Although, few systematic mapping projects have been undertaken since that time (Leduc, 1986; Goutier, 1997a; Goutier, 1997b; Verpaelst and Rioux, 1992), a number of regional thematic studies and compilations, which included field work, have been produced (Sharpe, 1968; de Rosen-Spence, 1976; Goodwin, 1979; Dimroth et al., 1982; Dimroth et al., 1983a; Dimroth et al., 1983b; Gélinas et al., 1984a ; Gélinas et al., 1984b; Hubert et al., 1984; Laflèche et al., 1992a; Laflèche et al., 1992b; Péloquin et al., 1989b; Péloquin et al., 1989a; Péloquin et al., unpublished; Péloquin et al., accepted - Chapter 4 of this thesis).

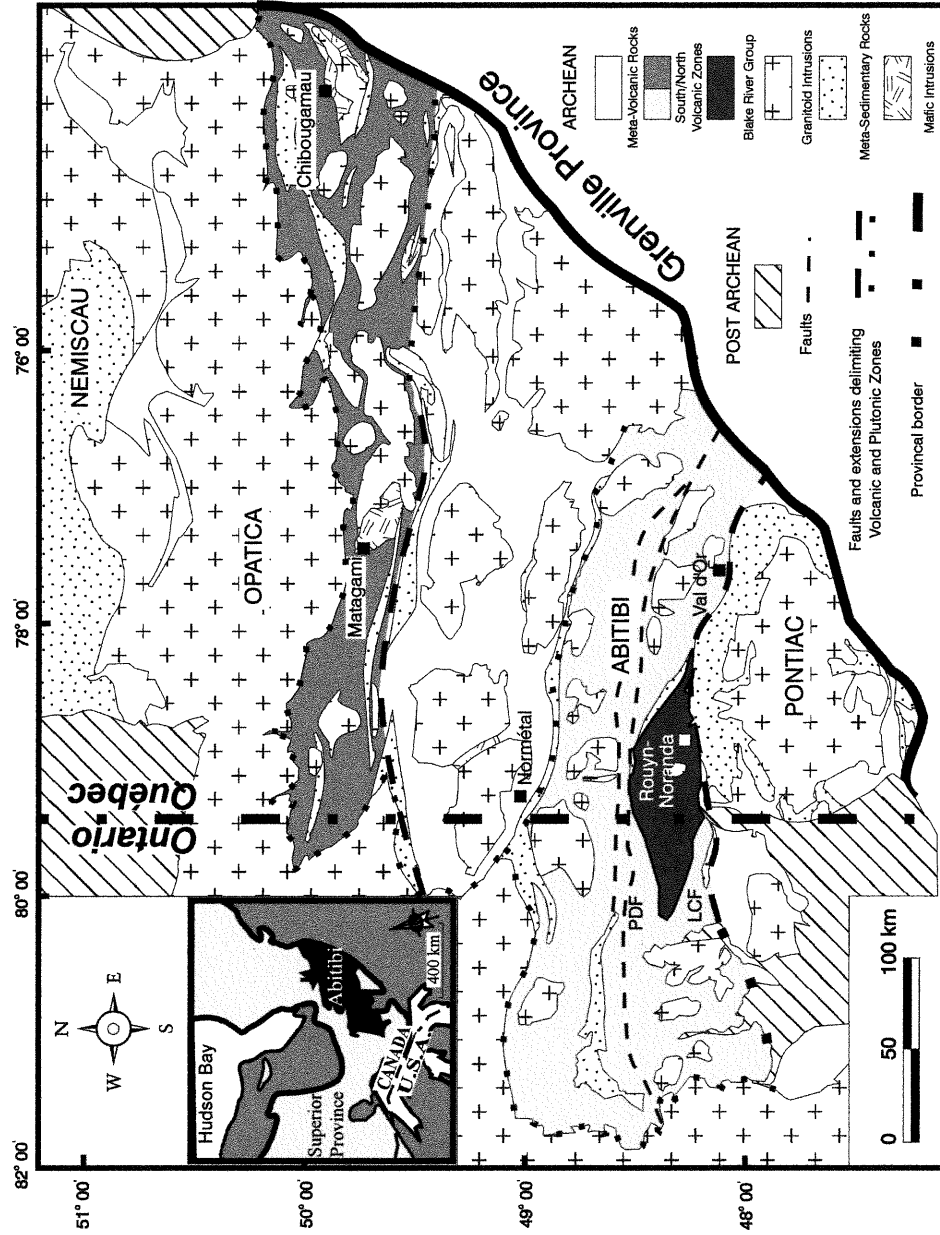


Figure 1.1: Geology of the Abitibi Sub-province of the Superior Province of Canada, showing the Volcanic Zone divisions (Ludden and Hubert, 1986; Ludden et al., 1986) and the Blake River Group, LCF - Larder Lake Cadillac Fault; PDF - Porcupine Destor Fault

Géologie de la Sous-province de l'Abitibi, Province Supérieure du Canada. Les Zones Volcaniques Nord et Sud (Ludden and Hubert, 1986; Ludden et al., 1986), ainsi que le Groupe de Blake River, sont indiqués. LCF - Faille de Larder Lake Cadillac; PDF - Faille de Porcupine Destor

Many localized field studies of the stratigraphy and volcanology of the Mine Camp are also available (Trudel, 1978; Trudel, 1979; Cousineau, 1980; Verpaelst, 1980; Cousineau, 1981; Verpaelst, 1985; Gibson, 1989; Camiré, 1989; Paradis, 1990). Studies of individual mines and mineral deposits are too numerous to list; Chartrand and Cattalani (1990) and Gibson and Watkinson (1990) are overview papers of the volcanogenic massive sulphide (VMS) deposits in the Noranda area, and Barrett and MacLean (1994) summarizes their work for the Québec government. An overview of the gold deposits is given in Robert (1990).

Geochemical studies of the volcanic rocks abound due to their low degree of deformation and metamorphism (Baragar, 1968; Goodwin and Smith, 1980; Smith, 1980; Capdevila et al., 1982; Gélinas and Ludden, 1984; Jensen, 1985; Ujike and Goodwin, 1987; Fowler and Jensen, 1989), and the body of knowledge on the Blake River Group has made it a target for U-Pb geochronological studies (Mortensen, 1987; Mortensen, 1993b; Vaillancourt, 1996).

The LITHOPROBE - Abitibi-Grenville Project has provided valuable geophysical data (reflection seismic and gravimetric) concerning the internal structure of the Blake River Group and its relationship with the adjacent groups and with the Pontiac Sub-province (Green et al., 1990; Jackson et al., 1990; Bellefleur, 1992; Jackson et al., 1995; Verpaelst et al., 1995 - Appendix A). Three high-resolution reflection seismic surveys were undertaken over the Blake River Group, two in Québec (Adam et al., 1992; Verpaelst et al., 1995 - Appendix A) and one in Ontario (Jackson et al., 1990; Jackson et al., 1995).

Interpretation of the formation and evolution of the Blake River Group has changed with the change in prevalent models of the evolution of the Abitibi Sub-province. In the early to mid-eighties, two principal models of the formation of the Abitibi were at odds: formation of the Abitibi in a uniquely Archean tectonic regime - megacauldrons (Jensen, 1985) and in a tectonic regime similar to the modern - island arc environment (Dimroth et al., 1982; Dimroth et al., 1983a; Dimroth et al., 1983b). Ludden et al. (1986) interpreted the Abitibi to represent a continental arc that underwent late-stage rifting. More recent theories of the evolution of the Abitibi Sub-province include accretion of

micro-plates (Jackson and Fyon, 1991; Jackson et al., 1994) and a late stage rifting event, which occurred, at least locally, in accreted assemblages (Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998). These models imply that the southern Abitibi Sub-province represents a series of allocthonous terrains. However, new studies show that some groups or assemblages contain inherited zircons of the same age as the underlying group or assemblage (Heather et. al., 1995; Heather et. al., 1996; Ayer et al., 1999a; Ayer et al., 1999b). This means that not all of the previously defined groups or assemblages are individual allocthonous terrains, some are stratigraphically related one to the other (autocthonous) (Heather et. al., 1995; Heather et. al., 1996; Ayer et al., 1999a; Ayer et al., 1999b).

1.2 Purpose and Methodology

The present study was undertaken under the direction of the Ministère des Ressources Naturelles du Québec and the LITHOPROBE - Abitibi-Grenville Project. The goals of the study were:

- 1) to establish a stratigraphic relationship between the western part of the Blake River Group in Québec, where little work had been done for many years, with the well-known Noranda cauldron complex,
 - 2) to refine the geochemical characterization of the Blake River Group in Québec using new data obtained from the less-studied western part of the group,
- and
- 3) to use the stratigraphy and geochemistry of the Blake River Group to define a paleogeographic environment of formation consistent with the formation and evolution of the Abitibi Sub-province as interpreted from the LITHOPROBE data.

The field verification and geochemical sampling of the western part of the Blake River Group was undertaken over 3 years, in the employ the Unité de Recherche et de Service en Technologie Minérale under contract to the Ministère des Ressources Naturelles du Québec (Figure 1.2 - Sample Area 1). Mapping was done along chosen corridors using 1 : 15 000 scale air photos and 1 : 20 000 scale compilation maps (M.R.N.Q., 1982). The southern part of the group (Figure 1.2 - Sample Area 2) was sampled over 1 week using a 1 : 12 200 scale map (Côté, unpublished) and 1 : 15 000 scale air photos. Thin sections, and polished sections and slabs, were made at the CEGEP de l'Abitibi-Témiskamingue; a résumé of the petrography taken from Péloquin et al. (unpublished) is included as Appendix B.

Rock samples were ground for geochemical analysis using a Tungsten-Carbide shatterbox at the Centre de Recherche Minérale (CRM - Québec Government Laboratory). Initial major element and trace element analyses of 306 samples, including rock powders supplied by H. Gibson (34 samples) and S. Paradis (15 samples) were made by X-Ray Fluorescence (XRF) and Atomic Emission Spectroscopy (AES) at the CRM (all data, including REE available from CRM - BAROQ database). Of these samples 122 (including 6 from H. Gibson and 2 from S. Paradis) were analyzed for rare earth and trace elements at CRM by Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA). A sub-group of 55 samples of andesites and basalts were re-analyzed for trace elements using XRF - pressed powder method at the Université de Montréal geochemistry laboratory as a control to the CRM analyses which had been done over a period of 3 years. A further subset of 11 of the 55 andesites and basalts were analyzed at the Université de Montréal by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS) solution method. Dissolution, using HF-HNO₃-HClO₄ in a closed teflon Savillex® beaker, was performed according to the method described in Lahaye et al. (1995). For the 11 samples, the ICP-MS data replaced the XRF data, except for Zr which showed possible dissolution problems (c.f. Appendix C-viii). Detection limits, and precision and accuracy calculations for the CRM and Université de Montréal data are given in Appendix C.

In the Rouyn-Pelletier sub-group, 18 samples, ground at the Université de Montréal using an agate mortar, were analyzed for major elements at X-RAL (X-ray Assay Laboratories) using XRF-fusion method. Of these 11 were retained as unaltered and analyzed for trace elements by XRF-pressed powder method at McGill University and for rare earth and trace elements by ICP-MS solution at the Université de Montréal. Again, the ICP-MS data replaced the XRF data, except for Zr which had shown possible dissolution problems (c.f. Appendix C-viii). Detection limits, and precision and accuracy calculations for the X-Ray Assay Laboratories and McGill University data are also given in Appendix C.

Only the least-altered samples were retained for the study. Analyses were rejected if the analytical total was less than 99.00% or greater than 101.00%. Samples were rejected as altered based on the criteria of Gélinas et al. (1977); the most common rejection was due to loss on ignition (LOI) values of over 3.8% and the presence of corundum in mafic-intermediate rock norms. The presence of wollastonite or nepheline in the normative mineralogy also led to rejection of the sample, but these were less-common occurrences. Finally, Harker diagrams were constructed, and any samples that were consistently extraneous to the main data fields were not used. Of the total 317 new analyses, 219 were retained for the stratigraphic study in Chapter 4 (Péloquin et al., accepted), 111 of these having REE data. Analyses are given in Appendix D, and sample locations in Modified Transverse Mercator (MTM- units used on Québec 1 : 20 000 scale topographic maps) are given in Appendix E. Six analyses from Verpaelst (1985) were added to the stratigraphic study. A subset of 108 of the above analyses, all with REE data, was chosen for the interpretive study in Chapter 5 (Péloquin et al., in preparation; Table 5-I), and 14 analyses from Verpaelst (1985) and one from Zhang (unpublished data) were added. Chapter 3 (Péloquin et al., 1996; Table 3-II) uses the 9 highly-spherulitic rhyolite analyses and averages of the other lithologies' geochemistry.

1.3 Classifications and Terminology

The volcanic rocks of the Blake River Group were classified based on the anhydrous SiO₂ content of the analyses using the breakdown of Gélinas et al. (1977):

basalt	<54% SiO ₂
andesite	54-62% SiO ₂
dacite	62-67% SiO ₂
rhyodacite	67-71% SiO ₂
rhyolite	>71% SiO ₂

In some cases, for ease of representation on diagrams, the analyses were regrouped into:

mafic	<54% SiO ₂
intermediate	54-67% SiO ₂
felsic	>67% SiO ₂

Chemical affinities of the mafic-intermediate rocks were defined by their grouping and evolutionary trends on Mg versus Fe (cation %) (Figure 1.3a), Zr/Y_n¹ versus Zr_n (Figure 1.3b) and La/Yb_n versus La_n (Figure 1.3c) diagrams, and on their REE contents (Table 1-I). The basalts and andesites, exhibiting Fe enrichment, also have low Zr/Y and La/Yb ratios (Figure 1.3; Table 1-I); those exhibiting no Fe enrichment have high Zr/Y and La/Yb ratios (Figure 1.3; Table 1-I). A group of andesites fall between these two end-members on the graphs (Figure 1.3) and show correspondingly intermediate ratios (Table 1-I). The basalts and andesites exhibiting LREE enrichment (high La/Yb chondrite normalized ratios) are here designated LREE-enriched lavas rather than calc-alkalic in order to avoid any genetic connotations. Again, on some diagrams in the thesis the basalts

¹_n = chondrite normalized

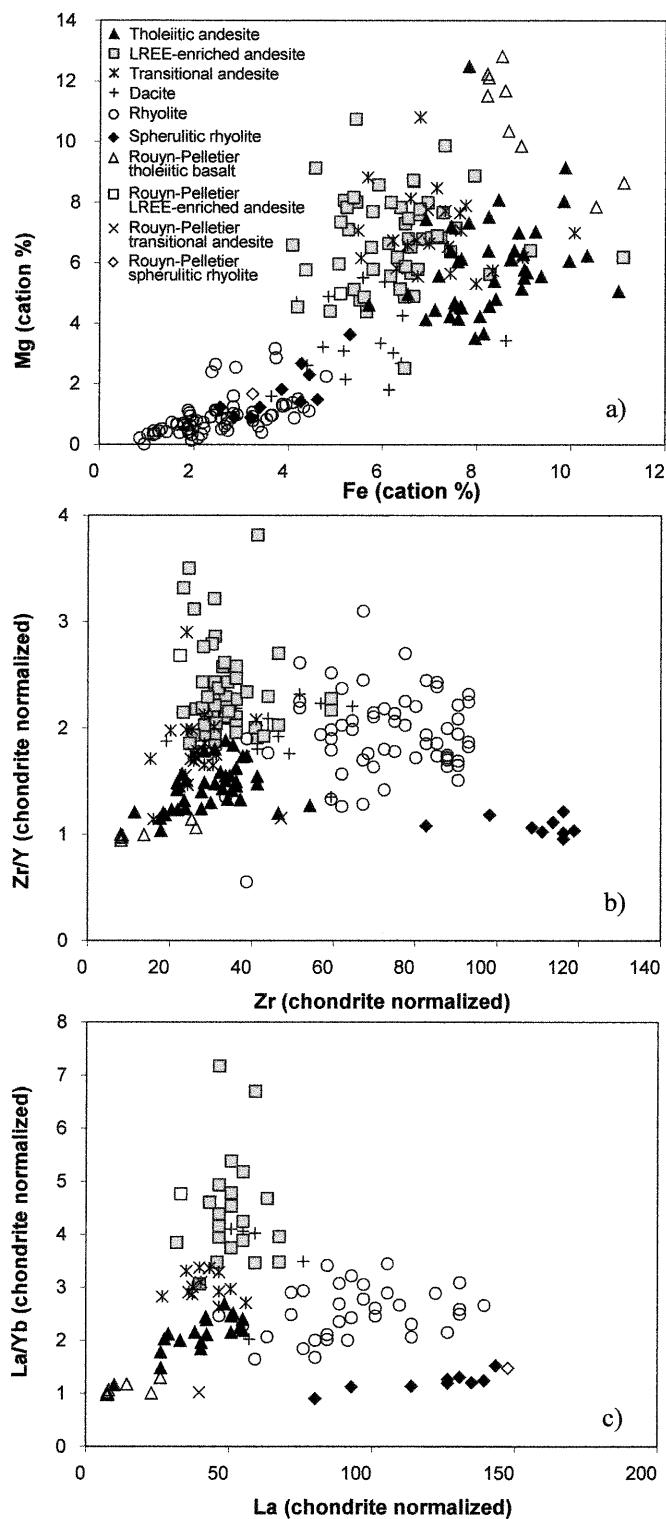


Figure 1.3: Geochemical diagrams showing divisions of mafic-intermediate rocks of the Blake River Group in Québec into tholeiitic, LREE-enriched and transitional. a) Mg vs. Fe (cation %) b) Zr/Y_n vs. Zr_n c) La/Yb_n vs. La_n

Diagrammes géochimiques montrant les divisions en tholeiitique, enrichie et transitionnelle des roches mafiques à intermédiaires du Groupe de Blake River au Québec. a) Mg vs. Fe (% cationique) b) Zr/Y_n vs. Zr_n c) La/Yb_n vs. La_n

and andesites are not distinguished, but are grouped together under their chemical affinities for simplicity.

Table 1-I: General geochemical characteristics of the mafic-intermediate rocks of the Blake River Group.

Basalts and Andesites		Tholeiitic	Transitional	LREE-enriched
Number of samples: n=(bas + and)		47 (17+30) <i>REE: n=28 (11+17)</i>	28 (5+23) <i>REE: n=15 (2+13)</i>	32 (3+29) <i>REE: n=23 (2+21)</i>
Mg# (Mg/(Mg+Fe))	range	30.64-61.46	38.57-61.41	43.05-66.66
	average	43.78	48.52	52.97
Zr/Y	range	2.39-4.54	3.21-6.74	4.74-7.93
	average	3.11	4.65	5.84
La/Yb	range	1.36-4.19	3.50-4.70	4.83-10.00
	average	2.54	4.14	6.27
Σ REE	range	14.67-77.47	32.24-78.88	39.91-92.77
	average	48.26	57.49	62.98

Stratigraphic nomenclature is governed by the North American Commission on Stratigraphic Nomenclature (1983). The logical classification for the Blake River Group subdivisions proposed in this thesis would be that of Formation with the internal stratigraphic units being Members. However, both terms "Formation" and "Member" are used in the detailed stratigraphy defined in the Rouyn-Noranda area of the Blake River Group (de Rosen-Spence, 1976; Gibson, 1989; Paradis, 1990), and although the nomenclature is informal as it does not strictly adhere to the Stratigraphic Code, it is well entrenched in the exploration community of the area. A second option for proposing a formal classification of the Blake River and its sub-divisions would be to rename the Blake River as a Super-group and the divisions as groups. However, the interpretation that the Blake River Group formed as an incipient or propagating back-arc basin, implies that adjacent groups may also form part of the environment of formation. Should this be the case, the term Super-group may best be used to include all the groups which form the

environment. Therefore, although the term "sub-group" has been deleted from the Stratigraphic Code, it will be used here for the proposed divisions of the Blake River Group. This classification is informal and is designated as such by the use of the lower-case letter.

The Noranda Cauldron Complex was originally described by de Rosen-Spence (1976: page 29) as a zone of "local subsidence, limited by flexures and/or faults, ... active during, and controlled by, the accumulation of volcanic material." Gibson (1989) introduced the term cauldron to describe the sequence. As defined by Smith and Bailey (1968), cauldrons are "... all volcanic subsidence structures regardless of shape or size, depth of erosion, or connection with surface volcanism." The term cauldron is, therefore, less restrictive than caldera, which requires the volcanic depression to be approximately circular (Bates and Jackson, 1980 after Williams, 1941). Also, calderas of andesitic to rhyolitic volcanos are commonly formed by catastrophic collapse triggered by a major pyroclastic eruption (Smith and Bailey, 1968; Walker, 1984). Pyroclastic rocks form only a small part of the Blake River Group in Québec, and Gibson (1989)'s reconstruction of the volcanic pile within the "cauldron" indicates that subsidence was passive and incremental, not catastrophic. Thus, cauldron is the best classification for the central subsidence structure of the Noranda subgroup.

The term "key bed", used for the Fish-roe rhyolite, is defined in Article 25c of the North American Stratigraphic Code (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983) as "a thin bed of distinctive rock that is widely distributed. Such beds may be named, but usually are considered informal units. Individual key beds may be traced beyond the lateral limits of a particular formal unit (Article 23c)." Article 9 of the Code allows units to be defined on the basis of texture and chemistry, as is the case for the Fish-roe rhyolite (Chapter 3). The designation of the Fish-roe rhyolite as a key bed is informal.

Spherulites in volcanic rocks are formed by primary crystallization (Lofgren, 1971a; Lofgren, 1980; Kirkpatrick, 1978; Natland, 1978; Natland, 1980) or by devitrification (Lofgren, 1971a and 1971b). The former are produced during undercooling and are

characterized by acicular radial crystals commonly nucleated on a pre-existing crystal or "impurity". The latter type of spherulite is the product of destabilization of glass with cooling and the interaction between the glass and water. The interpretation that the spherulites in the Fish-roe rhyolite are crystallization spherulites and those in the other rhyolites of the Blake River Group are formed by devitrification, implies that the Fish-roe rhyolite extruded at a higher temperature to produce the greater temperature differential. The Zr versus $(\text{Na}+\text{K}+2\text{Ca})/(\text{Al} \times \text{Si})$ and P_2O_5 versus SiO_2 diagrams of Watson and Harrison (1983 and 1984) (Figure 1.4) seem to indicate that the majority of the highly spherulitic Fish-roe rhyolites extruded at slightly higher temperatures than the other rhyolites of the Blake River Group in Québec. Caution should, however, be advised because the Blake River Group rhyolites (including the Fish-roe) have very limited compositions compared to the experimental data of Watson and Harrison (1983 and 1984) and some elements, particularly the alkali elements, are known to be mobile.

The distinctive geochemistry of the spherulitic Fish-roe rhyolites sets them apart from the other rhyolites in the Blake River Group in Québec (Péloquin et al. 1996 - Chapter 3). The chemical differences observed between the spherulitic rhyolites and the average of all the Blake River Group rhyolites are also observed on a more detailed scale. Figures 1.5a and b show the enrichment-depletion diagrams for the Fish-roe rhyolite ($n = 1$) in the Noranda Cauldron normalized to four of the rhyolite units in the immediate area: two from below the Fish-roe rhyolite - the Amulet rhyolite (major & trace elements: $n = 5$; rare earth elements: $n = 3$) and the Waite rhyolite (major & trace elements: $n = 5$; rare earth elements: $n = 1$), and two from above it - the Norque rhyolite ($n = 1$) and the D'Alembert rhyolite (major & trace elements: $n = 2$; rare earth elements: $n = 1$). The hatched bars indicate the maximum and minimum deviations in the means for each of the rhyolite units. The enrichment-depletion diagrams for the means of the Amulet, Waite, Norque and D'Alembert rhyolites normalized to the average of the four units (major & trace elements: $n = 13$; rare earth elements: $n = 6$) (Figures 1.5c and d) confirms that the rhyolite units below and above the Fish-roe rhyolite are grossly similar geochemically, while the Fish-roe (Figures 1.5a and b) is geochemically distinct.

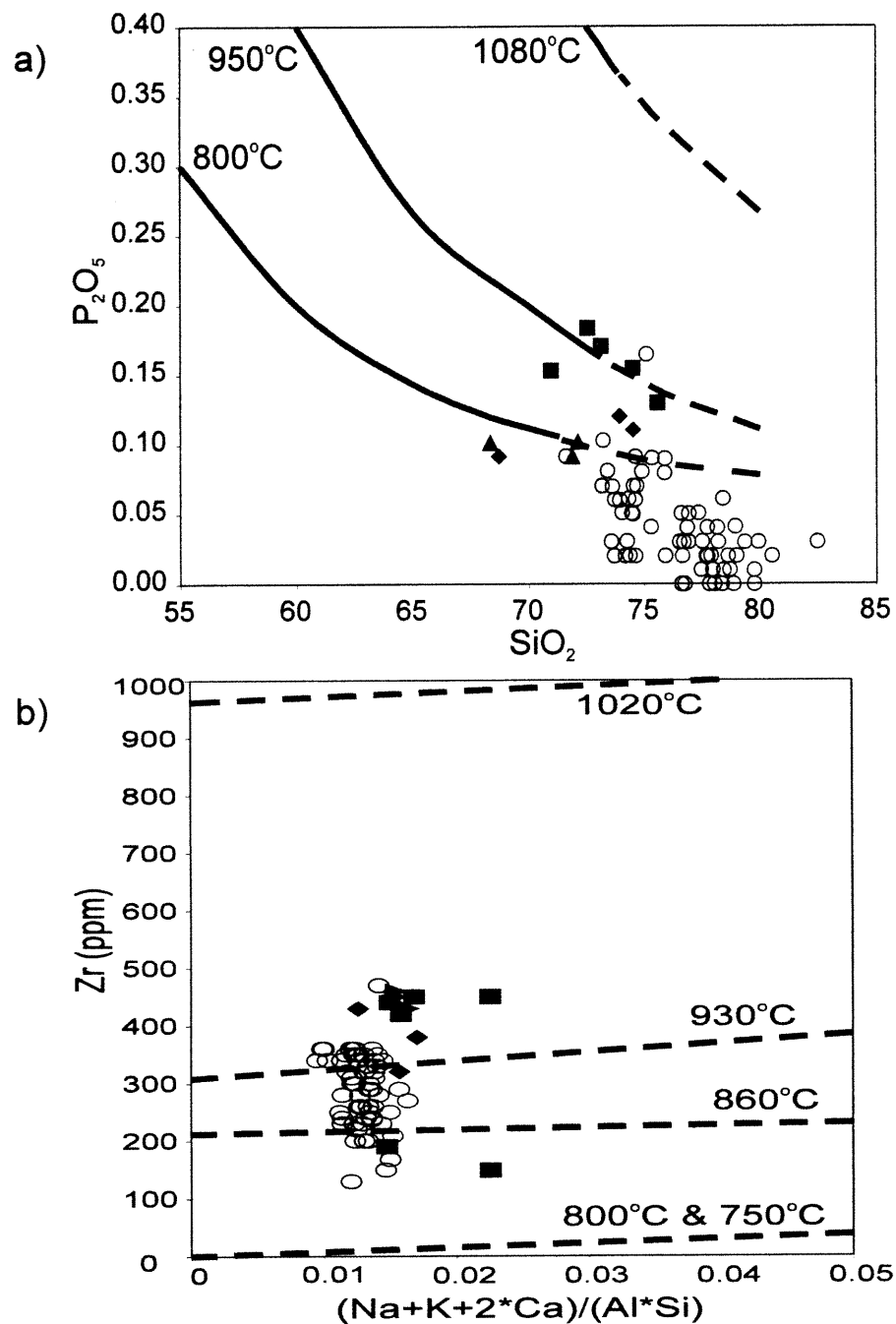


Figure 1.4: Diagrams from Watson and Harrison (1983, 1984) for the highly spherulitic rhyolites and the Blake River Group rhyolites in general. a) P_2O_5 versus SiO_2 . b) Zr (ppm) versus $(Na + K + 2Ca)/(Al \times Si)$. Experimental temperatures on both diagrams approximated after Watson and Harrison (1983, 1984)

Diagrammes de Watson et Harrison (1983, 1984) montrant les rhyolites hautement sphérolitiques et les rhyolites du Groupe de Blake River. a) P_2O_5 versus SiO_2 . b) Zr (ppm) versus $(Na + K + 2Ca)/(Al \times Si)$. Températures expérimentales indiquées sur les diagrammes sont approximatives après Watson et Harrison (1983, 1984)

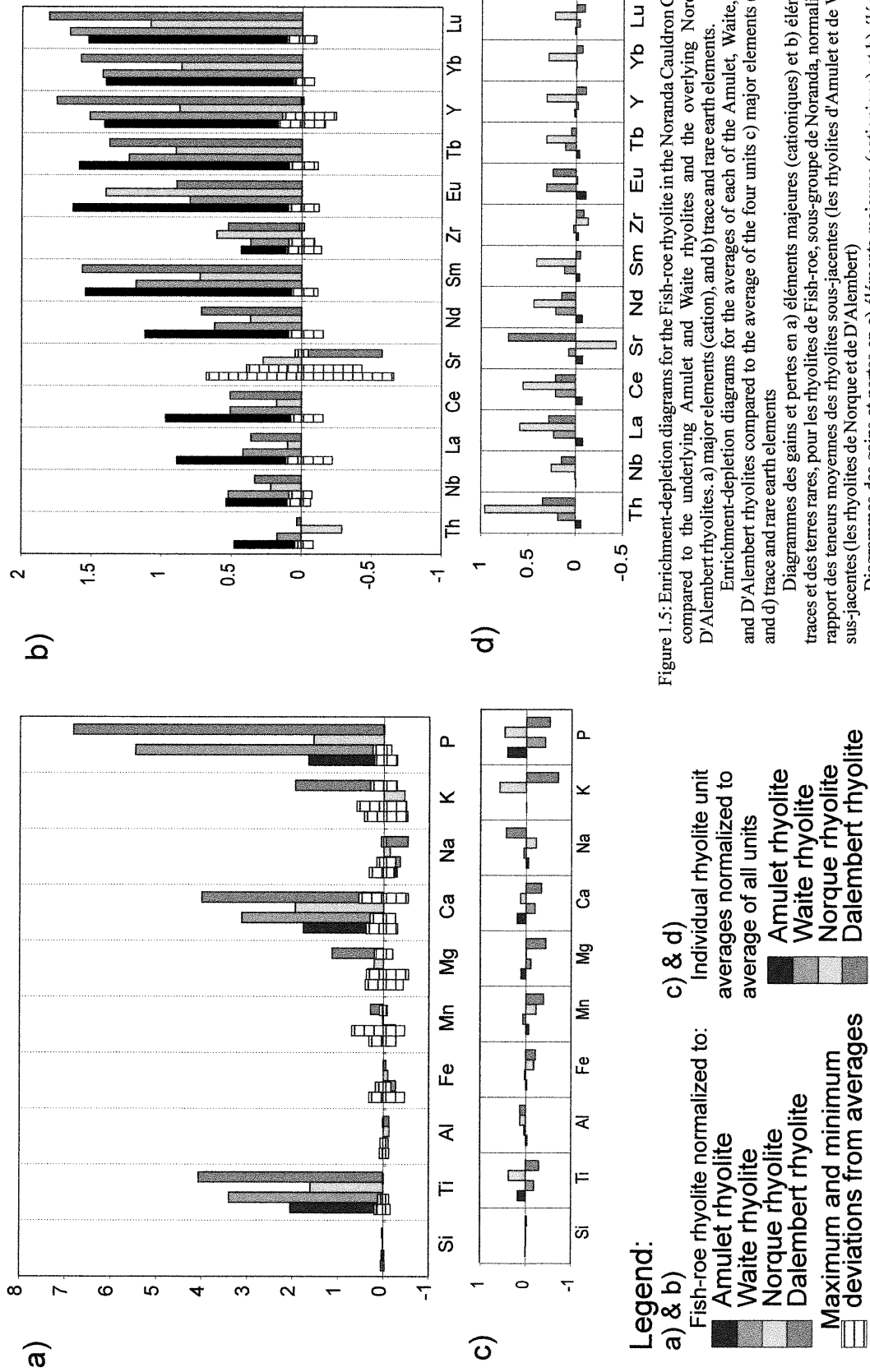


Figure 1.5: Enrichment-depletion diagrams for the Fish-roe rhyolite in the Noranda Cauldron Complex compared to the underlying Amulet and Waite rhyolites and the overlying Norque and D'Alembert rhyolites. a) major elements (cation), and b) trace and rare earth elements.

Enrichment-depletion diagrams for the averages of each of the Amulet, Waite, Norque and D'Alembert rhyolites compared to the average of the four units c) major elements (cation), and d) trace and rare earth elements

Diagrammes des gains et pertes en a) éléments majeures (cationiques) et b) éléments en traces et des terres rares, pour les rhyolites de Fish-roe, sous-groupe de Noranda, normalisées par rapport des teneurs moyennes des rhyolites sous-jacentes (les rhyolites d'Amulet et de Waite) et sus-jacentes (les rhyolites de Norque et de D'Alembert)

Diagrammes des gains et pertes en a) éléments majeures (cationique) et b) éléments en trace et des terres rares, pour les moyennes des rhyolites d'Amulet, de Waite, de Norque et de D'Alembert normalisées par rapport des teneurs moyennes des quatre unités.

The hypothesis that the highly spherulitic Fish-rope rhyolites are a single event tapping an unusual zone of a zoned magma chamber, requires that the differences in phenocryst content, or lack of phenocrysts, be addressed. Although most detailed studies of zoned magma chambers are in continental regimes and are commonly based on pyroclastic eruptions (Bacon et al., 1981; Hildreth, 1981; Halliday et al. 1989; Stix and Gorton, 1993), as opposed to the lava flow dominated oceanic regime proposed here for the Blake River Group in Québec, some interesting observations regarding variable composition, temperature of eruption and phenocryst phases were made. Hildreth (1981) provides a compilation of silicic magma chambers. The examples he uses have known or presumed eruption durations of one to a few days and exhibit variable SiO₂ ranges (c.f. Figure 1: Hildreth, 1981). Most, however, contain 65-77% SiO₂, and many have a 5% SiO₂ range. Some of these units have post-caldera lavas associated with them that erupted soon after the main unit. Eruption temperatures for the tuffs, calculated using geothermometers based on coexisting Fe-Ti oxides, coexisting feldspars, coexisting pyroxenes and $\delta^{18}\text{O}$ (quartz-magnetite) (c.f. Figure 3: Hildreth, 1981), seldom have a range of over 100°C. Phenocryst contents and phases can, however, vary considerably within a single eruptive unit (c.f. Table 2: Hildreth, 1981). For example: the Tala Tuff has an SiO₂ range of approximately 75-77%, an estimated volume of 2 km³, and phenocryst contents of 0-2%, the initial magma being aphyric with quartz and sanidine appearing later in the eruption (Hildreth, 1981 after Mahood, 1980a and 1980b); the Bishop Tuff has an SiO₂ range of approximately 75-77%, an estimated volume of 500 km³, a temperature gradient of 700-800°C, and phenocryst contents of 5-30%, quartz-sanidine-plagioclase-biotite-titanomagnetite-ilmenite-allanite-zircon-apatite being the initial phenocryst phases with orthopyroxene-clinopyroxene-pyrrhotite phasing in and allanite phasing out (Hildreth, 1981). The highly spherulitic Fish-rope rhyolites have an SiO₂ range of 68-76%, phenocryst contents ranging from 0-27% with three populations: aphyric, plagioclase glomerophytic and quartz-plagioclase porphyritic. Figure 1.4 (after Watson and Harrison, 1983 and 1984) indicates, qualitatively, that the Fish-rope rhyolite erupted at slightly higher temperatures than the other rhyolites of the Blake River Group.

There does not, however, seem to be any clear temperature difference between Fish-roe rhyolites of different phenocryst populations. On Figure 1.4a, the plagioclase glomerophytic spherulitic rhyolite appears to have erupted at the highest temperature; the aphyric and quartz-plagioclase porphyritic spherulitic rhyolites appear to have similar temperatures, with the quartz-plagioclase rhyolite possibly having a slightly higher temperature. Hildreth (1981) found that temperatures commonly increased during an eruption, that the total phenocryst content tended to increase, and that plagioclase commonly increased as a phenocryst phase at the expense of quartz and sanadine. According to this progression, the eruption sequence for the Fish-roe rhyolite could have been initially aphyric (lowest temperature), progressing to quartz-plagioclase porphyritic, and finally progressing to plagioclase glomerophytic (highest temperature). While this explanation appears to account for the different phenocryst populations in the samples of the Fish-roe rhyolite, it must be noted that on Figure 1.4b there is no apparent temperature difference.

1.4 Structure of the Thesis

This thesis is composed of three publications addressing the problems of stratigraphy, stratigraphic correlation, geochemical characterization and paleogeographic interpretation of the Blake River Group in Québec. The Blake River Group is divided into three sub-groups (Figure 1.2), based on historical classifications (Goodwin, 1977; Gélinas et al., 1984a; Gélinas et al., 1984b), and lithological and geochemical variations. The Noranda sub-group is the best-studied. Defined by Goodwin (1977), it is characterized by interlayered andesites and rhyolites, and covers the eastern part of the Blake River Group in Québec, including the central Noranda cauldron and its volcanogenic massive sulphide deposits. The Misema sub-group to the west of the Noranda was also defined by Goodwin (1977). It consists dominantly of andesites with subordinate rhyolites; the rocks of the Misema sub-group are geochemically indistinguishable from those of the Noranda. The final sub-group, the Rouyn-Pelletier, at the southern limit of the Blake

River Group, combines the Rouyn and Pelletier chemostratigraphic units of Gélinas et al. (1984a and 1984b). This sub-group is characterized by tholeiitic basalts and few andesites or rhyolites.

The thesis includes a 2 page English abstract, a 2 page French sommaire and an 12 page French résumé.

Chapter 1, Introduction, includes the summary information of a classical thesis: Literature review and history; Purpose and methodology; Classifications and terminology; and this description of the thesis structure.

Chapter 2 , Geological setting, summarized from Péroquin et al. (in preparation), Chapter 5.

Chapter 3, Péroquin et al. (1996), uses texture, petrography and geochemistry to define a key-bed as defined by Article 25c of the North American Stratigraphic Code (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983). The distribution of this key-bed, the Fish-roe rhyolite, supports the interpretation that the three sub-groups proposed for the Blake River Group in Québec were formed, at least in part, contemporaneously. This interpretation that the variations in lithologies and chemistry between the three sub-groups of the Blake River Group, are lateral within the same basin point to along-axis and peripheral variations. This, in turn, suggests environments of ridge propagation such as incipient back-arc basins. The analogy with this environment is examined in greater detail in Chapter 5 (Péroquin et al., in preparation).

Chapter 4, Péroquin et al. (accepted), covers the area studied for the M.R.N.Q, the Noranda and Misema sub-groups, with brief mention of the Rouyn-Pelletier area. A summary description of the lithologies and stratigraphy in the study area is presented, including the chemical classification of the three andesite affinities occurring in the Noranda and Misema sub-groups. The interlayering of multiple chemical affinities is an important

characteristic of the Blake River Group and a major constraint on possible environments of formation. To investigate possible variations within the sub-groups they are broken down into fault blocks; the Misema, however, comprises a single block. Within the Noranda sub-group, the chemostratigraphy of stratigraphic sections in two structural blocks is compared. The model of the Misema and Noranda sub-groups representing along-ridge variations in magmatism, and the Rouyn-Pelletier representing a basin-peripheral system, is retained.

Chapter 5, Péloquin et al. (in preparation), presents a more detailed look at the geochemistry of the mafic-intermediate rocks of the Blake River Group in Québec. In addition to the characterization of the magmas, crystallization, contamination and binary mixing modelling was done for the three andesite affinities of the Noranda sub-group and the basalts of the Rouyn-Pelletier, in order to determine possible relationships between the different mafic magmas and between the mafic magmas and the rhyolites. Modern analogies for the Blake River Group in Québec are examined taking into account the lithologies encountered in the Blake River Group, the basin geometry, the geochemistry and the metallogeny. The two environments most resembling the Blake River Group are back-arc basins, particularly incipient ones, and environments of ridge-plume interaction, such as Iceland. Of these two environments, the back-arc basins are the "best-fit".

Chapter 6, Discussion and Conclusions, follows the three publications and summarizes their relationship to the problems addressed and presents the conclusions drawn.

Chapter 7, References, a composite reference list compiled from all the chapters, completes the body of the thesis.

Seven appendices follow the thesis proper: APPENDIX A is a synthesis article on the Blake River Group LITHOPROBE project (Verpaelst et al., 1995). Regional line 21 and high-resolution line 21-A cut across the area studied in this thesis, and the two projects proved complementary. The field work from the thesis aided in the seismic interpretation, and the seismic data aided in constraining the geotectonic interpretation. APPENDIX B is a résumé of the petrography of the samples studied in the thesis. It is taken from an unpublished M.R.N.Q. report (Péloquin et al., unpublished). APPENDIX C presents data on the detection limits, precision, accuracy and reproducibility of the geochemical analyses from the different laboratories. APPENDIX D is the Table of Analyses used in the thesis, and includes the sample locations in Modified Transverse Mercator. APPENDIX E gives the K_d 's used in the modelling program, and APPENDIX F presents the calculated mineral chemistry of the crystallizing phases for each model. APPENDIX G gives the parameters and results of the binary mixing modelled for the Noranda subgroup between the starting composition tholeiite of the crystallization models and the contaminant rhyolite, and between the rhyolite and the most primitive tholeiite in the Noranda subgroup.

2.0 GEOLOGICAL SETTING

The Archean Superior Province of Canada is widely interpreted to be an arc-accretionary complex involving arc volcanics and plutons, sedimentary basins, back-arc basins and oceanic plateaus (Thurston and Chivers, 1990; Kimura et al., 1993; Calvert and Ludden, 1999). Within the Superior Province, it has been proposed that the Abitibi Sub-province also represents an accretionary terrain, in this case sandwiched between the Opatica (plutonic) and Pontiac (plutonic and sedimentary) Sub-provinces (Ludden and Péroquin, 1996; Kimura et al., 1993; Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998; Jackson and Sutcliffe, 1990; Jackson et al., 1994; Calvert et al., 1995) (Figure 1.1). Jackson et al. (1994) suggested that the relationships between the groups or assemblages comprising the Abitibi may be explained by the accretion of a micro-tectonic system similar to the Papua New Guinea-Solomon Sea area of the South Pacific. This implies an overall allochthonous nature for the assemblages of the Abitibi Sub-province (Jackson et al., 1994).

However, more recent studies have shown that some assemblages in the southern Abitibi contain zircons inherited from underlying assemblages and are, therefore, autochthonous (Heather et al., 1995; Heather et al., 1996; Ayer et al., 1999a; Ayer et al., 1999b). Although the model for the formation of the Malartic composite block of the Val d'Or area (Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998) was modified by Wyman (1999), an early accretionary event was considered valid; two of the four domains were retained as allochthonous. Ludden and Péroquin (1996) and Péroquin et al. (in preparation - Chapter 5 of this thesis) propose that the Blake River Group is an autochthonous incipient back arc basin. Thus the Abitibi, specifically the southern Abitibi, comprises allochthonous ensimatic terrains (Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998; Wyman 1999), autochthonous ensimatic terrains (Ludden and Péroquin, 1996; Péroquin et al. in preparation - Chapter 5 of this thesis) and

autochthonous ensialic terrains (Heather et al., 1995; Heather et al., 1996; Ayer et al., 1999a; Ayer et al., 1999b).

In relation to the Blake River Group, the assemblages in the Abitibi with similar ages and compositions are of particular interest: the 2705 Ma Heenan-Dore felsic to intermediate metavolcanic package in the Swayze greenstone belt contains 2730-2740 Ma inherited zircons (Heather et al., 1995); the 2705 Ma mafic to felsic Val d'Or formation in the Val d'Or-Malartic area (Wong et al., 1991 in Corfu, 1993; Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998) has no known inherited zircons; the 2697 Ma Swayze-Dore felsic to intermediate volcanic package in the Swayze belt contains no known inherited zircons (Heather et al., 1995). While these assemblages are similar to the Blake River Group in age and composition, the Swayze greenstone belt examples differ in that they are dominantly pyroclastic-volcanoclastic, as opposed to the lava dominated Blake River, and the Val d'Or example also contains more pyroclastic rocks. The presence of an ensialic crust beneath the Heenan-Dore assemblage is shown by the presence of inherited zircons of the same age as the underlying Marion assemblage (2725-2740? Ma) (Heather et al., 1995). Neither the Swayze-Dore assemblage (Heather et al., 1995) nor the Val d'Or formation (Wong et al., 1991 in Corfu, 1993) contain inherited zircons. However, on the basis of mapping, the interpretation of these two volcanic sequences greatly differs. The Swayze-Dore assemblage is considered to form part of the "layer cake" stratigraphy that includes the Heenan-Dore and Marion assemblages (Heather et al., 1995), and the Val d'Or formation is considered to have formed in a rift in a terrain of accreted ocean plateau fragments (Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998). In the case of the 2707 to 2692-2677 Ma Blake River Group (Vaillancourt, 1996), there is no evidence of an underlying ensialic crust. The inherited zircons within the Blake River are of the same age as the older part of the group itself (Vaillancourt, 1996). Thus, the three environments proposed for the formation of the Abitibi Sub-province, allochthonous terrains (Desrochers et al., 1993; Desrocher and Hubert, 1996; Desrochers, 1998; Wyman, 1999), autochthonous ensialic terranes (Heather et al., 1995) and ensimatic autochthonous terrains (Ludden and

Péloquin, 1996; Péloquin et al., in preparation - Chapter 5 of this thesis), were active at different sites in the Abitibi circa 2700 Ma.

Ludden et al. (1986) subdivided the Abitibi Sub-province into Northern and Southern Volcanic Zones (Figure 1.1), separated by a Central Granite-Gneiss Zone. The Northern Volcanic Zone is characterized by arc-like volcanic and plutonic rocks (Ludden et al., 1986; Ludden and Hubert, 1986). The volcanism in the Northern Volcanic Zone ranges in age from 2759-2722 Ma (Mortensen, 1993a); although, a plutonic event at 2720-2712 Ma may have an extrusive equivalent (Mortensen, 1993a). The Southern Volcanic Zone was thought to be generally younger than the Northern Zone and southward younging (c.f. dates compiled in Ludden et al., 1986 and Kimura et al., 1993); the assemblages older than 2722 Ma were thought to be exotic terrains (Kimura et al., 1993). The new data from Heather et al. (1995 and 1996) and Ayer et al. (1999a and 1999b) show this is not the case. The older assemblages are autochthonous; younger assemblages contain inherited zircons of the same age as the older assemblages.

In the Southern Volcanic Zone, a late rifting event, not observed in the Northern Zone, has been proposed (Ludden et al., 1986; Ludden and Hubert, 1986; Kimura et al., 1993; Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998). The Blake River Group, occurring at the southern limit of the Southern Volcanic Zone, is interpreted to have formed as part of this extensional event. It is bound to the north and south by major faults: the Cadillac-Larder Lake Break to the South and the Porcupine-Destor Break to the North (Figure 1.2). Although the northern boundary is structural, the metamorphic isograds between the Blake River Group and the older Kinojévis Group are neither cut nor displaced by the Porcupine-Destor Break (Powell et al., 1995); this indicates the break to be an early event.

This apparently early, yet structural, relationship between the Blake River and Kinojévis Groups is one line of evidence for a rift or extensional origin for the Blake River Group. On the other hand, the paucity of sediments, common in rifting environments, even oceanic, is problematic. However, in back-arc basins, where rifting progresses to sea floor spreading, sedimentation rates and compositions also change. For example, in the Lau

Basin (Clift et al., 1995), the initial basin rifting involved extension of the island arc and the onset of seamount volcanism within the basin. Volcanic ash from the seamounts was resedimented into sub-basins by slumping, gravity flow and turbidity currents. During the early rifting stages, volcanism continued on the remnant arc (Lau Ridge); this was followed by a hiatus in arc volcanism before recommencing at a new position (Tofua Arc). A back-arc spreading centre (Eastern Lau Spreading Centre) began to propagate southward in the basin, its volcanism supplanting the seamount volcanism, and thin sequences of hyaloclastite, nannofossil ooze and minor airfall tuffs superseding the gravity flow and turbiditic sediments in the sub-basins (Clift et al., 1995). The rarity of pyroclastic-volcaniclastic rocks, in general, in the Blake River Group in Québec, and their concentration near the boundaries of the group (Gélinas et al., 1984a; Gélinas et al., 1984b), suggests that the Blake River Group in Québec may represent an incipient spreading centre within a rifting back-arc basin.

Recent radiometric dating of the Blake River Group (Vaillancourt, 1996) shows the ages of the Pontiac Sub-province sediments, south of the Cadillac-Larder Lake Break, to overlap considerably with the Blake River Group ages: 2698 to 2683 Ma for the Pontiac sediments (Davis, 1992; Mortensen and Card, 1993) and 2707+7/-4 Ma (Aldermac sill cross-cutting volcanic rocks) to 2690-2677 Ma (Hébécourt rhyolite) for the Blake River volcanic rocks (Vaillancourt, 1996). However, the differences in metamorphic grade between the sediments of the Pontiac Group (upper greenschist to amphibolite facies: Jolly, 1978) and the Blake River Group (prehnite-pumpellyite to greenschist facies: Jolly, 1978; Powell et al., 1995) indicate that these groups are tectonically juxtaposed. Metamorphic isograds are not, on the other hand, cut or displaced by the Porcupine-Destor Break (Powell et al., 1995), indicating that this structure is an early event, and that the present spatial relationship between Kinojévis Group to the north and the Blake River Group to the south may be primary.

The Southern Volcanic Zone of the Abitibi Sub-province formed between 2746 Ma (Pacaud Tuff: Mortensen, 1993b) and 2677 Ma (youngest possible Blake River Group: Vaillancourt, 1996). The Blake River Group formed between 2707 and 2690-77 Ma

(Vaillancourt, 1996) as the late part of the major rifting event proposed by Ludden et al., (1986), Ludden and Hubert (1986), Desrochers (1993) and Kimura et al. (1993). This event is manifested in the Malartic-Val d'Or area by the emplacement of the 2705 Ma Val d'Or formation (Wong et al., 1991 in Corfu, 1993) on a terrain of accreted oceanic plateau fragments (Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998). Although the main volcanic event of the Normetal Group, at the southern extremity of the Central Granite - Gneiss Zone, has an age of 2728 Ma (Mortensen, 1993b) to 2730 Ma (Zhang, unpublished data; Zhang et al., 1993), a possible late event occurring at 2692 Ma (Zhang, unpublished data; Zhang et al., 1993) may represent part of the extensional event. The recently determined, young ages for the volcanic rocks of the Southern Abitibi Volcanic Zone make the volcanism contemporaneous with a plutonic event previously considered to be post-volcanic (Palmorolle Granodiorite - 2693 Ma, Lac Abitibi Batholith and Lac Dufault Pluton - 2690 Ma: Mortensen, 1987; Colombourg Pluton - 2697 Ma, and Round Lake Batholith - 2698 Ma: Mortensen, 1993b).

The Blake River Group is the largest volcanic sequence of the proposed circa 2700 Ma volcanic rifting events in the Southern Abitibi Volcanic Zone (Ludden et al., 1986; Ludden and Hubert, 1986; Kimura et al., 1993). In Québec, its economic importance as a major base-metal and gold mining camp have made it the subject of numerous in-depth studies. Goodwin (1977) subdivided the Blake River Group in Quebec into two sub-groups, the Noranda sub-group to the east and the Misema sub-group to the west. Gélinas et al. (1984a and 1984b) proposed a chemostratigraphy that further subdivided the area. The overall division and nomenclature of Goodwin (1977) are retained, with the exception that the area South of the Rouyn Fault (Hubert et al., 1984) has been separated from the above sub-groups and defined as the Rouyn-Pelletier sub-group, combining the nomenclature of Gélinas et al. (1984a and 1984b) (Figure 1.2).

Vaillancourt (1996)'s U-Pb radiometric dates include several single zircon analyses and indicate that the Blake River Group was formed over a period of as much as 30 million years (2707-2677 Ma). He interpreted the data as being consistent with three periods of volcanism: the oldest period, 2707 Ma, is presently represented by multiple zircon

fraction dating of a synvolcanic feeder dyke in the Noranda sub-group near the Rouyn-Pelletier boundary; the middle period, 2698-2701 Ma, is represented by published dates of multiple zircon fractions from both the Noranda and Misema sub-groups (Mortensen, 1993b); the youngest period, after 2690 Ma, includes the mine sequence of the Noranda sub-group (Millenbach rhyolite 2692-2684 Ma) and a rhyolite from the northern boundary of the Misema (Hébécourt rhyolite 2690-2677Ma). These young dates give the minimum and maximum crystallization ages based on single zircon analyses in the case of the Millenbach rhyolite, and single and multiple zircon analyses in the case of the Hébécourt rhyolite (Vaillancourt, 1996). Both the Millenbach and Hébécourt rhyolites contain inherited zircons from the middle period of volcanism (Vaillancourt, 1996). The presence of inherited zircons indicates that the magma assimilated previously existing crust. However, in the case of the Blake River Group the inherited zircons are of the same age as the older part of the group itself, and are not, therefore, an indication of an underlying ensialic crust. The Blake River Group is interpreted to have formed in an oceanic (ensimatic) environment (Péloquin et al., in preparation - Chapter 5 of this thesis).

A detailed lithostratigraphy for the Noranda sub-group east of the Flavrian Pluton was defined by de Rosen-Spence (1976) and modified by Gibson (1989) and Paradis (1990). In particular, the Fish-roe rhyolite, here used as a keybed, was initially defined by de Rosen-Spence (1976). All of de Rosen-Spence (1976), Gibson (1989) and Paradis (1990) interpreted the area hosting the majority of the VMS-deposits, south of the Hunter Creek Fault and north of the Horne Fault, as a cauldron-fill sequence.

Structurally, the Noranda and Misema sub-groups are very similar: schistosity is poorly developed, except in close vicinity to major faults; much of the area is shallow dipping, making folds difficult to define; subvertical North-West and North-East faults cut the area. In the Noranda sub-group, an area of exception to the above structural traits occurs between the D'Alembert Shear and the Lac Parfouru Fault. The area is characterized by closely spaced North-West trending folds and faults commonly parallel to and along the fold axes. The strike of the structures follows the direction of the Lac Parfouru Fault and

the Porcupine-Destor Break (i.e. the Blake River Group contact) (Trudel, 1978; Hubert et al. 1984; Verpaelst and Rioux, 1992; Goutier, 1997a; Goutier, 1997b). Schistosity is also generally better developed. This area may be a separate domain, but the present data is inconclusive, and Laflèche et al. (1992a; 1992b) did not deem the area sufficiently distinct to differentiate it.

The Rouyn-Pelletier sub-group, between the Rouyn Fault and the Cadillac-Larder Lake Break, exhibits more intense deformation than the Noranda and Misema sub-groups. The area is characterized by closely spaced East-West trending folds and faults parallel to the Cadillac-Larder Lake Break, the southern boundary of the Blake River Group (Côté, unpublished; Hubert et al., 1984). The schistosity is very well developed in the area.

The Blake River Group in Quebec was metamorphosed to prehnite-pumpellyite and greenschist facies. The changes in metamorphic grade within the group were previously thought to be controlled by the major faults (Jolly, 1978; Dimroth et al., 1983b; Gélinas et al., 1984a; Gélinas et al., 1984b; Péloquin et al., unpublished). However, Powell et al. (1995) has shown that the metamorphic isograds in the area are shallowly dipping and only partially controlled by the faults. Of particular importance is the similarity in metamorphic facies in both the Noranda and Misema sub-groups. This similarity suggests that the Misema sub-group did not undergo deeper burial than the Noranda sub-group, as would be expected if it were older than the Noranda.

Chapter 3

3.0 Spherulitic Rhyolites of the Archean Blake River Group, Canada: Implications for Stratigraphic Correlation and VMS Exploration.

(Published in Economic Geology, 1996, v. 91, p.343-354)

A.S. Péloquin

(Université de Montréal, Canada),

P. Verpaelst

(Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Canada)

and

J.N. Ludden

(Centre de Recherche Pétrographique et Géochimique,

Centre Nationale de Recherche Scientifique,

Vandœuvre lès Nancy, France)

3.0.1 Abstract

Based on the distinctive textural and chemical character of highly-spherulitic rhyolites in the Late Archean, VMS-rich, Blake River Group of Québec, it is proposed that they represent key beds which may be used to infer the age relationships between the three subgroups (the Rouyn-Pelletier, the Misema and the Noranda) into which the Blake River Group is divided in this area. These rhyolites occur as flow and fragmental (volcaniclastic, probably pyroclastic) facies, both of which contain crystallization spherulites. They occur as three units, a flow facies exhibiting parallel-agglomerated lath-shaped plagioclase crystals (the Fish-roe rhyolite), a fragmental spherulitic rhyolite which is aphyric, and a second, very local, flow which is quartz-plagioclase porphyritic. Chemically, however, the three units are identical and distinct within the Blake River Group stratigraphy.

The Ti, Y, Yb and Zr contents are higher in the spherulitic rhyolites than the other rhyolites in the Blake River Group, whereas the La content is similar between the two rhyolite populations. These values translate into higher Ti/Zr, and lower Zr/Y and La/Yb ratios for the spherulitic rhyolites and result in their being important stratigraphic marker units in the group in Québec. Statistical analyses of the geochemical data from the rhyolites in the Blake River Group show that there is a 95 percent probability that the spherulitic rhyolite analyses represent a single genetically related population and may, in fact, be a single stratigraphic unit.

The occurrence of the fragmental highly-spherulitic rhyolite in the andesitic Misema Subgroup and the bimodal andesitic-rhyolitic Noranda Subgroup implies that these two domains formed, at least in part, concurrently. The same conclusion can be drawn for the basaltic Rouyn-Pelletier Subgroup and the Noranda Subgroup, as the Fish-roe rhyolite occurs in both these domains. This in turn suggests that a complex interplay of contemporaneous magmatic systems, rather than a single vertically-stacked evolutionary system, was responsible for the formation of the Blake River Group and its volcanogenic massive sulfide deposits.

3.0.2 Résumé

En se basant sur les caractéristiques distinctes au niveau de la texture et de la géochimie, on propose que les rhyolites hautement sphérolitiques représentent des unités repères dans le Groupe de Blake River au Québec. Ce groupe, d'âge Archéen est une localité importante pour les gisements de sulfure massive volcanogène (SMV). Au Québec, le Blake River est divisé en trois sous-groupes (le Rouyn-Pelletier, le Misema et le Noranda), et la présence des unités repères suggère que ces sous-groupes sont, en partie, contemporains.

Les rhyolites hautement sphérolitiques se présentent en faciès de coulée et en faciès fragmentaire (volcanoclastique, probablement pyroclastique); les deux contiennent des sphérolites de cristallisation. Trois unités de ces rhyolites sont définies: un faciès de coulée avec gloméro-phénocristaux de plagioclase (la rhyolite de Fish-roe), une unité fragmentaire sans phénocristaux, et une deuxième coulée, très restreinte, qui est porphyrique à quartz et plagioclase. Par contre, les trois unités sont géochimiquement identiques et distinctes des autres rhyolites du Groupe de Blake River.

Les teneurs de Ti, Y, Yb et Zr sont plus élevées dans les rhyolites sphérolitiques comparé aux autres rhyolites du Groupe de Blake River, tandis que la teneur en La est similaire dans les deux populations de rhyolites. On obtient ainsi des rapports plus élevés en Ti/Zr et des rapports plus bas en Zr/Y et La/Yb dans les rhyolites sphérolitiques. Donc, elles peuvent être utilisées comme unités repères. L'analyse statistique des données géochimiques des rhyolites du Groupe de Blake River confirme que les rhyolites sphérolitiques représentent (95% de probabilité) une seule population, et constituent une seule unité stratigraphique.

La présence de la rhyolite hautement sphérolitique fragmentaire dans les sous-groupes de Misema et de Noranda suggère que ces deux domaines sont, au moins en partie, contemporains. La même conclusion peut être tirée pour la relation entre les sous-groupes de Rouyn-Pelletier et de Noranda, car la rhyolite de Fish-roe se trouve dans ces deux domaines. Ces relations entre les trois sous-groupes suggèrent que le Groupe de Blake River et ses gisements de sulfures massifs volcanogènes sont le produit d'interactions complexes entre plusieurs systèmes magmatiques contemporains plutôt que le résultat d'un seul système à l'évolution verticale.

3.1 Introduction

The Blake River Group, a 2.7 Ga bimodal, andesite-rhyolite, sequence in the Southern Abitibi Subprovince, is one of the best preserved and most studied Archean volcanic sequences in the world, yet stratigraphic correlation outside the Cauldron Complex of the Noranda Subgroup (Figure 3.1) is virtually nonexistent. The presence of volcanogenic massive sulfide deposits within the cauldron has led to the definition of a detailed stratigraphy in this area (Spence and de Rosen-Spence, 1975; de Rosen-Spence, 1976; Camiré, 1989; Gibson, 1989; Paradis, 1990), but the numerous faults cutting the group make correlation between this and other sectors difficult.

The cauldron-fill sequence of the Cauldron Complex hosts most of the volcanogenic massive sulfide deposits of the Blake River Group and consists of two volcanic cycles. The volcanic cycles are defined as the rock sequences occurring between volcanic hiatuses that are indicated by the presence of exhalites (de Rosen-Spence, 1976; Gibson, 1989). A cycle commonly consists of a basal andesitic unit overlain by a bimodal, rhyolite-andesite unit (de Rosen-Spence, 1976; Gibson, 1989; Péroquin et al., 1990). A highly-spherulitic rhyolite (the Fish-rope rhyolite) occurs near the top of the second cycle of the cauldron-fill sequence of the Noranda Complex (de Rosen-Spence, 1976; Camiré, 1989; Gibson, 1989; Paradis, 1990; Péroquin et al., 1990) (Figure 3.1).

Because the andesite and rhyolite units of the Noranda and Misema Subgroups of the Blake River Group are morphologically, petrographically and geochemically similar (Péroquin et al., unpubl. data), and the U-Pb dating of rhyolites taken from these subgroups are virtually the same within the calculated error (Mortensen, 1993: Noranda Subgroup 2698 ± 1 Ma and 2701 ± 1.5 Ma; Corfu, 1993: Misema Subgroup (in Ontario) 2701 ± 2 Ma; Zhang et al., 1993: Misema Subgroup (in Québec) $2710 \pm 29/-8$ Ma), marker units, such as the Fish-rope rhyolite, are the sole means of correlation between structural blocks (Spence and de Rosen-Spence, 1975; de Rosen-Spence, 1976; Camiré, 1989; Péroquin and Verpaelst, 1989; Péroquin et al., 1989a, 1994). According to

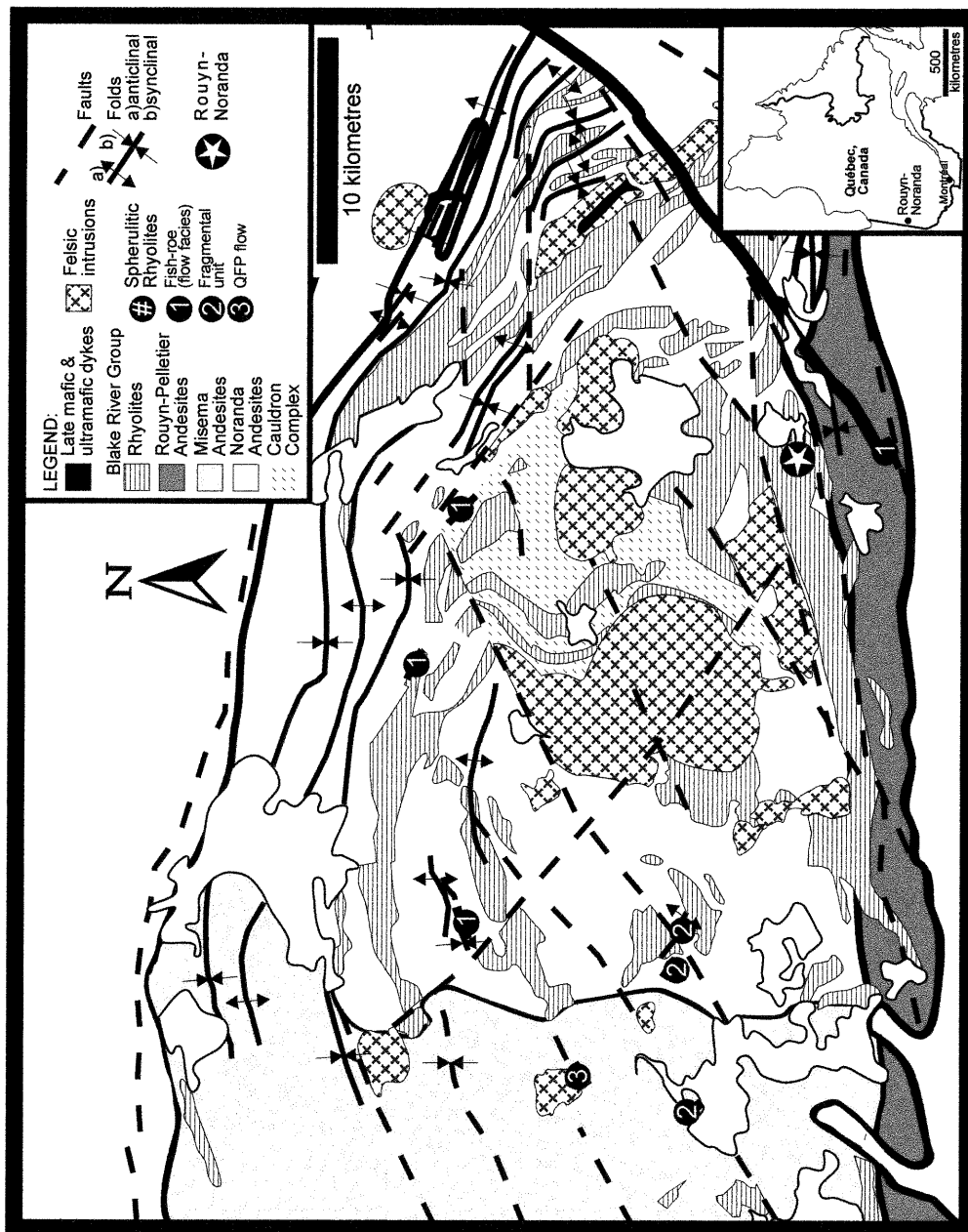


Figure 3.1: Geologic map of the Blake River Group geology (modified from Péroquin et al., 1990).

de Rosen-Spence (1976), the Fish-roe rhyolite was first used as a correlatable unit by Spence and Karis in 1963.

Article 9 of the North American Stratigraphic Code includes composition, texture and geochemistry among the distinguishing features that may be used to characterize a unit (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983). Eight outcrop areas of highly-spherulitic rhyolites, including the Fish-roe rhyolite of the Cauldron Complex, were recognized in the Blake River Group in Québec (Péloquin et al., 1989a, b, unpubl. data; Zhang et al., 1993) (Figure 3.1). The outcrops exhibit massive flow facies, lobe-and-breccia flow facies consisting of lava lobes injected into a hydroclastic breccia with hyaloclastite (autobreccification) occurring at the lobe-hydroclastite interface (c.f. Furnes et al. 1980), and fragmental, possibly pyroclastic, facies (Figure 3.1 and Table 3-I). Texturally, three phenocryst populations are observed (Table 3-I), the Fish-roe rhyolite flow being plagioclase porphyritic, the fragmental spherulitic rhyolite being aphyric, and the second spherulitic flow being quartz-plagioclase porphyritic. In spite of the differences in phenocryst populations the geochemistry and other textural criteria suggest a relationship between these rhyolites. Two of these groups, the Fish-roe rhyolite and the fragmental unit, comprise occurrences which can be correlated between fault blocks and subgroups.

The flow facies of the Fish-roe rhyolite occurs in the Noranda Subgroup, within the Cauldron Complex and outside it to the north, and in the Rouyn-Pelletier Subgroup. Based on mapped distribution of flow thickness, de Rosen-Spence (1976) suggested that the source of the Fish-roe rhyolite was external to and north of the Cauldron Complex. However, the distances between the outcrop areas suggests that the Fish-roe rhyolite is not so much a single eruptive unit as it is a single eruptive event, with the magma layer or zone being tapped during this event erupting through different vents within the Blake River basin.

The fragmental spherulitic rhyolite is interpreted to be a volcaniclastic unit that was hot when emplaced. Spherulites are observed on all outcrops; lapilli-sized fragments and perlitic fragments are observed on some. The spherulites, interpreted to be primary

Table 3-I: General field, petrographic and geochemical characteristics of the highly-spherulitic rhyolites in the Blake River Group.

Sample	Subgroup	Morphology	Unit thickness (m)	Spherulites	Phenocrysts	Oxides	Ti cation %	Zr/Y _n	La/Yb _n	Unit name (spherulitic)
0303B	Noranda	Massive flow	35-87	present	Plagioclase	Rutile, magnetite	0.72	1.22	1.52	Fish-roe rhyolite (1)
1100	Noranda	Lobe-and-breccia flow	200-300	present	Plagioclase	Rutile, magnetite	0.81	1.12	n/a	Fish-roe rhyolite (1)
1101	Noranda	Lobe-and-breccia flow	200-300	present	Plagioclase	Rutile	0.81	1.06	1.31	Fish-roe rhyolite (1)
1376	Noranda	Lobe-and-breccia flow	116	present	Plagioclase	Alteration only	n/a	n/a	n/a	Fish-roe rhyolite (1)
4001	Rouyn-Pelletier	Lobe-and-breccia flow	60-96	present	Plagioclase	Leucoxene Magnetite	0.55	n/a	1.48	Fish-roe rhyolite (1)
351	Noranda	Fragmental	80-120 (apparent ¹)	present	Aphyric	Magnetite Hematite	0.52	1.19	0.91	Fragmental unit (2)
0376A1	Noranda	Fragmental	60	present	Aphyric	Magnetite	0.6	1.08	1.13	Fragmental unit (2)
758	Misema	Fragmental	46-61	present	Aphyric	Minor only	0.54	1.03	1.14	Fragmental unit (2)
635	Misema	Flow	58-135	present	Quartz, plagioclase	Rutile? (altered)	0.57	1.03	1.27	QFP flow ² (3)
679	Misema	Flow	58-135	present	Quartz, plagioclase	Magnetite	0.57	1.04	1.2	QFP flow ² (3)

¹ Unit thickness is indicated as apparent because there are no dips measured in the area of the outcrop

² QFP = quartz-feldspar porphyry

crystallization spherulites, and the perlitic fracturing imply that the units were hot when emplaced, and are not, therefore, simply re-worked tuffs. This unit occurs in the westernmost part of the Noranda Subgroup and in the Misema Subgroup.

The quartz-plagioclase porphyritic spherulitic rhyolite flow occurs in the Misema Subgroup near the Lac Tarsac Fault. Outcrops in this area are very poor, and deformation is high.

In Article 25c of the North American Stratigraphic Code (1983), a key or marker bed is defined as "a thin bed of distinctive rock that is widely distributed. Such beds may be named, but usually are considered informal units. Individual key beds may be traced beyond the lateral limits of a particular formal unit (Article 23c)." The presence of the Fish-roe rhyolite in the Noranda and Rouyn-Pelletier Subgroups of the Blake River Group, indicate that these two subgroups are contemporaneous, the difference in lithological character precluding their being stratigraphic equivalents. The same conclusion can be drawn regarding the Noranda and Misema Subgroups in which the fragmental spherulitic rhyolite occurs. The Fish-roe and fragmental spherulitic rhyolite can, therefore, be considered key beds. The relationship between the two key beds is enigmatic. It is possible, based on the geochemistry and some textural similarities, that the fragmental spherulitic rhyolite is a pyroclastic unit associated with the eruption of the domes and flows of the Fish-roe. However, the outcrops and textural preservation of the fragmental spherulitic rhyolite are poor, and no firm conclusions can be drawn.

3.2 Petrography and Texture

In spite of the differences in phenocryst contents and modes of emplacement, flow versus fragmental, of the three outcrop groups of the highly-spherulitic rhyolites (Table 3-I), they exhibit many similar textures, which distinguish them from the other rhyolites of the Blake River Group. The spherulites themselves are easily observed on the outcrop (Figure 3.2a) and microscopically distinct from those commonly observed in the Blake

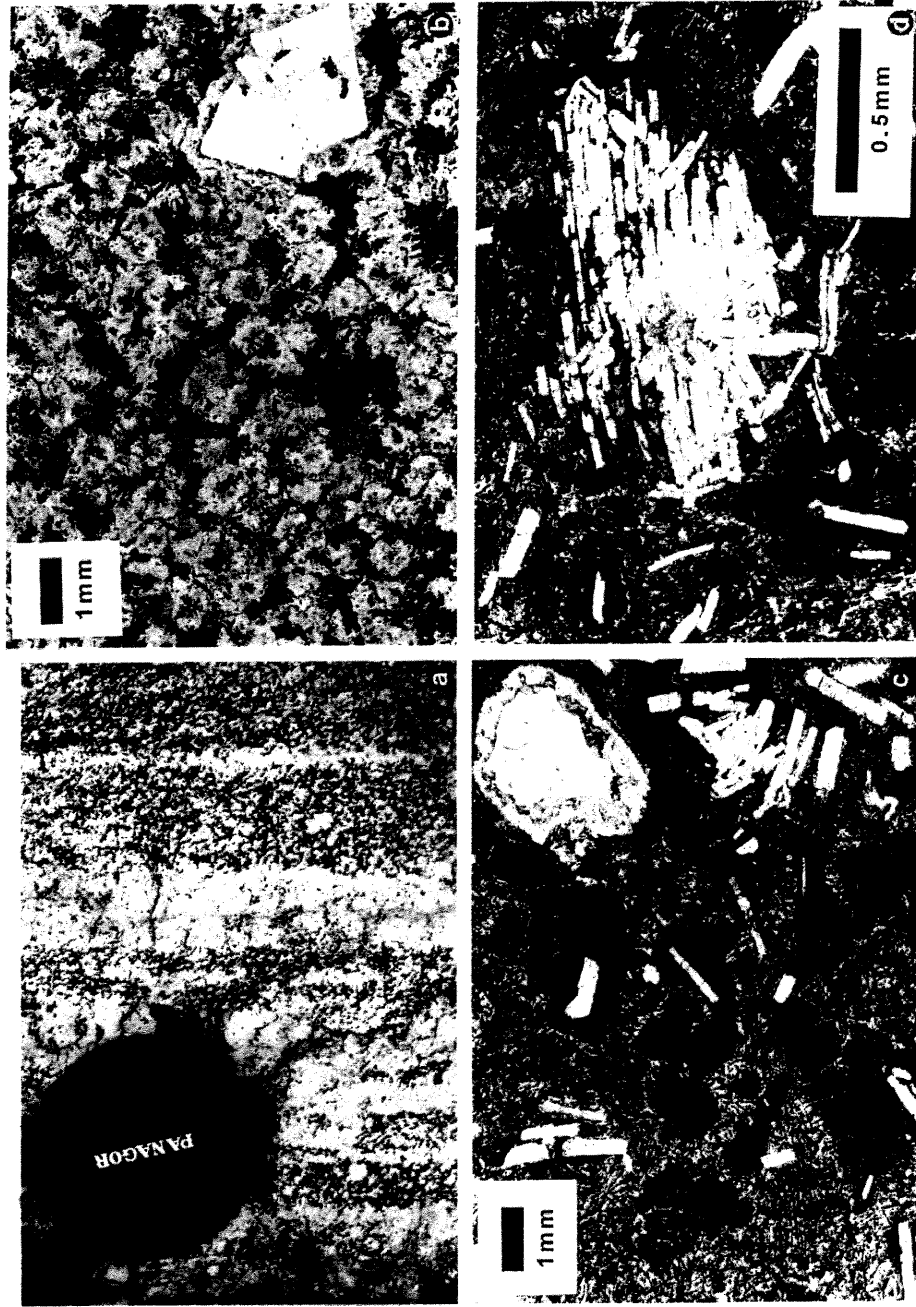


Figure 3.2: a) Detail of the lobe-and-breccia facies of the Fish-roe rhyolite flow, showing flow banding and spherulites in the lobe borders. b) devitrification spherulites in Blake River Group rhyolites. c) spherulites in the Fish-roe rhyolite. d) parallel-lath plagioclase glomerophencrysts in the lobe-and-breccia facies of the Fish-roe rhyolite flow.

River Group rhyolites. Spherulites are known to be products of two main processes: primary crystallization during undercooling (quenching), common in mafic lavas (Kirkpatrick, 1978; Natland, 1978, 1980; Lofgren, 1980); and devitrification of existing glass, occurring in both mafic and felsic lavas (Lofgren, 1971: felsic examples). The spherulite type common to the rhyolites of the Blake River Group consist of amorphous to blocky quartz and plagioclase exhibiting radial extinction, whereas the spherulites of the Fish-rope rhyolite exhibit fine-acicular radial crystal growth features (Figure 3.2b and c). Optically, the secondary and relic primary mineralogy suggests that the spherulites of the highly-spherulitic rhyolite were originally composed of clinopyroxene, oxides, plagioclase and quartz. The common Blake River Group spherulites are interpreted as forming during the devitrification of the glassy matrix of the rhyolite flows. The distinct morphology of the spherulites in the highly-spherulitic rhyolites suggests that they formed in a different manner; their resemblance to crystallization spherulites in basalt pillows suggests that they may be primary crystallization spherulites. The absence of crystallization spherulites in the other rhyolites and their presence in the highly-spherulitic rhyolite is probably a temperature-composition phenomenon. The Zr versus $(\text{Na} + \text{K} + 2\text{Ca})/(\text{Al} \times \text{Si})$ and P_2O_5 versus SiO_2 diagrams of Watson and Harrison (1983, 1984; not shown) seem to indicate that the majority of the highly-spherulitic rhyolite occurrences extruded at slightly higher temperatures than the other rhyolites of the Blake River Group. Some caution should be advised, however, as these diagrams rely heavily on major elements, of which the alkali elements are known to be mobile.

All of the Fish-rope rhyolite occurrences have distinctive parallel-agglomerated lath-shaped plagioclase phenocrysts (Figure 3.2d), and contain relic rutile crystals or pseudomorphs thereof. The highly-spherulitic fragmental unit is aphyric, and the third highly-spherulitic rhyolite occurrence is a quartz-plagioclase porphyritic flow. However, chemical data presented here, and the statistical analysis of that data, show all the occurrences to be related and to be distinct from the other Blake River Group rhyolites.

3.3 Geochemistry

The highly-spherulitic rhyolites are geochemically distinct in the Blake River Group. On the basis of major elements, with the exception of Ca, Ti and P, they appear to be simply intermediate between the rhyolites and andesites of the Blake River Group (Figure 3.3 and Table 3-II), the Fish-roe rhyolite having been in the past interpreted as a dacite (Camiré, 1989; Paradis, 1990). However, the highly evolved trace and REE contents preclude such an interpretation. These elements show that all the highly-spherulitic rhyolites, including the Fish-roe, are not intermediate between the andesites and rhyolites; their La contents are in the same range as those observed in the other rhyolites and they are, therefore, as evolved. There are, however, some element contents and ratios which differ significantly between the highly-spherulitic rhyolites and the other rhyolites of the Blake River Group (Figure 3.4 and Table 3-II).

It must also be noted that the alkali elements (Na, K, Rb, Cs) and the alkali-earth element, Ba, are commonly mobilized during the multiple stages of alteration and metamorphism that these rocks have undergone. On Harker plots, they exhibit highly variable distributions for given Si levels and no correlation with changing Si; these elements cannot, therefore, be used to characterize the rocks and have not been discussed here.

The geochemical differences of the highly-spherulitic rhyolites compared to the other rhyolites of the Blake River Group are shown in figure 3.5 by using normalized enrichment-depletion diagrams such as those used by Bacon et al. (1981) and Hildreth (1981) in studying the compositional gradients in felsic magma chambers. In this study, these diagrams are constructed by normalizing the Fish-roe rhyolite to averaged analyses of the all the Blake River Group rhyolites.

Figure 3.5a clearly indicates an enrichment in Ti, Ca and P in the highly-spherulitic rhyolites, the tendencies of the other elements being less clearly defined within the

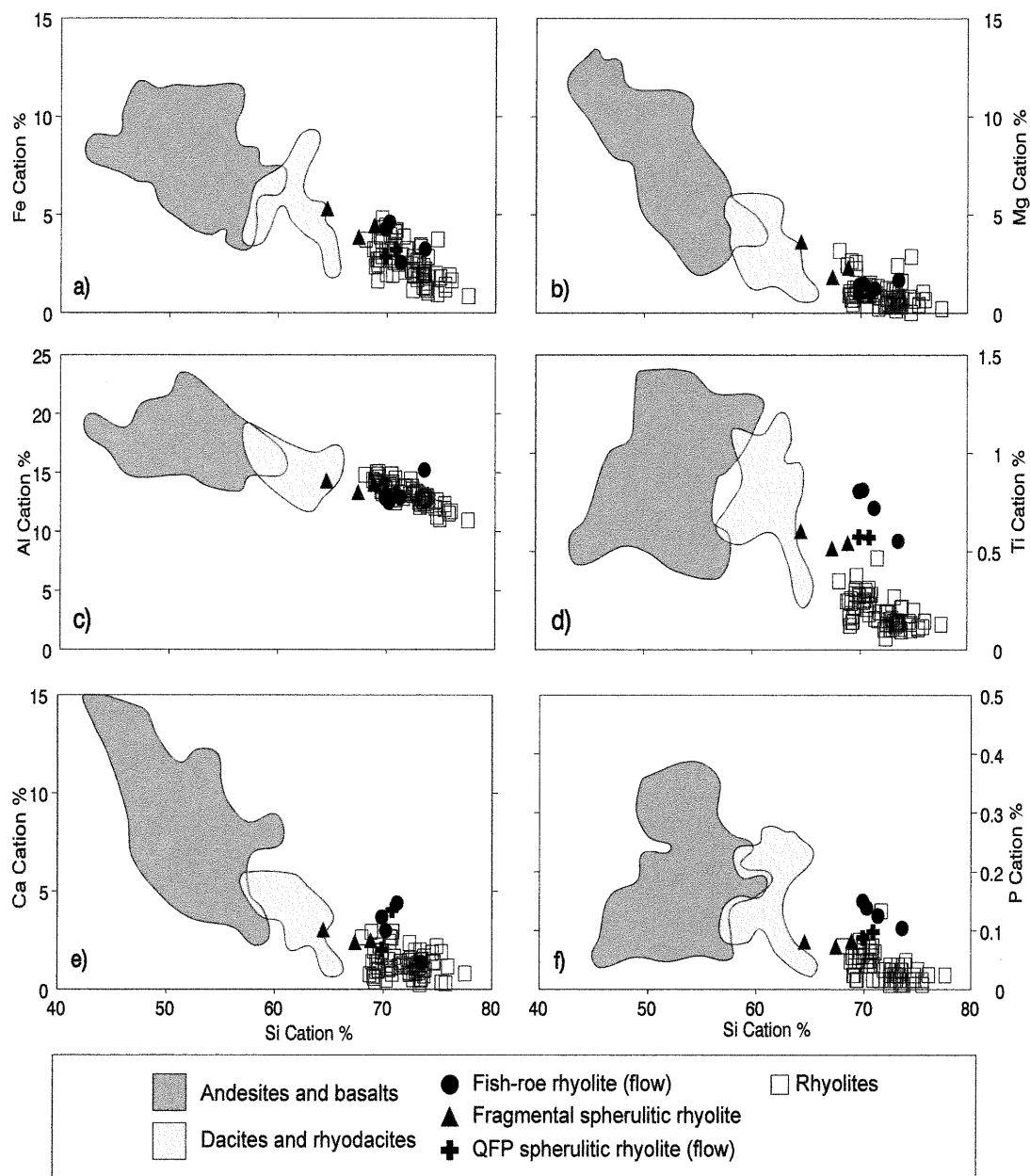


Figure 3.3: Major element variation diagrams for the Blake River Group rhyolites in general, and the Fish-roe rhyolite: a) Fe vs Si; b) Mg vs Si; c) Al vs Si; d) Ti vs Si; e) Ca vs Si; f) P vs Si. (Analyses from Péloquin et al., 1989a, 1989b, 1990, unpub. data; highly-spherulitic rhyolite analyses given on Table 3.I).

Table 3-II: Chemical analyses of Blake River Group Volcanic Rocks. Analyses are of the highly-spherulitic rhyolites with averages of the individual units and of all the units combined; average chemical compositions of the other Blake River Group rhyolites are broken down into the Noranda and Misema Subgroups, and combined; average compositions were used to construct Figures 3.5 and 3.7; also included are average chemical compositions of mafic to intermediate and felsic rock types of the Blake River Group (from Pélouin et al., 1989a, 1989b, unpub. data); oxides in wt percent, trace elements and rare earth elements in ppm.

Sample #	0303B	1100	1101	4001	Average	0351	0376A1	0758A	Average	0635A
Lithology	Spherulitic	Spherulitic	Spherulitic	Spherulitic	Spherulitic	Spherulitic	Spherulitic	Spherulitic	Spherulitic	Spherulitic
Unit	Fish-roe rhyolite	Fish-roe rhyolite	Fish-roe rhyolite	Fish-roe rhyolite	Fish-roe (n=4)	Fragmental rhyolite	Fragmental rhyolite	Fragmental rhyolite	Fragmental (n=3)	QFP ¹ flow rhyolite
SiO ₂	74.50	73.13	72.55	75.57	73.94	71.89	68.34	72.12	70.78	73.93
TiO ₂	1.00	1.13	1.11	0.76	1.00	0.73	0.85	0.76	0.78	0.79
Al ₂ O ₃	11.47	11.05	11.34	13.29	11.79	12.08	12.88	12.48	12.48	11.65
Fe ₂ O ₃	3.55	6.40	5.90	4.44	5.07	5.47	7.47	6.19	6.38	4.45
MnO	0.08	0.10	0.10		0.10	0.08	0.10	0.08	0.09	0.07
MgO	0.87	1.04	0.99	1.16	1.02	1.31	2.59	1.63	1.84	0.62
CaO	4.30	2.91	3.57	1.32	3.02	2.40	3.00	2.44	2.61	3.94
Na ₂ O	2.73	3.39	2.56	0.29	2.24	5.50	4.51	3.25	4.42	2.79
K ₂ O	1.34	0.68	1.70	3.04	1.69	0.44	0.15	0.95	0.51	1.63
P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.18	0.13	0.16	0.09	0.10	0.10	0.10	0.12
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Rb	37.00	6.00	20.00	21.00	21.00	10.00		24.00	11.33	42.00
Th	3.40		3.10	3.40	3.30	2.10	1.80	2.60	2.17	2.50
Nb	28.00	30.00	27.00		28.33	21.00	20.00	21.00	20.67	21.00
La	34.00		31.00	35.00	33.33	19.00	22.00	27.00	22.67	30.00
Ce	86.00		85.00	92.00	87.67	47.00	56.00	74.00	59.00	79.00
Sr	37.00	56.00	76.00	445.00	56.33	76.00	99.00	85.00	86.67	130.00
Nd	60.00		65.00	63.00	62.67	36.00	43.00	62.00	47.00	58.00
Sm	19.00		18.00	21.00	19.33	12.00	14.00	18.00	14.67	18.00
Zr	450.00	440.00	420.00		436.67	380.00	320.00	430.00	376.67	430.00
Eu	3.60		3.80	3.50	3.63	2.60	2.90	4.00	3.17	4.00
Ti	6008.62	6744.74	6676.76	4543.21	5993.33	4383.02	5106.26	4537.95	4675.74	4757.45
Tb	3.80		4.50	4.00	4.10	2.90	3.10	4.10	3.37	4.10
Y	150.00	160.00	160.00		156.67	130.00	120.00	170.00	140.00	170.00
Yb	16.00		17.00	17.00	16.67	15.00	14.00	17.00	15.33	17.00
Lu	2.50		2.40	2.70	2.53	2.30	2.20	2.80	2.43	2.80
(La/Yb) _{chn} ³	1.52		1.31	1.48	1.44	0.91	1.13	1.14	1.06	1.27
(La/Sm) _{chn} ³	1.16		1.11	1.08	1.11	1.02	1.01	0.97	1.00	1.08
(Sm/Yb) _{chn} ³	1.32		1.18	1.37	1.29	0.89	1.11	1.18	1.06	1.18
(Nb/La) _{chn} ³	0.79		0.84		0.82	1.06	0.88	0.75	0.90	0.67
(Nb/Th) _{chn} ³	0.97		1.03		1.00	1.18	1.31	0.95	1.15	0.99
(Zr/Y) _{chn} ³	1.22	1.12	1.06		1.13	1.19	1.08	1.03	1.10	1.03
(Ti/Zr) _{chn} ³	0.12	0.13	0.14		0.13	0.10	0.14	0.09	0.11	0.10

¹ QFP = quartz-feldspar porphyry

² Data from Pélouin et al. (unpublished Ministère des Ressources Naturelles du Québec report)

³ chn = Chondrite Normalized

Table 3-II: (continued)

Sample #	0679A	Average	Average	Average	Average	Average	Average	Average	Average	Average
Lithology	Spherulitic	Spherulitic	<i>Spherulitic</i>	Rhyolite	Rhyolite	<i>Rhyolite</i>	And-Bas	And-Bas	And-Bas	Dac-RDac
Unit	QFP ¹ flow rhyolite	QFP¹ flow (n=2)	<i>Rhyolite</i> (n=9)	Noranda (n=61) ²	Misema (n=5) ²	<i>Blake River</i> (n=66) ²	Tholeiitic (n=52) ²	Transitional (n=22) ²	Calc-alkalic (n=55) ²	(n=16) ²
SiO ₂	74.52	74.22	<i>72.95</i>	76.45	75.80	76.40	55.05	55.79	56.76	65.08
TiO ₂	0.81	0.80	<i>0.88</i>	0.27	0.28	0.27	1.41	1.33	1.13	1.12
Al ₂ O ₃	12.07	11.86	<i>12.03</i>	11.91	12.23	11.94	15.12	15.87	16.40	14.03
Fe ₂ O ₃	4.05	4.25	<i>5.33</i>	3.56	3.96	3.59	11.77	10.09	8.97	7.58
MnO	0.08	0.08	<i>0.09</i>	0.07	0.08	0.07	0.18	0.21	0.15	0.13
MgO	0.64	0.63	<i>1.21</i>	0.70	0.43	0.68	4.77	5.06	4.83	2.35
CaO	2.02	2.98	<i>2.88</i>	1.27	1.69	1.30	7.87	7.39	7.14	4.09
Na ₂ O	5.61	4.20	<i>3.41</i>	4.51	4.42	4.50	3.36	3.70	3.72	4.64
K ₂ O	0.08	0.85	<i>1.11</i>	1.23	1.06	1.21	0.30	0.38	0.73	0.74
P ₂ O ₅	0.11	0.12	<i>0.13</i>	0.04	0.04	0.04	0.17	0.19	0.17	0.23
Total	100.00	100.00	<i>100.00</i>	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Rb		42.00	<i>20.00</i>	22.20	27.80	22.64	9.06	10.07	18.96	19.47
Th	2.90	2.70	<i>2.73</i>	2.80	2.97	2.82	0.73	1.01	1.30	1.55
Nb	22.00	21.50	<i>23.75</i>	16.54	12.60	16.24	7.31	7.08	8.27	11.13
La	30.00	30.00	<i>28.50</i>	22.37	22.33	22.36	7.52	9.68	11.95	14.00
Ce	83.00	81.00	<i>75.25</i>	52.75	55.67	53.00	18.25	23.31	27.75	34.00
Sr	35.00	82.50	<i>115.44</i>	64.07	72.00	64.67	136.44	143.84	193.37	121.25
Nd	65.00	61.50	<i>56.50</i>	32.07	36.67	32.46	11.99	14.54	15.27	20.40
Sm	19.00	18.50	<i>17.38</i>	7.94	9.73	8.09	3.44	3.81	3.65	5.00
Zr	460.00	445.00	<i>416.25</i>	287.62	224.00	282.80	105.63	106.35	129.74	169.63
Eu	3.90	3.95	<i>3.54</i>	1.60	1.93	1.63	1.07	1.17	1.13	1.24
Ti	4883.29	4820.37	<i>5293.48</i>	1602.34	1701.38	1609.84	8447.53	7987.20	6747.47	6740.43
Tb	4.40	4.25	<i>3.86</i>	1.51	2.00	1.55	0.68	0.75	0.64	0.90
Y	180.00	175.00	<i>155.00</i>	59.41	85.80	61.41	30.57	25.28	23.24	34.63
Yb	18.00	17.50	<i>16.38</i>	6.31	8.37	6.49	2.83	2.66	2.00	3.12
Lu	2.90	2.85	<i>2.58</i>	0.96	1.40	1.00	0.43	0.40	0.32	0.47
(La/Yb) _{chn} ³	1.20	1.23	<i>1.24</i>	2.58	1.89	2.52	1.78	2.84	4.46	3.50
(La/Sm) _{chn} ³	1.02	1.05	<i>1.06</i>	1.83	1.46	1.80	1.32	1.72	2.15	1.85
(Sm/Yb) _{chn} ³	1.17	1.17	<i>1.17</i>	1.40	1.29	1.39	1.32	1.64	2.09	1.89
(Nb/La) _{chn} ²	0.71	0.69	<i>0.81</i>	0.74	0.55	0.72	0.75	0.69	0.57	0.65
(Nb/Th) _{chn} ²	0.89	0.94	<i>1.05</i>	0.73	0.56	0.71	1.12	0.82	0.70	0.75
(Zr/Y) _{chn} ³	1.04	1.03	<i>1.09</i>	2.02	1.10	1.95	1.37	1.87	2.42	2.05
(Ti/Zr) _{chn} ³	0.09	0.09	<i>0.11</i>	0.05	0.06	0.05	0.78	0.71	0.47	0.38

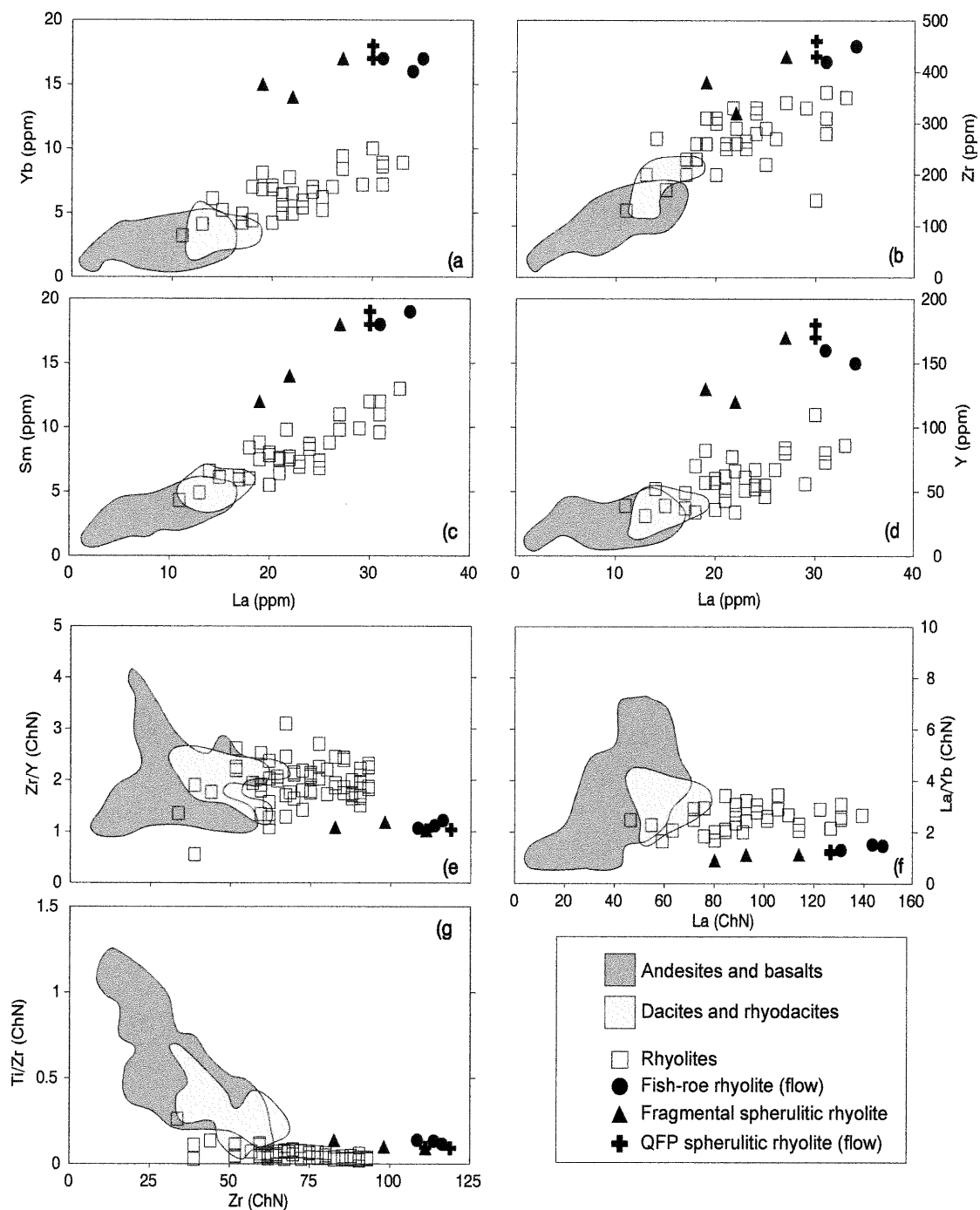


Figure 3.4: Trace and rare earth element variation diagrams for the Blake River Group rhyolites in general, and the Fish-roe rhyolite: a) Yb vs La; b) Zr vs La; c) Sm vs La; d) Y vs La; e) Zr/Y vs Zr (Chondrite Normalized); d) La/Yb vs La (Chondrite Normalized); e) Ti/Zr vs Zr (Chondrite Normalized). (Analyses from Pélouquin et al., 1989a, 1989b, 1990, unpub. data; highly-spherulitic rhyolite analyses given on Table 3.I). (Chondrite from Sun and McDonough 1989)

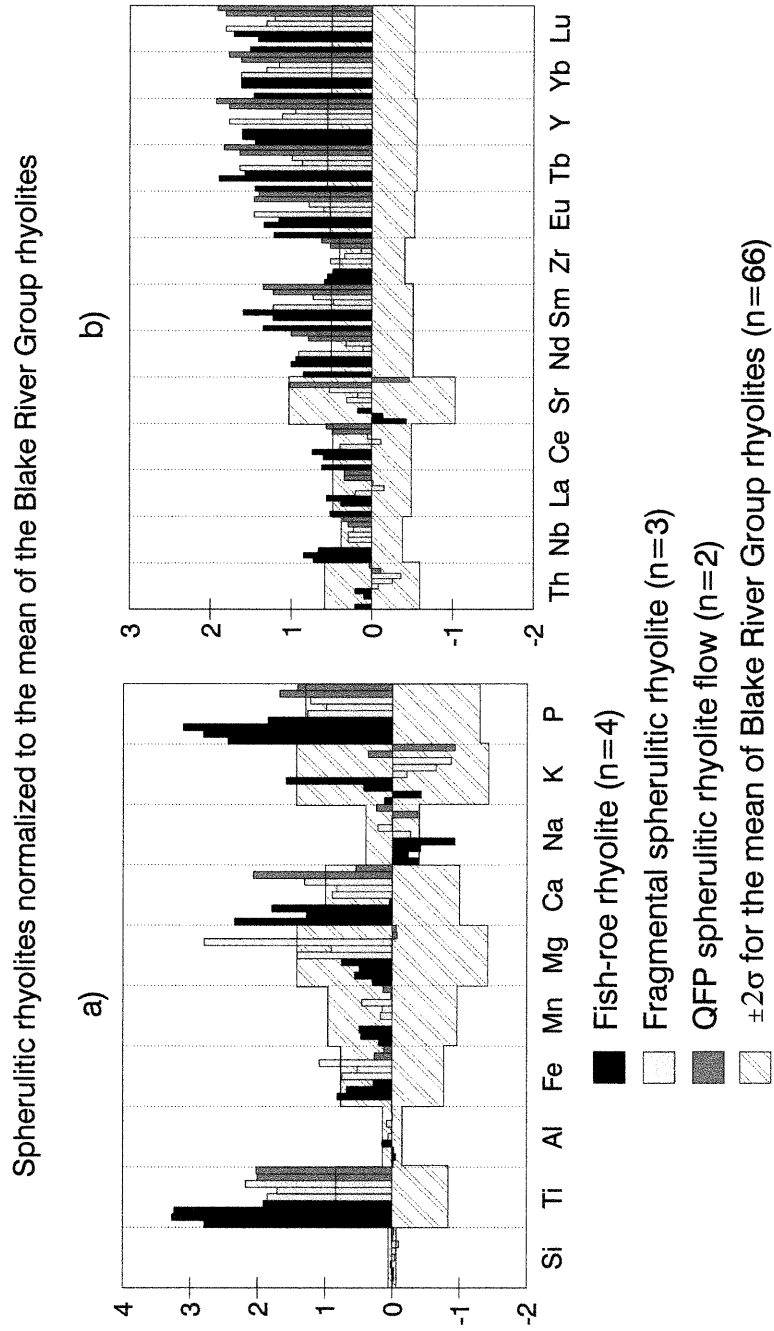


Figure 3.5: Enrichment/depletion diagrams highly-spherulitic rhyolites/Blake River Group rhyolites.
 a) major elements (cations), and b) trace and rare earth elements.

variability of the mean of the Blake River Group rhyolites. The middle to heavy rare earth elements, Y and to a lesser extent Zr are clearly enriched in the highly-spherulitic rhyolites; the light rare earth elements and remaining trace elements are for the most part within 2σ of the Blake River rhyolite mean (Figure 3.5b).

Of particular interest is the differing degrees of enrichment observed between La, Sm and Yb. The progressively increasing enrichment from the LREE's to the HREE's (Figure 3.5b) reflects not REE fractionation in the highly-spherulitic rhyolites, but rather their non-fractionated patterns relative to the Blake River Group rhyolites (Figure 3.6). The Zr and Y enrichment in the highly-spherulitic rhyolites are also seen in figure 3.6, Y being obviously more enriched than Zr. Another point of interest on this figure is the relationship between the High Field Strength Elements of the two rhyolite types. Overall, the Blake River Group rhyolites exhibit negative anomalies in Nb and Ti, but not Zr. The highly-spherulitic rhyolites, on the other hand, exhibit a negative anomaly only for Ti.

The obvious differences in trace element and REE patterns seen in figure 3.6, are also evident in chondrite-normalized trace element ratios (Figure 3.4 and Table 3-II). The highly-spherulitic rhyolites have high Ti/Zr_{chn} , and low Zr/Y_{chn} and La/Yb_{chn} ratios (0.08-0.14, 1.01-1.22 and 0.91-1.52, respectively) compared to the ratios of the other rhyolites in the Blake River Group as a whole (Ti/Zr_{chn} : 0.02-0.13, Zr/Y_{chn} : 1.08-3.10 and La/Yb_{chn} : 1.65-3.45).

3.4 Statistical Analysis of Geochemical Data

A major problem with proposing stratigraphic correlations across such long distances with such a paucity of outcrops is proving that the units are, in fact, related. In the case here, as in all volcanic stratigraphy, it cannot be expected that the units above and below the highly-spherulitic rhyolites are the same over the distances in question. These rhyolites are, therefore, considered to be "key beds" by the North American

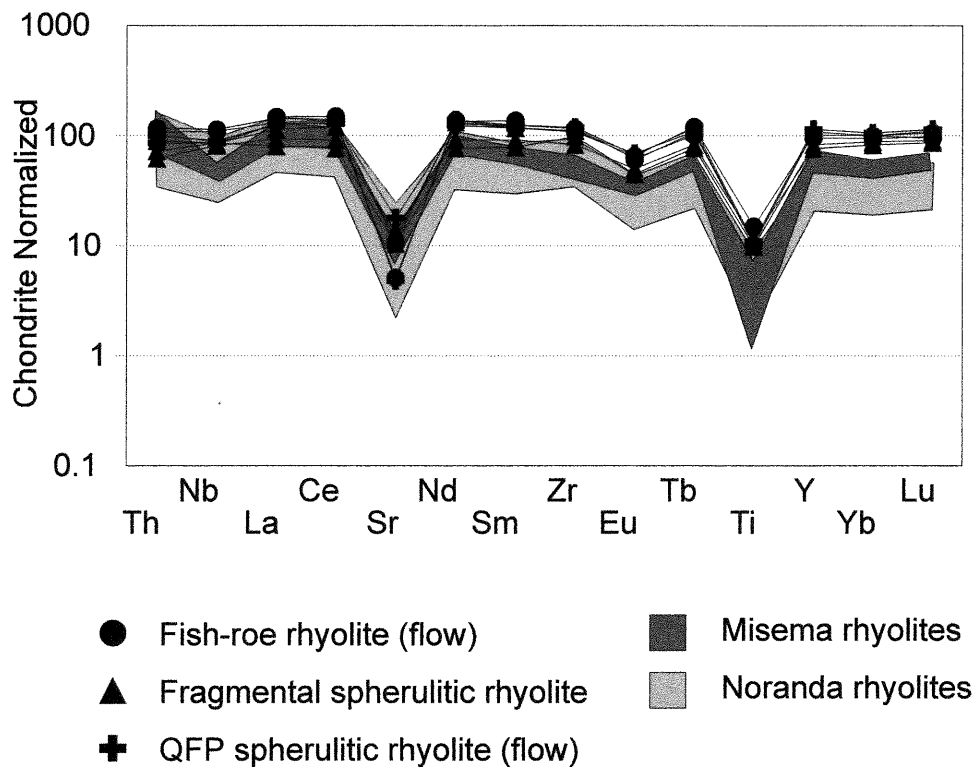


Figure 3.6: Chondrite-normalized Spider diagrams for the highly-spherulitic rhyolites and the other Blake River Group rhyolites. (Chondrite values from Sun and McDonough, 1989)

Stratigraphic Code definition (Articles 23c and 26b, 1983) and are defined as units on the basis of texture and chemistry (Article 9; 1983). The probability that all units of the highly-spherulitic rhyolites may be related, in spite of differing phenocryst contents, was verified by statistical analysis of the geochemical data. The two-tailed Student t-Test of the average fragmental spherulitic rhyolite and the average quartz-plagioclase porphyritic spherulitic rhyolite compared to the Fish-roe rhyolite (Figure 3.7a and b) show a 95 percent confidence level in units being related for all but one or two elements in each case. A two-tailed Student-t test was then performed to determine if the highly-spherulitic rhyolites form a population that is separate and distinct from the other rhyolites of the Blake River Group, or if they are simply a sub-set of the larger rhyolite population. The results show a 95 percent confidence level for the highly-spherulitic rhyolites being a population distinct from the other Blake River Group rhyolites. The highly-spherulitic rhyolites are, therefore, a separate and distinct population, and the three units making up the population are most likely genetically related.

3.5 Stratigraphic and Tectonic Implications

Of the three occurrences of highly-spherulitic rhyolites, the Fish-roe flow, the fragmental rhyolite and the quartz-plagioclase porphyritic flow, the former two are important in that they are each present in two subgroups that were previously thought to be of different ages. The Fish-roe rhyolite outcrops in the Noranda and Rouyn-Pelletier Subgroups, whereas the fragmental spherulitic rhyolite outcrops in the Noranda and Misema Subgroups.

The Fish-roe rhyolite occurs near the top of the second volcanic cycle of the cauldron-fill sequence within the Cauldron Complex of the Noranda Subgroup. It is stratigraphically above rhyolites considered to be comagmatic with (Paradis et al., 1988) and close in age to the 2700 ± 1.5 Ma Flavrian trondhjemite (Mortensen, 1987). The distribution of outcrops, all being flow facies (massive and lobe-and-breccia), indicate that the Fish-roe

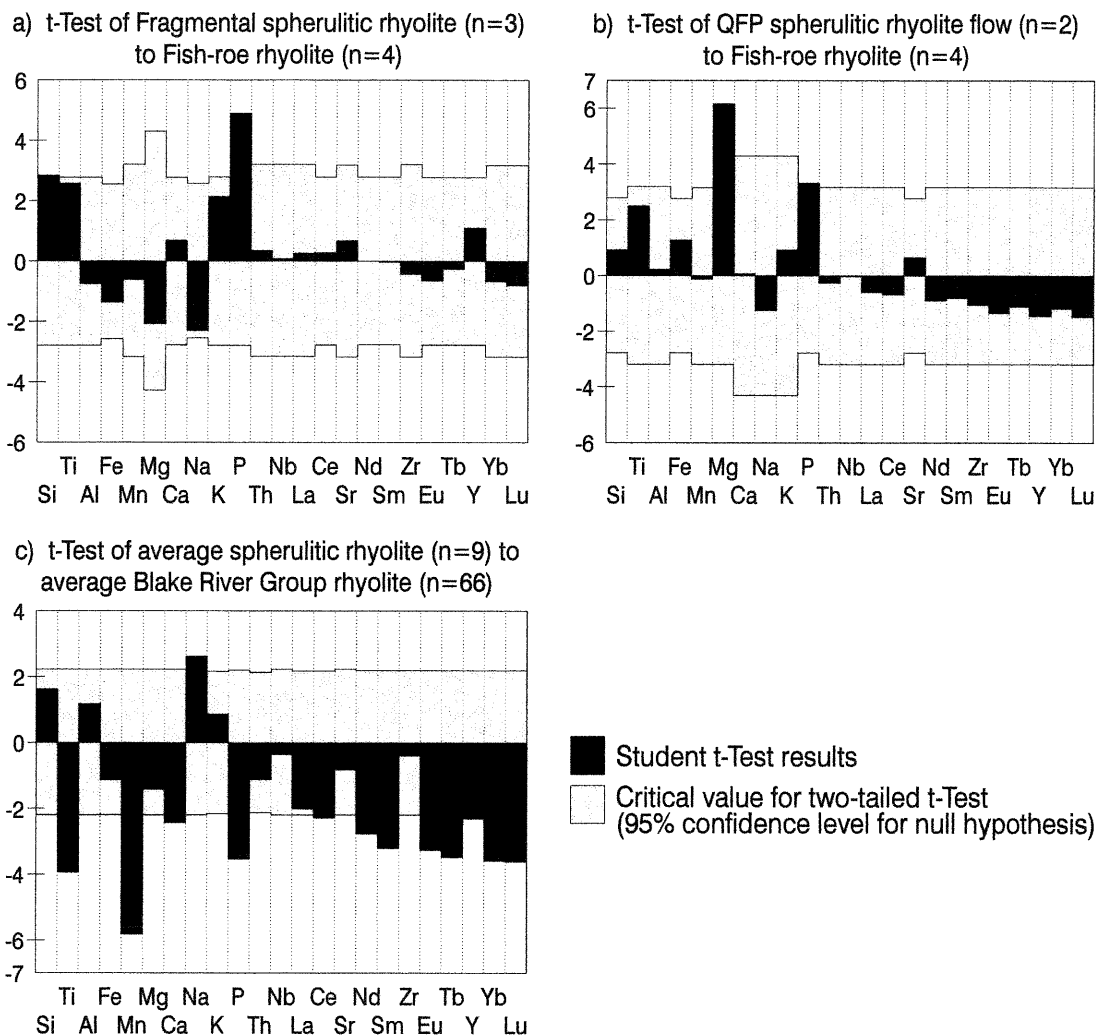


Figure 3.7: The two-tailed Student t-Test analysis results for a 95% confidence level of the null-hypothesis of a) the average of the fragmental spherulitic rhyolite compared to that of the Fish-roe rhyolite, b) the average of the QFP spherulitic rhyolite compared to that of the Fish-roe rhyolite, and c) the average of all the highly-spherulitic rhyolites compared to that of all other Blake River Group rhyolites. The null-hypothesis is that the two populations being compared in each case are not related.

rhyolite was extruded within the Noranda and Rouyn-Pelletier Subgroups. Within the cauldron of the Noranda Subgroup and in the Rouyn-Pelletier Subgroup the flow facies of the Fish-roe rhyolite is overlain by a lapilli tuff not observed above the flow facies outside the cauldron of the Noranda Subgroup.

The exposure of the fragmental spherulitic rhyolite in the south-western Noranda Subgroup and in the Misema Subgroup is extremely sporadic as outcrop in this area is poor. The southeasternmost occurrence is stratigraphically below a rhyolite unit dated at 2701 ± 1.5 Ma (Mortensen, 1993). The ages assumed for the fragmental spherulitic rhyolite and the Fish-roe rhyolite are, therefore, the same within the error ranges of the U-Pb dates. The two units differ in phenocryst contents, aphyric versus plagioclase porphyritic, and mode of emplacement, fragmental versus lava flow. They are, however, similar in the presence of crystallization spherulites and in their geochemistry. These similarities between the highly-spherulitic rhyolite samples coupled with the consistent differences between them and the other rhyolites of the Blake River Group suggest that the spherulitic rhyolites are genetically related.

As the highly-spherulitic rhyolites are exposed only sporadically, cannot be followed along strike for any long distance and have different phenocryst contents, it cannot be determined with any certainty that they are a single unit. On the other hand, this possibility cannot be excluded. In either case, the highly-spherulitic rhyolites have important implications in the interpretation of the evolution of the Blake River Group.

The presence of the fragmental unit in the Noranda Subgroup and the Misema Subgroup confirms that the dominantly andesitic Misema Subgroup, is not entirely older than the Noranda Subgroup, as was proposed by Goodwin (1977). In fact, considering the overlapping error ranges of the U-Pb dates and the possibility that the highly-spherulitic rhyolites constitute a single unit, the western portion of the Noranda Subgroup may be contemporaneous with the cauldron formation in the central area of the Noranda Subgroup. In this case, although part of the Misema Subgroup may have pre-dated cauldron formation, it would have also been forming during the deposition of the second volcanic cycle and continued thereafter.

A similar conclusion can also be drawn concerning the age of emplacement of the Noranda and Rouyn-Pelletier Subgroups. The Fish-roe rhyolite occurs in both the Cauldron complex and the western portion of the Noranda Subgroup, and is interlayered with the basalts of the Rouyn-Pelletier Subgroup considered by Gélinas et al. (1984) to be at the base of the Blake River Group.

The differences in rock types between the Misema (andesites), the Rouyn-Pelletier (basaltic andesites and basalts) and the Noranda (andesites and rhyolites) Subgroups imply different magmatic environments for these three domains (Péloquin et al., 1992, 1994, 1995). Yet the presence of the highly-spherulitic rhyolites in all three suggests that they were juxtaposed during their formation and are, at least in part, contemporaneous.

Distinct rhyolitic events, such as the highly-spherulitic rhyolites, could be explained by the eruption tapping a zone of a zoned magma chamber not commonly extruded. The existence of such a magma chamber was suggested by Gélinas and Ludden (1984). However, detailed studies of most zoned magma chambers in the literature are from continental regimes (Bacon et al., 1981; Hildreth, 1981; Halliday et al., 1989; Stix and Gorton, 1993) and the rhyolites they produce cannot, therefore, be used as analogues for the Fish-roe rhyolite. The presence of a zoned magma chamber, and its inherent lithologies, does however, imply crustal thicknesses greater than those common in modern-day "normal" oceanic regimes.

The presence of flow-facies Fish-roe rhyolite in the Rouyn-Pelletier precludes the possibility of this subgroup being formed distal to the Noranda Subgroup and its magma chamber, and subsequently, being tectonically juxtaposed. It is, therefore, suggested that the Rouyn-Pelletier was an active ridge that was adjacent to the Noranda Subgroup during its formation (Figure 3.8a). The Noranda and Misema Subgroups appear to be more closely related on the basis of the geochemistry of their andesites (Péloquin et al., 1992, 1994, 1995). This relationship may be one of "along-ridge" variation (Figure 3.8b) with the absence of rhyolites in the Misema Subgroup indicating that it may have been distal to the area (the Noranda Subgroup) underlain by the zoned magma chamber. The

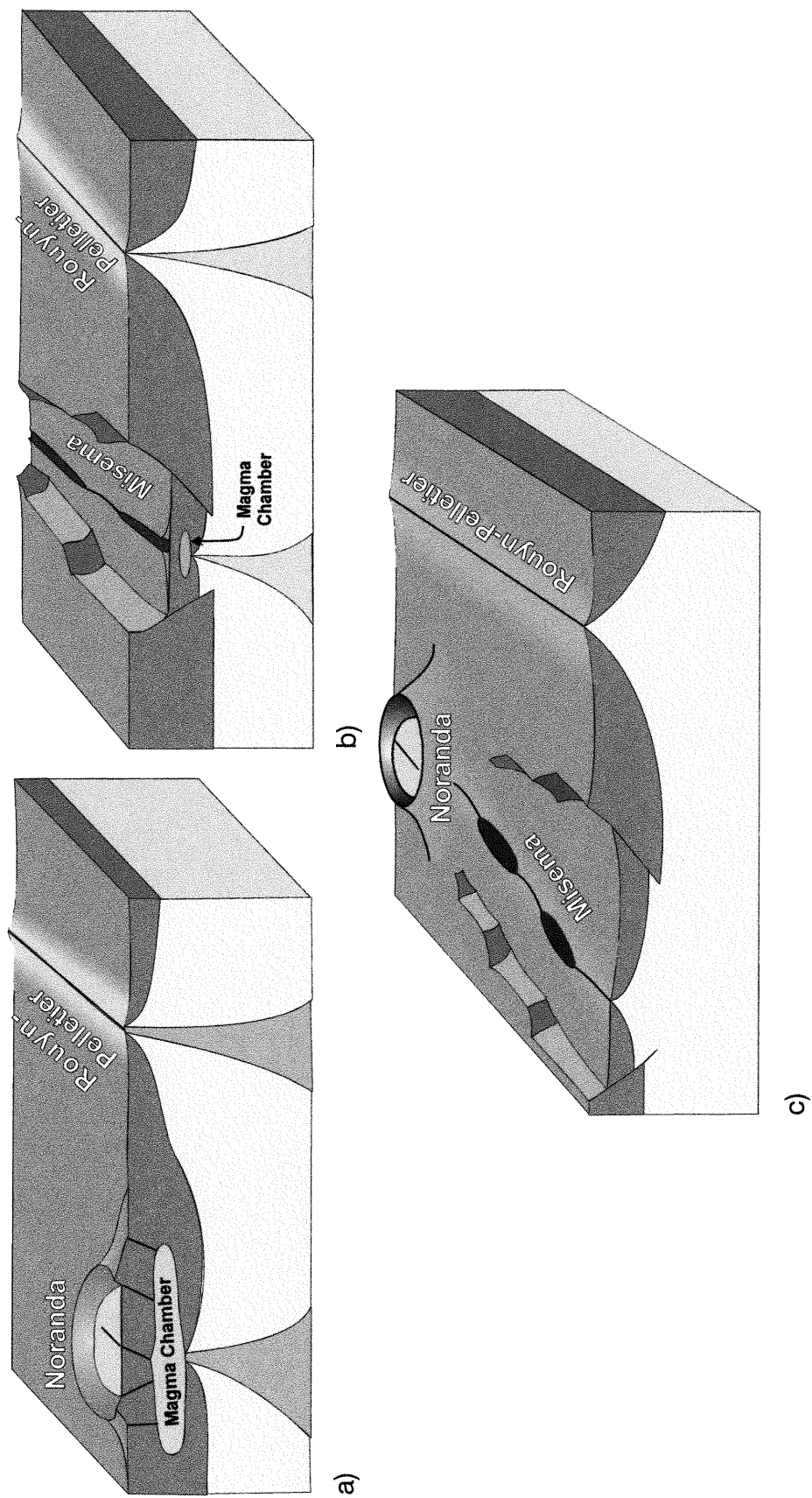


Figure 3.8: The proposed geographic relationship of the Noranda, Misema and Rouyn-Pelletier Subgroups at the time of their formation. a) schematic cross-sectional view of the Noranda and Rouyn-Pelletier Subgroups. b) schematic cross-sectional view of the Misema and Rouyn-Pelletier Subgroups. c) schema of the relationship between the three subgroups; the Noranda and Misema Subgroups representing the leading edge of a propagating ridge and the more mature basin, respectively; the Rouyn-Pelletier representing a parallel ridge system.

Blake River Group can then be visualized as a single large basin characterized by parallel ridge systems with significant along-ridge variations (Figure 3.8c).

The along-ridge magmatic variations seen between the Noranda and Misema Subgroups may be due to the migration of the leading edge of a propagating ridge from West to East. Lithological variations are known in modern-day areas of ridge propagation and incipient back arc basins, such as the Galapagos spreading center (Christie and Sinton, 1981), the Sumisu and Torishima rifts (Fryer et al., 1990), and the Lau Basin (Pearce et al., 1995), although in the latter case the most evolved lavas are andesitic. Laflèche et al. (1992a, b) suggested that the Blake River Group andesites have a subduction-related component.

In the case of the Blake River Group, the initial volcanism of the opening of the basin would have been similar to that of the Noranda Subgroup and would have given way to Misema-type volcanism as the leading-edge moved eastward (Figure 3.8c). This model implies that a Noranda-type volcano existed in the western Blake River Group prior to the deposition of the Misema Subgroup. Geophysical studies (gravity: Bellefleur, 1992; and reflection seismic: Green et al., 1990; Jackson et al., 1995; Verpaelst et al., 1995) show that the Blake River Group thickens to the West, rather than thins as would be expected if the Misema were an older subgroup underlying the Noranda. It is, therefore, possible that remnants of a Noranda-type volcano locally underlie the very shallow dipping Misema Subgroup.

The presence of a Noranda-type volcano beneath the Misema implies the presence of Noranda-type volcanogenic massive sulfide deposits in the western Blake River Group. The depth to these units is, however, unknown as they do not produce geophysical signals distinguishable from the overlying Misema Subgroup, but it is most certainly prohibitive to exploitation with today's technology.

3.6 Acknowledgements

This study was financed by the Service Géologique du Nord-Ouest, Ministère des Ressources Naturelles du Québec through the Unité de Recherche et de Service en Technologie Minérale, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (A.S. Péloquin); by the National Science and Engineering Research Council of Canada, Strategic Grant to J.N. Ludden; and by the Fonds pour la Formation de Chercheurs et à l'Aide à la Recherche and the Université de Montréal, Doctorate Scholarships to A.S. Péloquin.

We wish to thank Suzanne Paradis (Geological Survey of Canada), Gérald Riverin and Pierre Bertrand (INMET Mining Corporation) for their aid in the first year of the Blake River Project, and Alain Simard, Maurice Rive and Michel Hocq (Ministère des Ressources Naturelles du Québec) for their support throughout the project. We also wish to thank Claude Hubert (Université de Montréal) for the informative discussions we have had, and Alex Brown (École Polytechnique de Montréal) for his collaboration in the realization of this project. We thank Phil Thurston (Ontario Geological Survey) and Harold Gibson (Laurentian University) for their reviews of the initial version of the article, and an anonymous reviewer for the final corrections. Their constructive criticism greatly improved the paper. We also are indebted to Denis Marcotte (École Polytechnique de Montréal) for the statistical analysis of our data.

Much of the data forming the basis of this paper are available from the Ministère des Ressources Naturelles du Québec geochemical data base.

3.7 References

- Bacon, C.R., Macdonald, R., Smith, R.L. and Baedecker, P.A., 1981, Pleistocene high-silica rhyolites of the Coso Volcanic Field, Inyo County, California: *Journal of Geophysical Research*, v. 86, p. 10223-10241.

- Bellefleur, G., 1992, Contribution des méthodes de potentiel à la cartographie géologique et à la structure profonde dans le Groupe de Blake River, Abitibi: Unpublished M.Sc. thesis, Montréal, Québec, Canada, École Polytechnique de Montréal, 101p.
- Camiré, G., 1989, Volcanic stratigraphy in the Hunter Creek Fault area, east of the Flavrian Pluton, Rouyn-Noranda, Québec: Unpublished M.Sc. thesis, Ottawa, Ontario, Canada, Carlton University, 213 p.
- Christie, D. M. and Sinton, J. M., 1981, Evolution of abyssal lavas along propagating segments of the Galapagos spreading center: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 56, p. 321-335.
- Corfu, F., 1993, The evolution of the southern Abitibi greenstone belt in light of precise U-Pb Geochronology: *Economic Geology*, v. 88, p. 1323-1340.
- de Rosen-Spence, A.F., 1976, Stratigraphy, development and petrogenesis of the central Noranda volcanic pile, Noranda, Québec: Unpublished Ph.D. thesis, Toronto, Ontario, Canada, University of Toronto, 166 p.
- Fryer, P., Taylor, B., Langmuir, C. H. and Hochstaedter, A. G., 1990, Petrology and geochemistry of lavas from the Sumisu and Torishima backarc rifts: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 100, p. 161-178.
- Furnes, H., Fridleifsson, I.B. and Atkins, F.B., 1980, Subglacial volcanics on the formation of acid hyaloclastites: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 8, p. 95-110.
- Gélinas, L. and Ludden, J. N., 1984, Rhyolitic volcanism and the geochemical evolution of an Archean central ring complex: The Blake River Group volcanics of the southern Abitibi belt, Superior Province: *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 35, p. 77-88.
- Gélinas, L., Trudel, P. and Hubert, C., 1984, Chemostratigraphic division of the Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Abitibi, Québec: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 21, p. 220-231.
- Gibson, H.L., 1989, The geology and reconstruction of the Mine sequence and the Noranda cauldron of the Noranda complex, northwestern Québec: Unpublished Ph.D. thesis, Ottawa, Ontario, Canada, Carlton University, 715 p.
- Goodwin, A.M., 1977, Archean volcanism in Superior Province, Canadian Shield: *Volcanic Regimes in Canada*, Geological Association of Canada Special Paper 16, p. 205-241.
- Green, A., Milkereit, B., Mayrand, L., Ludden, J.N., Hubert, C., Jackson, S.L., Sutcliffe, R.H., West, G.F., Verpaelst, P. and Simard, A., 1990, Deep structure of an Archean greenstone terrane: *Geology*, v. 344, p. 327-330.

- Halliday, A.N., Mahood, G.A., Holden, P., Metz, J.M., Dempster, T.J. and Davidson, J.P., 1989, Evidence for long residence times of rhyolitic magma in the Long Valley magmatic system: the isotopic record in precaldera lavas of Glass Mountain: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 94, p. 274-290.
- Hildreth, W., 1981, Gradients in silicic magma chambers: Implications for lithospheric magmatism: *Journal of Geophysical Research*, v. 86, p. 10153-10192.
- Jackson, S.L., Cruden, A.R., White, D. and Milkereit, B., 1995, A seismic-reflection-based regional cross section of the southern Abitibi greenstone belt: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 32, p. 135-148.
- Kirkpatrick, R.J., 1978, Processes of crystallization in pillow basalts, Hole 396B, D.S.D.P., Leg 46: *Initial Reports of the D.S.D.P.*, v.46, p. 271-282.
- Laflèche, M. R., Dupuy, C. and Bougault, H., 1992a, Geochemistry and petrogenesis of Archean mafic volcanic rocks of the southern Abitibi Belt, Québec: *Precambrian Research*, v. 57, p. 207-241.
- Laflèche, M. R., Dupuy, C. and Dostal, J., 1992b, Tholeiitic volcanic rocks of the late Archean Blake River Group, southern Abitibi greenstone belt: origin and geodynamic implications: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 29, p. 1448-1458.
- Lofgren, G., 1971, Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glass: *Geological Society of America Bulletin*, v. 82, p. 111-124.
- Lofgren, G., 1980, Experimental studies of dynamic crystallization of silicate melts: *Physics of Magmatic Processes*, Princeton University Press, p. 487-551.
- Mortensen, J. K., 1987, Preliminary U-Pb zircon ages for volcanic and plutonic rocks of the Noranda-Lac Abitibi area, Abitibi subprovince, Québec: *Geological Survey of Canada Paper 87-1A*, p. 581-590.
- Mortensen, J.K., 1993, U-Pb geochronology of the eastern Abitibi Subprovince. Part 2: Noranda - Kirkland Lake area: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 30, p. 29-41.
- Natland, J.H., 1978, Crystal morphologies in basalts from D.S.D.P. Site 395, 23°N, 46°W, Mid-Atlantic Ridge: *Initial Reports of the D.S.D.P.*, v. 45, p. 423-445.
- Natland, J.H., 1980, Crystal morphologies in basalts dredged and drilled from the East Pacific Rise near 9°N and the Siqueiros fracture zone: *Initial Reports of the D.S.D.P.*, v. 54, p. 605-633.
- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983, North American Stratigraphic Code: *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 67, p. 841-875.
- Paradis, S., 1990, Stratigraphy, volcanology and geochemistry of the New Vauze-Norbec area, Central Noranda Volcanic Complex, Québec, Canada: Unpublished Ph.D. thesis, Ottawa, Ontario, Canada, Carlton University, 453 p.

- Paradis, S., Ludden, J. and Gélinas, L., 1988, Evidence for contrasting compositional spectra in comagmatic intrusive and extrusive rocks of the late Archean Blake River Group, Abitibi, Quebec: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 25, p. 134-144.
- Pearce, J. A., Ernewein, M., Bloomer, S. H., Parson, L. M., Murton, B. J. and Johnson, L. E., 1995, Geochemistry of Lau Basin volcanic rocks: Influence of ridge segmentation and arc proximity: *Volcanism Associated with Extension at Consuming Plate Margins*, Geological Society Special Publication 81, p. 53-75.
- Péloquin, A.S. and Verpaelst, P., 1989, Groupe de Blake River, région de Rouyn-Noranda, Québec: Correlation au nord et au sud de la faille de Hunter Creek [abs.]: Geological Association of Canada/Mineralogical Association of Canada Annual Meeting, Montréal, Canada, 1989, Program with Abstracts, v. 14, p. A37.
- Péloquin, A.S., Verpaelst, P., Paradis, S., Gaulin, R. and Cousineau, P., 1989a, Projet Blake River Ouest Cantons de Duprat et de Dufresnoy, SNRC 32D/06: Québec, Québec, Canada, Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Interim report MB 89-02, 176 p.
- Péloquin, A.S., Verpaelst, P. and Gaulin, R., 1989b, Le Blake River dans les cantons de Duprat, de Montbray, de Beauchastel et de Dasserat: Québec, Québec, Canada, Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Interim report MB 89-64, 89 p.
- Péloquin, A.S., Potvin, R., Paradis, S., Lafèche, M.R., Verpaelst, P. and Gibson, H.L., 1990, The Blake River Group, Rouyn-Noranda Area, Québec: A Stratigraphic Synthesis: *Northwestern Québec Polymetallic Belt*, Canadian Institute of Mining and Metallurgy Special Volume 43, p. 107-118.
- Péloquin, A.S., Ludden, J.N., Verpaelst, P. and Francis, D.F., 1992, Archean andesites: Their spatial variations and possible origins, Abitibi Subprovince, Québec, Canada [abs.]: American Geophysical Union 1992 Spring Meeting, Montreal, Canada, 1992, EOS, v. 73, page 331.
- Péloquin, A. S., Ludden, J.N., Hubert, C. and Verpaelst, P., 1994, Magmatic systems in late Archean volcanic basins: Implications for Noranda-type VMS [abs.]: Geological Association of Canada/Mineralogical Association of Canada Annual Meeting, Waterloo, Canada, 1994, Program with Abstracts, v. 19, p. A87.
- Péloquin, A. S., Ludden, J. N. and Verpaelst, P., 1995, The Blake River Group: A 2.7 Ga in situ propagating volcanic basin hosting volcanogenic massive sulphide deposits: Precambrian '95, International Conference on Tectonics & Metallogeny of Early/Mid Precambrian Orogenic Belts, Montréal, Canada, 1995, Program and Abstracts, p. 271.
- Spence, C.D. and De Rosen-Spence, A.F., 1975, The place of sulfide mineralization in the volcanic sequence at Noranda, Québec: *Economic Geology*, v. 70, p. 90-101.

- Stix, J. and Gorton, M., 1993, Replenishment and crystallization in epicontinental silicic magma chambers: evidence from the Bandelier magmatic system: *Journal of Volcanology and Geochemical Research*, v. 55, p. 201-215.
- Sun, S.-s. and McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes: *Magmatism in the Ocean Basins*, Geological Society Special Publication 42, p. 313-345.
- Verpaelst, P., Péloquin A.S., Adam, E., Barnes, A.E., Ludden, J.N., Dion, D.-J., Hubert, C., Milkereit, B. and Labrie, M., 1995, Seismic reflection profiles across the "Mine Series" in the Noranda camp of the Abitibi belt, eastern Canada: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 32, p. 167-176.
- Watson, E.B. and Harrison, T.M., 1983, Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of magma types: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 64, p. 295-304.
- Watson, E.B. and Harrison, T.M., 1984, Accessory minerals and the geochemical evolution of crustal magmatic systems: a summary and prospectus of experimental approaches: *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 35, p. 19-30.
- Zhang, Q.-Z., Machado, N., Ludden, J.N. and Moore, D.M., 1993, Geotectonic constraints from U-Pb ages for the Blake River Group, the Kinojévis Group and the Normétal mine area, Abitibi, Québec [abs.]: *Geological Association of Canada/Mineralogical Association of Canada Annual Meeting*, Edmonton, Canada, 1993, Program with Abstracts, v. 18, p. A114.

CHAPTER 4

4.0 STRATIGRAPHIE DE LA PARTIE OUEST DU GROUPE BLAKE RIVER, SOUS-PROVINCE DE L'ABITIBI, QUÉBEC.

A.S. Péloquin (U.R.S.T.M.^{1,3}), P. Verpaelst (M.R.N.Q.²), J.N. Ludden (U. de M.^{3,7}),
B. Dejou (École Polytechnique^{4,6}), et R. Gaulin (C.A.T.⁵)

ÉTUDE GÉOSCIENTIFIQUE

(Publication du Ministère des ressources naturelles du Québec)

¹Unité de Recherche et de Service en Technologie minérale de l'Abitibi-Témiskamingue

²Ministère des Ressources aturelles du Québec

³Université de Montréal

⁴École Polytechnique de Montréal

⁵C.E.G.E.P. de l'Abitibi-Témiskamingue

⁶Cominco Ltée

⁷C.R.P.G. - C.N.R.S., Nancy, France

4.0.1 Résumé

Trois sous-groupes sont définis dans le Groupe de Blake River en Abitibi au Québec: le Noranda, le Misema et le Rouyn-Pelletier. Le secteur étudié contient le sous-groupe de Noranda, composé d'andésites et de rhyolites interstratifiées, et le sous-groupe de Misema, dominé par les andésites avec très peu de rhyolites. Le sous-groupe de Noranda est divisé en cinq blocs par la faille de Hunter Creek, la faille de Rivière Mouilleuse, la faille de Baie Fabie et le cisaillement de D'Alembert. Ce sont les blocs Flavrian, D'Alembert, Hunter, Mouilleuse et Arnoux. Les blocs Kanasuta et Després incluent une partie du sous-groupe de Misema dans le secteur étudié. Le déplacement le long des failles de Baie Fabie et de Rivière Mouilleuse reste inconnu, tandis que la présence des rhyolites hautement sphérolitiques des deux côtés de la faille de Hunter Creek indique soit un mouvement verticale ascendant du bloc Flavrian au sud par rapport au bloc Hunter au nord, soit un mouvement senestre. Le cisaillement de D'Alembert semble recouper la faille de Hunter Creek, et indique un mouvement horizontal; mais les cisaillements à l'intérieur du bloc D'Alembert répètent la stratigraphie du secteur et montrent aussi un mouvement vertical.

La région étudiée comprend surtout des andésites et des rhyolites. Les basaltes et les dacites sont très rares. Les roches les plus importantes au point de vue stratigraphique dans le secteur sont les rhyolites hautement sphérolitiques (sphérolites de cristallisation), car elles peuvent être utilisées comme unités repères.

Les rhyolites hautement sphérolitiques sont divisées en trois unités selon leurs contenus en phénocristaux et leurs morphologies. Malgré les différences pétrographiques, toutes ces rhyolites exhibent des caractéristiques géochimiques similaires entre elles et distinctes des autres rhyolites dans le Groupe de Blake River. Elles sont partout enrichies en éléments lourds des terres rares par rapport aux autres rhyolites du groupe, et montrent des patrons plats pour les éléments des terres rares ($La/Yb_n=1$). Cette similitude au niveau de la géochimie suggère un lien génétique entre les unités de rhyolite sphérolitique. Deux de ces unités, la rhyolite de Fish-roe et la rhyolite sphérolitique volcanoclastique, représentent les unités repères qui relient les sous-groupes du Groupe de Blake River. La présence de la rhyolite sphérolitique volcanoclastique dans les sous-groupes de Noranda et de Misema indique que ces sous-groupes sont contemporains. La rhyolite de Fish-roe relie les sous-groupes de Noranda et de Rouyn-Pelletier, ce dernier étant à l'extérieur du secteur étudié.

Les andésites du Groupe de Blake River ont deux affinités géochimiques principales: 1) tholéiitique, sans enrichissement en éléments légers des terres rares, et 2) enrichie, sans toutefois mériter d'être désignée calco-alkaline. Un troisième type d'andésite se trouve transitionnel entre les deux types principaux et est probablement le produit du mélange des deux premiers. L'association de ces andésites sur le terrain indique que les systèmes magmatiques qui les ont produites ont fonctionné en même temps.

Entre le sous-groupe de Misema et celui de Noranda, il n'existe pas de différence évidente au niveau des andésites. Mais il y a très peu de rhyolite dans le sous-groupe de Misema alors qu'elles sont abondantes dans le sous-groupe de Noranda. La présence de la rhyolite hautement sphérolitique volcanoclastique dans les deux sous-groupes indique que les différences lithologiques ne sont pas dues à une évolution dans le temps mais plutôt à des variations latérales à l'intérieur d'un bassin volcanique. L'association des andésites d'affinités géochimiques différentes, et les variations lithologiques (andésite à andésite plus rhyolite) sont actuellement observées dans les bassins naissants en milieu d'arc insulaire, ou dans les zones de propagation de ride en milieu océanique.

4.0.2 Abstract

Three subgroups were defined in the Blake River Group of the Abitibi Sub-province in Québec: the Noranda, the Misema and the Rouyn-Pelletier. The area studied covers part of the Noranda subgroup, composed of interstratified rhyolites and andesites, and part of the Misema subgroup, dominated by andesites with few rhyolites. The Noranda subgroup is divided into five structural blocks by the Hunter Creek, Rivière Mouilleuse and Baie Fabie Faults, and the D'Alembert Shear: the Flavrian, Hunter, Mouilleuse and Arnoux blocks. The Kanasuta and Després blocks cover part of the Misema subgroup in the study area. The movement along the Rivière Mouilleuse and Baie Fabie Faults is unknown, whereas the presence of a highly spherulitic rhyolite unit on either side of the Hunter Creek Fault indicate either vertical movement with the Flavrian block to the south moving upward, or a sinistral movement. The D'Alembert Shear appears to cut the Hunter Creek Fault, indicating horizontal movement; however, the stratigraphy within the D'Alembert block is repeated by parallel shears, indicating vertical movement as well.

The area studied is dominantly comprised of andesites and rhyolites; basalts and dacites are rare. The most important rock type in the area for the understanding of the stratigraphy is the highly spherulitic rhyolite (crystallization spherulites). This rock type is used as a marker unit.

The highly spherulitic rhyolites are divided into three units based on their flow morphologies and phenocryst contents. In spite of the petrographic differences, all these rhyolites exhibit similar geochemical characteristics, which are distinct from the other rhyolites of the Blake River Group. All the samples analysed are enriched in HREE compared to the other rhyolites of the group, and have flat chondrite normalized REE patterns ($La/Yb_n=1$). The geochemical similarity suggests a genetic link between the spherulitic rhyolite units. Two of these units, the Fish-roe rhyolite and the volcanoclastic spherulitic rhyolite, represent marker units that relate the subgroups of the Blake River Group. The presence of the volcanoclastic spherulitic rhyolite in the Noranda and Misema subgroups indicates that these subgroups were contemporaneous. The Fish-roe rhyolite links the Noranda and Rouyn-Pelletier subgroups, the latter being outside the study area.

The Blake River Group andesites are of two principal geochemical affinities: 1) tholeiitic, having no LREE enrichment, and 2) enriched in LREE, without being typically calc-alkalic. A third type of andesite is transitional between the two principal types, and is probably formed by mixing of the two. The association of the andesite types in the field indicates that the magmatic systems producing them were contemporaneous.

The Misema and Noranda subgroups show no obvious differences in their andesites. However, there are few rhyolites in the Misema subgroup compared to abundant rhyolites in the Noranda subgroup. The presence of the volcanoclastic highly-spherulitic rhyolite in the two subgroups suggest that the differences in lithologies are not due to evolution with time, but rather to lateral variations within a volcanic basin. The multiple geochemical affinities of the andesites and the lithological variations (andesite to andesite and rhyolite) are presently observed in rifting basins associated with island arcs, and in zones of propagating oceanic rifts.

4.1 Introduction

Le Groupe de Blake River se trouve dans la partie sud de la Sous-province de l'Abitibi dans la Province archéenne de Supérieur (figure 4.1). Au Québec, le Groupe de Blake River comprend trois sous-groupes: le Misema, le Noranda et un nouveau sous-groupe, le Rouyn-Pelletier (figure 4.2). Le sous-groupe de Misema, défini par Goodwin (1977), consiste en une séquence andésitique montrant les affinités enrichie et non enrichie en éléments légers des terres rares, alors que le Noranda est une séquence bimodale rhyolite-andésite montrant les mêmes affinités que le Misema. Le nouveau sous-groupe de Rouyn-Pelletier se trouve au sud du secteur étudié et est défini ici comme comprenant les unités de Rouyn et de Pelletier telles que définies par Gélinas *et al.* (1984). Il est composé surtout de basaltes et d'andésites basaltiques d'affinité principalement tholéiitique.

Plusieurs études stratigraphiques du Groupe de Blake River au Québec se sont attardées sur les aspects lithologiques et lithochimiques. La plupart de ces études (de Rosen-Spence, 1976; Gibson, 1989 et Paradis, 1990) portent sur la séquence stratigraphique du chaudron de Noranda (*Noranda cauldron* de Gibson, 1989) et des unités adjacentes qui font partie du sous-groupe de Noranda défini par Goodwin (1977) (figure 4.2). Peu d'études du Blake River incluent la partie ouest du sous-groupe de Noranda et le sous-groupe de Misema (Goodwin, 1977; Dimroth *et al.*, 1982; Dimroth *et al.*, 1983a; Dimroth *et al.*, 1983b; Gélinas *et al.*, 1984 et Péloquin *et al.* 1990). À l'exception de Goodwin (1977), ces études sont basées sur les compilations des données déjà disponibles. L'étude actuelle fournit des nouvelles données modifiant l'interprétation de la stratigraphie du secteur ouest du Groupe de Blake River et sa relation avec le Chaudron de Noranda, représenté ici par le bloc Flavrian.

Un des principaux problèmes dans la stratigraphie du Groupe de Blake River est la corrélation des unités d'un centre volcanique à l'autre. Dans la région étudiée, il existe plusieurs centres volcaniques majeurs. Ceux du sous-groupe de Noranda, de type

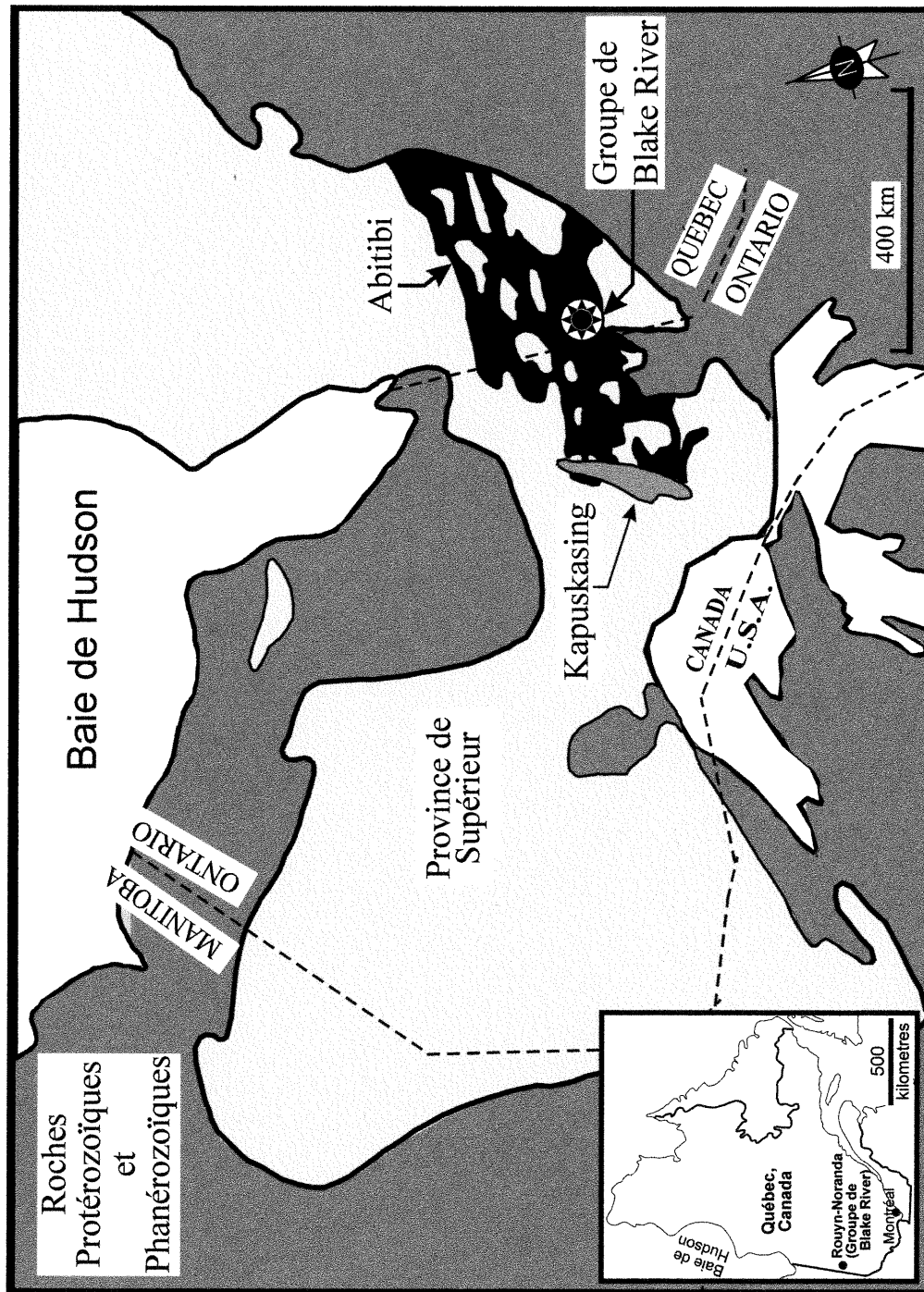


Figure 4.1: Localisation de la Sous-Province de l'Abitibi et du Groupe de Blake River dans la Province de Supérieur.

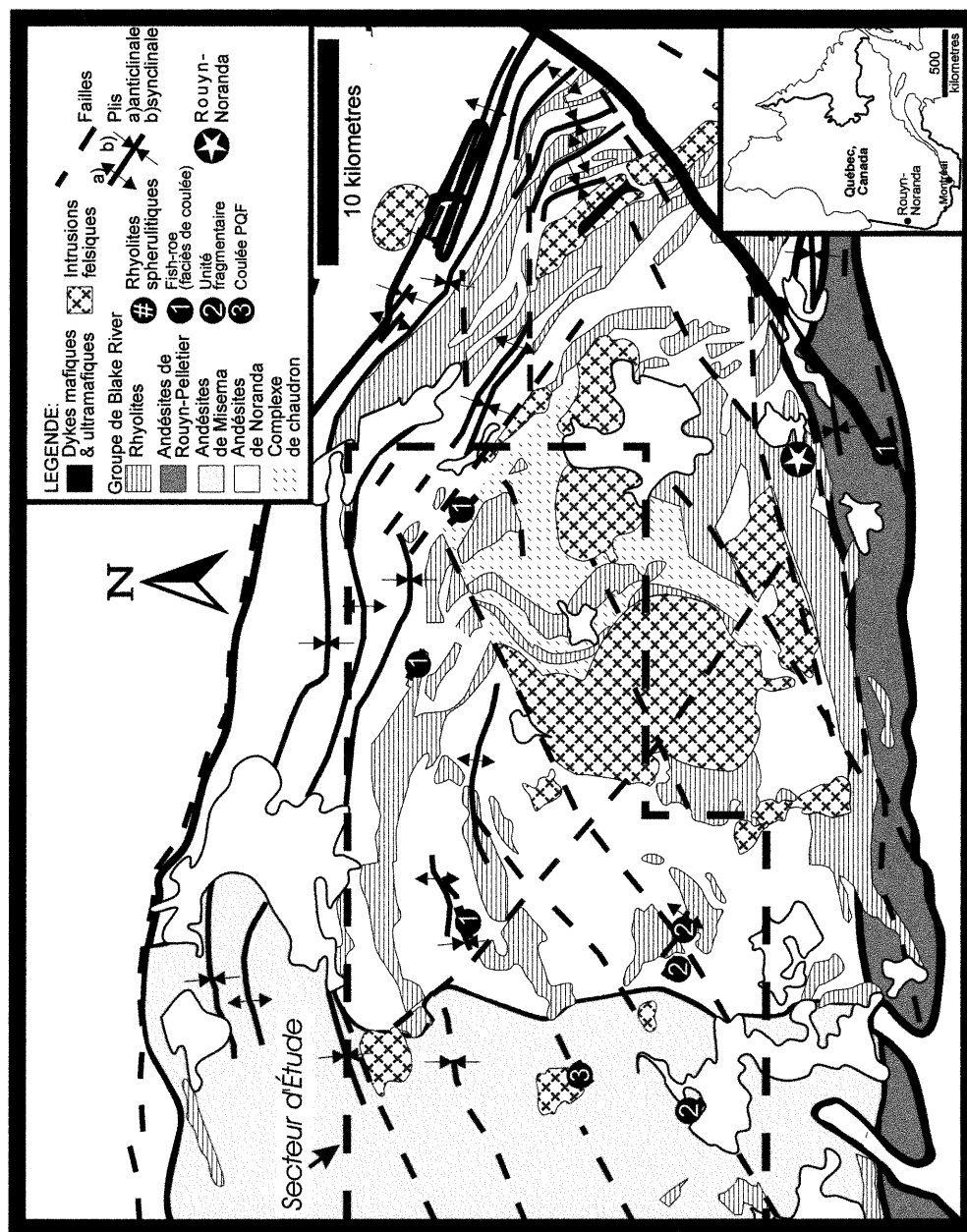


Figure 4.2: Géologie du Groupe de Blake River avec les sous-groupes, les unités repères (la rhyolite de Fish-roe) et le secteur d'étude.

bimodal, sont les plus évidents. Les plus importants sont le chaudron de Noranda, le complexe volcanique de Duprat-Montbray, et les complexes d'Inmont et de Quatre-Coins (figure 4.3). Des études détaillées sur ces centres permettraient de résoudre le problème de corrélation. En l'absence d'études détaillées, la géochimie indique que la corrélation entre ces complexes n'est pas simple. Les autres centres du secteur étudié sont plutôt andésitiques. Ces centres, difficiles à discerner, sont responsables de la formation du sous-groupe de Misema à l'extrême ouest du secteur.

Les travaux de la présente étude ont permis d'identifier une lithologie repère, une rhyolite hautement sphérolitique (à sphérolites de cristallisation) qui affleure dans plusieurs blocs dans le Groupe de Blake River. Cette rhyolite constitue actuellement le meilleur moyen de résoudre le problème des corrélations stratigraphiques dans le groupe (Unités 1, 2 et 3 sur la figure 4.3). Elle est présente dans trois unités (tableau 1 de Pélouquin *et al.*, 1996) géochimiquement semblables qui se démarquent des autres rhyolites du Groupe de Blake River. La ressemblance géochimique indique un lien génétique probable entre ces unités; leur dissemblance avec les autres rhyolites suggère qu'elles ont été produites par un événement dans une chambre magmatique zonée (Pélouquin *et al.*, 1994 et Pélouquin *et al.*, 1996). Ces travaux ont aussi permis de définir le troisième sous-groupe du Blake River, le sous-groupe de Rouyn-Pelletier. Et enfin, la corrélation stratigraphique permet d'établir que les trois sous-groupes ont connu un même événement volcanique et qu'ils ne se superposent pas simplement comme on l'avait supposé jusqu'ici.

4.2 Objectif et Méthodologie

L'objectif général du projet était de dresser la stratigraphie du Groupe de Blake River. L'objectif spécifique était de mettre à jour la carte 32D/06 à l'échelle de 1:50 000 (Carte SIGÉOM SI-32D06-CG-96B) à partir des cartes de compilation géoscientifique (M.R.N.Q. 1982) des coupures 32D/5-0104, 0204 et 0304, et 32D/6-0101, 0201, 0301, 0102, 0202, 0302, 0203, 0204, 0303 et 0304 (1:10 000), et à partir d'une cartographie

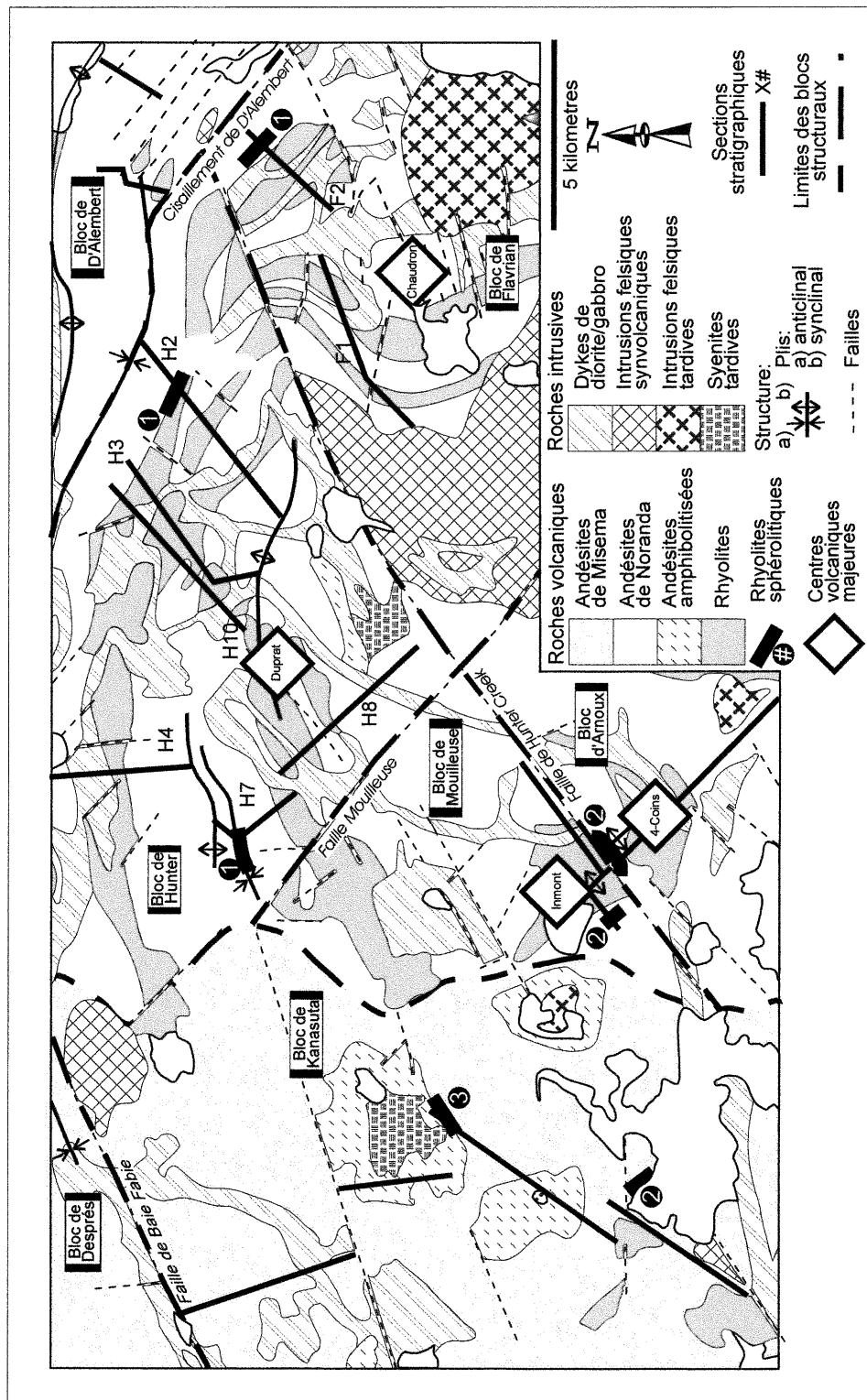


Figure 4.3: Géologie du secteur étudié avec les sous-groupes, les rhyolites hautement sphérolitiques, les blocs structuraux et les coupes chimico-stratigraphiques. Les coupes identifiées ont fait l'objet d'une étude détaillée et sont discutées dans le chapitre sur les variations verticales. Les coupes non identifiées sont représentées à titre indicatif (sites d'échantillonnages dans chacun des blocs).

ponctuelle à l'échelle de 1:15 000. Le levé a été effectué sur une superficie de 686 km² sur les coupures SNRC 32D-6-200-101 et 102 et 32D-6-200-201 et 202 (1:20 000) entre les coordonnées suivantes: 48°18'45" - 48°26'15" et 79°00' - 79°15', et 48°15'00" - 48°26'15" et 79°15'00" - 79°31'00". La région cartographiée est située dans les cantons de Dufresnoy, de Duprat, de Montbray, de Beauchastel et de Dasserat au nord de Rouyn-Noranda, en allant jusqu'à la frontière de l'Ontario; elle est accessible par les routes 101 et 117, des routes de gravier, des sentiers, des lignes coupées, des lacs et des rivières, et par hélicoptère. La densité des affleurements est élevée dans la région étudiée, sauf dans le voisinage immédiat de la faille de Hunter Creek. La qualité des affleurements dans le secteur à l'ouest est pauvre à cause de la couverture végétale.

Les travaux, effectués à l'URSTM sous contrat et en collaboration avec le ministère des Ressources naturelles de 1987 à 1991, incluent la cartographie détaillée des secteurs suivants: la région de l'intersection de la faille de Hunter Creek et du cisaillement de D'Alembert (Péloquin *et al.*, 1989a), la région de l'Anticlinal de la Rivière Kanasuta (Péloquin *et al.*, 1989b) et la région du stock de Lac Tarsac (Dejou *et al.* 1990 et Dejou 1992). Ils incluent aussi des coupes stratigraphiques pour l'échantillonnage lithogéochimique et pétrographique, et pour vérifier localement les lithologies et les structures.

Les analyses chimiques ont été faites au Centre de Recherche minérale du Québec; les éléments majeurs et en traces ont été analysés par fluorescence-X, les éléments des terres rares et quelques traces par activation neutronique. À titre de vérification externe, cinquante-quatre échantillons d'andésites ont été repris pour les éléments en traces au laboratoire Ultratrace de l'Université de Montréal.

4.3 Remerciements

Nous remercions monsieur Maurice Rive (M.R.N.Q.), qui a suggéré le sujet de cette étude, ainsi que messieurs M. Hocq (M.R.N.Q.) et G. Riverin (Inmet) pour leurs

commentaires constructifs et les discussions que nous avons eues avec eux. Nous remercions aussi madame S. Paradis et monsieur H.L. Gibson pour les échantillons de géochimie qu'ils nous ont fournis à partir de leurs recherches doctorales. La mise en plan des cartes a été effectuée par C. Vallée en 1987, R. St.-Jean en 1988, F. Trépanier en 1988 et 1989, D. Trottier en 1989 et S. Sigouin de Service Exploration inc. en 1989.

4.4 Cadre Géologique Régional

Le Groupe de Blake River, d'âge archéen (2,7 Ga), se trouve dans la Sous-province de l'Abitibi de la Province de Supérieur (figure 4.1). Selon la carte lithostratigraphique de cette sous-province (M.R.N.Q./O.G.S. 1983), le Groupe de Blake River ferait partie du cycle volcanique III, au-dessus du Groupe de Kinojévis et en dessous des roches sédimentaires du Groupe de Timiskaming. La région cartographiée fait partie, selon Goodwin (1977), des sous-groupes de Noranda à l'est et de Misema à l'ouest (figures 4.2 et 4.3). Les deux sous-groupes sont d'affinité plutôt calco-alcaline (enrichies en éléments légers de terres rares) avec des abondances moyennes pondérées de 76% pour le Misema, et 60% pour le Noranda (Goodwin 1977). Sur la même base de calcul, les roches mafiques à intermédiaires constituent 66% du sous-groupe de Noranda, tandis qu'elles comptent pour 90% du Misema.

de Rosen-Spence (1976) a défini une lithostratigraphie non formelle du Blake River dans la partie centrale de la séquence volcanique de Noranda, à partir d'une cartographie et d'une compilation des cartes des compagnies minières. Quelques modifications ont été apportées à cette lithostratigraphie par Gibson (1989) et Paradis (1990). Une autre stratigraphie, à partir d'une compilation des données géochimiques des volcanites du Groupe de Blake River au Québec, a été proposée par Gélinas *et al.* (1984). Nous utiliserons surtout les noms lithostratigraphiques de de Rosen-Spence (1976) dans la présente étude.

Deux interprétations structurales différentes ont été proposées par Hubert *et al.* (1984) et Dimroth *et al.* (1983a). Dans les deux cas, on a identifié quatre phases de déformation. Toutefois, Dimroth *et al.* (1983a) associent la première phase de déformation au volcanisme, et sa deuxième au plissement NNW. Sa deuxième phase correspond à la première phase de Hubert *et al.* (1984). Alors que Hubert *et al.* (1984) voient une deuxième phase de plissement E-W qui reprend les plis de première phase NNW, Dimroth *et al.* (1983a) n'ont pas reconnu la deuxième phase de Hubert *et al.* (1984). Les troisième et quatrième phases, qui sont mineures et consistent en «*kink bands*», ont été décrites par les deux groupes d'auteurs. Notre étude sur la structure (Péloquin *et al.*, rapport non publié) indique l'existence de deux phases de plissement correspondant grossièrement de celles de Hubert *et al.* (1984). Les nouvelles données n'invalident pas l'existence du «synclitorium» ou de la dépression synvolcanique de Dimroth *et al.* (1983a).

Deux failles majeures et une zone de cisaillement recoupent les lithologies: la faille de Hunter Creek de direction ENE, la faille de Rivière Mouilleuse et le cisaillement de D'Alembert de direction NNW. La région étudiée est divisée en cinq blocs par ces failles (figure 4.3). Les quatre premiers sont: le bloc Flavrian, le bloc Hunter, le bloc Arnoux et le bloc D'Alembert. Le cinquième domaine comprend deux blocs en raison de la présence des sous-groupes de Noranda et de Misema. Il s'agit à l'est du bloc Mouilleuse (sous-groupe de Noranda) et du bloc Kanasuta (sous-groupe de Misema) à l'ouest (figure 4.3). Une troisième faille, la faille de Baie Fabie de direction NNE, coupe le coin nord-ouest du secteur, et limite un septième bloc, le bloc Després, qui ne fait pas partie de cette étude.

Le métamorphisme dans le secteur étudié avait été interprété jusqu'à récemment comme étant au faciès préhnite-pumpellyite au nord de la faille de Hunter Creek et à l'est du cisaillement de D'Alembert, et au faciès schistes verts au sud de la faille de Hunter Creek (Jolly 1978, Dimroth *et al.* 1983b, Gélinas *et al.* 1984). Ainsi les blocs Mouilleuse, Després, Hunter et D'Alembert ont été interprétés au faciès préhnite-pumpellyite, et les blocs Arnoux et Flavrian, au faciès schistes verts (Péloquin *et al.*, rapport non publié). L'étude de Powell *et al.* (1995), effectuée à partir des échantillons provenant de la

présente étude, démontre par contre que les isogrades métamorphiques ont un faible pendage et ne sont que partiellement contrôlés par des failles (figure 4.4). Selon les données les plus récentes, on trouve des schistes verts tant au nord qu'au sud de la faille de Hunter Creek, alors que les études antérieures (Jolly 1978, Dimroth *et al.* 1983b, Gélinas *et al.* 1984) montraient que les volcanites au sud de la faille étaient surtout au faciès schistes verts inférieur. Il faut noter tout particulièrement la constance des faciès en passant du sous-groupe de Misema à celui de Noranda et le décalage de l'isograde le long de la faille de Hunter Creek. La présence du faciès sub-schistes verts dans le Misema suggère que cette partie du Groupe de Blake River n'a pas subi l'exhumation importante à laquelle on devrait s'attendre pour l'unité la plus ancienne du Groupe de Blake River. D'autre part le décalage de l'isograde le long de la faille de Hunter Creek suggère à Powell *et al.* (1995) un mouvement tardif le long de la faille de Hunter Creek. Ce mouvement correspond soit à un soulèvement du bloc sud soit à un mouvement latéral qu'ils décrivent comme dextre, mais que nous voyons plutôt sénestre (figure 4.4).

4.5 Stratigraphie

4.5.1 Andésites

Les andésites prédominent dans la région étudiée, mais sont surtout abondantes dans les parties ouest, nord et est. Elles sont présentes surtout sous forme de coulées de laves et, localement, aussi sous forme de roches pyroclastiques. Les coulées montrent tous les morphofaciès des laves intermédiaires sous-marines (Dimroth *et al.* 1978 et Hargreaves et Ayres 1979): massif, coussiné et bréchique (figure 4.5); les faciès massif et coussiné sont les plus communs dans la région. Certaines coulées andésitiques montrent des structures particulières comme des fractures concentriques de refroidissement dans les coussins, une grande abondance d'amygdales et un haut pourcentage de phénocristaux de plagioclase. En générale, les andésites peuvent être aphanitiques ou porphyriques en plagioclase, amygdalaires ou non.

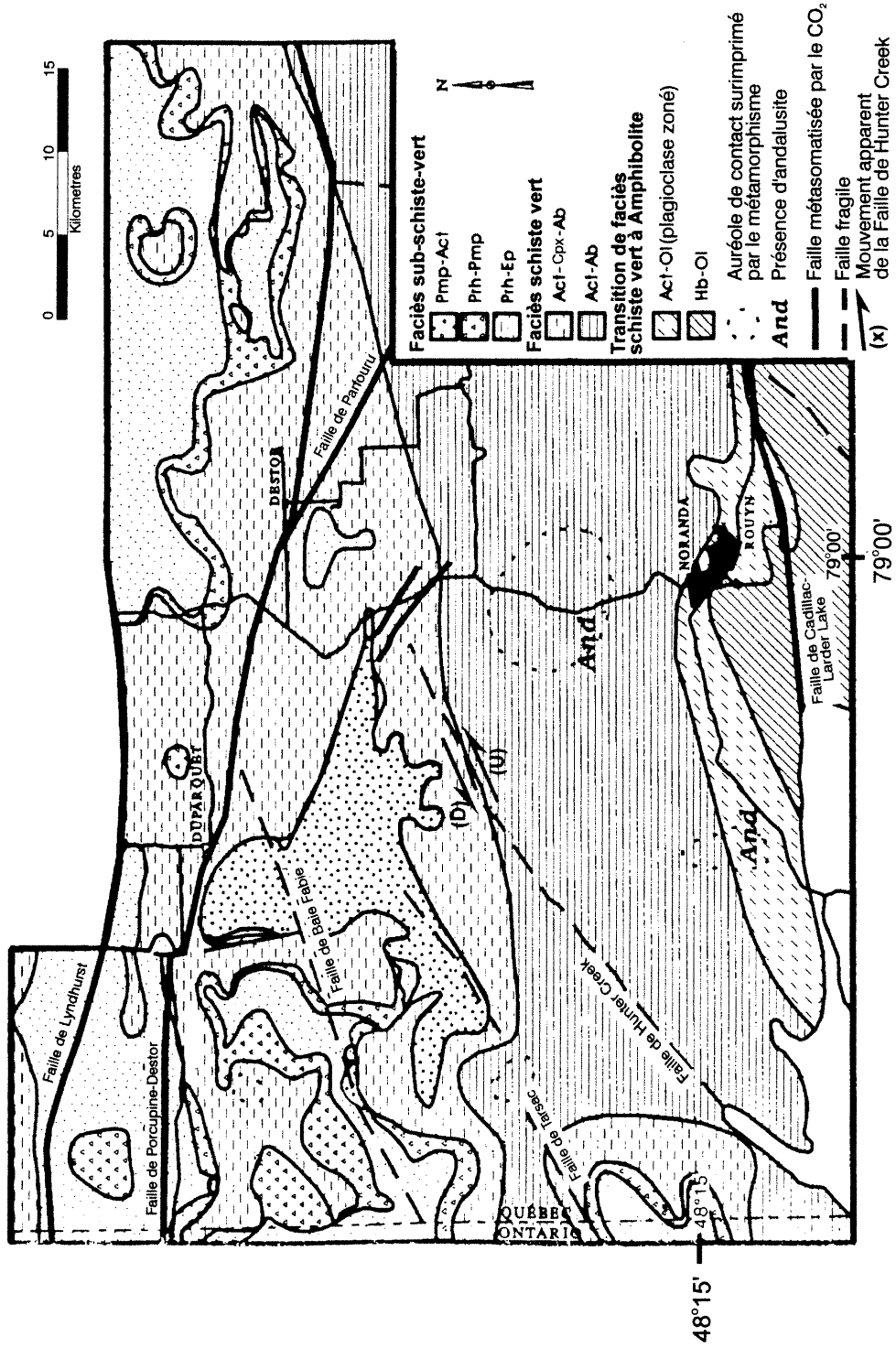


Figure 4.4: Carte de métamorphisme du Groupe de Blake River adaptée de Powell et al. (1995). (Pmp: pumpellyite; Act: actinote; Prh: prehnite; Ep: épidote; Cpx: clinopyroxène; Ab: albite; Ol: oligoclase; Hb: hornblende)

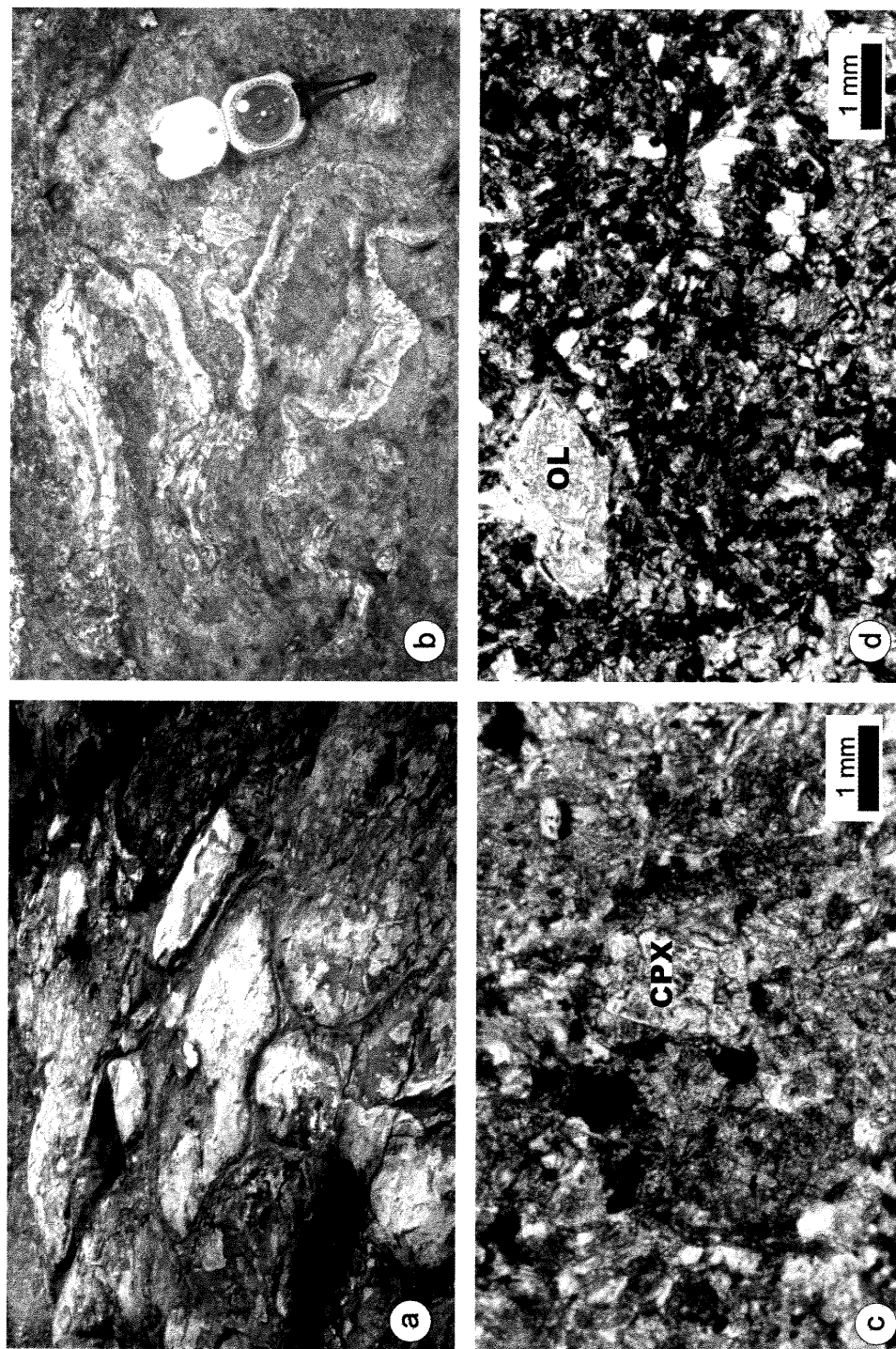


Figure 4.5: a) andésite coussinée silicifiée, b) brèche andésitique montrant des fragments partiellement et entièrement silicifiés, c) photomicrographie d'un microphénocrystal de pyroxène relique, d) photomicrographie d'un pseudomorphe d'un microphénocrystal d'olivine.

La plupart des échantillons d'andésite étudiés en lames minces proviennent des faciès massifs ou des centres des coussins. Ils sont donc généralement massifs et homogènes, et seulement quelques échantillons montrent des structures fragmentaires, schisteuses et cataclastiques. Seuls les échantillons massifs et homogènes ont fait l'objet d'analyses géochimiques.

La minéralogie principale des andésites du Groupe de Blake River est : plagioclase – chlorite – épidote – actinote – quartz – séricite – carbonate et par endroit de la hornblende, du clinopyroxène relique et de la biotite. La préhnite et la pumpellyite sont présents surtout dans les amygdales. Le plagioclase se trouve en phénocristaux et dans la matrice. En phénocristaux, il peut être saussuritisé, c'est-à-dire altéré en albite – épidote – séricite - carbonate, ou sous forme d'albite limpide. Il est impossible à bien définir la minéralogie secondaire du plagioclase dans la matrice. La chlorite se trouve avec l'actinote ou la hornblende en remplacement de minéraux mafiques primaires, plus probablement du clinopyroxène, et aussi avec d'autres minéraux à grains fins dans la matrice. L'épidote (pistachite et clinzoisite) est la principale altération du plagioclase, que ce soit en phénocristaux ou dans la matrice. La quartz est aussi présent dans la matrice.

La plupart des andésites sont microlitiques, parfois amygdalaires et parfois porphyriques en plagioclase. Très localement, les andésites exhibent des gloméro-phénocristaux de plagioclase ou des pseudomorphes de microphénocristaux de clinopyroxène et possiblement d'olivine (figure 4.5 c et d). Les phénocristaux et gloméro-phénocristaux de plagioclase peuvent constituer jusqu'à 30% de la roche. Les textures pilotaxitique et intersertale à sub-ophitique sont communes; la texture trachitique est observée localement et surtout dans le faciès coussiné. Des textures de trempe (sous-refroidissement) ont été rarement observées.

Quelques contacts entre les rhyolites et les andésites affleurent. Ces contacts sont plutôt nets, sauf là où la rhyolite et l'andésite sont toutes deux bréchiques. Dans ce cas, la brèche andésitique est généralement silicifiée et ressemble à la brèche rhyolitique; le changement abrupt d'une brèche porphyrique à quartz et plagioclase à une brèche non

porphyrique peut être interprété localement comme un contact rhyolite - andésite. Quels que soient les faciès présents, les contacts rhyolite - andésite observés sont généralement minéralisés en sulfures disséminés. En général, les textures des andésites changent peu d'un bloc à l'autre, mais il existe des différences minéralogiques importantes. Dans les blocs Flavrian et Arnoux, peu d'andésites contiennent du clinopyroxène relique et aucune ne contient de la préhnite ou de la pumpellyite. Ailleurs, l'actinote est le plus abondant minéral de remplacement des minéraux mafiques. Dans le bloc Flavrian, c'est la chlorite qui est le minéral le plus abondant. Dans le bloc Arnoux, la hornblende s'ajoute à l'actinote et à la chlorite dans l'assemblage. Les blocs de Flavrian et d'Arnoux se distinguent aussi par des pourcentages plus élevés en albite limpide et moins élevés en épidote. C'est une indication que l'albitisation est métasomatique et non pas simplement métamorphique. Ainsi, l'absence de relique de clinopyroxène résulte peut être en partie de l'altération. Dans les autres blocs, où l'albitisation métasomatique n'est pas évidente, la saussuritisation est plus répandue dans les andésites sans clinopyroxène. Dans ce cas, l'absence de clinopyroxène peut s'expliquer par la composition primaire des laves.

4.5.2 Rhyolites

Les rhyolites sont surtout observées dans le sous-groupe de Noranda du Groupe de Blake River (figure 4.3), c'est-à-dire dans les blocs Flavrian, Hunter, Arnoux et Mouilleuse. Ces rhyolites font partie des cycles andésite - séquence bimodale du sous-groupe de Noranda (de Rosen-Spence 1976, Péloquin *et al.* 1990) (figures 4.2 et 4.3). Ces rhyolites se présentent surtout sous forme de coulées massives, de coulées à lobes et brèches (figure 4.6a), de brèches et de tufs à lapilli et à blocs (figure 4.6b). Plusieurs dômes de rhyolites ont des joints polygonaux. Les rubanements de coulée se trouvent généralement dans les faciès massifs et à lobes, et localement, dans les fragments du faciès bréchique. Une brèche polymictite d'effondrement de dôme a été observée près de l'indice minéralisé de «Quatre-coins» et dans le complexe Duprat-Montbray. Les tufs et les tufs chertoux sont rares, mais se trouvent généralement aux contacts rhyolite - andésite. Les quelques rhyolites observées à l'extérieur de la séquence bimodale affleurent sous forme

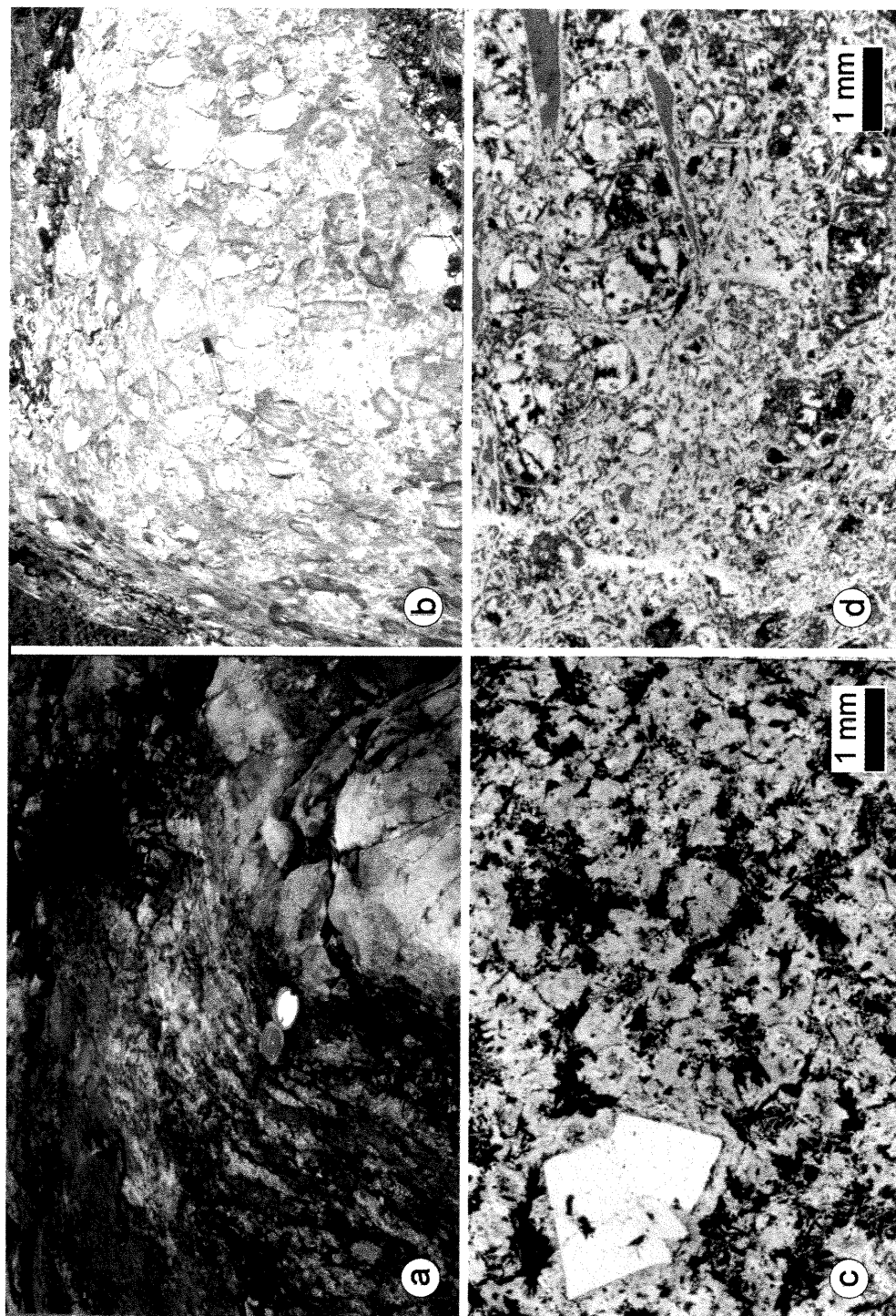


Figure 4.6 a) faciès lobes et brèches montrant l'autobreccification en bordure d'un lobe, b) brèche rhyolitique à blocs et à lapilli, c) photomicrographie des sphérolites de dévitrification dans une rhyolite, d) photomicrographie de la texture perlitique dans un brèche rhyolitique.

de coulées massives, de petits dômes massif à joints polygonaux, et localement sous forme de coulées à lobes et brèches (Verpaelst 1985; Furnes *et al.* 1980), de brèches pyroclastiques et de brèches d'effondrement de dôme.

Les rhyolites sont presque toujours porphyriques à gloméro-porphyriques en quartz et plagioclase; les rhyolites à phénocristaux et microphénocristaux de plagioclase seulement sont plus rares. Elles sont très peu amygdalaires. Les seules rhyolites sphérolitiques identifiables directement sur le terrain sont les rhyolites hautement sphérolitiques, produite par cristallisation, et les rhyolites altérées à sphérolites de séricite. Les sphérolites les plus communes dans les rhyolites du Groupe de Blake River, produites par dévitrification, ne sont observables qu'en lames minces (figure 4.6c).

Le quartz et le plagioclase micro- à cryptocristallins sont les principaux minéraux de la mésostase avec des quantités moindres de chlorite, d'épidote, d'actinote, de carbonate et de leucoxène. La pumpellyite est en faible quantité.

Les rhyolites observées en lames minces sont généralement massives et homogènes; quelques échantillons montrent des structures schisteuses, laminées, fragmentaires, et cataclastiques. L'analyse pétrographique confirme les observations de terrain quant à la présence des phénocristaux et des sphérolites (figure 4.6c). Les phénocristaux, soit de quartz et plagioclase soit de plagioclase seulement, peuvent composer jusqu'à 25% de la roche. Dans les blocs Flavrian, Hunter, Arnoux et Mouilleuse, quelques échantillons de rhyolite présentent des phénocristaux à textures granophyriques et micrographiques. Dans le bloc Flavrian, deux populations des phénocristaux de plagioclase ont été observées: l'une caractérisée par des macles polysynthétiques et l'autre par des macles complexes du type «jupe écossaise».

La mésostase des rhyolites est généralement microlitique à sphérolitique et peu amygdalaire; les microlites montrent une texture pilotaxitique plutôt qu'une texture trachytique. Les sphérolites produites par dévitrification sont composées de lattes radiales de plagioclase et de quartz (figure 4.6c). Les sphérolites de séricite, observées près de l'indice minéralisé de «Quatre-coins, sont produites possiblement par altération

hydrothermale à partir de sphérolites quartzofeldspathiques déjà existantes. Localement, les brèches de rhyolite sont perlitiques (figure 4.6d).

Les unités de rhyolite hautement sphérolitique se présentent dans les faciès de coulée et de volcanoclastite. La rhyolite de Fish-Roe exhibe le faciès de coulée et affleure dans le bloc Flavrian (faciès massif) et dans le bloc Hunter (faciès lobe et brèche) (figures 4.3 et 4.7a). En plus de contenir des sphérolitiques de cristallisation, elle est gloméroporphyrique en plagioclase, (figure 4.7a, c et d). L'unité volcanoclastique hautement sphérolitique affleure dans les blocs Mouilleuse, Arnoux et Kanasuta (figure 4.3). Dans ces blocs, il s'agit probablement d'un tuf à lapilli; cette unité contient des sphérolites de cristallisation mais pas de phénocristaux. Une deuxième coulée de rhyolite hautement sphérolitique se trouve au sud du Pluton de Tarsac (figure 4.3; figure 4.7b), et est porphyrique en quartz et plagioclase.

En lames minces, les sphérolites des rhyolites hautement sphérolitiques ressemblent aux sphérolites de cristallisation trouvées dans les laves mafiques (Natland 1978, Natland 1980, et Kirkpatrick 1978). Elles sont composées de cristaux squelettiques d'actinote, et quelques reliques de clinopyroxène primaire, inclus dans des amas sphériques formant une texture orbiculaire (figure 4.7c). La rhyolite de Fish-Roe, dans les blocs Flavrian et Hunter, contient des phénocristaux de plagioclase distinctifs; ils se trouvent sous deux formes: (1) des cristaux trapus individuels et (2) des agrégats de lattes parallèles (figure 4.7d). La coulée de rhyolite hautement sphérolitique près du Pluton de Tarsac est porphyrique en quartz et plagioclase; celle trouvée dans les blocs de Mouilleuse, d'Arnoux et de Kanasuta est fragmentaire et non - porphyrique. Ces rhyolites contiennent aussi du leuxocène pseudomorphe des cristaux de rutile.

Même si les textures et les structures des rhyolites sont similaires d'un bloc à l'autre, leur minéralogie varie. Les rhyolites du bloc Flavrian contiennent beaucoup plus de carbonate que celles des autres blocs. Cette différence minéralogique peut indiquer une altération métasomatique plus forte dans le bloc Flavrian où se trouve la plupart des gisements de sulfures massifs volcanogènes du Groupe de Blake River.

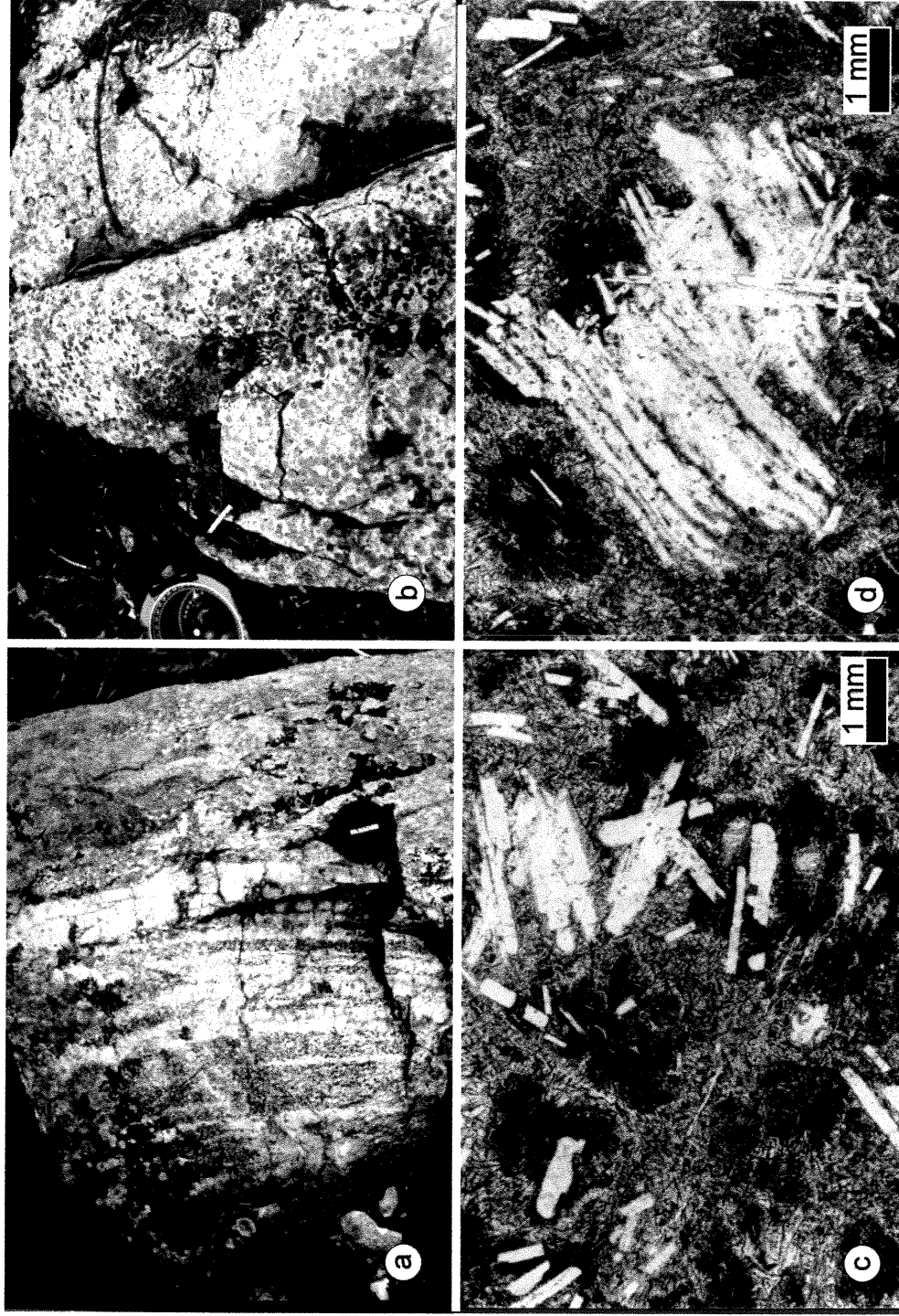


Figure 4.7 Les rhyolites hautement sphérolitiques: a) faciès lobes et brèches dans le bloc Hunter, b) coulée PQF dans le bloc Kanasuta, c) photomicrographie des sphérolites de cristallisation, d) photomicrographie des gloméro- phénocristaux de plagioclase.

4.6 Altération et Déformation

Certaines unités, interprétées jusqu'ici comme des dacites et des rhyolites, sont en réalité des andésites altérées (figure 4.5a et b). Les andésites silicifiées sont surtout des faciès coussiné et bréchique. D'autre part, certaines unités interprétées comme des basaltes sont en fait les andésites altérées dans la zone de métamorphisme de contact des petites intrusions felsiques. Ces andésites près des intrusions felsiques et des failles contiennent de la hornblende, de la biotite et, près du pluton de Tarsac, de l'amphibole sodique; ces sont les produits du métamorphisme de contact ou du métasomatisme. D'autres altérations en épidote et quartz, en carbonate ou en chlorite ont été aussi observées près des dykes de diorite, au contact du pluton de Flavrian, près des failles syn-volcaniques et tardives, et près des zones axiales des plis.

La silicification est l'altération dominante dans les rhyolites; elle est indiquée en lames minces par le remplacement du plagioclase par du quartz et la surcroissance de quartz sur les phénocristaux de quartz. La carbonatation est locale dans tous les blocs mais est plus fréquente dans les blocs Flavrian et D'Alembert. La rhyolite de Fish-roe dans le bloc Flavrian montrent une forte carbonatation. Dans le cas des brèches rhyolitiques, la matrice est généralement séricitisée et chloritisée. Là où l'altération est intense, les textures primaires ne sont pas préservées et ailleurs l'altération donne une apparence bréchique aux laves massives. Plusieurs échantillons de rhyolite contiennent de la biotite disséminée, en lamelles ou en veinules. Comme pour les andésites, ces échantillons altérés ont été prélevés à proximité de roches intrusives et de failles.

La déformation des rhyolites et des andésites augmente avec l'altération, près des failles ou des contacts cisailés andésite - rhyolite. Près de la faille de Hunter Creek et dans la zone de cisaillement de D'Alembert, c'est l'altération plutôt que la déformation qui oblitère la texture primaire des andésites. Dans les rhyolites, l'intersection de deux schistosités peut donner un aspect bréchique aux laves massives, aspect bréchique qui n'est pas évident en lames minces. D'autre part, dans certaines brèches, les variations

mineures dans la distribution des minéraux d'altération (la chlorite et le carbonate) donnent un aspect hétérogène, mais la dévitrification, la foliation et même l'altération secondaire en chlorite et carbonate cachent la texture bréchique primaire. Localement, surtout près du cisaillement de D'Alembert, les rhyolites montrent une déformation intense, presque mylonitique et avaient été cartographiées auparavant comme des tufs.

4.7 Géochimie

Le Groupe de Blake River consiste en quatre suites : deux suites chimiques andésitiques principales, une suite andésitique transitionnelle et une suite rhyolitique. Les andésites sont ici désignées «non enrichies» et «enrichies» selon leurs rapports en éléments en traces et en éléments des terres rares. La troisième suite andésitique est transitionnelle entre les deux suites andésitiques principales. Ces trois suites sont présentes dans tous les blocs et donc, dans les deux sous-groupes du Blake River. À l'exception des rhyolites hautement sphérolitiques, les rhyolites constituent une seule suite. Les rhyolites montrent des caractéristiques chimiques semblables à celles des andésites transitionnelles. Les rhyolites hautement sphérolitiques montrent une chimie unique dans la séquence stratigraphique. Lors de l'échantillonnage pour les analyses géochimiques, toutes les roches considérées comme altérées ont été évitées. Pour l'étude géochimique qui suit, nous avons retenu 225 échantillons non altérés qui ont été analysés pour les éléments majeurs et en traces, dont 117 ont aussi été analysés pour les éléments des terres rares. Ces analyses sont accessibles dans la base de données SGDAC de SIGEOM. Seules les moyennes importantes sont données dans le texte ci-dessous.

4.7.1 Éléments Majeurs

4.7.1.1 Andésites

Sur les diagrammes de Mg versus Fe, Ti versus Si et Al versus Si (figures 4.8, 4.9 et 4.10), les deux chemins d'évolution des andésites sont visibles: celui des andésites non enrichies en éléments légers des terres rares et celui des andésites enrichies. La première suite, non enrichie, est caractérisée par un forte enrichissement en Fe (figure 4.8) et un léger enrichissement en Ti (figure 4.9) comparé à la suite enrichie. Cette suite est d'affinité tholéïtite. La deuxième suite, dite «enrichie», montre un petit enrichissement en Al comparé à la première suite (figure 4.10). Cette suite n'est pas considérée comme calco-alcaline car son enrichissement en éléments en traces et des terres rares n'est pas aussi fort que dans les roches calco-alcalines récentes. La troisième suite, transitionnelle entre les deux suites principales, est considérée comme le produit du mélange des deux premières.

4.7.1.2 Rhyolites

Les rhyolites forment un seul groupe dans les diagrammes des éléments majeurs (figures 4.8 à 4.10) à l'exception des rhyolites hautement sphérolitiques qui ont toujours une plus grande concentration de Ti (figure 4.10) et localement de plus fortes concentrations en Mg et Fe (figure 4.8).

4.7.2 Éléments en traces

4.7.2.1 Andésites

Les éléments en traces ont été utilisés pour définir les suites d'andésite (figure 4.11). Le diagramme La/Yb_n versus La_n (teneurs normalisées par rapport à celles mesurées dans les météorites chondritiques) montre la distribution des échantillons des

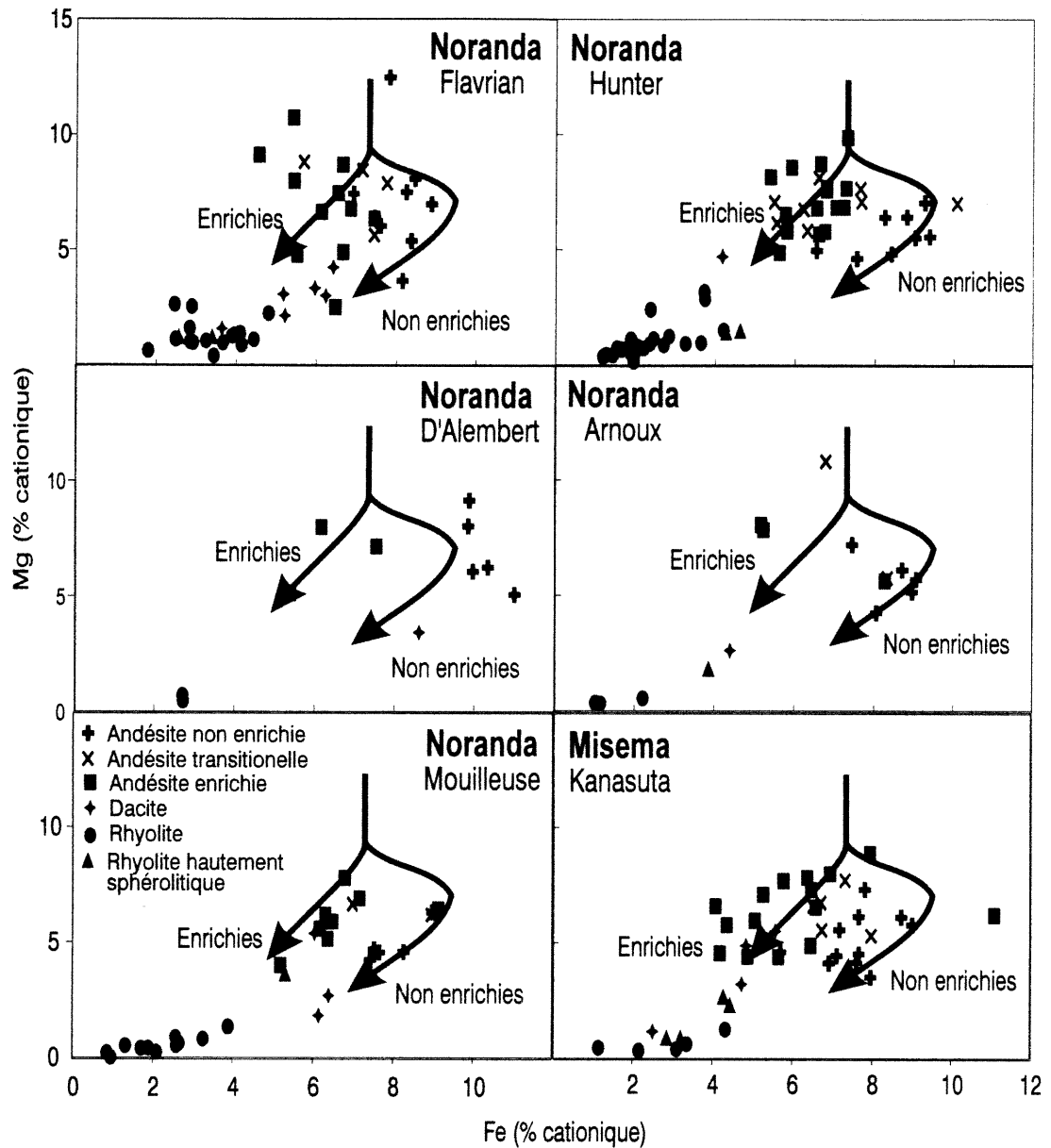


Figure 4.8: Diagrammes de Mg versus Fe (en % cationique) pour chaque bloc structural dans le secteur d'étude. Les tendances évolutives des deux suites d'andésites principales (enrichies et non enrichies en éléments légers des terres rares) sont indiquées.

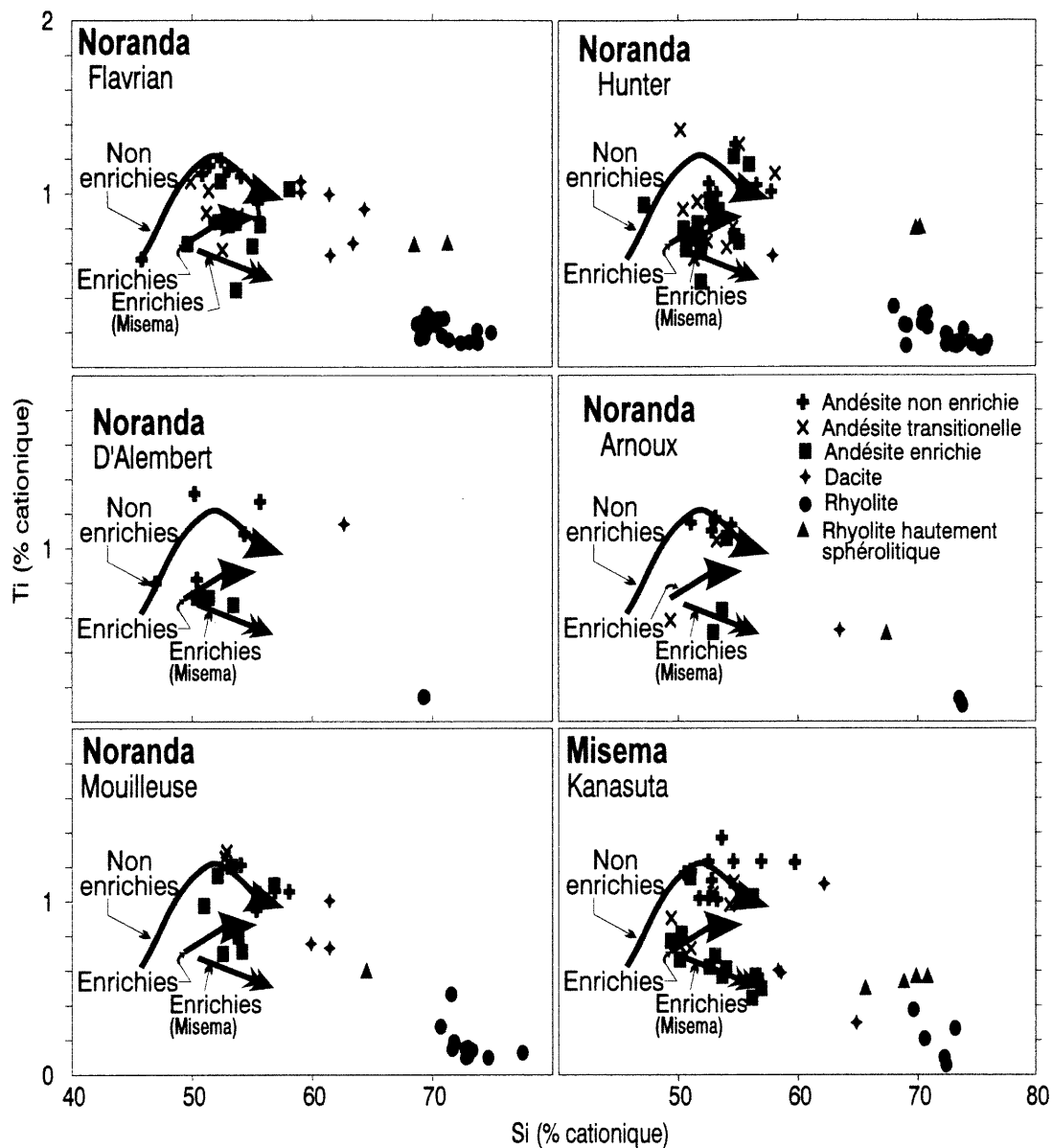


Figure 4.9: Diagrammes de Ti versus Si (en % cationique) pour chaque bloc structural dans le secteur d'étude. Les tendances évolutives des deux suites d'andésites principales (enrichies et non enrichies en éléments légers des terres rares) sont indiquées.

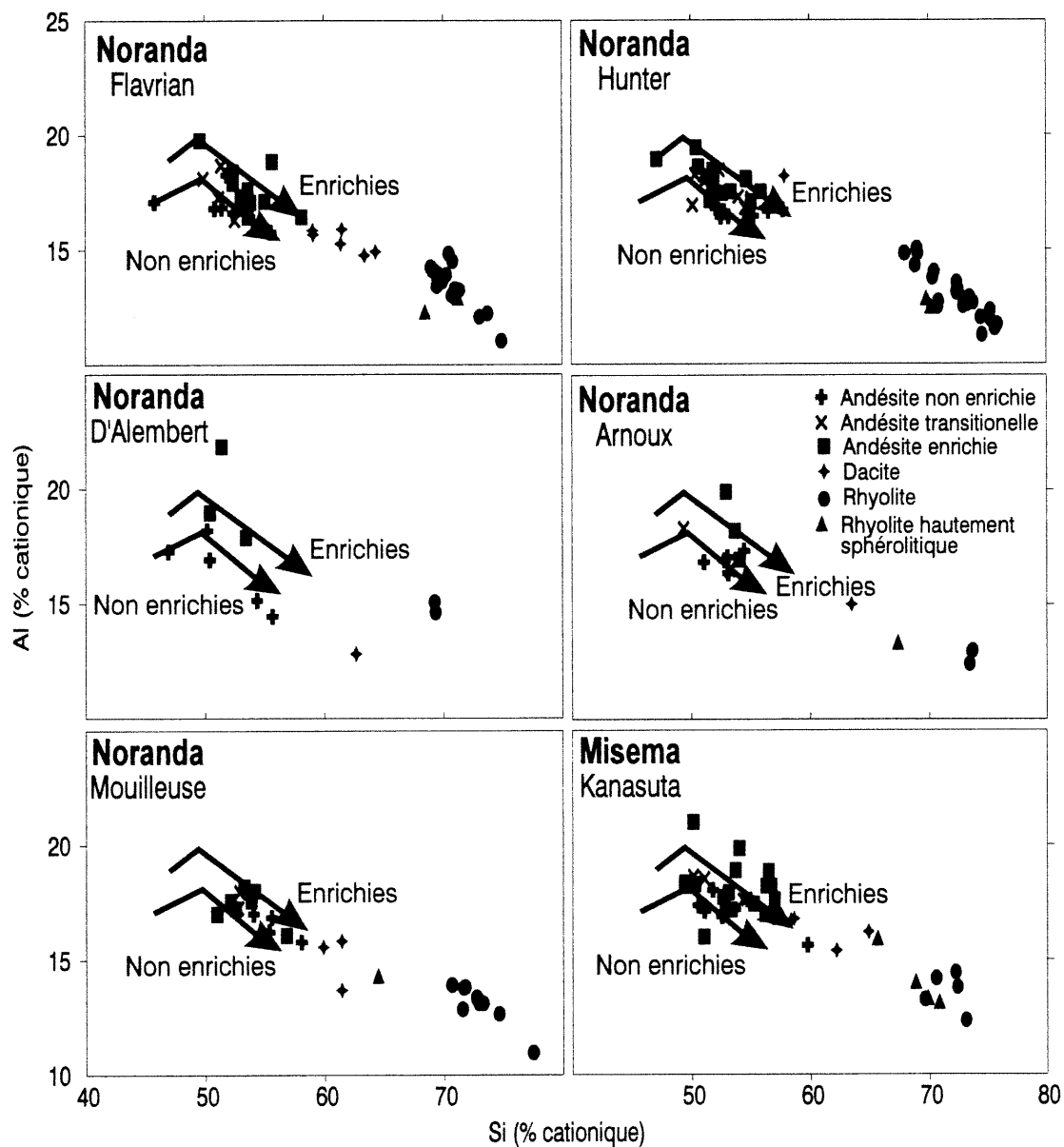


Figure 4.10: Diagrammes de Al versus Si (en % cationique) pour chaque bloc structural dans le secteur d'étude. Les tendances évolutives des deux suites d'andésites principales (enrichies et non enrichies en éléments légers des terres rares) sont indiquées.

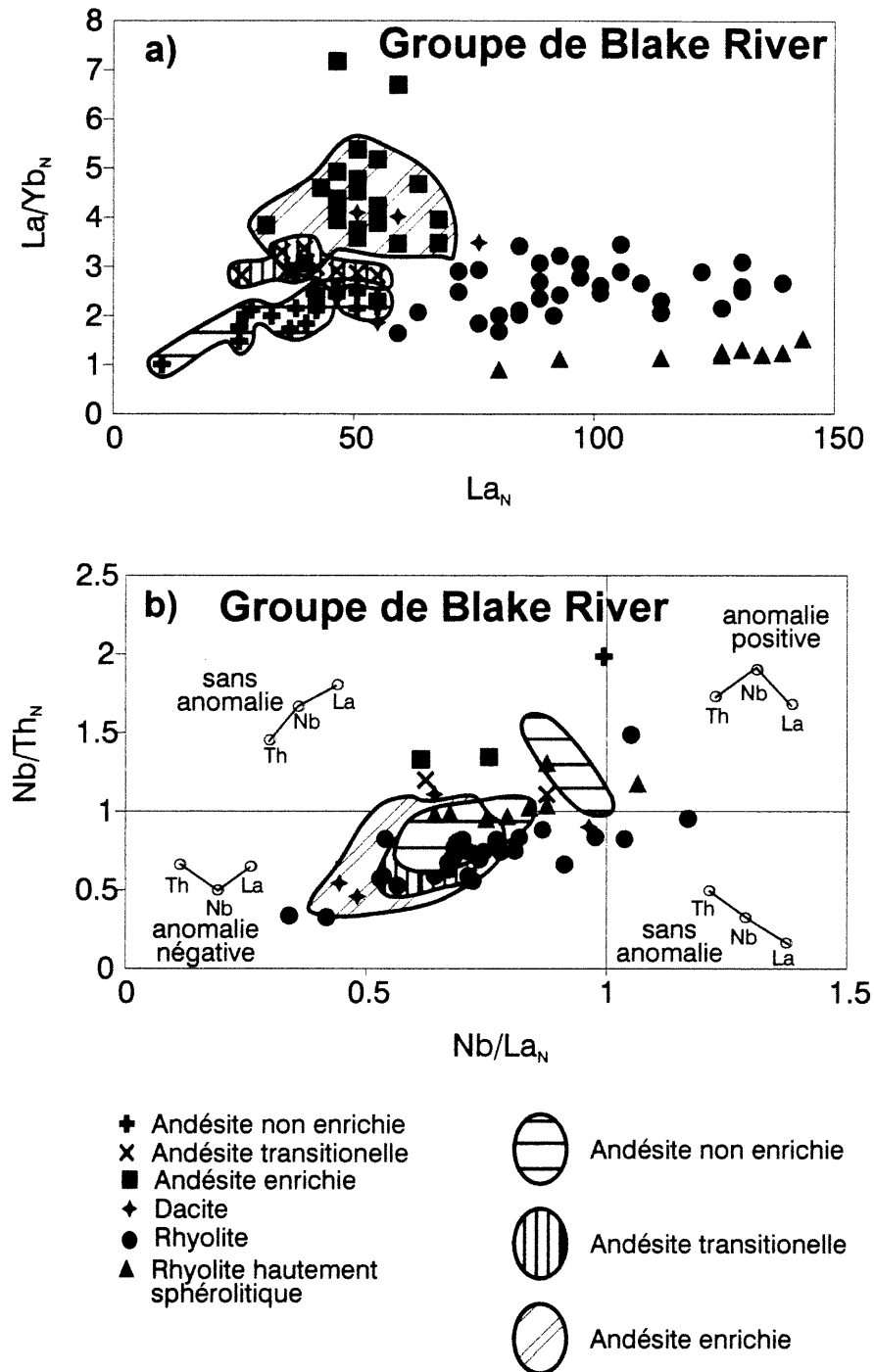


Figure 4.11: a) La/Yb_N versus La_N pour toutes les analyses de cette étude. b) Nb/Th_N versus Nb/La_N pour toutes les analyses de cette étude. L'indice «N» indique que les valeurs ont été normalisées par rapport aux valeurs mesurées d'une météorite chondritique (Sun et McDonough, 1989).

trois suites andésitiques : la suite non enrichie en éléments légers des terres rares, la suite enrichie et la suite transitionnelle (figure 4.11a). Ces suites se distinguent aussi par leurs concentrations et leurs rapports entre certains éléments (tableaux 4-I et 4-II). Les échantillons de la série transitionnelle montrent des teneurs moyennes en éléments en traces qui sont intermédiaires entre celles de la série enrichie et celles de la série non enrichie, sauf pour La et Zr. Sur le diagramme Nb/La_n vs Nb/Th_n (figure 4.11b), les andésites non enrichies montrent soit aucune anomalie négative soit une petite anomalie négative en Nb; les andésites enrichies ont de fortes anomalies négatives en Nb.

Le diagramme La/Yb_n vs La_n (figure 4.12) montre, comme pour les éléments majeurs, qu'il n'existe pas de différence importante entre des blocs. Le tableau 4-I indique des différences entre les blocs; mais ces différences ne sont probablement qu'apparentes et dues à un échantillonnage limité: c'est le cas du rapport Zr/Y_n élevé dans le bloc Arnoux alors que dans le bloc Mouilleuse, il y a aussi des rapports Zr/Y_n élevés dans certaines andésites, mais la moyenne pour le bloc est pondérée par les autres échantillons. Un échantillonnage plus serré aurait pu révéler des andésites avec des rapports moins élevés.

Les andésites enrichies contiennent en général à la fois plus de Ni et plus de Zr que les andésites non enrichies (figure 4.13 et tableaux 4-I et 4-II). Les andésites enrichies ne peuvent donc pas résulter d'un mélange entre des andésites non enrichies et des rhyolites, ni d'une contamination crustale des andésites non enrichies car, dans le cas d'un mélange, la teneur en Ni aurait été intermédiaire entre celle de l'andésite enrichie et celle de la rhyolite. Un seul échantillon de l'andésite non enrichie dans le bloc Flavrian montre une teneur en Ni plus élevée que les andésites enrichies du même bloc. La plus forte concentration en Ni et la plus faible concentration en Yb (tableau 4-I) dans les andésites enrichies indiquent que ces laves sont en fait plus primitives que les andésites non enrichies.

Sur les diagrammes «araignées» (*Spider*) (figure 4.14), les andésites enrichies les plus primitives dans chaque bloc montrent encore des concentrations moins élevées en éléments lourds des terres rares ($Yb_{\text{moy}} = 12 \times \text{chondrite}$) que les andésites non enrichies

Tableau 4-1: Moyennes de certains éléments des roches volcaniques selon leurs blocs structuraux, lithologies et affinités.
(Voir Addenda, section 4.12, pour le nombre d'analyses utilisées dans les moyennes)

Ti (%cat)	Enrichi	Trans.	Non-enrichi	Dacite	Rhyolite	Sph-Rhy.
Arnoix	0.74	0.82	1.14	0.53	0.11	0.52
D'Alembert	0.70		1.06	1.14	0.14	
Flavrian	0.80	0.96	1.00	0.89	0.23	0.72
Hunter	0.82	0.92	1.04	0.63	0.18	0.81
Kanasuta	0.74	0.92	1.16	0.65	0.20	0.55
Mouilleuse	0.95	1.27	1.07	0.83	0.18	0.60

Ni (ppm)	Enrichi	Trans.	Non-enrichi	Dacite	Rhyolite	Sph-Rhy.
Arnoix	94.00	129.50	15.00	19.00	1.50	3.00
D'Alembert	53.67		29.40	2.00	1.00	
Flavrian	38.55	34.00	42.78	1.20	1.28	49.00
Hunter	68.00	35.33	10.49	32.00	2.25	4.00
Kanasuta	81.67	45.80	14.64	42.75	2.00	8.33
Mouilleuse	40.00	30.50	12.80	14.00	2.00	8.00

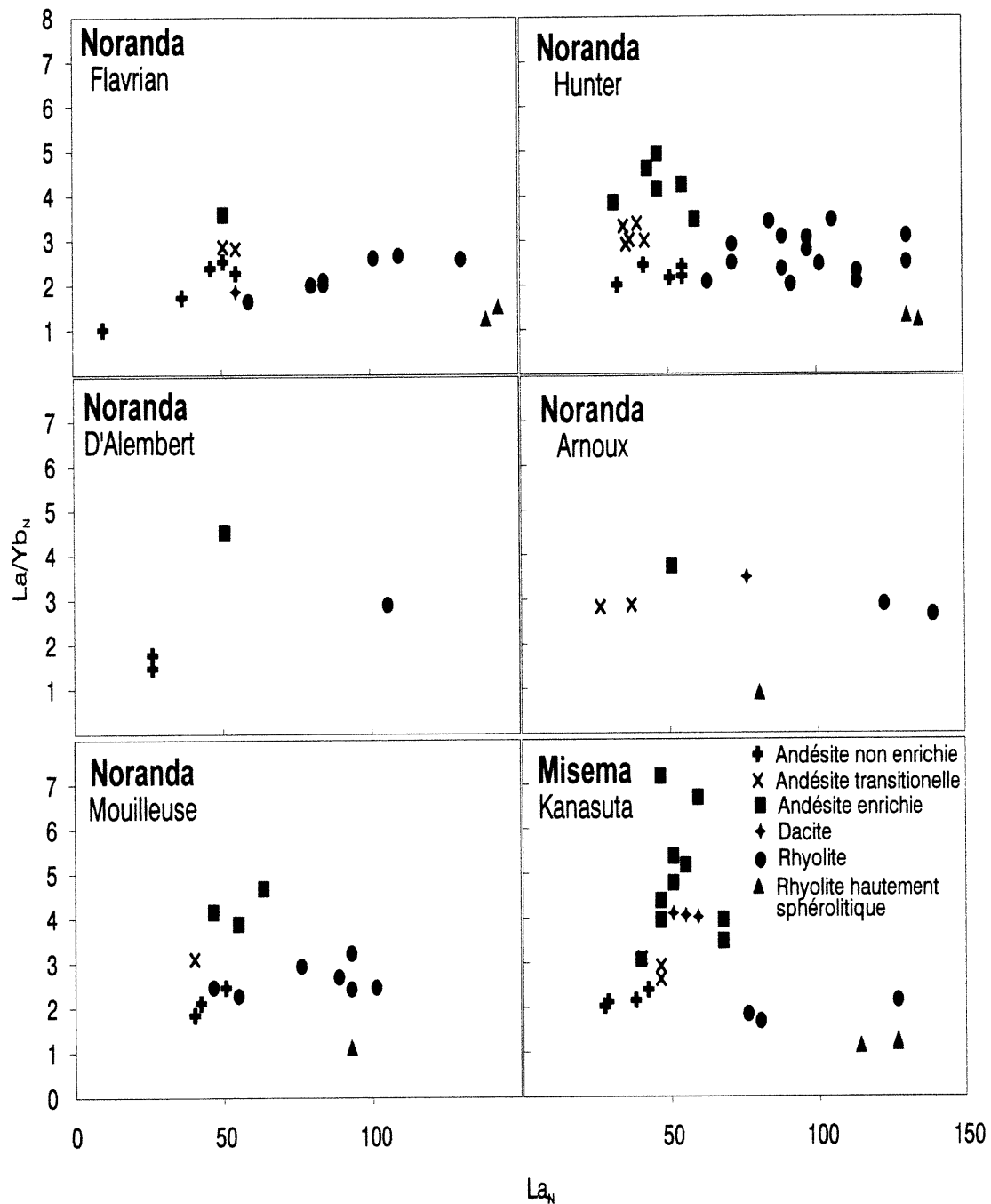
La (ppm)	Enrichi	Trans.	Non-enrichi	Dacite	Rhyolite	Sph-Rhy.
Arnoix	12.00	7.55		18.00	31.00	19.00
D'Alembert	12.00		6.20		25.00	
Flavrian	12.00	12.50	9.42	13.00	22.00	33.50
Hunter	11.12	9.00	11.14		22.91	31.50
Kanasuta	12.54	10.50	8.07	13.00	22.33	29.25
Mouilleuse	13.00	9.50	10.50	8.00	18.71	22.00

La/Yb (n)	Enrichi	Trans.	Non-enrichi	Dacite	Rhyolite	Sph-Rhy.
Arnoix	3.74	2.85		3.49	2.77	0.91
D'Alembert	4.53		1.63		2.89	
Flavrian	3.59	2.85	1.99	1.86	2.23	1.39
Hunter	4.20	3.12	2.24		2.67	1.26
Kanasuta	4.80	2.88	2.17	4.06	1.89	1.20
Mouilleuse	4.24	3.10	2.14		2.64	1.13

Zr/Y (n)	Enrichi	Trans.	Non-enrichi	Dacite	Rhyolite	Sph-Rhy.
Arnoix	4.55	3.45	1.47	2.23	1.93	1.19
D'Alembert	2.47		1.26	1.35	2.20	
Flavrian		1.75	1.50	1.98	2.05	1.12
Hunter	2.19	1.77	1.34	2.47	1.88	1.09
Kanasuta	2.26	1.69	1.50	2.25	1.10	1.01
Mouilleuse	2.73	1.71	1.60	1.92	2.33	1.08

Zr (ppm)	Enrichi	Trans.	Non-enrichi	Dacite	Rhyolite	Sph-Rhy.
Arnoix	109.67	85.50	106.60	220.00	340.00	380.00
D'Alembert	130.00		134.20	230.00	295.00	
Flavrian	150.10	124.25	123.89	181.67	305.56	450.00
Hunter	123.00	92.00	110.75	140.00	288.70	430.00
Kanasuta	133.53	110.20	110.55	152.50	224.00	442.50
Mouilleuse	121.57	101.00	125.60	141.33	240.00	320.00

Y (ppm)	Enrichi	Trans.	Non-enrichi	Dacite	Rhyolite	Sph-Rhy.
Arnoix	16.00	14.50	29.60	40.00	73.67	130.00
D'Alembert	21.67		43.00	69.00	54.50	
Flavrian	28.10	28.50	33.00	37.17	61.50	165.00
Hunter	23.33	21.13	33.13	23.00	63.44	160.00
Kanasuta	24.27	26.40	29.82	27.50	84.75	177.50
Mouilleuse	19.14	24.00	32.40	29.67	43.09	120.00



Figures 4.12: Diagrammes La/Yb_N versus La_N pour chaque bloc structural dans le secteur étudié. L'indice «N» indique que les valeurs ont été normalisées par rapport aux valeurs mesurées d'une météorite chondritique (Sun et McDonough, 1989).

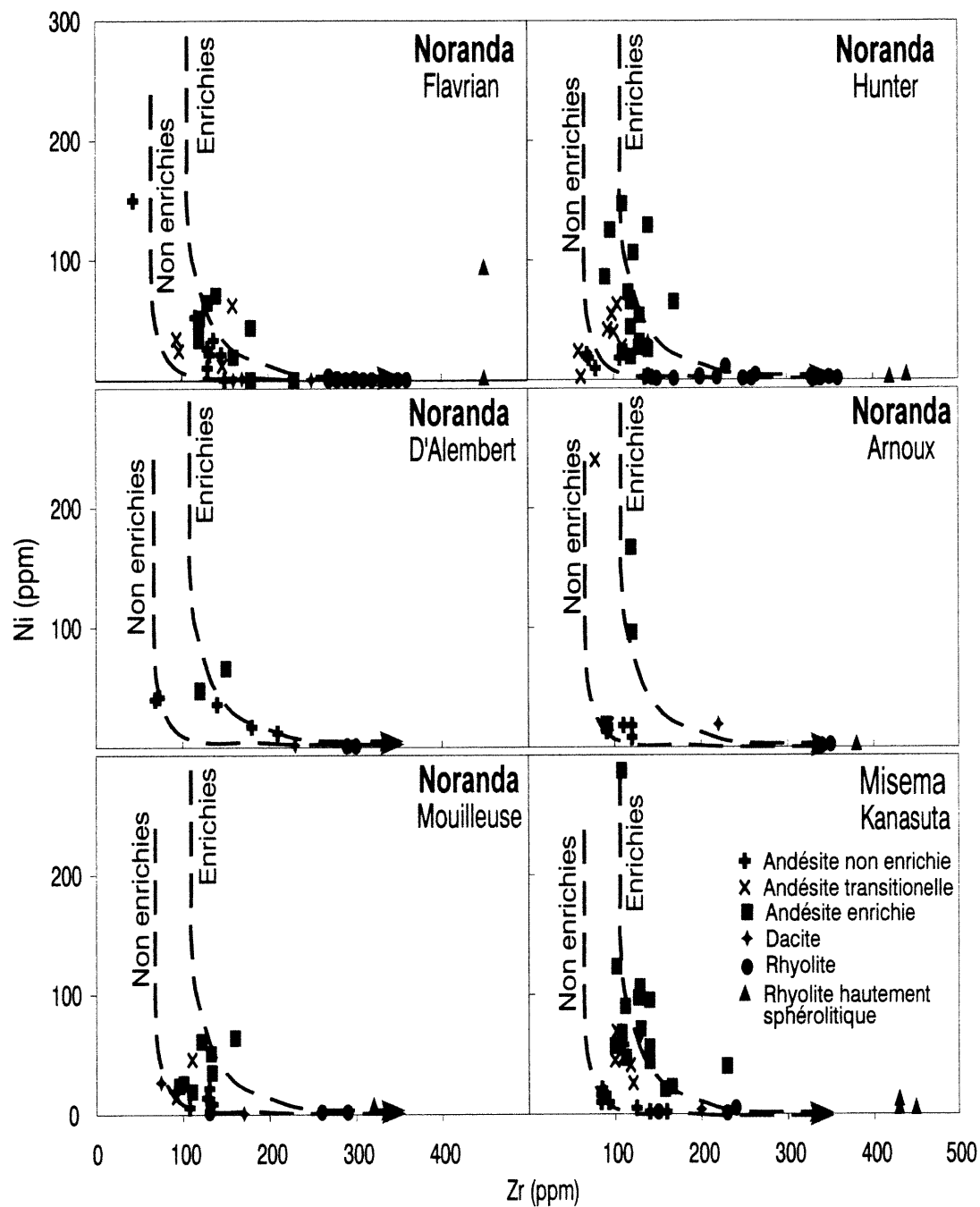


Figure 4.13: Diagrammes Ni versus Zr pour chaque bloc structuraux dans le secteur étudié. Les tendances évolutives des deux suites d'andésites principales (enrichies et non enrichies en éléments légers des terres rares) sont indiquées.

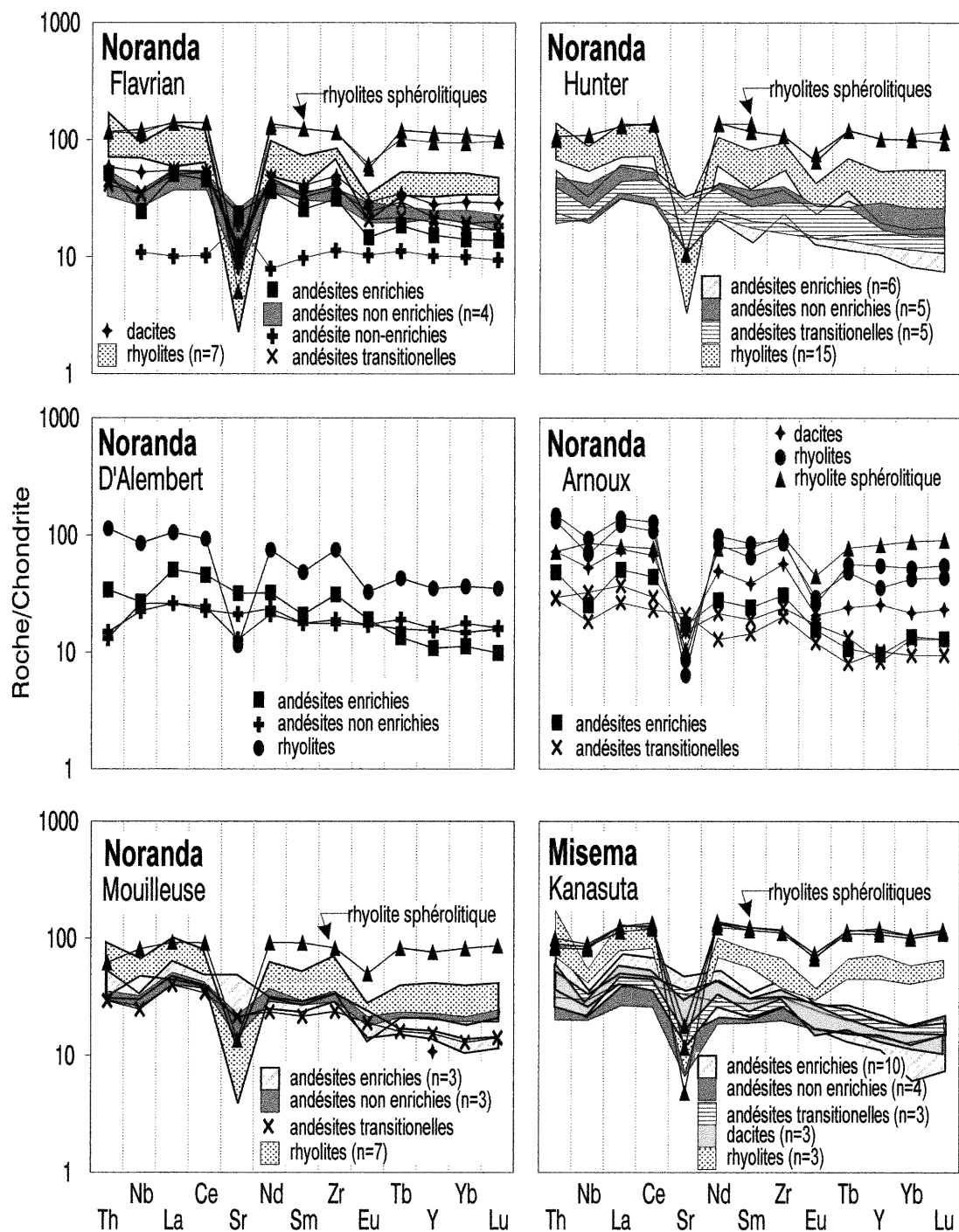


Figure 4.14: Diagrammes «araignées» (Spider) pour chaque bloc structural dans le secteur étudié. Les analyses sont normalisées à la chondrite de Sun et McDonough (1989).

($Yb_{\text{moy}} = 20 \times \text{chondrite}$). Aux niveau des éléments légers des terres rares, les andésites enrichies sont, par définition, plus enrichies ($La_{\text{moy}} = 50 \times \text{chondrite}$) comparées aux andésites non enrichies ($La_{\text{moy}} = 41 \times \text{chondrite}$) (figure 4.14). Ces valeurs donnent des rapports de La/Yb_n de 3 à 4.9 avec une moyenne de 4.2 pour les andésites enrichies, et de 1 à 2.5 avec une moyenne de 2.1 pour les andésites non enrichies (tableau 4-I). Les deux suites principales ont en général une anomalie négative faible ou absente en Eu et une anomalie faible en Sr (figure 4.14). Quelques rares andésites, dans le bloc Flavrian (figure 4.14) montrent de petites anomalies positives en Sr, indiquant soit une accumulation de plagioclase ou un retard de sa cristallisation. Les andésites enrichies ont de faibles anomalies négatives en Nb, tandis que ces anomalies sont plus faibles à absentes dans les andésites non enrichies (figure 4.14). Les andésites transitionnelle montrent des caractéristiques entre les deux suites principales et sont considérées comme le produit d'un mélange des deux.

4.7.2.2 Rhyolites

Pour les éléments en traces, comme pour les éléments majeurs, les rhyolites du Groupe de Blake River, à l'exception des rhyolites hautement sphérolitiques, ne peuvent être divisées en suites distinctes (figure 4.11). Quand les analyses sont divisées par bloc (figure 4.12), quelques différences apparaissent d'un bloc à l'autre (tableau 4-I). Les rhyolites des blocs Flavrian et Hunter montrent toute l'étendue de concentration en La (figure 4.11), soit $60 < La < 130 \times \text{chondrite}$, tandis que les rhyolites dans les blocs D'Alembert, Mouilleuse et Kanasuta montrent des teneurs en La entre 75 et $105 \times \text{chondrite}$. Les quelques analyses du bloc Arnoux exhibent des teneurs en La entre 122 et $139 \times \text{chondrite}$. Par contre, les rapports moyens de La/Yb_n et de Zr/Y_n sont semblables pour tous les blocs (tableau 4-I), à l'exception du bloc Kanasuta avec des rapports un peu plus bas.

Sur des diagrammes «araignées» (*Spider*) (figure 4.14), la pente plus faible du patron des rhyolites du bloc Kanasuta est évidente. Les concentrations des éléments lourds des

terres rares (Yb) pour tous les blocs sont de 19 à 59 × chondrite, avec un Yb_{moy} de 37 × chondrite. Toutes les rhyolites montrent des anomalies négatives importantes en Sr et des anomalies négatives moins importantes en Eu et Nb (figure 4.14). L'anomalie négative de Nb est aussi évidente avec les rapports Nb/Th_n et Nb/La_n (figure 4.8). Les rhyolites semblent faire partie d'une seule suite évolutive dont les pentes et anomalies ressemblent plus à celles des andésites transitionnelles.

Les rhyolites hautement sphérolitiques sont un cas à part. Ces rhyolites se distinguent déjà des autres rhyolites du Groupe de Blake River au niveau de plusieurs éléments majeurs (Ti, Mg, Ca et P) (figure 4.15a). Et cette distinction est encore plus évidente au niveau des éléments en traces et des terres rares (figure 4.15b). Elles possèdent des concentrations de La similaires aux autres rhyolites (tableau 4-I), mais elles ont des concentrations en Yb, Y et Zr beaucoup plus élevées (tableau 4-I). Sur les diagrammes «araignées» (figure 4.14), les rhyolites hautement sphérolitiques exhibent des pentes plus faibles, comparées aux autres rhyolites. Aussi elles ne montrent pas d'anomalie négative en Nb. Leurs caractéristiques pétrographiques et géochimiques uniques nous portent à conclure qu'elles résultent d'un seul événement magmatique majeur qui s'est manifesté dans presque tous les blocs des deux sous-groupes étudiés, ainsi que dans le sous-groupe de Rouyn-Pelletier. Nous les réunissons dans une seule unité-repère qui permet de relier les sous-groupes du Blake River dans le temps et l'espace (Péloquin *et al.* 1996).

4.7.2.3 Sous-groupe de Rouyn-Pelletier

Le sous-groupe de Rouyn-Pelletier ne faisait pas partie de la présente étude, mais ses caractéristiques principales, tirées des données d'une étude parallèle, seront discutées afin de mieux comprendre l'évolution du Groupe de Blake River. Sur la figure 4.16, les basaltes et andésites du sous-groupe de Rouyn-Pelletier se distinguent des andésites des sous-groupes de Noranda et de Misema par leur plus haute teneur en Mg et par l'évolution linéaire en Al. Les roches dominantes sont des tholéiites non enrichies avec de faibles rapports en La/Yb_n et Zr/Y_n . La majorité des analyses ne montrent pas non

Rhyolites hautement sphérolitiques normalisées à la moyenne des rhyolites du Groupe de Blake River

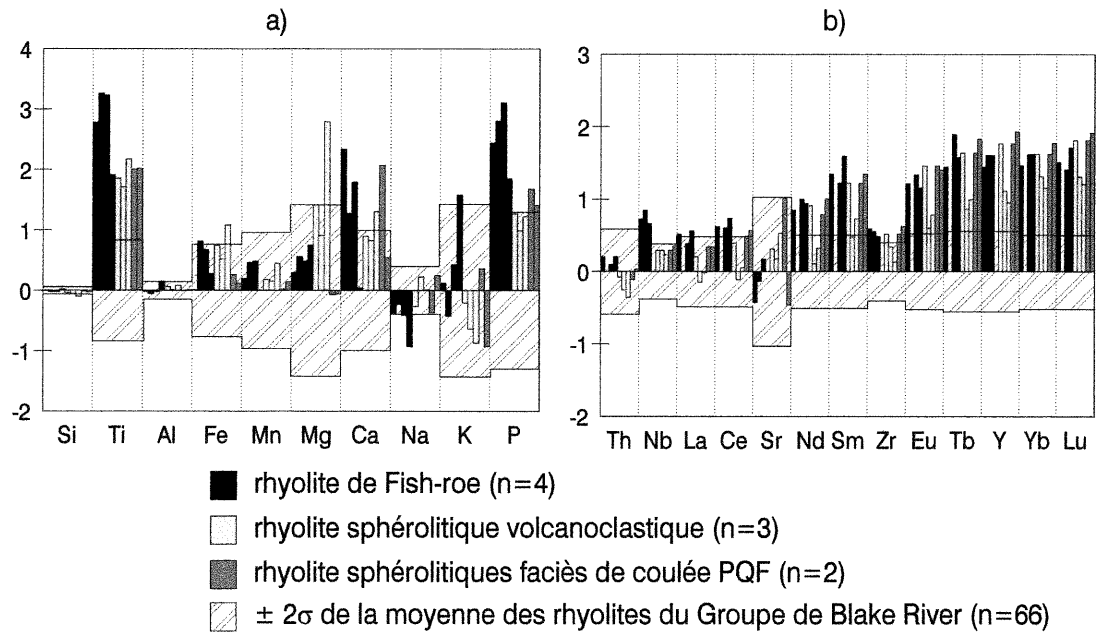


Figure 4.15: Diagrammes des gains et pertes en a) éléments majeurs (% cationiques) et b) éléments en traces et des terres rares, pour les rhyolites hautement sphérolitiques normalisées par rapport aux teneurs moyennes des rhyolites du Groupe de Blake River.

Rouyn-Pelletier

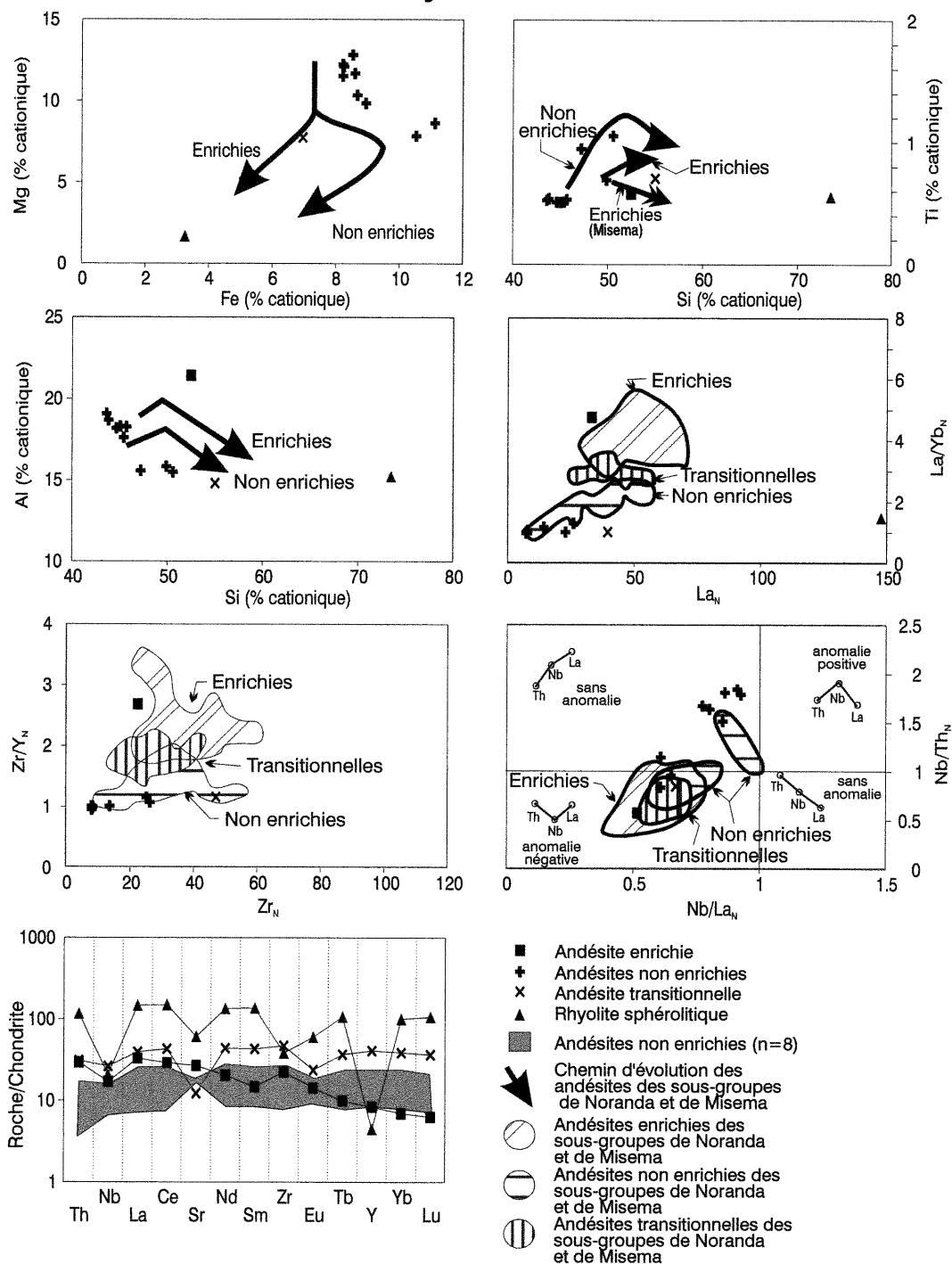


Figure 4.16: Diagrammes géochimiques pour le sous-groupe de Rouyn-Pelletier, au sud du secteur étudié: a) Mg versus Fe (% cationique); b) Ti versus Si (% cationique); c) Al versus Si (% cationique); d) La/Yb_N versus La_N ; e) Nb/Th_N versus Nb/La_N ; f) Les diagrammes «araignées» (Spider) pour le sous-groupe de Rouyn-Pelletier. Les champs ou les tendances évolutives des andésites des sous-groupes de Noranda et Misema (enrichies et non enrichies en éléments légers des terres rares) sont indiquées. Les analyses des éléments en traces et des terres rare sont normalisées, l'indice «N», à la chondrite de Sun et McDonough (1989).

plus d'anomalies négatives en Nb. Ces basaltes et andésites sont en effet plus primitives que les andésites de même affinité dans le Noranda et le Misema (Yb_{moy} de 1,97 ppm pour le Rouyn-Pelletier, comparé à 3,34 ppm pour le Noranda et 2,65 ppm pour le Misema; tableau 4-II).

Par contre, comme dans les autres sous-groupes, les andésites non enrichies sont moins primitives (plus évoluées) que l'andésite enrichie (Yb_{moy} des non enrichies de 1,97 ppm, comparé à 1,18 ppm pour l'enrichie; tableau 4-II). Cette relation est aussi visible sur le diagramme «araignée» (figure 4.16). Sur ce diagramme, l'anomalie positive en Sr (avec une très petite anomalie positive en Eu) est probablement due à l'apparition tardive du plagioclase dans la séquence de cristallisation, car les roches ne sont pas assez porphyriques en plagioclase pour expliquer l'anomalie par l'accumulation.

La seule analyse d'andésite transitionnelle montre le patron le plus évolué de toutes les roches analysées au niveau des éléments en traces et des terres rares, de même que pour Si et Al (figure 4.16). Par contre, cette andésite transitionnelle a sensiblement les mêmes rapports de La/Yb_n et Zr/Y_n que les andésites non enrichies (moyennes de La/Yb_n de 1,02 et Zr/Y_n de 1,15 pour la transitionnelle; moyenne de La/Yb_n de 1,07 et Zr/Y_n de 1,01 pour les non enrichies; tableau 4-II), et ce, malgré sa position sur le chemin d'évolution des andésites enrichies sur le diagramme Mg vs Fe (figure 4.16). Ces caractéristiques la distinguent des andésites transitionnelles des autres sous-groupes. Elle est possiblement le produit d'une cristallisation à plus haute pression du magma parent des roches non enrichies, qui aurait provoqué une cristallisation tardive du plagioclase dans son histoire.

Une rhyolite hautement sphérolitique du faciès lobes et brèches a été échantillonnée dans le sous-groupe de Rouyn-Pelletier. Cette rhyolite (figure 4.16) a les caractéristiques pétrographiques et chimiques des rhyolites sphérolitiques des autres sous-groupes (figures 4.5 à 4.14). Surtout elle contient des «fantômes» des gloméro-phénocristaux de plagioclase comme ceux observés dans la rhyolite de Fish-roe des blocs Flavrian et Hunter, ce qui permet sa corrélation directe avec la rhyolite de Fish-roe. Le sous-groupe de Rouyn-Pelletier, ou à tout le moins une partie du sous-groupe, serait contemporain du sous-groupe de Noranda dans les blocs Flavrian et Hunter.

Tableau 4-II: Moyennes de certains éléments des roches volcaniques selon leurs sous-groupes, lithologies et affinités.

(Voir Addenda, section 4.12, pour le nombre d'analyses utilisées dans les moyennes)

Noranda	Ti (%cat)	Ni (ppm)	La (ppm)	Yb (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	La(n)	Yb(n)	La/Yb (n)	Zr/Y (n)
Enrichi	0.82	55.56	11.81	2.07	129.37	23.11	49.82	12.15	4.15	2.48
Non-enrichi	1.05	24.01	9.78	3.34	119.78	33.97	41.27	19.63	2.05	1.43
Trans.	0.96	46.16	9.46	2.27	100.38	22.50	39.92	13.35	3.01	1.97
Dacite	0.85	8.70	15.50	4.35	175.33	37.00	65.40	25.59	2.68	1.98
Rhyolite	0.19	1.71	22.37	6.31	286.69	59.21	94.37	37.13	2.58	2.02
Sph-Rhy.	0.70	19.50	28.50	16.67	410.00	150.00	120.25	98.04	1.22	1.11

Misema	Ti (%cat)	Ni (ppm)	La (ppm)	Yb (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	La(n)	Yb(n)	La/Yb (n)	Zr/Y (n)
Enrichi	0.73	81.67	12.54	2.00	133.53	24.27	52.91	11.76	4.80	2.26
Non-enrichi	1.16	14.64	8.07	2.65	110.55	29.82	34.07	15.59	2.17	1.50
Trans.	0.92	45.80	10.50	2.63	110.20	26.40	44.30	15.49	2.88	1.69
Dacite	0.65	42.75	13.00	2.30	152.50	27.50	54.85	13.53	4.06	2.25
Rhyolite	0.20	2.00	22.33	8.37	224.00	85.80	94.23	49.22	1.89	1.10
Sph-Rhy.	0.55	8.33	29.25	17.50	442.50	177.50	123.42	102.94	1.20	1.01

Rouyn-Pelletier	Ti (%cat)	Ni (ppm)	La (ppm)	Yb (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	La(n)	Yb(n)	La/Yb (n)	Zr/Y (n)
Enrichi	0.58	na	7.83	1.18	86.80	13.13	33.04	6.94	4.76	2.68
Non-enrichi	0.65	na	3.00	1.97	49.33	19.41	12.67	11.60	1.07	1.01
Trans.	0.71	na	9.37	6.58	182.70	64.24	39.54	38.71	1.02	1.15
Dacite										
Rhyolite										
Sph-Rhy.	0.55	na	35.00	17.00	na	na	147.68	100.00	1.48	na

4.8 Variations Verticales

Malgré l'effort mis sur l'échantillonnage géochimique le long des coupes stratigraphiques, seuls les blocs Flavrian et Hunter montrent assez de données pour qu'on puisse les traiter sérieusement. Il y a aussi des lacunes dans les données des coupes du bloc Hunter.

4.8.1 Bloc Flavrian

de Rosen-Spence (1976) a proposé une stratigraphie informelle pour le bloc Flavrian basée sur les lithologies, la pétrographie et, en partie, la géochimie. Selon elle et les auteurs subséquents (Gibson 1989, Paradis 1990 et Péloquin *et al.* 1990), le bloc Flavrian fait partie d'un chaudron qui s'est rempli en deux phases ou cycles. Le premier s'est terminé après la mise en place de la rhyolite de Waite; c'est pendant cette période calme que la plupart des gisements de sulfures massifs volcanogènes ont été formés. Dans la nomenclature de de Rosen-Spence (1976), les cycles consistent en séquences bimodales séparées par des andésites inter-cycles. La première andésite inter-cycle est l'andésite de Flavrian, surmontée par le cycle bimodal comprenant la rhyolite de Northwest, l'andésite de Rusty Ridge, la rhyolite d'Amulet, l'andésite de Waite et la rhyolite de Waite (figure 4.17). La deuxième andésite inter-cycle est l'andésite d'Amulet, suivie du deuxième cycle bimodal qui comprend l'andésite de Newbec, la rhyolite de Fish-roe, la rhyolite de Norque, l'andésite de D'Alembert (membres inférieur et supérieur) et la rhyolite de D'Alembert (figure 4.17). Gibson (1989) et Péloquin *et al.* (1990) ont suggéré d'intégrer les andésites inter-cycles aux cycles bimodaux.

Dans l'évolution chimique des éléments majeurs les unités de rhyolites et d'andésites sont distincts et ont évolué de façon indépendante (figure 4.17a). L'évolution de l'andésite de Rusty Ridge, par exemple, diffère de façon évidente de celle de l'andésite de Waite. L'andésite de Rusty Ridge devient plus primitive tandis que l'andésite de Waite devient

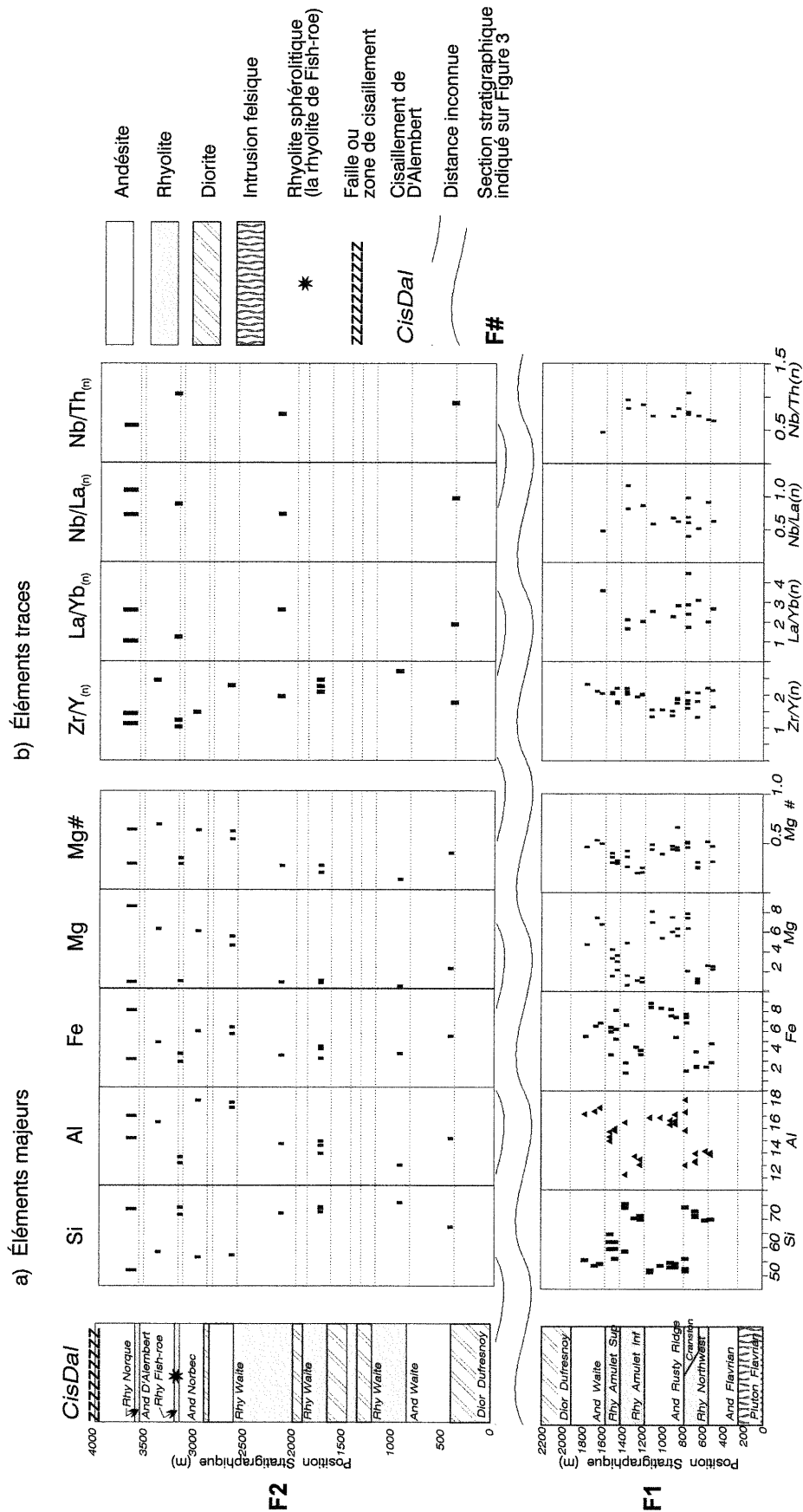


Figure 4.17: Coupes chimico-stratigraphiques F1 et F2 du bloc Flavrian: a) pour quelques éléments majeurs, b) pour quelques rapports d'éléments en traces et des terres rares. Nomenclature des unités d'après de Rosen-Spence (1976). L'indice «(n)» indique que les valeurs ont été normalisées par rapport aux valeurs mesurées d'une météorite chondritique (Sun et McDonough, 1989).

plus évoluée en montant la stratigraphie. Les rhyolites de Northwest et d'Amulet montrent des compositions plus évoluées en montant dans la stratigraphie. Par contre, aucune conclusion ne peut être tirée des quelques données de la rhyolite de Waite (figure 4.17a). Au niveau des éléments en traces (figure 4.17b), les rapports La/Yb_n et Nb/Th_n montrent un changement après la rhyolite d'Amulet, mais on ne peut définir plus à fond ce changement, faute de données. Par contre, le rapport Zr/Y_n montre un changement abrupt des tendances évolutives après la mise en place de l'andésite de Rusty Ridge et après les andésites de Waite et de Norbec. Ce rapport ne montre pas de changement important près des contacts entre la rhyolite d'Amulet et l'andésite de Waite, ni entre la rhyolite de Waite et l'andésite de Norbec.

4.8.2 Bloc Hunter

Les données sont moins bien contraintes dans le bloc Hunter que dans le bloc Flavrian (figure 4.18). La seule corrélation sûre et réelle dans les coupes est établie grâce à la rhyolite de Fish-roe dans les coupes H2 et H7; la corrélation observée entre les sections H3 et H10 (figure 4.18) n'est en fait qu'une répétition structurale due au chevauchement. L'impossibilité d'établir plus de corrélations était prévisible, étant donné la nature même des unités et des centres volcaniques qui ont des extensions latérales limitées et qui sont séparées les uns des autres par des failles au mouvement souvent indéterminé.

4.9 Corrélations

Les rhyolites hautement sphérolitiques sont des unités distinctes dans le Groupe de Blake River. Elles se présentent dans trois unités: la rhyolite de Fish-roe exhibe les faciès de coulée massif et à lobes et brèches, et est gloméroporphyrrique à plagioclase; la deuxième unité est volcanoclastique et aphyrique; et la dernière est une coulée porphyrique à quartz et plagioclase. La Fish-roe et l'unité volcanoclastique se trouvent

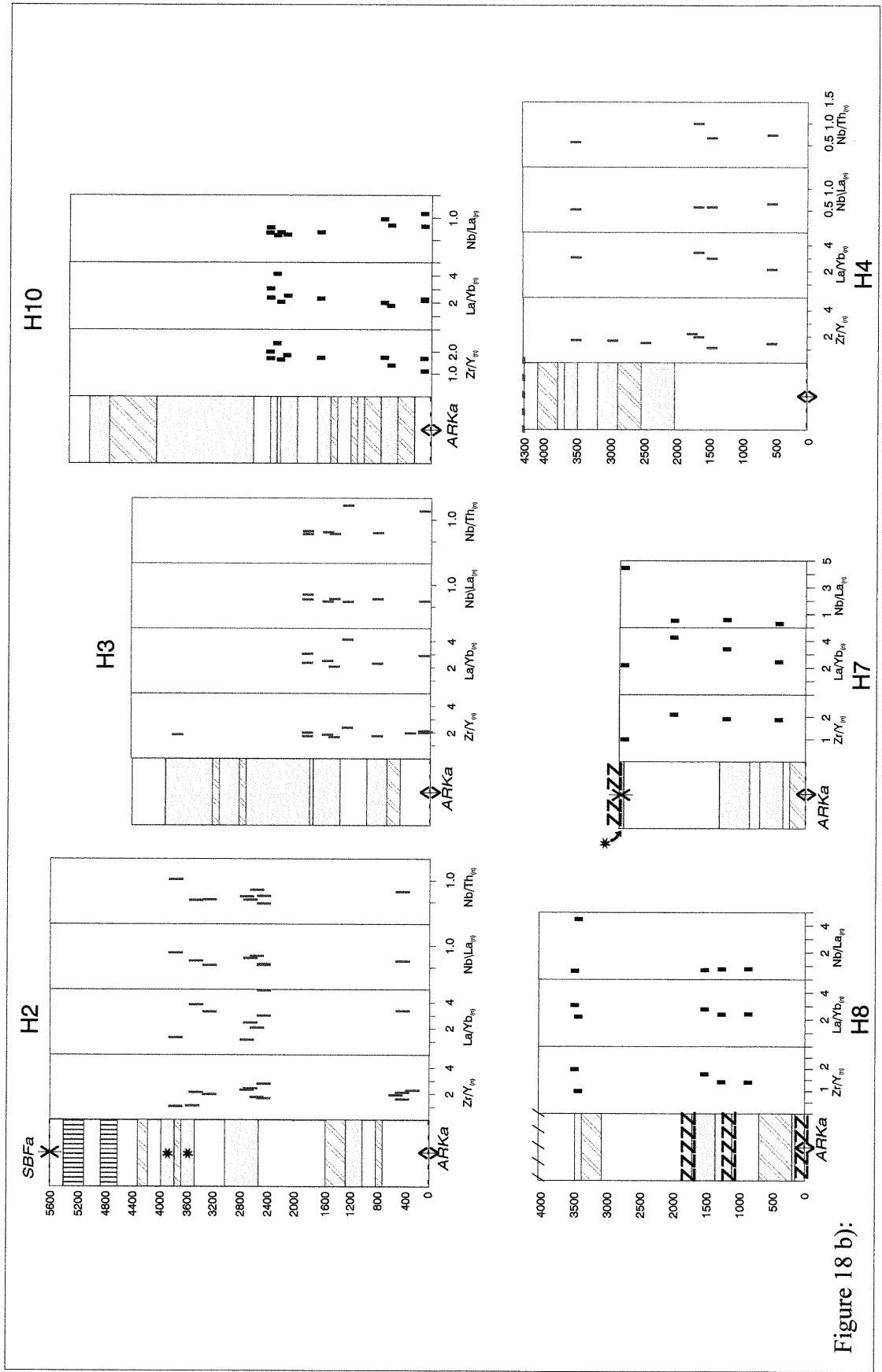


Figure 18 b):

chacune dans plus d'un sous-groupe: le Noranda et le Rouyn-Pelletier pour la Fish-roe, et le Noranda et le Misema pour l'unité volcanoclastique. Les distances entre les affleurements de l'unité volcanoclastique ne posent pas de problème à l'interprétation de corrélation. Par contre, ce n'est pas le cas pour la rhyolite de Fish-roe. Par conséquent, nous proposons que les différentes unités rhyolitiques hautement sphérolitiques, dont la Fish-roe, l'unité volcanoclastique aphyrique et l'unité porphyrique à quartz et plagioclase, ne sont pas une seule coulée, mais représentent un événement magmatique au cours duquel la rhyolite s'est épanchée de plusieurs cheminées volcaniques dans le sous-groupe de Noranda, dans le sous-groupe de Misema et dans le sous-groupe de Rouyn-Pelletier. Cette interprétation est basée sur les aspects uniques, pétrographiques et géochimiques, de ces rhyolites.

La présence de la rhyolite de Fish-roe dans les sous-groupes de Noranda et de Rouyn-Pelletier, a permis de proposer un modèle dans lequel ces deux sous-groupes se sont formés en même temps. D'autre part, la présence de l'unité hautement sphérolitique volcanoclastique dans les sous-groupes de Noranda et de Misema a permis aussi de proposer la contemporanéité des deux. Les trois sous-groupes ont donc connu le même événement volcanique. Le secteur du bloc D'Alembert, qui a été étudié ici, ne contient pas d'affleurement de rhyolite hautement sphérolitique. Il contient cependant une épaisse unité pyroclastique andésitique qui semble se corrélérer avec une unité observée au nord de Lac Déry (Péloquin *et al.* 1989a, Anaconda 1982 et Anaconda 1983); mais cette corrélation est difficile à établir à cause des complexités structurales.

4.10 Discussion

L'interprétation stratigraphique est importante pour expliquer la pétrogenèse et la métallogénie du Groupe de Blake River. Les interprétations stratigraphiques précédentes (Goodwin 1977, Gélinas *et al.* 1984, Dimroth *et al.* 1982 et Péloquin *et al.* 1990) avaient toujours considéré la partie occidentale du Groupe de Blake River au Québec (le sous-groupe de Misema) comme plus ancienne que la partie orientale (le sous-groupe de

Noranda). Par ailleurs, les unités de Pelletier et de Rouyn (Gélinas *et al.* 1984), au sud de la ville de Rouyn-Noranda, avaient aussi été considérées comme la base du sous-groupe de Noranda (Gélinas *et al.* 1984, de Rosen-Spence 1976, Péroquin *et al.* 1990). Dans l'étude actuelle, et dans une étude parallèle (Péroquin *et al.* 1994, Péroquin *et al.* 1996), les unités de Rouyn et de Pelletier forment un sous-groupe distinct de celui de Noranda, soit le sous-groupe de Rouyn-Pelletier. La présence des rhyolites hautement sphérolitiques dans les sous-groupes de Misema et de Rouyn-Pelletier infirme les interprétations précédentes et démontre que les trois sous-groupes sont contemporains. Ceci implique que les centres de volcanisme intermédiaire à mafique du Misema et du Rouyn-Pelletier ont été actifs à l'extérieur et pendant la mise en place des centres volcaniques bimodaux du sous-groupe de Noranda. Le modèle proposé (Péroquin *et al.* 1994, Péroquin *et al.* 1995, Péroquin *et al.* 1996) pour expliquer cette géométrie est celui d'un bassin volcanique qui se propage dans un environnement près d'un arc insulaire océanique (figure 4.19). Un modèle similaire a été proposé par Laflèche *et al.* (1992a et b). La contribution originale de l'étude actuelle est l'établissement d'une relation contemporaine entre les trois sous-groupes qui se forment à l'intérieur du bassin. Cette contemporanéité indique que le Groupe de Blake River a évolué dans un bassin naissant qui a avorté; les roches volcaniques produites au front de propagation ont été préservées et non pas détruites par l'ouverture complète du bassin.

Les deux aspects importants du modèle pétrogénétique proposé sont: (1) que les centres volcaniques bimodaux à l'extérieur du bloc Flavrian (les blocs Hunter, Mouilleuse et Arnoux) sont du même âge que ceux qui sont à l'intérieur du bloc de Flavrian, et donc de la "Série des Mines"; et (2) que le volcanisme bimodal s'est développé au front de propagation du bassin et ce front a migré d'Ouest en Est.

L'exploration pour des gisements de type SMV implique l'identification des lithologies propices pour agir comme roches-hôtes et des plutons syn-volcaniques qui agissent comme source de chaleur pour les cellules hydrothermales. Le bloc Flavrian du sous-groupe de Noranda, où se trouve le camp minier, remplit ces deux critères. Le reste du sous-groupe de Noranda (les blocs Hunter, Mouilleuse et Arnoux) contient aussi, par

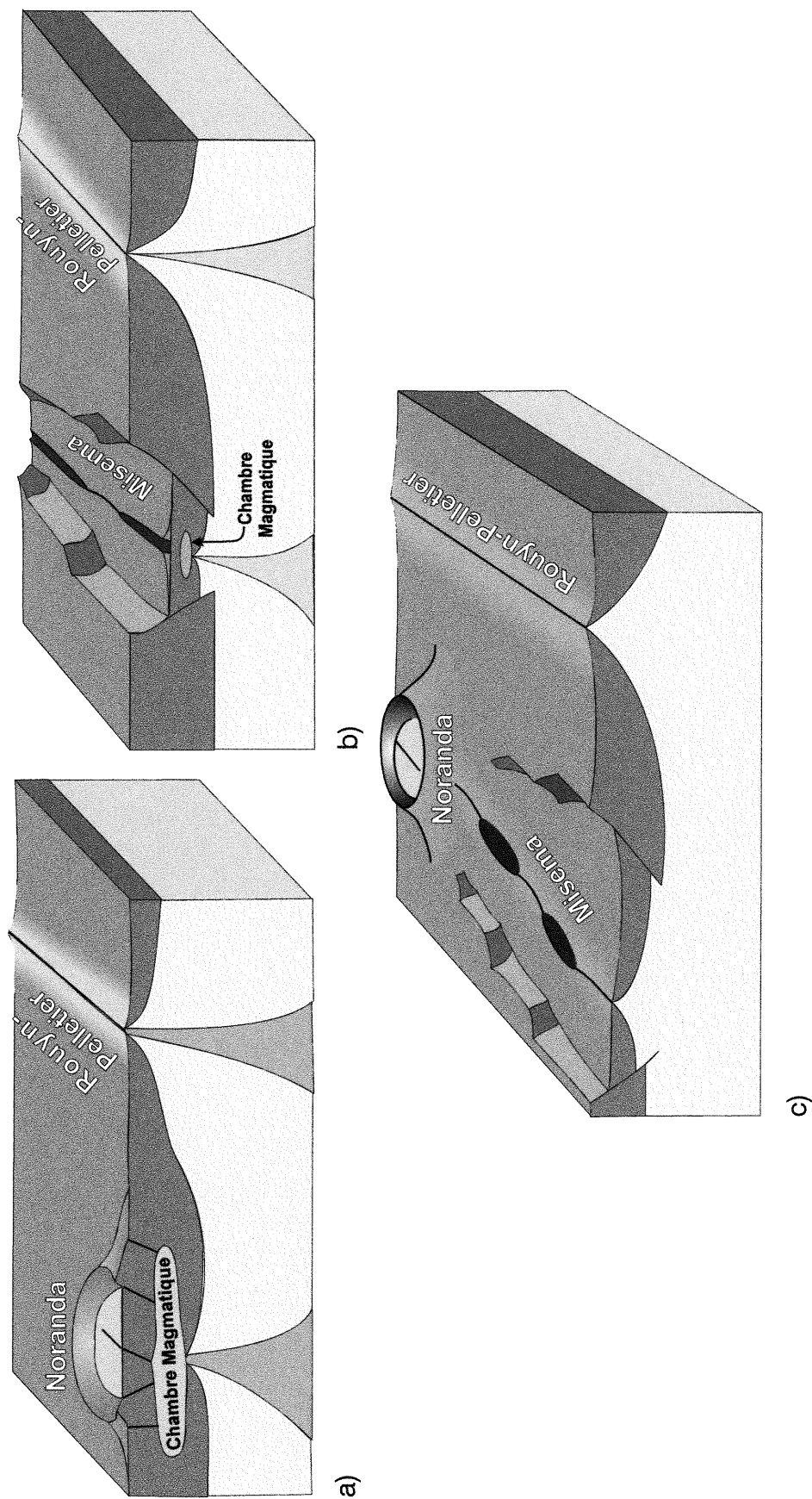


Figure 4.19: Relation paléogéographique proposée pour les sous-groupes de Noranda, de Misema et de Rouyn-Pelletier lors de leurs formations. a) schéma d'une coupe à travers les sous-groupes de Noranda et de Rouyn-Pelletier. b) schéma d'un coupe à travers les sous-groupes de Noranda et de Misema. c) schéma de la relation entre les trois sous-groupes; le Noranda représente le point de propagation d'une ride; le Misema représente la portion la plus mature du bassin; le Rouyn-Pelletier représente une ride parallèle à la ride Misema - Noranda.

définition, des assemblages volcaniques bimodaux. On devra alors chercher des évidences d'intrusions importantes dans ces secteurs. La présence de quelques indices de sulfures volcanogènes et d'exhalites dans le partie ouest du Groupe de Blake River (Inmont, Quatre-coins, New Insko, Magusi) indique aussi la présence probable d'une source de chaleur pour les cellules hydrothermales à l'extérieur du bloc Flavrian. Le levé de sismique réflexion à haute résolution de la ligne 21-1, effectué dans le cadre du projet Abitibi-Grenville du programme LITHOPROBE, indique la présence possible de l'extension du pluton Flavrian au nord de la faille de Hunter Creek (Verpaelst *et al.* 1995). Le profil sismique régional montre aussi des zones de haute réflectivité qui peuvent être la manifestation des petite intrusions semblables au pluton de Flavrian.

Dans le modèle pétrogénétique proposé, le front de la propagation du bassin est passé par le secteur du sous-groupe de Misema avant d'arriver à celui de Noranda. Ainsi, un volcan du "type Noranda" a pu exister auparavant, là où le Misema s'est formé par le suite. Dans le Misema, les pendages sont plutôt faibles; et l'analyse des données gravimétriques (Bellefleur 1992) et sismiques (Green *et al.* 1990; Jackson *et al.* 1995; Verpaelst *et al.* 1995) montrent un épaississement du Groupe de Blake River à l'ouest. Il est donc possible que les vestiges d'un volcan du type Noranda se trouvent localement en dessous du sous-groupe de Misema. On aurait ainsi un environnement propice aux minéralisations en SMV de type Noranda. Les technologies actuelles de sondage géophysique ne permettent pas à ce jour de vérifier cette hypothèse. (Verpaelst *et al.* 1995).

4.11 Références

Anaconda Canada Exploration. 1982. Duparquet, Duprat. Rapport géologique de la propriété Anaconda. Anaconda Canada Expl Ltd, Explorations Noranda ltée. Travaux statutaires dans le canton Duprat. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec GM 39500. 22 pages. 6 cartes. 2 microfiches.

- Anaconda Canada Exploration. 1983. Rapport d'un levé électromagnétique Deep-EM avec 5 journaux de sondage, Projet Anaconda. Travaux statutaires dans le canton Duprat. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. GM-40557, 219 pages. 8 cartes. 7 microfiches.
- Bellefleur, G. 1992. Contribution des méthodes de potentiel à la cartographie géologique et à la structure profonde dans le Groupe de Blake River, Abitibi. École Polytechnique de Montréal. Mémoire de maîtrise. 101 pages
- de Rosen-Spence, A. F. 1976. Stratigraphy, development and petrogenesis of the central Noranda volcanic pile, Noranda, Quebec. Thèse de Ph.D. University of Toronto, Toronto, Ont. 166 pages
- Dejou, B. 1992. Pétrographie et géochimie du pluton syénitique du lac Tarsac, canton Montbray, Abitibi. École Polytechnique de Montréal. Mémoire de maîtrise. 140 pages.
- Dejou, B., Valiquette, G. et Verpaelst P. 1990. Petrography and geochemistry of Tarsac Lake alkaline pluton, Abitibi, Québec. Geological Association of Canada / Mineralogical Association of Canada, Joint Annual Meeting, Vancouver, Canada,
- Dimroth, E., Cousineau, P., Leduc, M., Sanschagrin, Y et Provost, G. 1978. Structure and organization of Archean subaqueous basalt flows, Rouyn-Noranda Area. Journal Canadien de Sciences de la Terre ; Volume 15, pages 902-918.
- Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M. et Goulet N. 1982. Evolution of the south-central part of the Archean Abitibi belt, Québec. Part I: Stratigraphy and paleogeographic model. Journal Canadien de Sciences des la Terre, Volume 19, pages 1729-1758.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N. et Rocheleau, M. 1983a. Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part II: Tectonic evolution and geomechanical model. Journal Canadien des Sciences de la Terre, Volume 20 , pages 1355-1373.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N. et Rocheleau, M. 1983b. Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. Journal Canadien des Sciences de la Terre ; Volume 20, pages 1374-1388.
- Furnes, H., Fridleifsson I. B. et Atkins, F.B. 1980. Subglacial volcanics on the formation of acid hyaloclastites. Journal of Volcanology and Geothermal Research ; Volume 8, pages: 95-110.
- Gélinas, L., Trudel, P. et Hubert, C. 1984. Chimico-stratigraphie et tectonique du Groupe de Blake River. MM 83-01. Ministère de L'Énergie et des Ressources du Québec. 41 pages.

- Gibson, H. L. 1989. The geology and reconstruction of the Mine sequence and the Noranda cauldron of the Noranda complex, northwestern Québec. Thèse de Ph.D. . Carleton University, Ottawa, Ontario. 715 pages.
- Goodwin, A. M. 1977. Archean volcanism in Superior Province, Canadian Shield. *Dans Volcanic Regimes in Canada*. Edité par Baragar, W.R.A., Coleman, L.C. et Hall, J.M. Geological Association of Canada. Special Paper 16, pages 205-241.
- Green, A., Milkereit, B., Mayrand, L., Ludden, J.N., Hubert, C., Jackson, S.L., Sutcliffe, R.H., West, G.F., Verpaelst, P. and Simard, A. 1990. Deep structure of an Archean greenschist terrane. *Geology, Nature*, Volume 344, pages 327-330.
- Hargreaves, R. et Ayres, L. D. 1979. Morphology of Archean meta-basalt flows, Utik Lake, Manitoba. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, Volume 16, pages 1452-1466.
- Hubert, C., Trudel, P., et Gélinas, L. 1984. Archean wrench fault tectonics and structural evolution of the Blake River Group, Abitibi Belt, Québec. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, Volume 21, pages 1024-1032.
- Jackson, S.L., Cruden, A.R., White, D. et Milkereit, B. 1995. A seismic-reflection-based regional cross section of the southern Abitibi greenschist belt. *Revue canadienne des sciences de la Terre*, Volume 32, pages 135-148.
- Jolly, W. T. 1978. Metamorphic History of the Archean Abitibi belt. Metamorphism in the Canadian Shield. Geological Survey of Canada, Paper 78-10, pages 63-78.
- Kirkpatrick, R. J. 1978. Processes of crystallization in pillow basalts, Hole 396B, D.S.D.P. Leg 46. In: San Juan, Puerto Rico to Las Palmas, Canary Islands, January-March 1975. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. 46; pages 271-282.
- Laflèche, M. R., Dupuy, C. et Bougeault, H. 1992a. Geochemistry and petrogenesis of Archean mafic volcanic rocks of the southern Abitibi Belt, Québec. *Precambrian Research* ; Volume 57, pages 207-241.
- Laflèche, M. R., Dupuy, C. et Dostal, J. 1992b. Tholeiitic volcanic rocks of the late Archean Blake River Group, southern Abitibi greenstone belt: origin and geodynamic implications. *Canadian Journal of Earth Sciences* ; Volume 29, pages 1448-1458.
- M.R.N.Q., 1982. Cartes de compilation géoscientifiques. 32D/5 104, 204 et 304, et 32D/6 101, 102, 201, 202, 203, 204, 301, 302, 303 et 304 (1 : 10 000).
- M.R.N.Q./O.G.S., 1983. Carte lithostratigraphique de la Sous-province de l'Abitibi. DV 83-16.
- Natland, J. H. 1978. Crystal morphologies in basalts from DSDP Site 395, 23°N, 46°W, Mid-Atlantic Ridge. *DANS Initial reports of the Deep Sea Drilling Project Leg 45; San Juan, Puerto Rico to San Juan, Puerto Rico*. 45; pages 423-445.

- Natland, J. H. 1980. Crystal morphologies in basalts dredged and drilled from the East Pacific Rise near 9°N and the Sequeiros Fracture Zone. In: Leg 54 of the cruises of the drilling vessel Glomar Challenger; Cristobal, Panama Canal Zone to Long Beach, California; Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. 54; pages 605-634.
- Paradis, S. 1990. Stratigraphy, volcanology and geochemistry of the New Vauze - Norbec area, Central Noranda Volcanic Complex, Québec, Canada. Thèse de Ph.D. Carleton University, Ottawa, Ontario, 695 pages.
- Péloquin, A. S., Ludden, J. N. et Verpaelst, P. 1995. The Blake River Group in Québec: A 2.7 GA in situ propagating volcanic basin hosting volcanogenic massive sulphide deposits. Precambrian '95 : Réunion internationale sur la tectonique et la métallogénie des ceintures orogéniques du Précambrien inférieur et moyen, Program and abstracts, Montréal, Canada, page 271.
- Péloquin, A. S., Ludden, J. N., Hubert, C. et Verpaelst, P. 1994. Magmatic systems in late Archean volcanic basins: Implications for Noranda-type VMS. Association géologique du Canada/ Association mineralogique du Canada, Congrès annuel, Waterloo, Ontario, Programme et résumés, volume 19, page A87.
- Péloquin, A. S., Potvin, R., Paradis, S., Laflèche, M.R., Verpaelst, P. et Gibson, H. L. 1990. The Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Québec: a Stratigraphic Synthesis. DANS La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois: géologie et production minérale. Editeurs : M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.M. Lulin, G. Riverin et A. Simard. Institut canadien des mines et de la métallurgie, Volume spécial 43, pages 107-119.
- Péloquin, A. S., Verpaelst, P., Dejou, B. et Gaulin, R., non publié. Le Projet Blake River Ouest dans les cantons de Dufresnoy, de Duprat, de Montbray, de Beauchastel et de Dasserat, SNRC 32D/06 et 32D/05. Ministère des Ressources Naturelles du Québec.
- Péloquin, A. S., Verpaelst, P. et Ludden, J.N. 1996. Spherulitic rhyolites of the Archean Blake River Group, Canada: Implications for stratigraphic correlation and VMS exploration. *Economic Geology* ; Volume 91, p.343-354.
- Péloquin, A. S., Verpaelst, P., Paradis, S., Gaulin, R. et Cousineau, P. 1989a. Projet Blake River Ouest Cantons de Duprat et de Dufresnoy, SNRC 32D/06. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, MB 89-02, 176 pages, 1 carte.
- Péloquin, A. S., Verpaelst, P. et Gaulin, R. 1989b. Le Blake River dans les cantons de Duprat, de Montbray, de Beauchastel et de Dasserat. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, MB 89-64, 89 pages, 1 carte.
- Powell, W. G., Carmichael, D. M. et Hodgson, C.J. 1995. Conditions and timing of metamorphism in the southern Abitibi greenstone belt, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences* ; Volume 32, pages 787-805.

- Sun, S.-S. et McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts : Implications for mantle composition and processes. Geological Society of London ; Special Publication 42, pages 313-345.
- Verpaelst, P. 1985. Géologie de la séquence volcanique archéenne de Duprat, Abitibi, Québec. Thèse de Ph.D., Université de Montréal, Montréal, Québec, 260 pages.
- Verpaelst, P., Péloquin, A.S., Adam, E., Barnes, A.E., Ludden, J.N., Dion, D.-J., Hubert, C., Milkereit, B. et Labrie, M. 1995. Seismic reflection profiles across the "Mine Series" in the Noranda camp of the Abitibi belt, eastern Canada. Canadian Journal of Earth Sciences, volume 32, pages 167-176.

4.12 Addenda aux Tableaux 4-I et 4-II

Addendum au Tableau 4-I: Nombre d'analyses utilisées dans les moyennes

Lithologies	Éléments	BLOCS STRUCTURAUX					
		Arnoux	D'Alembert	Flavrian	Hunter	Mouilleuse	Kanasuta
Rhyolites	Majeurs	3	2	18	27	11	4
	Trace	3	2	18	27	11	4
	Terres rares	2	1	7	15	7	3
Rhyolites sphérolitiques	Majeurs	1		2	2	1	4
	Trace	1		2	2	1	4
	Terres rares	1		2	2	1	4
Dacites	Majeurs	1	1	6	1	3	4
	Trace	1	1	6	1	3	4
	Terres rares	1		1			3
Andésites enrichies	Majeurs	3	3	11	15	7	15
	Trace	3	3	10	15	7	15
	Terres rares	1	1	1	6	3	10
Andésites transitionnelles	Majeurs	2		4	8	2	5
	Trace	2		4	8	2	5
	Terres rares	2		2	5	1	3
Andésites non enrichies	Majeurs	5	5	9	8	5	11
	Trace	5	5	9	8	5	11
	Terres rares		2	5	6	3	4

Addendum au Tableau 4-II: Nombre d'analyses utilisées dans les moyennes

Lithologies	Éléments	SOUS-GROUPES		
		Noranda	Misema	Rouyn-Pelletier
Rhyolites	Majeurs	61	4	
	Trace	61	4	
	Terres rares	32	3	
Rhyolites sphérolitiques	Majeurs	6	4	1
	Trace	6	4	1
	Terres rares	6	4	1
Dacites	Majeurs	12	4	
	Trace	12	4	
	Terres rares	2	3	
Andésites enrichies	Majeurs	39	15	1
	Trace	38	15	1
	Terres rares	12	10	1
Andésites transitionnelles	Majeurs	16	5	1
	Trace	16	5	1
	Terres rares	10	3	1
Andésites non enrichies	Majeurs	32	11	9
	Trace	32	11	9
	Terres rares	16	4	8

CHAPTER 5

5.0 The Eastern Blake River Group: A Propagating Back-arc Basin Hosting Volcanogenic Massive Sulphide Deposits.

(to be submitted to Precambrian Research)

PÉLOQUIN, A.S.

(Département de Géologie, Université de Montréal, C.P. 6128 Centre-Ville,
Montréal, Québec, H3C 3J7, Canada)

LUDDEN, J.N.

(C.R.P.G., 15 rue Notre Dame des Pauvres, B.P. 20, Vandoeuvre-les-Nancy, 54501,
France)

and

VERPAELST, P.

(M.R.N.Q., 5700, 4e ave. Ouest, Charlesbourg, Québec, G1H 5R9, Canada)

5.0.1 Abstract

The Blake River Group, Abitibi Sub-province, Superior Province of Canada, is interpreted to be a propagating basin in an oceanic arc environment. The eastern portion of the group is divided into three magmatically distinct sub-groups, which are in part contemporaneous, based on the presence in all three areas of a "key-bed", the Fish-roe rhyolite. Two of the sub-groups are considered to represent different stages of evolution in a laterally evolving system, and the third to be an independent system.

The Noranda sub-group is interpreted to be the leading edge of the propagating ridge. It consists of a bimodal sequence of andesites and rhyolites, with basalts and dacites being less common. The mafic-intermediate rocks exhibit three geochemical affinities: tholeiitic basalts and andesites having clear Fe-enrichment trends, chondrite normalized La/Yb ratios of 2 and minor to no negative Nb anomalies; LREE-enriched basalts and andesites not showing Fe-enrichment trends, and having chondrite normalized La/Yb ratios of 4 and a negative Nb anomaly; transitional basalts and andesites are intermediate between the other two types in all three of the above-mentioned characteristics, and are interpreted as being formed by mixing of the tholeiitic and LREE-enriched magmas. Petrogenetic modelling of binary mixing between tholeiitic and LREE-enriched magmas confirms this possibility. The thicker colder crust in the area of rift initiation allowed a stable magma chamber to form, in which the rhyolites evolved by continued fractionation of the andesites and the assimilation of the host rocks. Fractional crystallization modelling of a transitional basalt, with or without a rhyolite contaminant, and fractional crystallization modelling of a tholeiitic basalt with a rhyolite contaminant reasonably reproduce the evolutionary trend from basalt to rhyolite of the actual data. The Noranda sub-group is also characterized by the formation of a cauldron in which most of the known volcanogenic massive sulphide (VMS) deposits occur.

The Misema sub-group is characterized by the same mafic rock types as the Noranda sub-group, but is distinguishable from the latter by the rarity of rhyolites. It is considered to be a more mature part of the propagating basin, where the rhyolites of the underlying magma chamber, if still present, were not extruded. VMS showings and deposits are rare in this area compared to the Noranda sub-group.

The Rouyn-Pelletier sub-group is distinct from the previous sub-groups in that it is dominated by tholeiitic basalts. Here, the magmas show Fe-enrichment and chondrite normalized La/Yb ratios of one. The most primitive magmas, which are dominant in the northern part of the sub-group, have

no negative Nb anomalies; whereas the more evolved magmas, occurring in the southern part of the sub-group, have moderate negative Nb anomalies with chondrite normalized La/Yb ratios remaining at one. The Fish-roe rhyolite occurs as a flow in the Rouyn-Pelletier indicating that the area cannot have been a distal, older part of the Blake River Basin that was subsequently tectonically juxtaposed south of the Noranda sub-group, but must have been emplaced adjacent to it and its underlying magma chamber. Thus, two independent magmatic plumbing systems co-existed in the Blake River Basin. Although there is evidence of syn-volcanic hydrothermal systems in the Rouyn-Pelletier, no VMS deposits are known.

The environments considered as comparative analogues for the eastern Blake River Group are back-arc basins (Lau Basin and Mariana Trough) and zones of hot spot - oceanic ridge interaction (Iceland). The comparisons are based on their lithologies, geochemical affinities, geographic distribution of the lithologies and affinities, and the presence of hydrothermal systems. The level of Fe and LREE enrichment of the eastern Blake River Group and the presence of LREE-enriched lavas with negative Nb anomalies better fit the back-arc basin analogy. The complex relationships between mafic rocks of different geochemical affinities is also consistent with a back-arc environment. The presence of rhyolites in the Noranda sub-group, and their associated VMS deposits, points to an incipient back-arc basin propagating from West to East.

5.0.2 Résumé

Le Groupe de Blake River, dans la Sous-province de l'Abitibi de la Province Supérieure du Canada, est interprété comme un bassin naissant dans un environnement d'arc insulaire. La partie est du groupe est divisée en trois sous-groupes à magmatismes distincts. Ces sous-groupes sont, en partie, contemporains; ceci est mis en évidence par la présence dans les trois secteurs d'une unité-repère, la rhyolite hautement sphérolitique de Fish-roe. Deux des sous-groupes représentent des épisodes différents de l'évolution d'un seul système. Le troisième sous-groupe est considéré comme un système indépendant.

Le sous-groupe de Noranda est interprété comme le point d'une ride en propagation. Il est composé d'une séquence bimodale d'andésite et de rhyolite; les basaltes et les dacites sont rares. Les roches mafique à intermédiaire montrent trois affinités géochimiques: les basaltes et andésites tholéitiques montrent un enrichissement en Fe et ont un rapport en La/Yb normalisé à chondrite égal à 2 et des anomalies négatives en Nb négligeables; les basaltes et andésites enrichis en éléments de terres rares légères ne montrent pas d'enrichissement en Fe et ont des rapports de La/Yb normalisé à chondrite de 4 et des anomalies négatives en Nb; des basaltes et andésites transitionnels montrent des caractéristiques intermédiaires entre les deux autres affinités. Les laves transitionnelles sont interprétées comme le mélange des laves tholéitiques et des laves enrichies. La modélisation de mélange binaire entre une basalte tholéitique et une andésite enrichie confirme cette possibilité. La croûte plus épaisse et plus froide dans la zone de l'initiation de la ride permet la formation d'une chambre magmatique stable. Les rhyolites du sous-groupe de Noranda se forment par le fractionnement des andésites et l'assimilation de la roche de l'éponte. La modélisation de la cristallisation fractionnée d'une basalte transitionnel, sans et avec contamination en rhyolite, et de la cristallisation fractionnée d'une basalte tholéitique avec contamination en rhyolite reproduit approximativement la patron d'évolution de basalte à rhyolite. Le sous-groupe de Noranda est aussi caractérisé par la formation d'un chaudron dans lequel se trouve la plupart des gisement de sulfures massifs volcanogène (SMV).

Le sous-groupe de Misema est caractérisé par les mêmes types de roches mafiques à intermédiaires que le sous-groupe de Noranda. Par contre, il ne contient que très peu de rhyolite. Il est interprété comme une partie plus mature du bassin en propagation où les rhyolites, si encore présentes dans la chambre magmatique, n'ont pas été expulsées. Les indices et des dépôt SMV sont rares dans le sous-groupe de Misema.

Le sous-groupe de Rouyn-Pelletier est distinct des autres sous-groupes; il est dominé par des basaltes tholéïtiques. Ces laves montrent un patron d'enrichissement en Fe et des rapports $(La/Yb)_n \sim 1$. Les laves les plus primitives dominent la partie nord du sous-groupe et n'ont pas d'anomalie négative en Nb, tandis que les laves plus évoluées se trouvent dans la partie sud du sous-groupe et ont de très petites anomalies négatives en Nb; les rapports La/Yb normalisé à chondrite restent à 1. La rhyolite de Fish-roe dans le sous-groupe de Rouyn-Pelletier est une coulée. Donc, le sous-groupe de Rouyn-Pelletier n'appartient pas à une partie plus vieille ou plus éloignée du bassin par rapport aux autres sous-groupes, qui aurait par la suite été juxtaposée au sud du sous-groupe de Noranda. Le sous-groupe de Rouyn-Pelletier a dû être se former près du sous-groupe de Noranda et sa chambre magmatique. Malgré l'évidence de l'existence des systèmes hydrothermaux syn-volcaniques dans le sous-groupe de Rouyn-Pelletier, il n'y a pas de gisement SMV connu.

Les environnements considérés comme analogues du Groupe de Blake River sont les bassins d'arrière arc (bassins de Lau et des Mariannes), et les zones d'interaction entre une ride et un point chaud (Islande). Ces deux environnements montrent des variations et une distribution des lithologies et des affinités géochimiques, ainsi que des systèmes hydrothermaux analogues à ceux qu'on trouve dans le Groupe de Blake River. Les niveaux d'enrichissement en Fe et en terres rares légères du Groupe de Blake River, ainsi que la présence des laves enrichies en terres rares légères avec des anomalies négatives en Nb indiquent un environnement d'arrière arc pour la partie est du Groupe de Blake River. Les relations complexes entre les roches mafiques d'affinités différentes, sont aussi consistants avec les bassins d'arrière arc. En plus, la présence des rhyolites dans le sous-groupe de Noranda et les gisements de SMV associés aux rhyolites indiquent un bassin naissant qui se propage de l'ouest en est.

5.1 Introduction

The Archean Superior Province of Canada is widely interpreted to be an arc-accretionary complex involving arc volcanics and plutons, sedimentary basins, back-arc basins and oceanic plateaus (Thurston and Chivers, 1990; Kimura et al., 1993; Calvert and Ludden, 1999). Within the Superior Province, it has been proposed that the Abitibi Sub-province also represents an accretionary terrain, in this case sandwiched between the Opatica (plutonic) and Pontiac (plutonic and sedimentary) Sub-provinces (Ludden and Pélouquin, 1996; Kimura et al., 1993; Jackson and Sutcliffe, 1990; Jackson et al. 1994; Calvert et al., 1995) (Figure 5.1). Jackson et al. (1994) suggested that the relationships between the groups or assemblages comprising the Abitibi may be explained by the accretion of a micro-tectonic system similar to the Papua New Guinea-Solomon Sea area of the South Pacific. This implies an overall allochthonous nature for the assemblages of the Abitibi Sub-province (Jackson et al., 1994). However, new studies have shown that some assemblages in the southern Abitibi Sub-province contain zircons inherited from the underlying assemblages, making them autochthonous (Heather et al., 1995; Heather et al. 1996; Ayer et al., 1999a; Ayer et al., 1999b).

Of particular interest, in the Swayze greenstone belt, are the assemblages with similar ages to the Blake River Group: the 2705 Ma Heenan-Dore felsic to intermediate metavolcanic package containing 2730-2740 Ma inherited zircons, and the 2697 Ma Swayze-Dore felsic to intermediate volcanic package containing no inherited zircons (Heather et al., 1995). While these two assemblages are similar to the Blake River Group in age and composition, they differ in that they are dominantly pyroclastic-volcaniclastic, as opposed to the lava dominated Blake River. The presence of an ensialic crust beneath the Heenan-Dore assemblage is shown by the presence of inherited zircons of the same age as the underlying Marion assemblage (2725-2740? Ma) (Heather et al., 1995). The Swayze-Dore assemblage does not contain inherited zircons, but on the basis of mapping

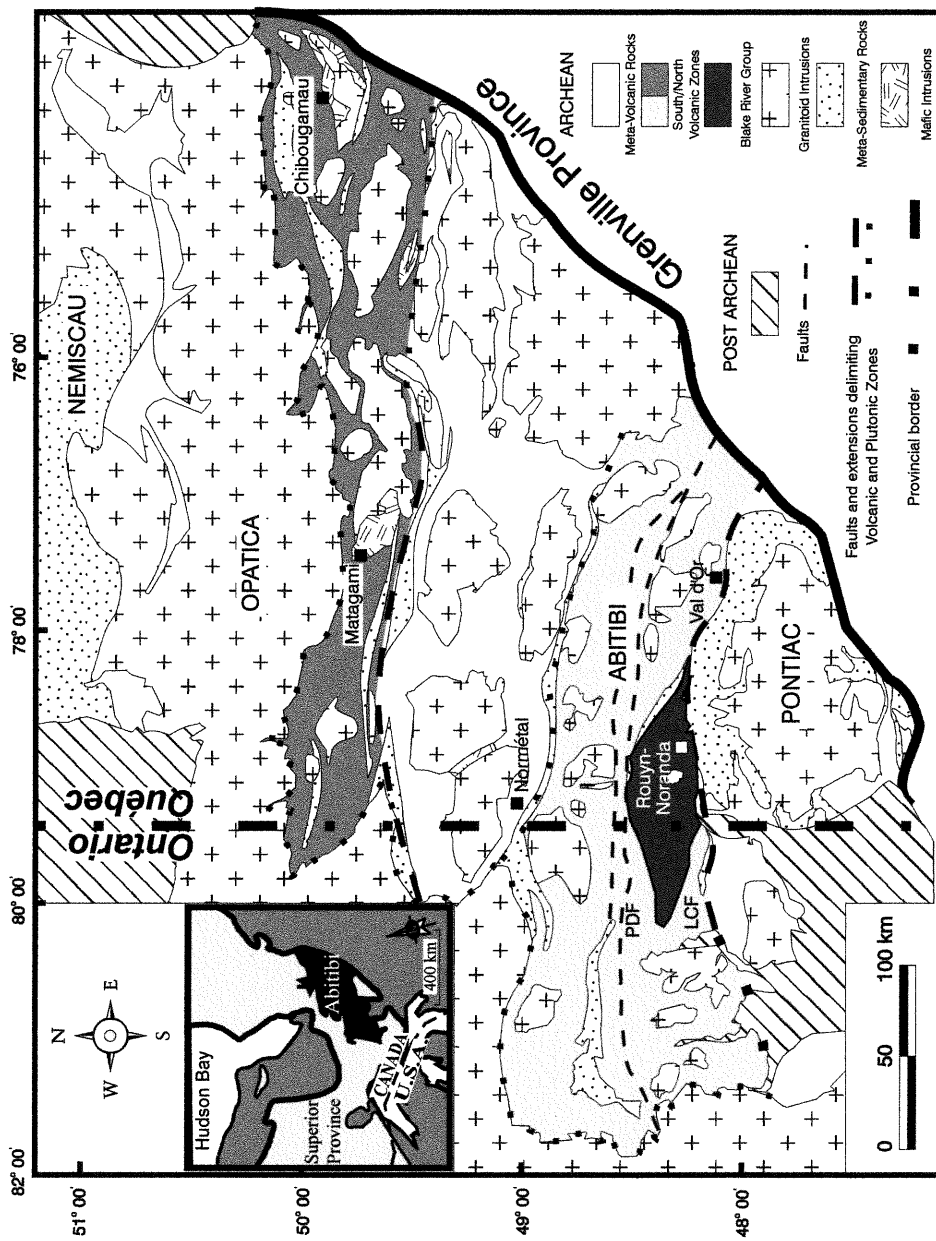


Figure 5.1: Geology of the Abitibi Sub-province of the Superior Province of Canada, showing the Volcanic Zone divisions (Ludden and Hubert, 1986; Ludden et al., 1986) and the Blake River Group. LCF - Larder Lake Cadillac Fault; PDF - Porcupine Destor Fault

is considered to form part of the "layer cake" stratigraphy that includes the Heenan-Dore and Marion assemblages (Heather et al., 1995). However, in the case of the Blake River Group, there is no evidence of an underlying ensialic crust. The inherited zircons within the Blake River are of the same age as the older part of the group itself (Vaillancourt, 1996). Thus, the Abitibi Sub-province is comprised of allochthonous terrains (Desrochers et al., 1993; Desrocher and Hubert, 1996; Desrochers, 1998; Wyman, 1999), and of autochthonous ensialic terrains (Heather et al., 1995; Heather et al., 1996; Ayer et al., 1999a; Ayer et al., 1999b). To this is added a third type of terrain, that proposed for the Blake River Group in Ludden and Pélouquin (1996), an ensimatic autochthonous terrain. In fact, all three of these environments were active at different sites in the Abitibi circa 2700 Ma (Desrochers et al., 1993; Heather et al., 1995; Ludden and Pélouquin, 1996).

Ludden et al. (1986) subdivided the Abitibi Sub-province into Northern and Southern Volcanic Zones (Figure 5.1), separated by a Central Granite-Gneiss Zone. The Northern Volcanic Zone is characterized by arc-like volcanic and plutonic rocks (Ludden et al., 1986; Ludden and Hubert, 1986), and is generally older than the Southern Zone (c.f. dates compiled in Ludden et al., 1986 and Kimura et al., 1993). However, the older ages obtained in the Southern Volcanic Zone are not indicative of the exotic nature of these assemblages as suggested by Kimura et al. (1993); rather, they have been shown to be the basement for the younger assemblages (Heather et al., 1995; Heather et al., 1996; Ayer et al., 1999a; Ayer et al., 1999b).

In the Southern Volcanic Zone, a late rifting event, not observed in the Northern Zone, was proposed by Ludden et al. (1986), Ludden and Hubert (1986), Kimura et al. (1993) and Desrochers et al. (1993). In the Val d'Or area, this rifting event occurs in a terrain of accreted oceanic plateau fragments (Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998; Wyman, 1999), whereas in the Noranda area the rifting occurs in the Kinojevis basalt plain (Dimroth et al., 1982). Although the boundary between the Kinojevis and Blake River Groups is structural (the Porcupine-Destor Break), the metamorphic isograds are not cut or displaced by the structure (Powell et al., 1995), indicating it to be an early event. No evidence was noted that the Kinojevis Group had

undergone an earlier metamorphic event as would be expected if it were an accreted terrain. Therefore, it is interpreted that the present spatial relationship between the Kinojevis Group to the north and the Blake River Group to the south is primary: i.e. the Kinojevis Group was the oceanic crust rifted during the formation of the Blake River Group.

This apparently early, yet structural, relationship between the Blake River and Kinojevis Groups is one line of evidence for a rift or extensional origin for the Blake River Group. On the other hand, the paucity of sediments, common in rifting environments, even oceanic, is problematic. However, in back-arc basins, where rifting progresses to sea floor spreading, sedimentation rates and compositions also change. For example, in the Lau Basin, the initial basin rifting involved extension of the island arc and the onset of seamount volcanism within the basin (Clift et al., 1995). Volcanic ash from the seamounts was resedimented into sub-basins by slumping, gravity flow and turbidity currents. During the early rifting stages volcanism continued on the remnant arc (Lau Ridge); this was followed by a hiatus in arc volcanism before recommencing at a new position (Tofua Arc). A back-arc spreading centre (Eastern Lau Spreading Centre) began to propagate southward in the basin, its volcanism supplanting the seamount volcanism, and thin sequences of hyaloclastite, nannofossil ooze and minor airfall tuffs superseding the gravity flow and turbiditic sediments in the sub-basins (Clift et al., 1995). The rarity of pyroclastic-volcaniclastic rocks, in general, in the Blake River Group in Québec, and their concentration near the boundaries of the group (Gélinas et al., 1984), suggests that the Blake River Group in Québec may represent an incipient spreading centre within a rifting back-arc basin.

The presence of volcanogenic massive sulphide (VMS) deposits is one of the defining characteristics of the Blake River Group, and must be accounted for in seeking its modern analogue. While VMS deposits occur in arc environments in general (Ishibashi and Urabe, 1995; Iizasa et al., 1999), back-arc basins exhibit the necessary lithological and geochemical associations as well as the type of mineralization to warrant comparison (c.f. references in Taylor, 1995).

The interpretation that the Blake River Group was formed in a supra-subduction zone environment is supported by the geochemistry of mafic rocks in the eastern-most area of the group (Lafleche et al., 1992a and 1992b). This paper will present the spatial and temporal relationships of all the lithologies present in the eastern half of the Blake River Group, as well as the geochemistry of the mafic rocks, to further refine the model.

Back-arc basins are notorious for their diversity in lithologies and geochemical affinities, particularly during the initial rifting to spreading phase (c.f. references in Taylor, 1995). Because of this diversity, wholesale comparisons between two given back-arc basins, even in similar stages of development, will show differences in certain aspects of their geology. If comparisons between modern back-arc basins must be taken one step at a time, so much more so comparisons of ancient environments to a modern analogue. Such comparisons between ancient and modern environment, although imperfect, remain the most efficient way to consolidate the data and place it into a comprehensive framework. The lithologies and geochemical affinities present, and their spatial relationship within the eastern part of the Blake River Group, will, therefore, be compared to the lithologies and affinities found within modern back-arc basins to determine the validity of the analogy.

5.2 Geological Setting of the Blake River Group

The Archean Blake River Group occurs at the southern limit of the Southern Volcanic Zone of the Abitibi Sub-province of the Superior Province, Canada (Figure 5.1). It is bound by major faults: the Cadillac-Larder Lake Break to the south and the Porcupine-Destor Break to the north (Figure 5.2). Although new data on the Blake River Group (Vaillancourt, 1996) show the ages of the Pontiac Sub-province sediments, south of the Cadillac-Larder Lake Break, to overlap considerably with the Blake River Group ages (Pontiac sediments- 2698 to 2683 Ma: Davis, 1992, and Mortensen and Card, 1993; Blake River lavas- 2707 to 2690-77 Ma: Mortensen, 1993, and Vaillancourt, 1996), the differences in metamorphism between the sediments of the Pontiac Sub-province (upper

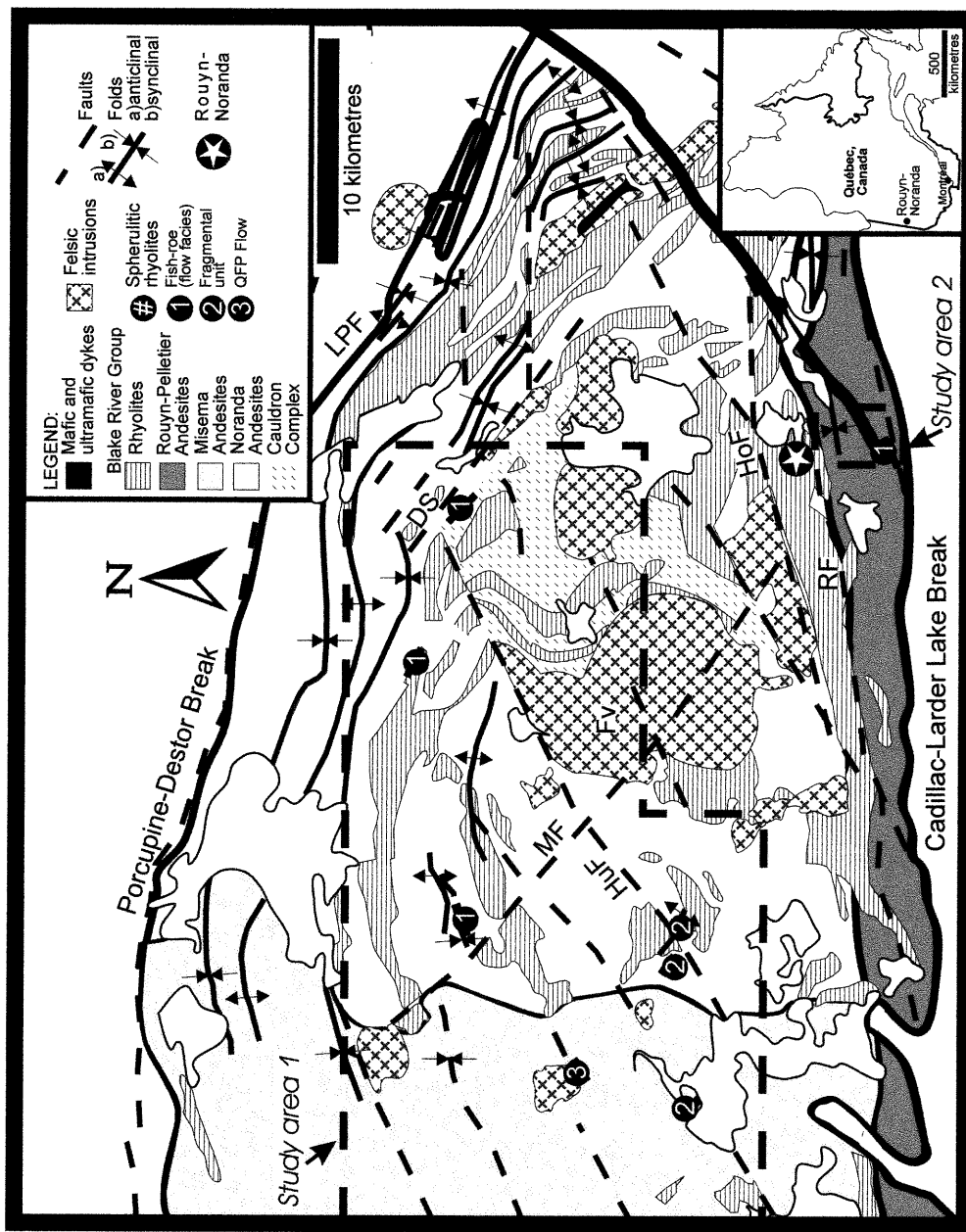


Figure 5.2: Geology of the Blake River Group showing the subgroups, the marker units and the areas studied. LPF - Lac Parfouru Fault; HuF - Hunter Creek Fault; HoF - Home Creek Fault; RF - Rouyn Fault; DS - D'Alembert Shear; MF - Mouilleuse Fault; Fv - Flavrian Pluton.

greenschist to amphibolite facies: Jolly, 1978) and the Blake River Group (prehnite-pumpellyite to greenschist facies: Jolly, 1978; Powell et al., 1995) indicate that these groups are tectonically juxtaposed. Metamorphic isograds are not, on the other hand, cut or displaced by the Porcupine-Destor Break (Powell et al., 1995), indicating that this structure is an early event, and that the present spatial relationship between the Kinojevis Group to the north and the Blake River Group to the south may be primary.

The Southern Volcanic Zone of the Abitibi Sub-province formed between 2746 Ma (Pacaud Tuff: Mortensen, 1993) and 2690-77 Ma (Blake River Group: Vaillancourt, 1996). The Blake River Group formed between 2707 and 2690-77 Ma (Vaillancourt, 1996) as the late part of the major rifting event proposed by Ludden et al. (1986), Ludden and Hubert (1986), Desrochers (1993) and Kimura et al. (1993). This event is manifested in the Malartic-Val d'Or area by the emplacement of the 2705 Ma Val d'Or formation (Wong et al., 1991 in Corfu, 1993) on a terrain of accreted oceanic plateau fragments (the Malartic Composite Domain) (Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998). Although the main volcanic event of the Normetal Group at the southern extremity of the Central Granite - Gneiss Zone has an age of 2728 Ma (Mortensen, 1993) to 2730 Ma (Zhang, unpublished data; Zhang et al., 1993), a possible late event occurring at 2692 Ma (Zhang, unpublished data; Zhang et al., 1993) may represent part of the extensional event. The new, young ages for the volcanic rocks of the Southern Abitibi Volcanic Zone make the volcanism contemporaneous with a plutonic event previously considered to be post-volcanic (Palmorolle Granodiorite - 2693 Ma, Lac Abitibi Batholith and Lac Dufault Pluton - 2690 Ma: Mortensen, 1987; Colombourg Pluton - 2697 Ma, and Round Lake Batholith - 2698 Ma: Mortensen, 1993).

An autochthonous relationship between the older rocks of the Southern Abitibi Volcanic Zone and some of their overlying assemblages has been determined from the presence of inherited zircons in the younger assemblages (Heather et al., 1995; Heather et al., 1996; Ayer et al., 1999a; Ayer et al., 1999b). In the case of the Blake River Group, the youngest volcanic rocks (younger than 2692 Ma) inherited zircons from lower in the

Blake River stratigraphy (2702-2698 Ma) (Vaillancourt, 1996). This suggests that there was no ensialic crust underlying the Blake River Group at the time of its formation.

The new U-Pb radiometric ages of Vaillancourt (1996) include several single zircon analyses and indicate that the Blake River Group was formed over a period of as much as 30 million years (2707 to 2690-77Ma). Vaillancourt (1996) interpreted the data as being consistent with three periods of volcanism: the youngest, younger than 2692 Ma, includes the mine sequence of the Noranda sub-group and a rhyolite from the northern boundary of the Misema; the middle period, 2702-2698 Ma, includes previously published dates of multiple zircon fractions from both the Noranda and Misema sub-groups (Mortensen, 1993); the oldest period, 2707Ma, is presently represented by a multiple zircon fraction date for a syn-volcanic feeder dyke in the Noranda sub-group near the Rouyn-Pelletier boundary. The two rhyolites with ages of 2692 Ma or younger both contain inherited zircons with radiometric ages of 2702-2698 Ma (Vaillancourt, 1996).

The Blake River Group is the largest volcanic sequence related to the proposed circa 2700 Ma rifting volcanic event in the Southern Abitibi Volcanic Zone (Ludden et al., 1986; Ludden and Hubert, 1986; Kimura et al., 1993). Its economic importance as a major base-metal and gold mining camp have made it the subject of numerous in-depth studies. Goodwin (1977) subdivided the eastern Blake River Group into two sub-groups, the Noranda sub-group to the east and the Misema sub-group to the west. Gélinas et al. (1984) proposed a chemo-stratigraphy that further subdivided the area. Although the term "Sub-group" has been abandoned by the North American Commission on Stratigraphic Nomenclature (1983), this article uses the term informally, and retains the overall division and nomenclature of Goodwin (1977) with the exception that the area south of the Rouyn Fault (Hubert et al., 1984) has been separated from the above sub-groups and defined as the Rouyn-Pelletier sub-group, combining the nomenclature of Gélinas et al. (1984) (Figure 5.2).

A detailed lithostratigraphy for the Noranda sub-group east of the Flavrian Pluton was defined by de Rosen-Spence (1976) and modified by Gibson (1989) and Paradis (1990). The Fish-roe rhyolite was described as a distinct unit by de Rosen-Spence (1976) and

then characterized as a key bed in Pélouquin et al. (1996). All of de Rosen-Spence (1976), Gibson (1989) and Paradis (1990) interpreted the area hosting the majority of the VMS deposits, south of the Hunter Creek Fault and north of the Horne Creek Fault, as a cauldron-fill sequence. This interpretation was based on detailed surface and drill hole mapping, which showed the area between the Hunter Creek and Horne Creek Faults to have subsided incrementally during the volcanism. The term cauldron being preferred to caldera as there is no shape constraint (Smith and Bailey, 1968), calderas being circular (Bates and Jackson, 1980 after Williams, 1941), and no connotation of catastrophic subsidence. Most andesitic to rhyolitic calderas are formed by voluminous pyroclastic eruptions (Smith and Bailey, 1968; Walker, 1984). The presence of a cauldron has implications as to crustal thickness, as does the presence of evolved (andesitic and rhyolitic) magmas that suggest the existence of a magma chamber.

Structurally, the Noranda and Misema sub-groups are very similar in style and intensity; the rocks exhibit poorly developed schistosity, are generally shallow dipping, and are cut by North-East and North-West trending subvertical faults. In the Noranda sub-group, an exception to this structural character occurs between the D'Alembert Shear and the Lac Parfouru Fault. The area is more deformed, characterized by closely spaced folds, and faults commonly along the fold axes. The structures strike parallel to the Lac Parfouru Fault and Porcupine-Destor Break (i.e. the Blake River Group contact) (Trudel, 1978; Hubert et al., 1984; Verpaelst and Rioux, 1992; Goutier, 1997a; Goutier, 1997b). This area may be a separate domain, but the present data are inconclusive, and Laflèche (1992a and 1992b) did not deem the area sufficiently distinct to differentiate it. The Rouyn-Pelletier sub-group, between the Rouyn Fault and the Cadillac-Larder Lake Break, exhibits a higher degree of deformation than the Noranda and Misema sub-groups. It is characterized by closely spaced East-West trending folds and faults (Côté, unpublished data; Hubert et al., 1984). Again, these structures are parallel to the Blake River Group contact, in this case, the Cadillac-Larder Lake Break.

The Blake River Group in Quebec was metamorphosed to prehnite-pumpellyite and greenschist facies. The changes in metamorphic grade within the group were previously

thought to be controlled by the major faults (Jolly, 1978; Dimroth et al., 1983; Gélinas et al., 1984; Péroquin et al., unpublished). However, Powell (1995) has shown that the metamorphic isograds in the area are shallowly dipping and only partially controlled by the faults. Of particular importance is the similarity in metamorphic facies in both the Noranda and Misema sub-groups. This similarity suggests that the Misema sub-group did not undergo deeper burial than the Noranda sub-group, as would be expected if it were older than the Noranda.

5.3 Stratigraphic relationships of the Blake River Group

The three sub-groups of the eastern part of the Blake River Group (the Noranda, the Misema and the Rouyn-Pelletier) are considered to be, at least in part, contemporaneous and spatially related. This interpretation is based on the presence, in all three areas, of a "key-bed", the Fish-roe rhyolite (Péroquin et al., 1996; Figure 5.2). This rhyolite occurs on isolated outcrops; the occurrences are texturally and geochemically similar to each other, and texturally and geochemically distinct from the other rhyolites of the Blake River Group. The geochemical distinction was shown by comparing the averages of the morphological and textural groupings of the Fish-roe rhyolite to the average of the other Blake River Group rhyolite analyses (Péroquin et al., 1996). Statistical analysis supported the morphological and textural groupings of the spherulitic rhyolites as belonging to a single population, and supported that single population as being distinct from the main rhyolite population of the Blake River Group (Péroquin et al., 1996). The eruption of the Fish-roe rhyolite is interpreted to be a single event in the history of the formation of the Blake River Group that relates the Noranda, Misema and Rouyn-Pelletier sub-groups in time and space (Péroquin et al., 1996).

The division of the eastern part of the Blake River Group into the Noranda, Misema and Rouyn-Pelletier sub-groups is based on lithological, with or without geochemical, differences. The best known and studied of the sub-groups is the Noranda sub-group. It

is characterized by a sequence of alternating andesites and rhyolites with a small percentage of basalts, and contains the vast majority of the VMS deposits of the region (Noranda-type VMS as defined by Sangster, 1972, and Sangster and Scott, 1976). The Misema sub-group is dominated by andesites similar to those of the Noranda sub-group, and the Rouyn-Pelletier is characterized by basalts, but LREE-enriched and transitional andesites, as well as minor rhyolites, also occur in the area. Few base-metal showings occur in the Misema and Rouyn-Pelletier sub-groups.

U-Pb radiometric ages (Vaillancourt, 1996; Mortensen, 1993) indicate that parts of the Misema and Noranda sub-groups are contemporaneous, and that the younger rocks in both sub-groups were extruded over, and incorporated, older volcanic rocks of the sub-groups. The ages of the inherited zircons in the younger rocks are the same as the ages of the older volcanic rocks (Vaillancourt, 1996).

5.4 Sampling Strategy and Analytical Techniques

This study was initially undertaken as a project for the Ministère des Ressources Naturelles du Québec. Stratigraphic traverses were performed and geochemical sampling was done in the Noranda and Misema sub-groups. Samples were ground using a Tungsten-Carbide shatterbox at the Centre de Recherche Minérale (CRM - Québec Government Laboratory). Initial major element and trace element analyses of 306 samples (including rock powders supplied by H. Gibson (34 samples) and S. Paradis (15 samples)) were made by XRF and AES at the CRM. Of these samples 122 (including 6 from H. Gibson and 2 from S. Paradis) were analyzed for rare earth and trace elements at CRM by INAA. A sub-group of 55 samples of andesites and basalts were re-analyzed for trace elements using XRF - pressed powder method at the Université de Montréal geochemistry laboratory as a control to the CRM analyses which had been done over a period of 3 years. A further subset of 11 of the 55 andesites and basalts were analyzed at the Université de Montréal by ICP-MS solution method. Dissolution, using HF-HNO₃-

HClO₄ in a closed teflon Savillex[®] beaker, was performed according to the method described in Lahaye et al. (1995). The ICP-MS data replaces the XRF data for the 11 samples.

In the Rouyn-Pelletier sub-group, 18 samples were analyzed for major elements at X-Ray Assay Laboratories using XRF-fusion method. Of these, 11 were retained as unaltered and analyzed for trace elements by XRF-pressed powder method at McGill University and for rare earth and trace elements by ICP-MS solution at the Université de Montréal.

Of the 133 samples analyzed for major, trace and rare earth elements, 109 were retained as the least-altered using the criteria set out by Gélinas et al. (1977). Most rejected analyses had analytical totals less than 99.00% or greater than 101.00%, contained more than 3.8% Loss On Ignition, or had corundum, wollastonite or nepheline as a normative mineral. To the "unaltered" analyses were added 13 from (Verpaelst, 1985) for a total of 122 analyses used in this study. Table 5-I gives representative analyses of the rock types from the three sub-groups of the Blake River Group.

5.5 Geochemistry

Historically, the eastern part of the Blake River Group was considered to consist of mafic rocks of both tholeiitic and calc-alkalic affinities. The calc-alkalic andesites of the Blake River Group exhibit the low Fe-enrichment characteristic of modern calc-alkalic rocks (Irvine and Baragar, 1971), and the Σ REE contents of oceanic andesites (Cullers and Graf, 1984: Table 8.1). However, although some flows contain abundant plagioclase phenocrysts as is common in modern calc-alkalic andesites (Wilson, 1989: Chapter 6 (6.10) - Table 6.25), most do not. The rocks previously designated as calc-alkalic will, therefore, be referred to here as LREE-enriched andesites.

Table 5-I: Selected analyses from the Blake River Group in Québec

SUBGROUP	SAMPLE	AFFINITY	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	TOTAL
Misema	SP-0650A-89	Th	56.15	1.40	15.71	10.47	0.20	4.17	7.01	3.54	1.20	0.15	100.00
	SP-0651A-89	Th	55.91	1.58	16.11	8.03	0.16	3.27	11.49	3.18	0.11	0.15	100.00
	SP-0620A-89	Th	59.32	1.71	14.88	11.03	0.18	2.46	6.74	3.22	0.20	0.27	100.00
	SP-2653A-89	Th	55.68	1.41	15.23	12.14	0.23	4.29	7.87	2.72	0.29	0.14	100.00
	SP-0763A-89	E	54.37	1.17	16.78	8.32	0.20	5.58	7.14	3.94	2.33	0.19	100.00
	SP-2666A-89	E	53.42	0.94	18.99	9.35	0.14	4.67	9.06	2.95	0.33	0.15	100.00
	SP-1661A-89	E	52.56	1.09	16.44	11.24	0.23	6.34	8.36	2.91	0.63	0.19	100.00
	SP-1711A-89	E	58.60	1.45	15.70	9.12	0.14	3.48	6.51	3.81	1.02	0.17	100.00
	SP-0692B-89	Tr	53.53	1.06	16.88	10.40	0.15	5.53	8.37	3.39	0.58	0.11	100.00
	SP-0662A-89	Tr	57.29	1.38	15.75	11.19	0.19	3.76	5.79	3.75	0.45	0.46	100.00
	SP-1735B-89	Tr	57.85	1.57	15.81	9.49	0.17	3.95	7.16	3.51	0.23	0.24	100.00
	SP-0784A-89	Rhy	73.41	0.53	11.86	6.06	0.11	0.88	2.20	4.57	0.29	0.08	100.00
	SP-1747A-89	Rhy	77.44	0.08	12.53	1.64	0.04	0.33	1.46	4.76	1.71	0.01	100.00
	SP-0635A-89	SRhy	73.93	0.79	11.65	4.45	0.07	0.62	3.94	2.79	1.63	0.12	100.00
SP-0634A-89	SRhy	68.73	0.70	14.15	5.96	0.08	1.88	5.13	2.56	0.71	0.09	100.00	
Noranda	SP-1030D-87	Th	48.99	0.89	15.51	11.13	0.18	8.96	11.33	1.86	1.07	0.07	100.00
	SP-0159A-87	Th-s,b	49.71	1.13	15.52	13.90	0.25	6.50	9.44	3.24	0.13	0.18	100.00
	SP-1391B-88	Th	52.75	1.91	15.10	14.07	0.27	4.93	6.20	3.48	1.05	0.25	100.00
	SP-0191B-87	Th	53.36	1.16	15.20	13.86	0.22	5.71	6.39	3.93	0.01	0.18	100.00
	SP-1316A-88	Th	58.97	1.48	15.17	10.80	0.18	3.24	4.62	4.73	0.59	0.22	100.00
	SP-0453C-88	Tr-s	52.77	0.83	16.63	9.65	0.16	7.75	9.76	2.14	0.21	0.10	100.00
	SP-1103-87	Tr	56.28	1.03	16.81	7.80	0.16	5.09	9.04	3.54	0.11	0.14	100.00
	SP-2020-87	Tr-e	54.04	1.29	16.62	10.91	0.21	5.09	6.32	4.52	0.57	0.43	100.00
	SP-1449A-88	Tr	55.47	1.76	15.41	12.53	0.17	4.37	6.14	3.53	0.42	0.20	100.00
	SP-0175A-87	E-s,c,b	54.91	0.98	17.11	9.42	0.18	4.94	6.31	5.11	0.89	0.14	100.00
	SP-1099B-87	E	55.57	0.70	16.77	7.66	0.12	5.86	10.10	2.57	0.57	0.08	100.00
	SP-0250B-87	E	54.62	1.15	17.86	9.76	0.14	5.51	5.62	4.88	0.30	0.15	100.00
	SP-1311B-88	E	54.82	1.40	15.50	10.23	0.19	4.98	6.74	4.77	1.19	0.18	100.00
	SP-1320A-88	Rhy-c	74.88	0.39	12.51	3.62	0.05	0.63	2.63	4.27	0.93	0.08	100.00
	SP-2341A-88	Rhy	75.09	0.65	11.45	5.42	0.12	0.94	1.37	3.86	0.94	0.17	100.00
	SP-0192A-87	Rhy	74.36	0.20	13.30	3.86	0.07	0.50	1.36	5.73	0.60	0.02	100.00
	SP-1030C-87	Rhy	74.30	0.39	13.29	3.98	0.08	0.73	1.47	3.20	2.50	0.06	100.00
	SP-1464-88	Rhy	78.83	0.13	11.79	1.46	0.03	0.25	0.71	4.72	2.09	0.00	100.00
	SP-0303B-88	SRhy	74.50	1.00	11.47	3.55	0.08	0.87	4.30	2.73	1.34	0.15	100.00
	SP-1101-87	SRhy	72.55	1.11	11.34	5.90	0.10	0.99	3.57	2.56	1.70	0.18	100.00
Rouyn - Pelletier	SPR-6.1	Th-S-s	48.05	0.72	16.56	11.65	0.18	8.76	11.96	1.66	0.39	0.07	100.00
	SPR-10.1	Th-S	48.73	1.30	13.65	15.26	0.26	5.99	13.44	1.14	0.11	0.13	100.01
	SPR-5.1	Th-S	52.19	1.44	13.57	14.44	0.24	5.44	11.09	1.42	0.02	0.17	100.00
	SPR-4.1	Th-S	52.46	0.97	14.14	12.50	0.20	6.96	10.65	1.96	0.09	0.09	100.02
	SPR-9.1	Th-S	58.91	1.00	13.38	9.84	0.19	5.54	7.40	3.77	0.18	0.11	99.98
	Z-4001	SRhy-S	75.57	0.76	13.29	4.44	0.00	1.16	1.32	0.29	3.04	0.13	100.00
	SPP-8.1	Th-N	47.43	0.72	16.39	11.65	0.19	8.64	13.61	1.32	0.00	0.07	100.02
	SPP-5.1	Th-N	48.22	0.72	15.87	12.03	0.19	9.14	12.45	1.27	0.04	0.07	100.00
	SPP-6.1	Th-N	46.51	0.76	16.83	12.13	0.20	8.33	13.70	1.46	0.00	0.07	99.99
	SPP-4.1	Th-N	48.54	0.75	16.46	12.24	0.17	7.38	12.14	2.21	0.03	0.07	99.99
	SPP-11.1	E-N	56.03	0.82	19.42	7.25	0.10	3.57	9.22	3.07	0.38	0.13	99.99

Th = tholeiitic, E = LREE-enriched, Tr = transitional, Rhy = rhyolite,
SRhy = spherulitic rhyolite

- s = starting composition, c = contaminant composition, b = binary mixing endmember,
e = example in other tables, -S,N = South or North Rouyn-Pelletier

Table 5-I (cont'd)

SUBGROUP	SAMPLE	AFFINITY	Ni	V	Sc	Th	Nb	La	Ce	Sr	Nd	Zr	Sm	Eu	Tb	Y	Yb	Lu
Misema	SP-0650A-89	Th	64	223	36	0.44	4.4	4.2	11	213	8	63	2.2	0.9	0.4	18	1.7	0.29
	SP-0651A-89	Th	10	450	41	0.62	5	6.5	16	142	9	84	3	1.1	0.6	24	2.3	0.42
	SP-0620A-89	Th	5	169	33	0.91	7.4	10	25	178	14	125	4.4	1.5	0.8	32	3	0.52
	SP-2653A-89	Th	21	318	41	0.95	5.6	9	22	242	14	85	3.7	1.2	0.8	28	3	0.49
	SP-0763A-89	E	68	186	25	0.98	5.2	11	30	232	16	108	3.5	1.1	0.5	18	1.1	0.2
	SP-2666A-89	E	47	224	27	1.8	6.1	14	29	116	15	113	3.4	1.3	0.6	20	1.5	0.29
	SP-1661A-89	E	287	275	26	0.95	6.4	12	31	346	18	108	3.7	1.6	0.6	20	1.8	0.27
	SP-1711A-89	E	21	303	27	1.9	8.8	16	38	123	24	158	5	1.3	1	32	3.3	0.52
	SP-0692B-89	Tr	69	263	30	1.4	6.7	9.5	22	243	12	102	3.3	1	0.6	24	2.2	0.39
	SP-0662A-89	Tr	41	106	29	1.1	7.2	11	28	259	20	118	4.7	1.6	0.8	29	2.7	0.46
	SP-1735B-89	Tr	26	194	34	1.1	7.8	11	26	91	18	121	4.2	1.4	0.9	28	3	0.45
	SP-0784A-89	Rhy	1	0	17	2	10	18	46	96	31	230	8.4	2.2	1.7	70	7	1.2
	SP-1747A-89	Rhy	2	5	5	4.7	13	30	72	49	45	150	12	1.7	2.4	110	10	1.7
	SP-0635A-89	SRhy	6	35	17	2.5	21	30	79	130	58	430	18	4	4.1	170	17	2.8
	SP-0634A-89	SRhy	6	115	17	2.4	20	30	78	130	63	450	19	4.3	4.3	190	18	3
Noranda	SP-1030D-87	Th	150	253	38	0	1.72	2.35	6.16	143	4.85	44	1.53	0.66	0.32	14.76	1.45	0.22
	SP-0159A-87	Th-s,b	42	310	47	0.43	5.5	6.2	14	153	11	73	2.7	1	0.71	25	2.5	0.4
	SP-1391B-88	Th	2.6	373	43	0.93	5.3	8.8	19	135	10	62	3.1	1.1	0.6	22	2.1	0.34
	SP-0191B-87	Th	40	316	47	0.38	6.4	6.2	15	93	9.8	68	2.7	0.99	0.59	24	3	0.41
	SP-1316A-88	Th	9	261	29	0.99	8.4	10	25	100	14	134	4.5	1.3	0.9	35	3.4	0.52
	SP-0453C-88	Tr-s	240	224	23	0.83	4.5	6.3	14	154	6	78	2.2	0.7	0.3	16	1.6	0.24
	SP-1103-87	Tr	42	205	27	1	4.8	8.3	19	79	11	93	2.6	0.92	0.68	19	1.8	0.28
	SP-2020-87	Tr-e	63	154	34	1.15	3.79	10.21	24.81	169.3	15.26	104	3.73	1.34	0.61	23.65	2.16	0.32
	SP-1449A-88	Tr	15	467	37	0.85	6.1	9.5	21	156	11	92	3.3	1.1	0.6	24	2.2	0.36
	SP-0175A-87	E-s,c,b	73	223	25	1.6	6.4	11	27	156	15	117	2.9	1	0.57	17	1.6	0.25
	SP-1099B-87	E	86	181	26	1.1	5.1	7.5	17	194	9.4	90	2.1	0.75	0.44	17	1.4	0.2
	SP-0250B-87	E	106	214	26	0.62	7	11	28	192	17	123	3.5	1.2	1.4	21	1.9	0.29
	SP-1311B-88	E	51	244	24	0.88	7.5	11	25	349	15	132	3.8	1.2	0.6	22	1.9	0.3
	SP-1320A-88	Rhy-c	2	28	9.1	2.4	12	18	42	81	24	260	6	1.3	1.1	34	4.4	0.72
	SP-2341A-88	Rhy	2	17	20	0.95	12	11	25	61	15	130	4.3	0.8	0.8	39	3.2	0.53
	SP-0192A-87	Rhy	1	2	12	3.3	21	25	57	83	35	290	7.4	1.9	1.6	55	6.2	0.89
	SP-1030C-87	Rhy	2	22	7.3	4.8	23	31	73	29	44	280	11	1.5	2	80	8.6	1.2
	SP-1464-88	Rhy	2	0	4.7	4.3	23	33	79	46	46	350	13	1.5	2.1	86	8.9	1.4
	SP-0303B-88	SRhy	3	38	18	3.4	28	34	86	37	60	450	19	3.6	3.8	150	16	2.5
	SP-1101-87	SRhy	3	56	24	3.1	27	31	85	76	65	420	18	3.8	4.5	160	17	2.4
Rouyn - Pelletier	SPR-6.1	Th-S-s				0.11	1.67	1.74	4.73	126.4	4.04	31.4	1.32	0.57	0.29	13.11	1.27	0.18
	SPR-10.1	Th-S				0.22	2.14	3.39	9.27	131.5	7.81	53.2	2.47	0.97	0.51	21.64	2.07	0.3
	SPR-5.1	Th-S				0.51	4.15	6.16	16.04	146.2	12.02	98	3.67	1.13	0.75	34.81	3.4	0.48
	SPR-4.1	Th-S				0.48	3.41	5.41	14.96	104.9	12.13	102	3.92	1.17	0.87	38.89	3.86	0.54
	SPR-9.1	Th-S				0.9	6.49	9.37	26.38	89.41	20.58	182.7	6.62	1.38	1.38	64.24	6.58	0.93
	Z-4001	SRhy-S	7		17	3.4		35	92	445	63		21	3.5	4		17	2.7
	SPP-8.1	Th-N				0.1	1.42	1.77	4.78	123.3	4	31.2	1.29	0.51	0.27	12.65	1.24	0.18
	SPP-5.1	Th-N				0.11	1.69	1.89	5.02	116	4.18	31.9	1.38	0.6	0.3	13.27	1.27	0.19
	SPP-6.1	Th-N				0.11	1.53	1.84	5.07	122.3	4.25	32.7	1.39	0.51	0.29	13.34	1.32	0.19
	SPP-4.1	Th-N				0.11	1.72	1.82	4.98	131.7	4.23	32.2	1.4	0.62	0.31	13.48	1.34	0.19
	SPP-11.1	E-N				0.86	4.19	7.83	17.76	194.2	9.53	86.8	2.25	0.83	0.37	13.13	1.18	0.16

The Blake River Group has been interpreted in the past, on the basis of its andesite-rhyolite association and geochemical affinities, as being the product of island arc volcanism (Dimroth et al., 1982), continental rifting (Gélinas and Ludden, 1984), mantle plume volcanism (Capdevila et al., 1982), mantle plume - rift volcanism (Verpaelst, 1985), and more recently, rifting in an island arc environment (Lafleche et al., 1992a and 1992b; Ujike and Goodwin, 1987; Ludden et al., 1986). Continental environments have not been included here as possible analogues, because the Σ REE contents of the Blake River Group andesites are lower than those of continental andesites (Table 5-II; Cullers and Graf, 1984), and the inherited zircons in the rhyolites are of the same age as the older rocks of the group and not of the underlying groups (Vaillancourt, 1996). Although some oceanic islands do have rhyolites (Geist et al., 1994; Geist et al., 1995), it is not a common lithology, and the geochemical affinities common to oceanic islands, alkalic and tholeiitic, are not those observed in the Blake River Group. Therefore, mantle plume related volcanism was also eliminated as an analogue. Recent examples of arc, back-arc and mantle plume - ridge interaction environments will be compared to the eastern Blake River Group geochemical database, taking into account the lithological associations, and the rifting in an island arc environment model will be examined in detail.

Table 5-II: Andesites of the Blake River Group compared to compiled data on andesites from Cullers and Graf (1984:Table 8.1):

Andesites		Tholeiitic	Transitional	LREE-enriched	Oceanic	Continental
Number of samples (<i>n</i>)		17	13	20	-	-
Σ REE (ppm)	range	39.92-77.47	44.63-78.88	39.91-92.77	25-178	67-341
	average	62.25	61.02	62.97	-	-

5.5.1 Geochemistry of the andesites and basalts

The mafic rocks of the eastern part of the Blake River Group exhibit two main geochemical affinities: tholeiitic and a type characterized by LREE and LILE enrichment with depletion in HFSE (Figures 5.3 and 5.4). A third type of mafic rock appears

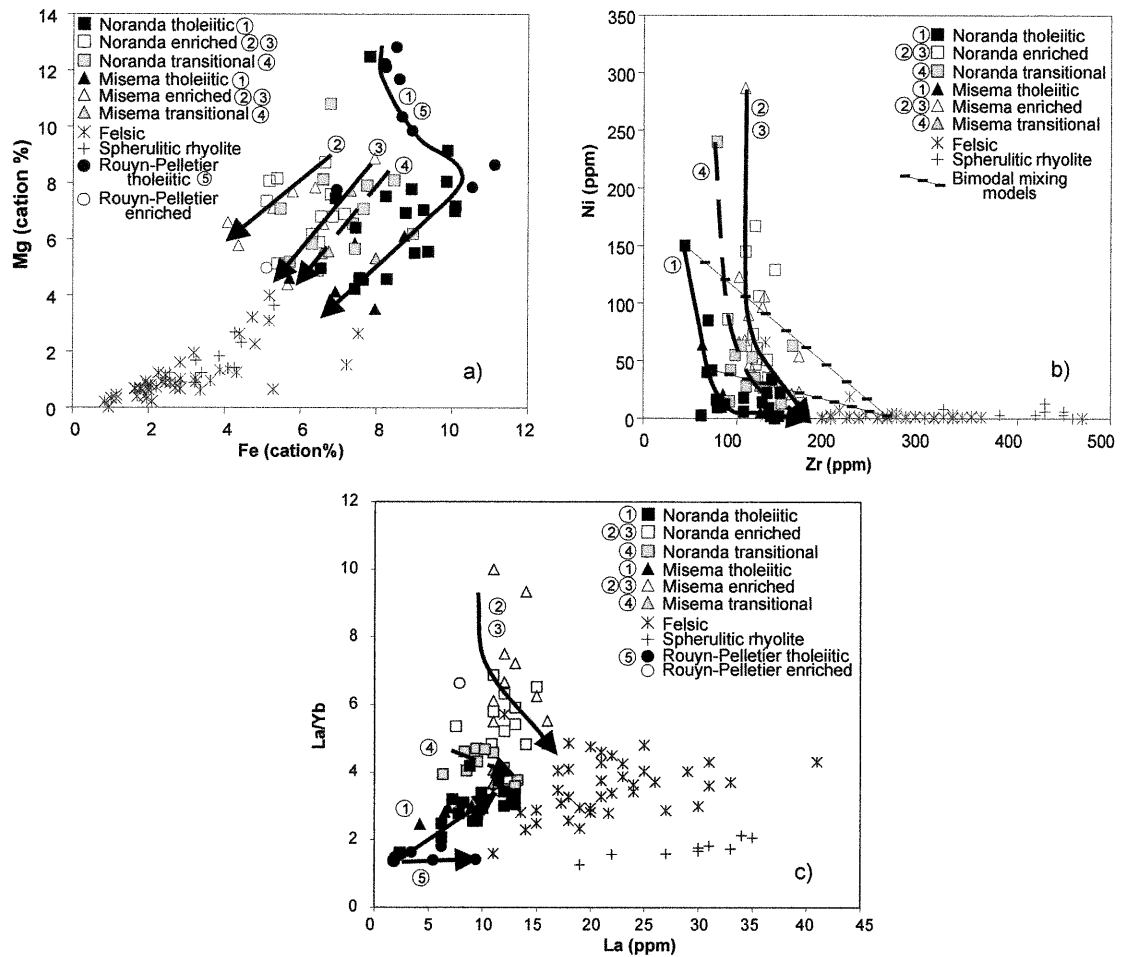
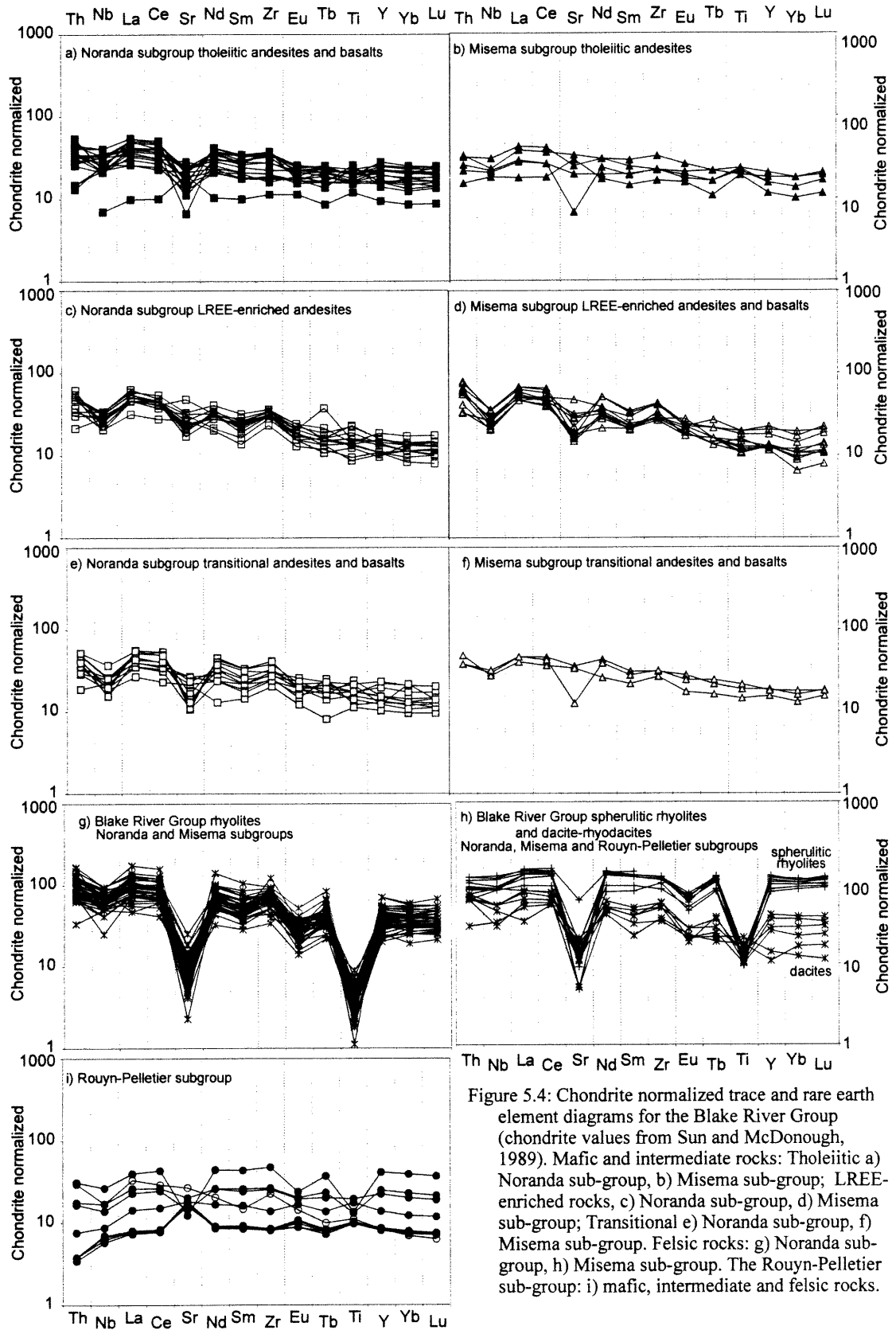


Figure 5.3: Variation diagrams showing the three mafic - intermediate rock affinities of the eastern Blake River Group: tholeiitic, LREE-enriched and transitional. The trend lines on the diagrams are empirical fits to the data: ①- Noranda and Misema tholeiites; ②- first trend for the Noranda and Misema LREE-enriched andesites; ③- second trend for the Noranda and Misema LREE-enriched andesites; ④- Noranda and Misema transitional andesites; ⑤- Rouyn-Pelletier tholeiites.

a) Mg versus Fe cation % diagram for the Blake River Group. Tholeiitic rocks (① and ⑤) follow an Fe enrichment trend; LREE-enriched lavas (② and ③) show no enrichment; transitional lavas (④) are intermediate between the tholeiitic and LREE-enriched lavas. **b)** Ni versus Zr (ppm) diagram for the Noranda and Misema sub-groups. Bimodal mixing models (BINMIX) for tholeiites with rhyolite marked at 10% mixing increments. **c)** La/Yb versus La diagram for the Blake River Group. Low initial La/Yb ratios for the tholeiitic lavas of the Noranda and Misema subgroups (①) increase with increasing La values. High initial La/Yb ratios for the LREE-enriched lavas in these subgroups (② and ③) decrease with increasing La values. The transitional lavas (④) are intermediate between the tholeiites and LREE-enriched lavas. The tholeiitic basalts of the Rouyn-Pelletier (⑤) show no increase in La/Yb ratios with increasing La.



transitional between the two end-members and the interpretation that it was formed by mixing of the tholeiitic and LREE enriched magmas will be investigated. In fact, Laflèche et al. (1992a and 1992b) showed that even within the tholeiitic rocks the differentiation trends could not be explained by fractional crystallization alone, but that the tholeiites had assimilated LREE-enriched magma. The recognition of inherited zircons in the Noranda and Misema sub-group rhyolites by Vaillancourt (1996) suggests that the mafic rocks could also be affected by crustal contamination. The degree and importance of the contamination will be discussed below. As andesites are dominant in the Noranda and Misema sub-groups, and basalts are dominant in the Rouyn-Pelletier, these terms will be used throughout the text and will include the subordinate mafic-intermediate rock types.

The Noranda and Misema sub-groups exhibit similar andesite types, the difference between the two sub-groups being the ratio of andesites to rhyolites. In general, the tholeiitic andesites in both areas are characterized by Fe enrichment trends with increasing crystallization (Figure 5.3a), and by lower Ni and Zr contents than the LREE-enriched andesites (Figure 5.3b; Table 5-I). The LREE-enriched andesites follow two trends on the Mg versus Fe cation diagram (Figure 5.3a - trends ② and ③), which cannot represent binary mixing trends between the tholeiitic magmas and the rhyolites, because the data does not follow binary mixing trends on the Ni versus Zr diagram (Figure 5.3b). La/Yb ratios increase with increasing La contents in the tholeiitic andesites, whereas the ratio decreases with increasing La in the LREE-enriched andesites (Figure 5.3c; Table 5-III). The tholeiitic andesites have negligible to no negative Nb anomalies (Figure 5.4a and b); the LREE-enriched andesites exhibit small negative Nb anomalies (Figure 5.4c and d). The transitional andesites are intermediate between the two (Figure 5.4e and f). The Rouyn-Pelletier sub-group tholeiitic basalts have no Nb anomalies, but the single analysis of a LREE-enriched andesite has a negative anomaly similar to the LREE-enriched andesites of the Noranda and Misema sub-groups (Figure 5.4i). In general, these tholeiites follow the same trends as the Noranda and Misema tholeiites (Figure 5.3a and b), but their La/Yb ratios are lower and remain constant with differentiation (Figure 5.3c - trend ⑤ and Figure 5.4i)

Table 5-III: Trace and rare earth element values, ratios and chondrite normalized values and ratios for selected analyses from the eastern Blake River Group

SUBGROUP	SAMPLE	AFFINITY ¹	Zr	La	Yb	Zr/Y	La/Yb	Zr ²	La _n	Yb _n	Zr/Y _n	La/Yb _n	Nb/La _n	Nb/Th _n	ΣREE
MISEMA	SP-0650A-89	Th	63	4.2	1.7	3.50	2.47	16.28	17.72	10.00	1.42	1.77	1.01	1.18	28.99
	SP-0651A-89	Th	84	6.5	2.3	3.50	2.83	21.71	27.43	13.53	1.42	2.03	0.74	0.95	39.32
	SP-0620A-89	Th	125	10	3	3.91	3.33	32.30	42.19	17.65	1.58	2.39	0.71	0.96	59.22
	SP-2653A-89	Th	85	9	3	3.04	3.00	21.96	37.97	17.65	1.23	2.15	0.60	0.69	54.79
	SP-0763A-89	E	108	11	1.1	6.00	10.00	27.91	46.41	6.47	2.43	7.17	0.46	0.63	63.40
	SP-2666A-89	E	113	14	1.5	5.65	9.33	29.20	59.07	8.82	2.29	6.69	0.42	0.40	65.09
	SP-1661A-89	E	108	12	1.8	5.40	6.67	27.91	50.63	10.59	2.19	4.78	0.51	0.79	69.27
	SP-1711A-89	E	158	16	3.3	4.94	4.85	40.83	67.51	19.41	2.00	3.48	0.53	0.55	89.62
	SP-0692B-89	Tr	102	9.5	2.2	4.25	4.32	26.36	40.08	12.94	1.72	3.10	0.68	0.56	51.39
	SP-0662A-89	Tr	118	11	2.7	4.07	4.07	30.49	46.41	15.88	1.65	2.92	0.63	0.77	69.76
	SP-1735B-89	Tr	121	11	3	4.32	3.67	31.27	46.41	17.65	1.75	2.63	0.68	0.84	65.55
	SP-0784A-89	Rhy	230	18	7	3.29	2.57	59.43	75.95	41.18	1.33	1.84	0.54	0.59	116.20
	SP-1747A-89	Rhy	150	30	10	1.36	3.00	38.76	126.58	58.82	0.55	2.15	0.42	0.33	176.30
	SP-0635A-89	SRhy	430	30	17	2.53	1.76	111.11	126.58	100.00	1.03	1.27	0.67	0.99	215.40
	SP-0634A-89	SRhy	450	30	18	2.37	1.67	116.28	126.58	105.88	0.96	1.20	0.64	0.98	221.40
NORANDA	SP-1030D-87	Th	44	2.35	1.45	2.98	1.62	11.37	9.92	8.53	1.21	1.16	0.71		18.27
	SP-0159A-87	Th-s,b	73	6.2	2.5	2.92	2.48	18.86	26.16	14.71	1.18	1.78	0.85	1.51	39.17
	SP-1391B-88	Th	62	8.8	2.1	2.82	4.19	16.02	37.13	12.35	1.14	3.01	0.58	0.67	45.04
	SP-0191B-87	Th	68	6.2	3	2.83	2.07	17.57	26.16	17.65	1.15	1.48	0.99	1.99	39.41
	SP-1316A-88	Th	134	10	3.4	3.83	2.94	34.63	42.19	20.00	1.55	2.11	0.81	1.00	59.62
	SP-0453C-88	Tr-s	78	6.3	1.6	4.88	3.94	20.16	26.58	9.41	1.98	2.82	0.69	0.64	31.64
	SP-1103-87	Tr	93	8.3	1.8	4.89	4.61	24.03	35.02	10.59	1.99	3.31	0.56	0.57	45.16
	SP-2020-87	Tr-e	104	10.2	2.18	4.40	4.68	26.87	43.08	12.82	1.78	3.36	0.36	0.39	59.61
	SP-1449A-88	Tr	92	9.5	2.2	3.83	4.32	23.77	40.08	12.94	1.56	3.10	0.62	0.85	49.06
	SP-0175A-87	E-s,c,b	117	11	1.6	6.88	6.88	30.23	46.41	9.41	2.79	4.93	0.56	0.47	59.83
	SP-1099B-87	E	90	7.5	1.4	5.29	5.36	23.26	31.65	8.24	2.15	3.84	0.66	0.55	39.16
	SP-0250B-87	E	123	11	1.9	5.86	5.79	31.78	46.41	11.18	2.38	4.15	0.61	1.33	65.00
	SP-1311B-88	E	132	11	1.9	6.00	5.79	34.11	46.41	11.18	2.43	4.15	0.66	1.00	58.80
	SP-1320A-88	Rhy-c	260	18	4.4	7.65	4.09	67.18	75.95	25.88	3.10	2.93	0.64	0.59	97.52
	SP-2341A-88	Rhy	130	11	3.2	3.33	3.44	33.59	46.41	18.82	1.35	2.47	1.05	1.49	60.63
	SP-0192A-87	Rhy	290	25	6.2	5.27	4.03	74.94	105.49	36.47	2.14	2.89	0.81	0.75	136.29
	SP-1030C-87	Rhy	280	31	8.6	3.50	3.60	72.35	130.80	50.59	1.42	2.59	0.71	0.56	173.90
SP-1464-88	Rhy	350	33	8.9	4.07	3.71	90.44	139.24	52.35	1.65	2.66	0.67	0.63	185.90	
SP-0303B-88	SRhy	450	34	16	3.00	2.13	116.28	143.46	94.12	1.22	1.52	0.79	0.97	227.30	
SP-1101-87	SRhy	420	31	17	2.63	1.82	108.53	130.80	100.00	1.06	1.31	0.84	1.03	229.80	
ROUYN-PELLETIER	SPR-6.1	Th-S-s	31.4	1.74	1.27	2.40	1.37	8.11	7.34	7.47	0.97	0.98	0.92	1.79	14.34
	SPR-10.1	Th-S	53.2	3.39	2.07	2.46	1.64	13.75	14.30	12.18	1.00	1.17	0.61	1.15	27.12
	SPR-5.1	Th-S	98	6.16	3.4	2.82	1.81	25.32	25.99	20.00	1.14	1.30	0.65	0.96	44.23
	SPR-4.1	Th-S	102	5.41	3.86	2.62	1.40	26.36	22.83	22.71	1.06	1.01	0.61	0.84	43.47
	SPR-9.1	Th-S	182.7	9.37	6.58	2.84	1.42	47.21	39.54	38.71	1.15	1.02	0.67	0.85	74.32
	Z-4001	SRhy-S	149	35	17	21.29	2.06	38.50	147.68	100.00	8.64	1.48	0.14	0.18	240.80
	SPP-8.1	Th-N	31.2	1.77	1.24	2.47	1.43	8.06	7.47	7.29	1.00	1.02	0.77	1.67	14.25
	SPP-5.1	Th-N	31.9	1.89	1.27	2.40	1.49	8.24	7.97	7.47	0.98	1.07	0.86	1.81	15.04
	SPP-6.1	Th-N	32.7	1.84	1.32	2.45	1.39	8.45	7.76	7.76	0.99	1.00	0.80	1.64	15.08
	SPP-4.1	Th-N	32.2	1.82	1.34	2.39	1.36	8.32	7.68	7.88	0.97	0.97	0.91	1.84	15.10
	SPP-11.1	E-N	86.8	7.83	1.18	6.61	6.64	22.43	33.04	6.94	2.68	4.76	0.52	0.57	40.10

¹ See Table 5.1 for explanations

² n = chondrite normalized

Higher Ni and lower Yb contents of the LREE-enriched andesites (Table 5-I) suggests that they are more primitive than the tholeiitic andesites, and cannot, therefore, be the result solely of binary mixing between the tholeiitic andesites and the rhyolites (Figure 5.3b). The evolution of the andesites is extremely complex, involving mixing between the two end-member affinities as well as assimilation of the older Blake River Group crust. Laflèche et al. (1992a and 1992b) showed that the variations in tholeiitic lavas can be explained by mixing with the LREE-enriched magmas. Here, the effects of assimilating, rather than binary mixing, a rhyolite during tholeiite crystallization will be examined, as will the effect of such assimilation on LREE-enriched and transitional magma crystallization. The Noranda sub-group database was used to model the andesite-rhyolite sequence; two models for each mafic-intermediate affinity were calculated: 1- fractional crystallization; 2- fractional crystallization with rhyolite assimilation. In modelling the Rouyn-Pelletier tholeiites, a third model used a LREE-enriched andesite from the Noranda sub-group as a contaminant. A model for the formation of the transitional lavas by mixing a tholeiitic basalt and an LREE-enriched andesite will also be presented. All modelling was done using petrogenetic modelling programs by D. Francis, McGill University (XSTALN: crystallization and contamination models; BINMIX: magma mixing models).

As in the eastern extremity of the Blake River Group (Laflèche et al., 1992a and 1992b), more than one group of tholeiitic lavas was recognized in the Noranda sub-group. The model was undertaken to "best fit" the data in general. The model uses the second most primitive analysis of the database as the starting composition (Tables 5-I and 5-III: SP-0159A-89). The most primitive sample (Tables 5-I and 5-III: SP-1030D-87) was not used as the starting composition as its Th content was below detection by INAA. A single rhyolite analysis from the Noranda sub-group was used as the contaminant (Tables 5-I and 5-III: SP-1320A-88). The parameters and results of the crystallization model are given in Tables 5-IV and 5-V. Crystallization without assimilation emulates the major element trends (Figure 5.5) and some trace element trends (Figure 5.6a), but crystallization with rhyolite assimilation fits both major and trace element trends (Figures 5.5, 5.6 and 5.7). Variations in the analyses may be due in part to slight alteration. Also,

Table 5-IV: Parameters and results of the crystallization model of the tholeiitic andesites of the Noranda sub-group (XSTALN; program by D. Francis, McGill University, Montréal, Canada)
(Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

LEGEND	0159A	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4	STEP 5	STEP 6	STEP 7	Totals
SAMPLE	Noranda Thol.	Liquid 1-4	Liquid 1-7	Liquid 1-20	Liquid 2-5	Liquid 2-20	Liquid 2-34	Liquid 2-53	
XST/STEP		7.76%	5.42%	20.05%	6.41%	15.78%	10.98%	10.71%	77.12%
LIQ LEFT	100.00%	92.24%	86.81%	66.76%	60.35%	44.57%	33.59%	22.88%	
Ol		3.88%	1.90%	2.01%	0.51%	0.79%	0.22%		9.31%
Cpx			0.81%	8.02%	3.21%	7.10%	4.94%	4.07%	28.15%
Opx			0.27%	1.00%					1.27%
Plag		3.88%	2.44%	6.02%	2.05%	5.84%	4.39%	6.10%	30.72%
Mt				3.01%	0.45%	1.42%	0.99%	0.21%	6.08%
Ilm					0.19%	0.63%	0.44%	0.32%	1.58%
SiO ₂	49.72	50.83	51.09	54	54.94	59.86	65.4	71.41	
TiO ₂	1.13	1.24	1.31	1.63	1.58	1.27	0.88	0.42	
Al ₂ O ₃	15.52	15.71	15.75	16.49	16.29	15.51	14.74	13.47	
Fe ₂ O ₃	13.9	14.16	14.33	11.71	11.32	9.45	6.98	4.88	
MnO	0.25	0.26	0.26	0.32	0.34	0.42	0.52	0.75	
MgO	6.5	5.55	4.9	3.7	3.27	2.48	1.77	0.68	
CaO	9.44	9.77	9.77	8.76	7.93	5.44	2.82	0.2	
Na ₂ O	3.24	3.41	3.52	4.2	4.46	5.37	6.29	6.87	
K ₂ O	0.13	0.14	0.15	0.2	0.22	0.29	0.39	0.57	
P ₂ O ₅	0.18	0.2	0.21	0.27	0.3	0.41	0.54	0.79	
LOI	0	0.08	0.13	0.33	0.1	0.33	0.5	0.66	
TOTAL	100.01	101.35	101.42	101.61	100.75	100.83	100.83	100.7	
Ni	42	23.9	15.51	5.12	2.82	0.66	0.21	0.08	
Sr	153	158.7	162.2	187.6	183.5	166	146.7	98.36	
Y	25	27.41	28.95	35.52	34.54	33.53	32.63	33.48	
Zr	73	80.12	84.94	108.1	116.3	148.1	185.4	251.1	
Nb	5.5	6.03	6.41	8.3	9.1	12.21	16.06	23.25	
Th	0.43	0.47	0.5	0.64	0.69	0.92	1.19	1.66	
La	6.2	6.79	7.19	9.25	9.97	12.76	16.04	21.78	
Ce	14	15.33	16.23	20.63	22.27	28.58	36.03	49.27	
Nd	11	12.06	12.77	16.14	17.37	22.13	27.72	37.69	
Sm	2.7	2.96	3.13	3.83	4.04	4.86	5.77	7.41	
Eu	1	1.08	1.12	1.33	1.39	1.6	1.81	2.06	
Tb	0.71	0.78	0.82	1	1.06	1.3	1.57	2.06	
Yb	2.5	2.74	2.89	3.53	3.75	4.64	5.66	7.54	
Lu	0.4	0.44	0.46	0.56	0.6	0.74	0.91	1.22	

Table 5-V: Parameters and results of the crystallization model of the tholeiitic andesites of the Noranda sub-group with a rhyolite contaminant (XSTALN; program by D. Francis, McGill University, Montréal, Canada)

(Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

SAMPLE	0159A	1	2	3	4	5	6	7	Totals	1320A
LEGEND	Thol bas	Liquid 1-4	Liquid 1-7	Liquid 1-14	Liquid 2-6	Liquid 2-14	Liquid 2-24	Liquid 2-36		Rhy contam.
XST/STEP		7.76%	5.42%	11.48%	9.11%	12.14%	15.18%	17.25%	78.35%	
CONT/STEP				0.57%	9.11%	12.14%	15.18%	8.62%	45.63%	
LIQ LEFT	1	92.24%	86.81%	75.90%	75.90%	75.90%	75.90%	67.28%		
Ol		3.88%	1.79%	1.15%	0.91%	0.61%	0.46%		8.79%	
Cpx			0.98%	4.59%	4.55%	6.07%	7.59%	8.62%	32.41%	
Opx			0.27%						0.27%	
Plag		3.88%	2.39%	4.02%	2.73%	3.89%	5.16%	6.90%	28.97%	
Mt				1.72%	0.91%	1.21%	1.37%	1.03%	6.25%	
Ilm						0.36%	0.61%	0.69%	1.66%	
SiO ₂	49.72	50.83	51.07	54.25	58.02	63.58	70.38	77.29		74.88
TiO ₂	1.13	1.24	1.31	1.4	1.4	1.14	0.72	0.24		0.39
Al ₂ O ₃	15.52	15.71	15.76	15.72	15.33	14.39	13.04	11.75		12.51
Fe ₂ O ₃	13.9	14.16	14.34	12.34	10.61	8.28	5.49	2.65		3.62
MnO	0.25	0.26	0.26	0.28	0.28	0.27	0.26	0.29		0.05
MgO	6.5	5.55	4.92	4.14	3.18	2.4	1.64	0.78		0.63
CaO	9.44	9.77	9.74	8.7	7.18	5.18	2.84	0.57		2.63
Na ₂ O	3.24	3.41	3.52	3.88	4.21	4.62	5.02	5.34		4.27
K ₂ O	0.13	0.14	0.15	0.23	0.34	0.49	0.68	0.88		0.93
P ₂ O ₅	0.18	0.2	0.21	0.23	0.24	0.25	0.27	0.31		0.08
LOI	0	0.08	0.13	0.19	0	0	0	0.11		0
TOTAL	100.01	101.35	101.41	101.36	100.79	100.6	100.34	100.21		99.99
Ni	42	23.9	15.72	9.07	3.9	1.62	0.72	0.44		2
Sr	153	158.7	162.3	167.6	155.7	141.1	124.6	108		81
Y	25	27.41	28.92	32.59	31.88	31.19	30.49	29.41		34
Zr	73	80.12	84.91	108.9	136.8	173.1	216.7	264.1		260
Nb	5.5	6.03	6.41	7.73	9.13	11	13.32	16.44		12
Th	0.43	0.47	0.5	0.7	0.98	1.35	1.81	2.3		2.4
La	6.2	6.79	7.19	8.97	10.89	13.4	16.41	19.87		18
Ce	14	15.33	16.23	20.23	24.73	30.63	37.75	45.89		42
Nd	11	12.06	12.77	15.22	17.65	20.83	24.65	29.36		24
Sm	2.7	2.96	3.13	3.68	4.19	4.84	5.6	6.42		6
Eu	1	1.08	1.12	1.24	1.31	1.4	1.5	1.63		1.3
Tb	0.71	0.78	0.82	0.93	1.02	1.13	1.26	1.44		1.1
Yb	2.5	2.74	2.89	3.32	3.7	4.19	4.78	5.52		4.4
Lu	0.4	0.44	0.46	0.53	0.6	0.68	0.78	0.9		0.72

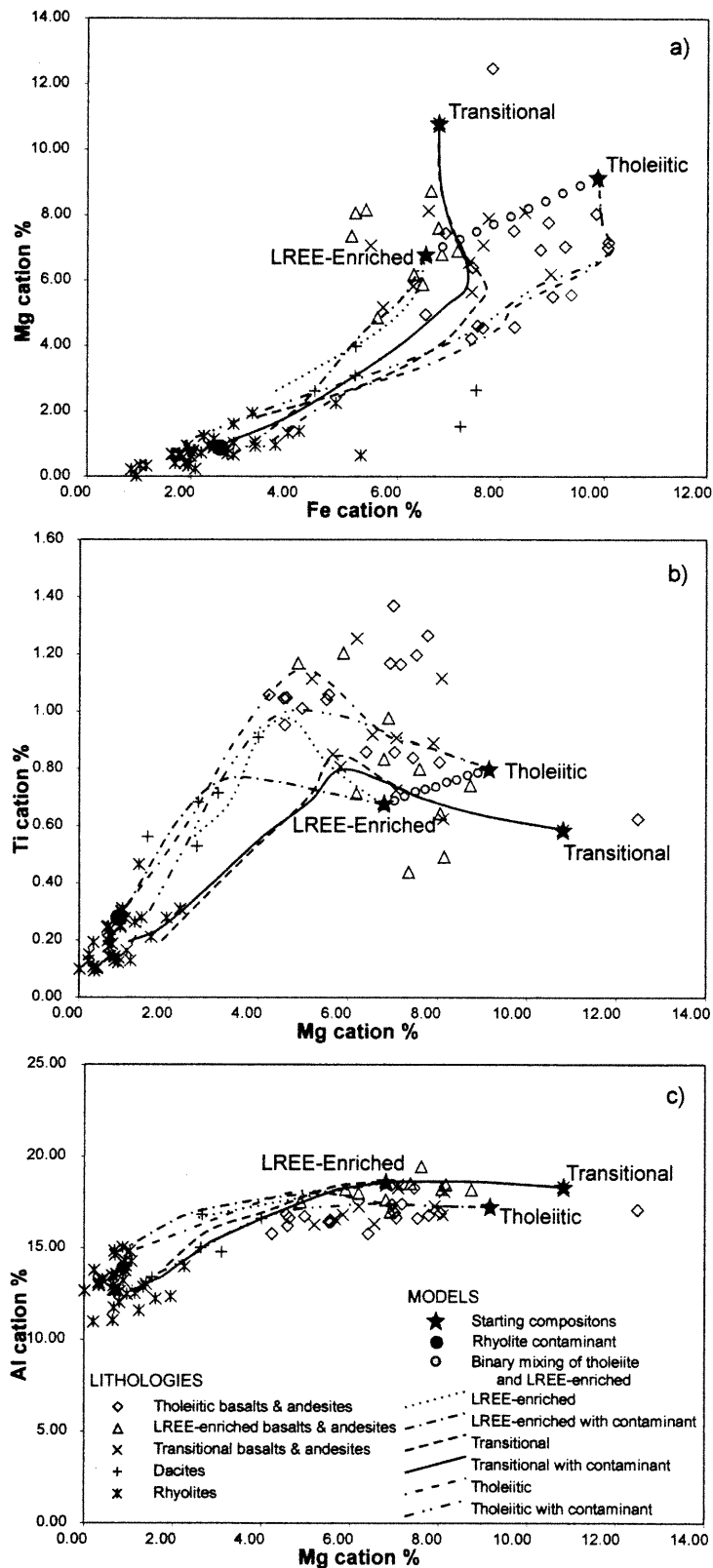


Figure 5.5: Major element variation diagrams for the Noranda sub-group, showing the fractional crystallization model results, with and without rhyolite contamination for the tholeiitic, LREE-enriched and transitional lavas. The results of binary mixing a tholeiitic basalt and a LREE-enriched andesite are also shown. a) Mg versus Si (cation %). b) Mg versus Fe (cation %). c) Ti versus Mg (cation %). d) Al versus Mg (cation %).

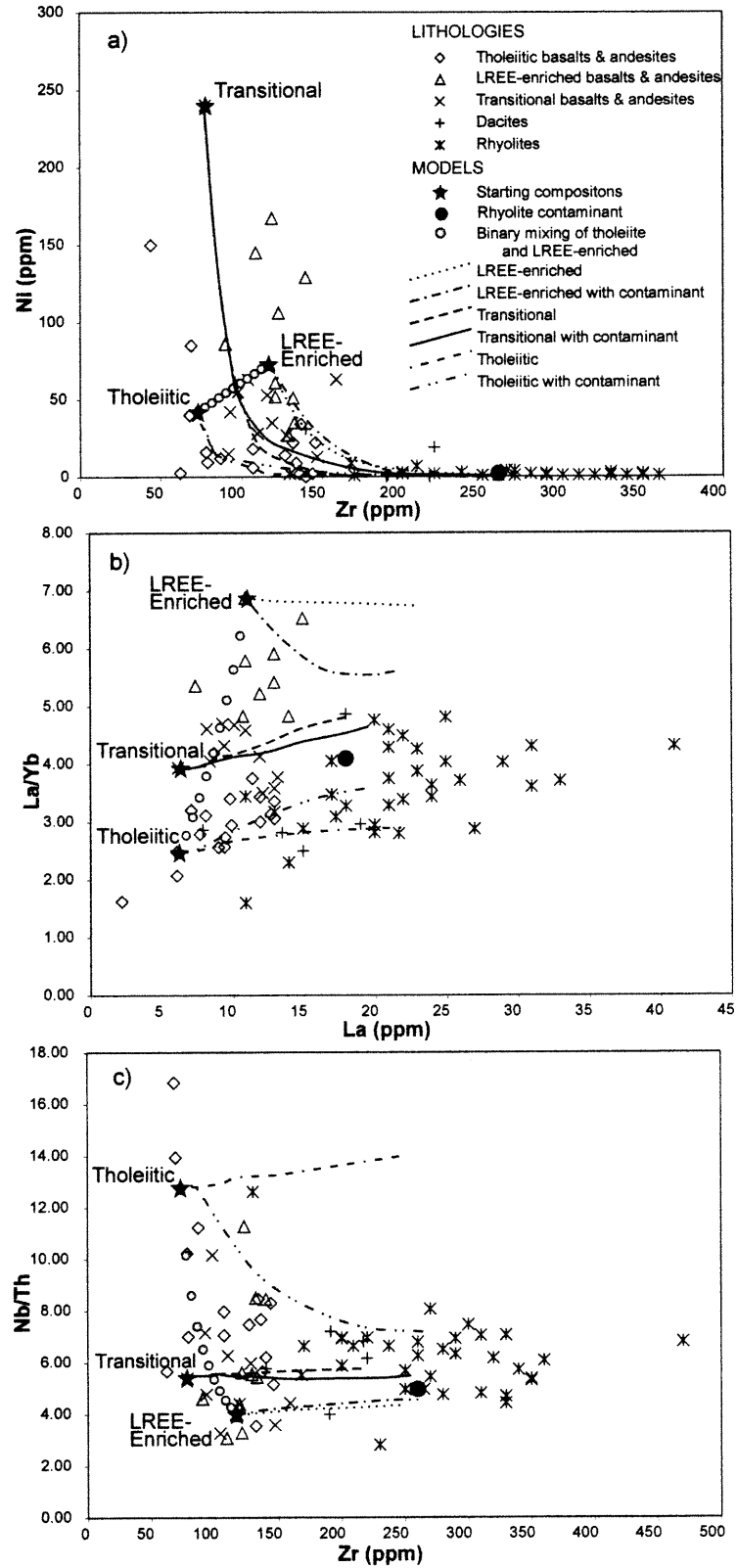


Figure 5.6: Trace and rare earth element diagrams for the Noranda sub-group, showing the fractional crystallization model results, with and without rhyolite contamination for the tholeiitic, LREE-enriched and transitional lavas. The results of binary mixing a tholeiite and LREE-enriched andesite are also shown. a) Ni versus Zr (ppm); b) La/Yb versus La (ppm); c) Nb/Th versus Zr (ppm).

the modelling program invokes a single contaminant (in this case the rhyolite), and the probability that some mixing occurred with the LREE-enriched lavas was not addressed.

The LREE-enriched magmas of the Noranda subgroup exhibit two trends which cannot be related by fractionation (Figure 5.3a - trends ② and ③). The crystallization models were calculated using the most mafic sample of the largest LREE-enriched group as the starting composition (Tables 5-I and 5-III: SP-0175A-87). Neither the crystallization nor the crystallization with assimilation models returned results consistent with the actual trends of the analyses (Figures 5.5, 5.6 and 5.7). Crystallization alone (Table 5-VI) fits the major element trends (Figure 5.5), but like the tholeiitic model, does not fit the trace elements (Figures 5.5, 5.6 and 5.7). Although adding a rhyolite contaminant to the model (Table 5-VII) results in a decrease in La/Yb ratios (Figure 5.6b) as observed in the actual data, it also causes a decrease in TiO₂ (Figure 5.5b) not observed in the data. Nb/Th ratios were not greatly affected by the addition of the rhyolite (Figure 5.6c). Neither of the simple models undertaken reproduced the sample trends. As with the tholeiitic lavas, it is surmised that the LREE-enriched andesites are produced by processes more complex than attainable with the model.

The transitional andesites were defined on the basis of their REE contents intermediate between the tholeiitic and LREE-enriched lavas (Figure 5.3c; Tables 5-II and 5-III); they have trace element patterns intermediate between the tholeiitic and LREE-enriched lavas, and similar to the rhyolites (Figure 5.4). Three samples of the transitional andesites exhibit high TiO₂ contents, similar to those of the tholeiitic lavas and some of the LREE-enriched lavas (Figure 5.5b). To determine if the transitional andesites could be formed by mixing of the tholeiitic and LREE-enriched lavas, a binary mixing model was undertaken using BINMIX (program by D. Francis, McGill University). The two end-member compositions were defined as the starting compositions from the tholeiitic and LREE-enriched crystallization models (Table 5-VIII). The transitional lavas are, in general, consistent with the mixing model (Figures 5.5, 5.6 and 5.7). However, variations occur, and are expected, as the mixing occurs in a dynamic system and would likely involve compositions other than those modeled, including contamination by crustal rocks.

Table 5-VI: Parameters and results of the crystallization model for the LREE-enriched andesites for the Noranda sub-group (XSTALN; program by D. Francis, McGill University, Montréal, Canada)
(Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

SAMPLE	0175A	1	2	3	4	Totals
LEGEND	LREE-enr.	Liquid 9	Liquid 19	Liquid 33	Liquid 43	
XST/STEP		16.63%	15.25%	16.78%	9.39%	58.05%
LIQ LEFT	1	83.37%	68.12%	51.34%	41.95%	
Ol		3.33%	2.29%	1.68%	0.66%	7.95%
Cpx		2.00%	2.59%	3.36%	2.07%	10.01%
Plag		10.47%	9.30%	10.07%	6.10%	35.95%
Mt		0.83%	1.07%	0.84%	0.28%	3.02%
Ilm				0.84%	0.28%	1.12%
SiO2	54.92	56.97	59.15	62.9	65.16	
TiO2	0.98	1.17	1.41	0.98	0.82	
Al2O3	17.11	16.78	16.32	15.89	15.57	
Fe2O3	9.42	9.16	8.21	6.37	5.27	
MnO	0.18	0.2	0.23	0.26	0.29	
MgO	4.94	4.08	3.28	2.44	1.9	
CaO	6.31	5.58	4.54	3.01	1.96	
Na2O	5.11	5.6	6.13	6.87	7.23	
K2O	0.89	1.08	1.32	1.75	2.14	
P2O5	0.14	0.17	0.21	0.27	0.34	
LOI	0	0.17	0.32	0.49	0.58	
TOTAL	100	100.96	101.12	101.23	101.26	
Ni	73	32	12.34	3.54	1.47	
Sr	156	125.4	98.93	71.67	54.88	
Y	17	19.39	21.74	25.01	27.37	
Zr	117	138	163.9	208.1	246.2	
Nb	6.4	7.69	9.35	12.29	14.93	
Th	1.6	1.89	2.25	2.89	3.44	
La	11	12.95	15.36	19.48	23.02	
Ce	27	31.92	38.03	48.51	57.57	
Nd	15	17.74	21.14	26.95	31.97	
Sm	2.9	3.41	4.02	5.02	5.87	
Eu	1	1.09	1.19	1.34	1.44	
Tb	0.57	0.67	0.8	1.01	1.19	
Yb	1.6	1.9	2.26	2.88	3.42	
Lu	0.25	0.3	0.35	0.45	0.54	

Table 5-VII: Parameters and results of the crystallization model of the LREE-enriched andesites of the Noranda sub-group with a rhyolite contaminant (XSTALN; program by D. Francis, McGill University, Montréal, Canada)
(Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

SAMPLE	0175A	1	2	3	4	5	6	Totals	1320A
LEGEND	LREE-enr.	Liquid 5	Liquid 9	Liquid 14	Liquid 19	Liquid 29	Liquid 34		Rhy Cont.
XST/STEP		9.90%	7.74%	9.56%	9.56%	18.28%	8.31%	63.35%	
CONT/STEP		7.43%	5.81%	9.56%	9.56%	9.14%	0.00%	41.49%	
LIQ LEFT	100.00%	97.52%	95.59%	95.59%	95.59%	86.45%	78.14%		
Ol		2.48%	1.94%	1.91%	1.24%	1.28%		8.85%	
Cpx		0.99%	0.77%	2.39%	4.59%	8.41%	3.99%	21.14%	
Plag		5.94%	4.26%	4.78%	3.35%	7.86%	4.15%	30.34%	
Mt		0.50%	0.77%	0.48%				1.75%	
Ilm					0.38%	0.73%	0.17%	1.28%	
SiO ₂	54.92	57.74	59.88	62.73	65.78	70.9	72.97		74.88
TiO ₂	0.98	1.04	1.08	1.09	0.88	0.48	0.36		0.39
Al ₂ O ₃	17.11	16.74	16.45	15.96	15.36	13.97	13.44		12.51
Fe ₂ O ₃	9.42	8.79	7.75	6.77	6	4.74	4.07		3.62
MnO	0.18	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16	0.17		0.05
MgO	4.94	4.01	3.26	2.34	1.61	0.8	0.48		0.63
CaO	6.31	5.75	5.33	4.5	3.35	1.26	0.37		2.63
Na ₂ O	5.11	5.33	5.48	5.63	5.84	6.23	6.39		4.27
K ₂ O	0.89	0.99	1.07	1.16	1.25	1.48	1.64		0.93
P ₂ O ₅	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.2	0.22		0.08
LOI	0	0.03	0.04	0.04	0.04	0.14	0.22		0
TOTAL	100	100.75	100.68	100.56	100.44	100.36	100.33		99.99
Ni	73	39.12	21.13	8.03	2.64	0.44	0.31		2
Sr	156	135.6	122.8	110.1	104.6	92.05	84.93		81
Y	17	19.65	21.66	23.65	24.25	24.6	24.18		34
Zr	117	139.1	156.3	179.6	201.6	240.3	259.7		260
Nb	6.4	7.5	8.37	9.54	10.7	13.02	14.35		12
Th	1.6	1.81	1.98	2.2	2.42	2.87	3.14		2.4
La	11	12.58	13.79	15.36	16.85	19.76	21.39		18
Ce	27	30.76	33.66	37.36	40.84	47.83	51.85		42
Nd	15	17.15	18.8	20.91	22.85	26.69	28.86		24
Sm	2.9	3.41	3.81	4.3	4.72	5.42	5.75		6
Eu	1	1.08	1.13	1.2	1.26	1.37	1.42		1.3
Tb	0.57	0.67	0.74	0.83	0.91	1.05	1.13		1.1
Yb	1.6	1.97	2.26	2.66	3.01	3.58	3.83		4.4
Lu	0.25	0.31	0.36	0.42	0.48	0.58	0.62		0.72

Table 5-VIII: Parameters and results of the binary mixing model between a tholeiitic and LREE-enriched andesite of the Noranda sub-group (BINMIX; program by D. Francis, McGill University, Montréal, Canada)
(Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

SAMPLE LEGEND	Percent of LREE-Enriched magma mixed with the Tholeiite										0175A LREE-enriched	2020 Trans.
	0159A Tholeiite	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%		
SiO ₂	49.72	50.23	50.77	51.28	51.79	52.33	52.84	53.36	53.87	54.4	54.92	54.04
TiO ₂	1.13	1.11	1.1	1.08	1.07	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	0.98	1.29
Al ₂ O ₃	15.52	15.68	15.84	16	16.15	16.32	16.47	16.63	16.79	16.95	17.11	16.62
Fe ₂ O ₃	13.9	13.45	13	12.56	12.11	11.66	11.21	10.76	10.32	9.87	9.42	10.91
MnO	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.2	0.19	0.19	0.18	0.21
MgO	6.5	6.34	6.19	6.03	5.88	5.72	5.56	5.41	5.25	5.1	4.94	5.09
CaO	9.44	9.13	8.81	8.5	8.19	7.88	7.56	7.25	6.94	6.62	6.31	6.32
Na ₂ O	3.24	3.43	3.61	3.8	3.99	4.17	4.36	4.55	4.74	4.92	5.11	4.52
K ₂ O	0.13	0.21	0.28	0.36	0.43	0.51	0.59	0.66	0.74	0.81	0.89	0.57
P ₂ O ₅	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.43
Total	100.01	100.00	100.01	100.01	99.99	100.01	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00
Ni	42.00	45.10	48.10	51.30	54.40	57.50	60.60	63.70	66.80	69.90	73.00	63.00
Sr	153	153.3	153.6	153.9	154.2	154.5	154.8	155.1	155.4	155.7	156	169.25
Y	25	24.2	23.4	22.6	21.8	21	20.2	19.4	18.6	17.8	17	23.65
Zr	73	77.4	81.8	86.2	90.6	95	99.4	103.8	108.2	112.6	117	104
Nb	5.5	5.59	5.68	5.77	5.86	5.95	6.04	6.13	6.22	6.31	6.4	3.79
Th	0.43	0.55	0.66	0.78	0.9	1.01	1.13	1.25	1.37	1.48	1.6	1.15
La	6.2	6.68	7.16	7.64	8.12	8.6	9.08	9.56	10.04	10.52	11	10.21
Ce	14	15.3	16.6	17.9	19.2	20.5	21.8	23.1	24.4	25.7	27	24.81
Nd	11	11.4	11.8	12.2	12.6	13	13.4	13.8	14.2	14.6	15	15.26
Sm	2.7	2.72	2.74	2.76	2.78	2.8	2.82	2.84	2.86	2.88	2.9	3.73
Eu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.34
Tb	0.71	0.7	0.68	0.67	0.65	0.64	0.63	0.61	0.6	0.58	0.57	0.61
Yb	2.5	2.41	2.32	2.23	2.14	2.05	1.96	1.87	1.78	1.69	1.6	2.18
Lu	0.4	0.38	0.37	0.35	0.34	0.32	0.31	0.3	0.28	0.27	0.25	0.32

Both fractional crystallization models (XSTALN) for the transitional andesites, with and without rhyolite contamination, produce differentiation trends generally resembling the actual trends of the low Fe-Ti transitional group (Tables 5-IX and 5-X; Figures 5.5, 5.6 and 5.7), with the exception that the La/Yb ratios are slightly high. The addition of the rhyolite contaminant did not greatly affect the model results (Figures 5.5, 5.6 and 5.7). Both the crystallization and crystallization with contamination models approach the Fe values of the second group of transitional andesites, high Fe-Ti (Figure 5.5a), but the Ti values are much lower (Figure 5.5b). The La/Yb ratios are high compared to the actual sample values for the Fe-Ti rich transitional andesites (Figure 5.6b). As with the tholeiitic model, this model is not a perfect match to the data. However, within the constraints of a complex Archean system such as the Blake River Group, variations are expected.

Unlike the Noranda and Misema sub-groups, tholeiitic basalts dominate the Rouyn-Pelletier sub-group. The tholeiitic basalts and andesites have higher Mg and Fe contents than their counterparts in the Noranda and Misema sub-groups (Figure 5.3a), and lower La values (Figure 5.3c). The most primitive of the basalts dominate in the northern part of the sub-group and have no negative Nb anomalies (Figure 5.4i). The southern part of the sub-group has more evolved magmas as well as the primitive basalts. These more evolved magmas have slight negative Nb anomalies (Figure 5.4i) with chondrite normalized La/Yb ratios of 1 (Table 5-III). They are not, therefore, similar to the transitional or LREE-enriched magmas of the Noranda and Misema sub-group, although such lavas do occur, albeit rarely, in the sub-group. As in the Noranda and Misema, the LREE-enriched andesite sampled in the Rouyn-Pelletier has a Yb value lower than those of the tholeiitic basalts and andesites (Figure 5.4i).

The primitive basalts of the Rouyn-Pelletier sub-group have a limited compositional variation. The relationship between the primitive basalts and the more evolved tholeiites was tested by fractional crystallization (Table 5-XI) and contaminated fractional crystallization (Table 5-XII - LREE-enriched andesite contaminant; Table 5-XIII - rhyolite contaminant) (Figures 5.8 and 5.9). Fractional crystallization without contamination fits for the elements and ratios tested (Figure 5.8a, b and c) except for the

Table 5-IX: Parameters and results of the crystallization model of the transitional andesites of the Noranda sub-group (XSTALN; program by D. Francis, McGill University, Montréal, Canada)
(Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

SAMPLE	0453C	1	2	3	4	5	6	7	8	Totals
LEGEND	Trans. Bas.	Liquid 1-4	Liquid 2-5	Liquid 2-9	Liquid 2-16	Liquid 2-22	Liquid 2-35	Liquid 2 46	Liquid 2-59	
XST/STEP		7.76%	8.86%	6.47%	10.14%	7.62%	13.66%	9.06%	8.41%	71.99%
LIQ LEFT	100.00%	92.24%	83.37%	76.90%	66.76%	59.14%	45.48%	36.42%	28.01%	
Ol		4.27%	2.66%	0.97%	1.01%	0.76%	0.68%	0.45%		10.81%
Cpx			1.33%	2.59%	5.07%	2.29%	6.83%	5.62%	5.05%	28.77%
Opx			0.44%	0.32%	0.51%	0.38%	0.68%	0.45%		2.79%
Plag		3.49%	4.43%	2.59%	3.55%	3.43%	4.37%	1.81%	3.03%	26.70%
Mt						0.38%	0.68%	0.45%	0.17%	1.69%
Ilm						0.38%	0.41%	0.27%	0.17%	1.23%
SiO ₂	52.78	54	54.77	55.39	56.67	58.49	63.39	69.06	76.05	
TiO ₂	0.83	0.91	1	1.07	1.19	1	0.76	0.5	0.28	
Al ₂ O ₃	16.63	16.93	16.86	16.81	16.58	16.21	15.21	14.34	12.63	
Fe ₂ O ₃	9.65	9.73	10	10.31	10.87	10.55	9.62	7.59	4.59	
MnO	0.16	0.16	0.17	0.18	0.2	0.2	0.23	0.27	0.34	
MgO	7.75	6.44	5.43	4.88	4.09	3.69	2.87	2	1.31	
CaO	9.76	10.07	9.92	9.43	8.24	7.49	4.93	2.47	0.35	
Na ₂ O	2.14	2.24	2.33	2.43	2.62	2.77	3.21	3.71	3.87	
K ₂ O	0.21	0.23	0.25	0.28	0.32	0.36	0.47	0.58	0.76	
P ₂ O ₅	0.1	0.11	0.12	0.13	0.15	0.17	0.22	0.28	0.36	
LOI	0	0.08	0.1	0.17	0.28	0.36	0.51	0.61	0.7	
TOTAL	100.01	100.9	100.95	101.08	101.21	101.29	101.42	101.41	101.24	
Ni	240	143.3	79.74	49.34	20.59	11.65	2.79	0.57	0.18	
Sr	154	159.9	147.7	142.5	137.2	127.3	122	129	119.1	
Y	16	17.47	18.54	18.53	17.91	18.43	17.3	15.39	13.64	
Zr	78	85.24	93.05	99.28	110.8	122.5	150.4	178.1	216.9	
Nb	4.5	4.92	5.42	5.85	6.7	7.52	9.67	11.97	15.43	
Th	0.83	0.9	0.99	1.06	1.21	1.35	1.72	2.11	2.69	
La	6.3	6.87	7.5	8.02	8.98	9.94	12.29	14.68	17.99	
Ce	14	15.27	16.7	17.86	20.04	22.22	27.53	32.88	40.39	
Nd	6	6.55	7.16	7.65	8.54	9.46	11.63	13.76	16.75	
Sm	2.2	2.4	2.61	2.75	2.98	3.25	3.78	4.21	4.79	
Eu	0.7	0.75	0.79	0.82	0.88	0.93	1.05	1.17	1.3	
Tb	0.3	0.33	0.36	0.38	0.41	0.45	0.53	0.6	0.7	
Yb	1.6	1.75	1.9	2.01	2.19	2.4	2.82	3.19	3.74	
Lu	0.24	0.26	0.28	0.3	0.33	0.36	0.42	0.48	0.56	

Table 5-X: Parameters and results of the crystallization model of the transitional andesites of the Noranda sub-group with a rhyolite contaminant (XSTALN; program by D. Francis, McGill University, Montréal, Canada)
(Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

SAMPLE LEGEND	0453C Trans Bas	1 Liqud 1-4	2 Liqud 2-5	3 Liqud 2-9	4 Liqud 2-14	5 Liqud 2-17	6 Liqud 2-24	7 Liqud 2-33	8 Liqud 2-45	9 Liqud 2-51	Totals	1320A Rhy contam.
XST/STEP		7.76%	8.86%	6.47%	7.54%	4.39%	10.24%	12.65%	14.38%	5.98%	78.28%	
CONT/STEP					3.77%	4.39%	10.24%	6.32%			24.72%	
LIQ LEFT	100.00%	92.24%	83.37%	76.90%	73.13%	73.13%	73.13%	66.81%	52.43%	46.44%		
Ol		4.27%	2.66%	0.97%	0.75%	0.44%	0.51%	0.63%			10.24%	
Cpx			1.33%	2.59%	3.77%	1.32%	5.12%	7.84%	8.63%	3.23%	33.83%	
Opx			0.44%	0.32%	0.38%	0.22%	0.51%	0.63%			2.51%	
Plag		3.49%	4.43%	2.59%	2.64%	1.97%	3.28%	2.53%	5.18%	2.69%	28.80%	
Mt						0.22%	0.51%	0.63%	0.29%		1.65%	
Ilm						0.22%	0.31%	0.38%	0.29%	0.05%	1.25%	
SiO2	52.78	54	54.77	55.39	57.25	59.17	63.75	69.29	75.63	78.71	74.88	
TiO2	0.83	0.91	1	1.07	1.12	0.98	0.78	0.54	0.33	0.27	0.39	
Al2O3	16.63	16.93	16.86	16.81	16.44	16.02	14.97	13.77	12.05	11.26	12.51	
Fe2O3	9.65	9.73	10	10.31	10.36	9.8	8.57	6.97	5.32	3.84	3.62	
MnO	0.16	0.16	0.17	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18	0.22	0.24	0.05	
MgO	7.75	6.44	5.43	4.88	4.12	3.71	2.89	2.02	1.25	0.76	0.63	
CaO	9.76	10.07	9.92	9.43	8.27	7.58	5.61	3.18	0.53	0.05	2.63	
Na2O	2.14	2.24	2.33	2.43	2.65	2.82	3.23	3.73	3.96	3.83	4.27	
K2O	0.21	0.23	0.25	0.28	0.34	0.39	0.52	0.66	0.84	0.95	0.93	
P2O5	0.1	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18	0.23	0.26	0.08	
LOI	0	0.08	0.1	0.17	0.21	0.21	0.21	0.28	0.43	0.5	0	
TOTAL	100.01	100.9	100.95	101.08	101.08	101.01	100.86	100.8	100.79	100.67	99.99	
NI	240	143.3	79.74	49.34	25.24	18.02	7.46	1.97	0.68	0.43	2	
Sr	154	159.9	147.7	142.5	135.8	127.8	119	120.9	112.3	104.1	81	
Y	16	17.47	18.54	18.53	18.85	20.01	21.21	20.43	18.27	17.58	34	
Zr	78	85.24	93.05	99.28	115.3	129.7	161.6	193.5	232.1	254.3	260	
Nb	4.5	4.92	5.42	5.85	6.74	7.44	9.07	10.99	13.89	15.61	12	
Th	0.83	0.9	0.99	1.06	1.23	1.37	1.69	2.05	2.56	2.85	2.4	
La	6.3	6.87	7.5	8.02	9.18	10.17	12.39	14.74	17.79	19.54	18	
Ce	14	15.27	16.7	17.86	20.58	22.9	28.12	33.59	40.62	44.68	42	
Nd	6	6.55	7.16	7.65	9.09	10.44	13.44	16.31	19.55	21.44	24	
Sm	2.2	2.4	2.61	2.75	3.07	3.38	4	4.53	5.1	5.44	6	
Eu	0.7	0.75	0.79	0.82	0.88	0.93	1.04	1.16	1.27	1.33	1.3	
Tb	0.3	0.33	0.36	0.38	0.44	0.5	0.62	0.73	0.83	0.9	1.1	
Yb	1.6	1.75	1.9	2.01	2.25	2.48	2.95	3.38	3.92	4.23	4.4	
Lu	0.24	0.26	0.28	0.3	0.34	0.38	0.46	0.53	0.61	0.67	0.72	

Table 5-XI: Parameters and results of the crystallization model of the tholeiitic andesites of the Rouyn-Pelletier sub-group (XSTALN; program by D. Francis, McGill University, Montréal, Canada)
(Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

SAMPLE	SPR-6.1	Liquid 2	Liquid 27	Liquid 39	Liquid 48	Totals
LEGEND	Rouyn-Pelletier south	1	2	3	4	
INIT STEP		2.00%	1.92%	1.16%	0.91%	
XST/STEP		3.96%	38.08%	12.48%	7.56%	62.08%
LIQ LEFT	1	96.04%	57.96%	45.48%	37.92%	
Olivine		3.96%	5.71%	1.87%	0.76%	12.30%
Cpx			7.62%	3.12%	2.65%	13.38%
Opx				0.37%	0.23%	0.60%
Plag			24.75%	5.61%	3.02%	33.39%
Spin				1.50%	0.60%	2.10%
Ilmen					0.30%	0.30%
SiO ₂	48.05	48.97	50.15	52.26	54.1	
TiO ₂	0.72	0.76	1.22	1.52	1.39	
Al ₂ O ₃	16.56	17.44	13.93	13.35	13.01	
Fe ₂ O ₃	11.65	11.51	15.81	14.88	14.35	
MnO	0.18	0.18	0.27	0.32	0.36	
MgO	8.76	7.43	6.45	5.59	5	
CaO	11.96	12.6	10.99	10.61	10.05	
Na ₂ O	1.66	1.75	1.92	2.09	2.25	
K ₂ O	0.39	0.41	0.68	0.87	1.04	
P ₂ O ₅	0.07	0.07	0.12	0.16	0.19	
LOI	0	0.04	0.42	0.55	0.62	
TOTAL	100	101.16	101.96	102.2	102.36	
Sr	126.4	133.1	138.3	150.6	162.5	
Y	13.11	13.8	21.65	26.65	30.88	
Zr	31.4	33.06	53.67	67.53	79.94	
Nb	1.67	1.76	2.9	3.68	4.41	
Th	0.11	0.12	0.18	0.23	0.27	
La	1.74	1.83	2.95	3.72	4.42	
Ce	4.73	4.98	7.95	9.96	11.76	
Nd	4.04	4.25	6.81	8.52	10.04	
Sm	1.32	1.39	2.17	2.66	3.08	
Eu	0.57	0.6	0.81	0.95	1.06	
Tb	0.29	0.31	0.47	0.58	0.67	
Yb	1.27	1.34	2.09	2.56	2.96	
Lu	0.18	0.19	0.29	0.36	0.42	

Table 5-XII: Parameters and results of the crystallization model of the tholeiitic andesites of the Rouyn-Pelletier sub-group with a LREE-enriched andesite from the Noranda sub-group as contaminant (XSTALN; program by D. Francis, McGill University, Montréal, Canada)
(Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

SAMPLE	SPR-6.1	1	2	3	4	5	Totals	0175A
LEGEND	Rouyn-Pelletier south	Liquid 2	Liquid 29	Liquid 35	Liquid 38	Liquid 45		Noranda Enriched Contam.
XST/STEP		3.96%	43.44%	7.59%	3.53%	7.44%	65.95%	
CONT/STEP		0.00%	13.03%	1.90%	0.00%	0.00%	14.93%	
LIQ LEFT	100.00%	96.04%	65.63%	59.94%	56.42%	48.98%		
Olivine		3.96%	6.52%	1.14%	0.35%	0.37%	12.34%	
Cpx			8.69%	1.90%	1.23%	3.57%	15.39%	
Opx				0.23%	0.11%		0.33%	
Plag			28.23%	3.41%	1.41%	2.60%	35.66%	
Magnetite				0.91%	0.28%	0.60%	1.79%	
Ilmenite					0.14%	0.30%	0.44%	
SiO ₂	48.05	48.97	51.07	52.22	52.76	54.13		54.92
TiO ₂	0.72	0.76	1.26	1.4	1.35	1.21		0.98
Al ₂ O ₃	16.56	17.44	13.98	13.87	13.82	13.79		17.11
Fe ₂ O ₃	11.65	11.51	15.48	14.88	14.8	14.51		9.42
MnO	0.18	0.18	0.27	0.29	0.3	0.33		0.18
MgO	8.76	7.43	5.91	5.37	5.13	4.68		4.94
CaO	11.96	12.6	9.91	9.53	9.29	8.43		6.31
Na ₂ O	1.66	1.75	2.48	2.69	2.76	2.97		5.11
K ₂ O	0.39	0.41	0.78	0.88	0.93	1.08		0.89
P ₂ O ₅	0.07	0.07	0.14	0.15	0.16	0.19		0.14
LOI	0	0.04	0.34	0.4	0.44	0.51		0
TOTAL	100	101.16	101.62	101.68	101.74	101.83		100
Sr	126.4	133.1	141.7	148.3	152.1	162.7		156
Y	13.11	13.8	22.3	24.54	25.77	28.68		17
Zr	31.4	33.06	70.24	80.11	84.74	96.3		117
Nb	1.67	1.76	3.82	4.38	4.65	5.34		6.4
Ta	0.13	0.14	0.2	0.22	0.23	0.27		0
Th	0.11	0.12	0.47	0.56	0.59	0.68		1.6
La	1.74	1.83	4.74	5.51	5.84	6.68		11
Ce	4.73	4.98	12.24	14.14	14.95	16.97		27
Nd	4.04	4.25	8.92	10.15	10.72	12.12		15
Sm	1.32	1.39	2.46	2.74	2.87	3.19		2.9
Eu	0.57	0.6	0.88	0.95	0.99	1.08		1
Tb	0.29	0.31	0.52	0.58	0.61	0.67		0.57
Yb	1.27	1.34	2.14	2.35	2.47	2.74		1.6
Lu	0.18	0.19	0.31	0.34	0.35	0.39		0.25

Table 5-XIII: Parameters and results of the crystallization model of the tholeiitic andesites of the Rouyn-Pelletier sub-group with a rhyolite from the Noranda sub-group as contaminant (XSTALN; program by D. Francis, McGill University, Montréal, Canada)

(Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

SAMPLE	SPR-6.1	1	2	3	4		1320A
LEGEND	Rouyn-Pelletier south	Liquid 2	Liquid 22	Liquid 26	Liquid 30	Totals	Noranda Rhy contam.
XST/STEP		3.96%	33.71%	5.67%	5.29%	48.63%	
CONT/STEP		0.00%	10.11%	1.42%	0.00%	11.53%	
LIQ %	100.00%	96.04%	72.44%	68.19%	62.90%		
Ol		3.96%	5.06%	0.85%	0.53%	10.40%	
Cpx			6.74%	1.42%	1.85%	10.01%	
Opx				0.17%	0.16%	0.33%	
Plag			21.91%	2.55%	2.12%	26.58%	
Mt				0.68%	0.42%	1.10%	
Ilm					0.21%	0.21%	
SiO ₂	48.05	48.97	53.33	54.68	55.67		74.88
TiO ₂	0.72	0.76	1.03	1.1	1.01		0.39
Al ₂ O ₃	16.56	17.44	14.27	14.07	13.94		12.51
Fe ₂ O ₃	11.65	11.51	13.52	12.91	12.63		3.62
MnO	0.18	0.18	0.22	0.23	0.24		0.05
MgO	8.76	7.43	5.77	5.33	5.02		0.63
CaO	11.96	12.6	10.13	9.79	9.46		2.63
Na ₂ O	1.66	1.75	2.18	2.28	2.36		4.27
K ₂ O	0.39	0.41	0.67	0.74	0.8		0.93
P ₂ O ₅	0.07	0.07	0.11	0.12	0.13		0.08
LOI	0	0.04	0.28	0.32	0.37		0
TOTAL	100	101.16	101.51	101.57	101.63		99.99
Sr	126.4	133.1	130.9	133.6	138.2		81
Y	13.11	13.8	22.15	23.96	25.58		34
Zr	31.4	33.06	79.08	89.04	95.97		260
Nb	1.67	1.76	3.99	4.48	4.86		12
Th	0.11	0.12	0.48	0.55	0.6		2.4
La	1.74	1.83	4.85	5.51	5.95		18
Ce	4.73	4.98	12.18	13.73	14.79		42
Nd	4.04	4.25	8.79	9.78	10.52		24
Sm	1.32	1.39	2.57	2.82	3.01		6
Eu	0.57	0.6	0.84	0.89	0.94		1.3
Tb	0.29	0.31	0.53	0.58	0.62		1.1
Yb	1.27	1.34	2.29	2.49	2.66		4.4
Lu	0.18	0.19	0.34	0.37	0.39		0.72

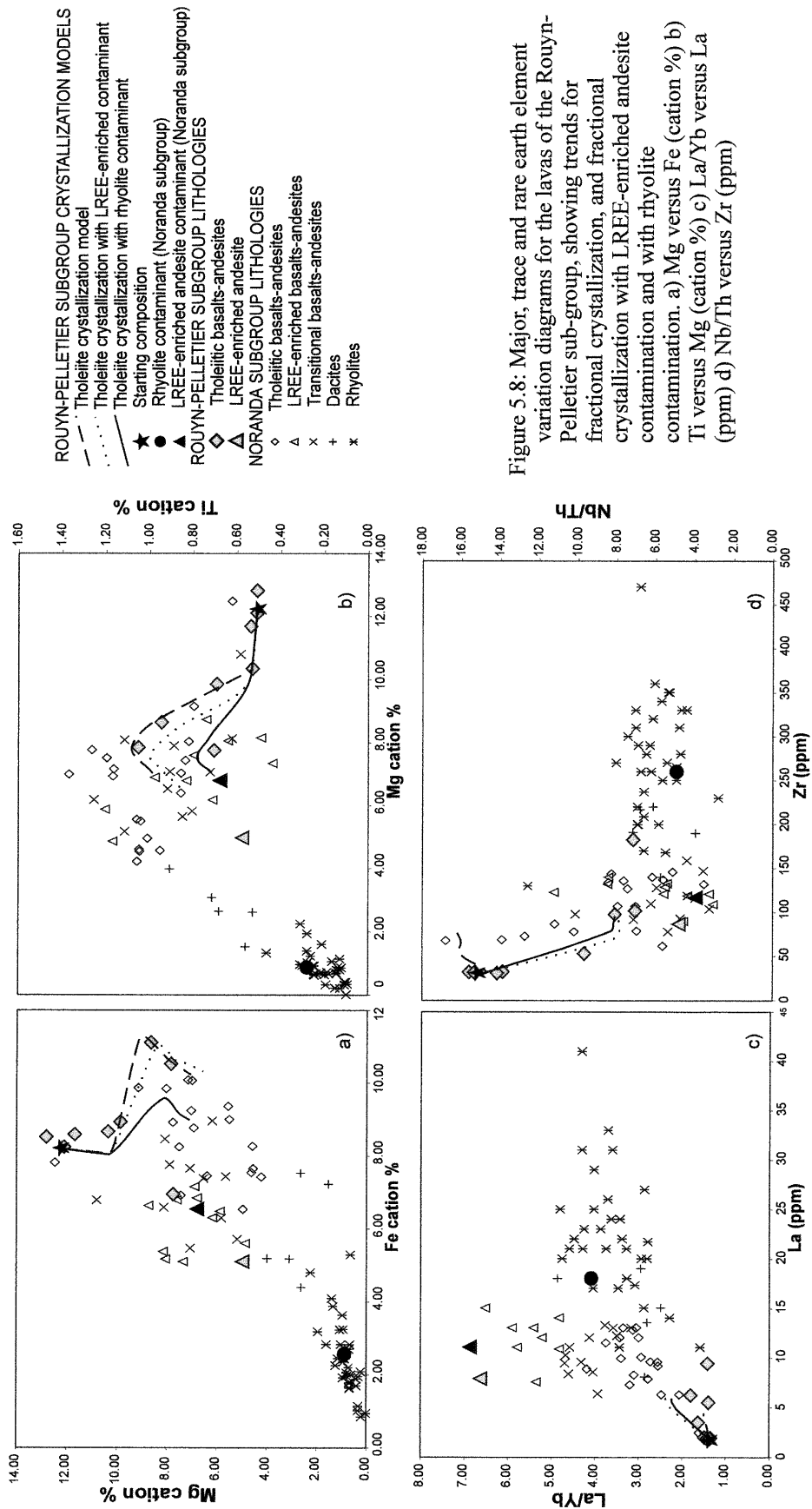


Figure 5.8: Major, trace and rare earth element variation diagrams for the lavas of the Rouyn-Pelletier sub-group, showing trends for fractional crystallization, and fractional crystallization with LREE-enriched andesite contamination and with rhyolite contamination. a) Mg versus Fe (cation %) b) Ti versus Mg (cation %) c) La/Yb versus La (ppm) d) Nb/Th versus Zr (ppm)

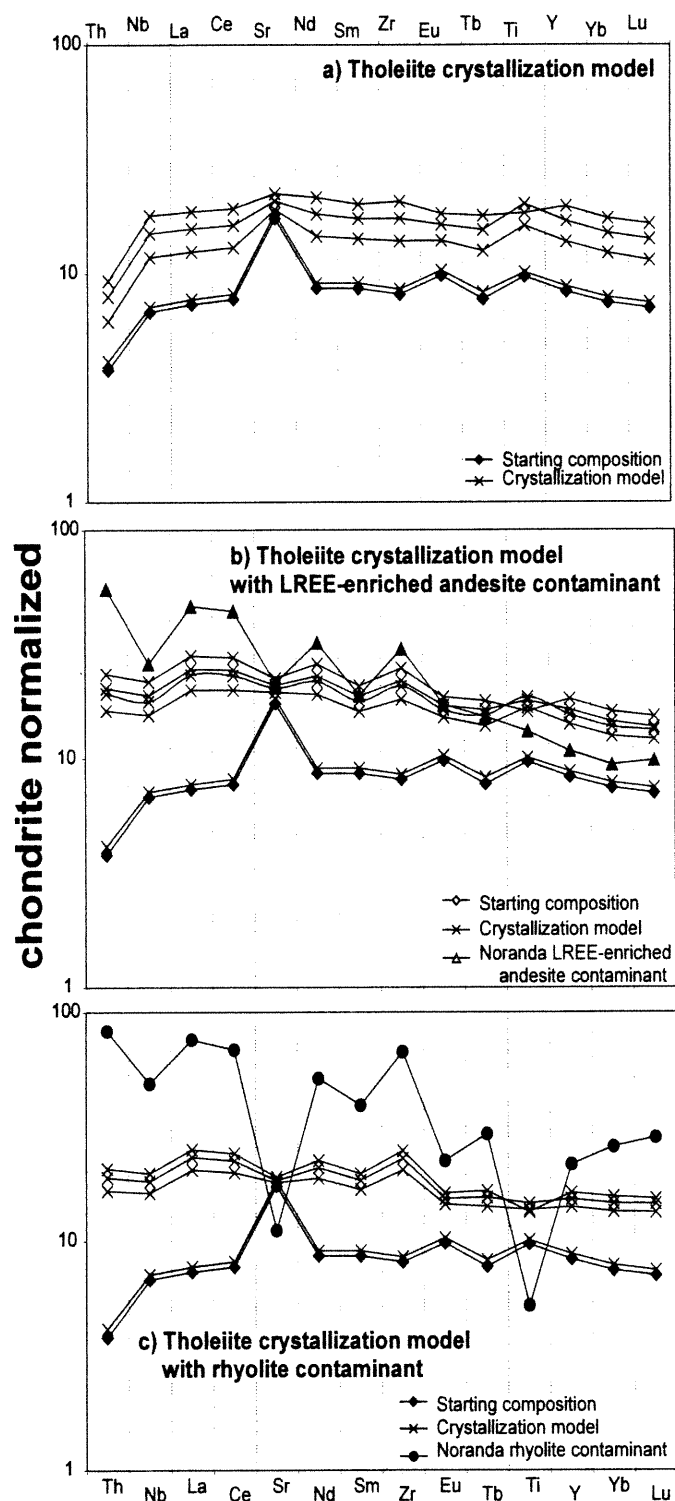


Figure 5.9: Chondrite normalized trace and rare earth element diagrams for the Rouyn-Pelletier subgroup crystallization and binary mixing models (chondrite values from Sun and McDonough, 1989). a) crystallization of a tholeiitic basalt; b) crystallization of a tholeiitic basalt with LREE-enriched andesite contamination; c) crystallization of a tholeiitic basalt with rhyolite contamination.

Nb/Th ratio (Figure 5.8d). The trend exhibited by this ratio was shown by Laflèche et al. (1992a and 1992b) to be consistent with mixing between tholeiitic and LREE-enriched lavas, and by the models earlier in this paper to be consistent with rhyolite contamination (Figure 5.6c). However, the models undertaken here using first a LREE-enriched lava, then a rhyolite as contaminant, while fitting the Nb/Th trend, do not fit that of La/Yb (Figure 5.8c). The tholeiitic magmas within the Rouyn-Pelletier sub-group cannot, therefore, be related by simple crystallization or crystallization - contamination. Nor do they appear to be genetically related to the dominant tholeiitic magma-type of the Noranda and Misema sub-groups. Only a single sample from the Noranda sub-group (Tables 5.I and 5.II: SP-1030D-87) resembles the Rouyn-Pelletier basalts.

5.5.2 Geochemistry of the rhyolites

With the exception of the Fish-rope rhyolite, discussed above, the rhyolites of the eastern part of the Blake River Group exhibit chemistry which appears consistent with their having evolved from the andesites (Figures 5.3 and 5.4g). They are most similar in trace element patterns to the transitional andesites (Figure 5.4d, e and g). The fractional crystallization model of the transitional andesites (Table 5-IX; Figures 5.5, 5.6 and 5.7) shows that the rhyolites are consistent with a simple model for the major elements, but that compositions more enriched in trace and rare earth elements than can be explained by the model are common (Figures 5.5, 5.6 and 5.7e). Similar results were obtained from the fractional crystallization of the transitional andesites with rhyolite contamination (Table 5-X; Figures 5.5, 5.6 and 5.7f). The fractional crystallization model with contamination of the tholeiites, which showed some success for the mafic rocks (Table 5-V), also fits for the rhyolites (Figures 5.5, 5.6 and 5.7b). Again, the final liquid composition is not as enriched in trace and rare earth elements as the most enriched rhyolite samples. In the models with a rhyolite contaminant, it must be recognized that the use of a different rhyolite, one more enriched in trace and rare earth elements, would affect the outcome. In all three models, Sr is not as depleted as in the samples. Although this may be an error in the model, there is also the possibility that the Sr-depletion is an alteration phenomenon. The models suggest that the Noranda sub-group rhyolites may

have evolved from the andesites; the best-fit model being that of fractionally crystallizing tholeiitic andesite with a rhyolite contaminant. This model cannot, of course, explain the presence of the initial rhyolite contaminant. However, the crystallization model (without contamination) of the transitional andesite also produces rhyolite similar to the Blake River compositions. Alternatively, partial melting of the pre-existing crust may produce rhyolites, as proposed for Iceland (Marsh et al., 1991; Jónasson, 1994) and the Lau basin (Pearce et al., 1995). The genesis of the rhyolite magmas was not further investigated here. Like the mafic-intermediate rocks of the eastern part of the Blake River Group, the rhyolites are presumed to have a complex evolutionary history.

5.6 Modern Analogy for the Eastern Blake River Group

While comparing ancient environments to the modern is problematic, it allows us to place the given data into a comprehensible context. In the case of the eastern part of the Blake River Group, a modern analogue must exhibit characteristics common to the Blake River. The Blake River Group contains basalts, andesites and rhyolites. The basalts are concentrated in the Rouyn-Pelletier sub-group in the South, and the rhyolites are concentrated in the Noranda sub-group in the East; the third sub-group, the Misema, is dominated by andesites. VMS deposits and showings are concentrated in the Noranda sub-group, commonly, although not always, associated with the rhyolites. The mafic-intermediate rocks are subdivided into three affinities: tholeiitic, LREE-enriched and transitional between the former two. The LREE-enriched and transitional andesites in all three sub-groups exhibit varying degrees of negative Nb anomalies. A subset of the tholeiitic basalts in the Rouyn-Pelletier sub-group also shows a small negative Nb anomaly. The three sub-groups are in part contemporaneous, being linked by a key-bed, the Fish-roe rhyolite. There are three known periods of volcanism (Vaillancourt, 1996; Mortensen, 1993), the oldest presently being recognized only at the southern boundary

of the Noranda sub-group, and the youngest rocks having passed through and assimilated the second period volcanic rocks.

5.6.1 Lithologies and Basin Geometry

The modern environments characterized by lithologies similar to the Blake River Group are areas of oceanic ridge - mantle plume interaction, such as Iceland (Jónasson et al., 1992; Jónasson, 1994; MacDonald et al., 1990; McGarvie et al., 1990; Gudmundsson, 1995), some oceanic islands, such as in the Galapagos Archipelago (Geist et al., 1994; Geist et al., 1995), and back-arc basins, such as the Mariana Trough (Gribble et al., 1998; Fryer, 1995) and the Manus, Lau and Woodlark basins (Binns and Scott, 1993; Hawkins, 1995; Binns and Whitford, 1987, respectively). Unfortunately, although felsic rocks are being more frequently recognized, the vast majority of available data is for the mafic rocks. Of these three environments, the oceanic islands can be effectively eliminated as a possible analogy because, although their sub-aqueous equivalents (oceanic plateaus) are recognized in the Val d'Or area 100 kilometres east of the Blake River Group (Desrochers et al., 1993; Desrochers and Hubert, 1996; Desrochers, 1998), they do not exhibit the multiple geochemical affinities observed in the Blake River Group mafic rocks. Andesites, which are dominant in most of the Blake River Group, occur in both ridge-plume and back-arc basin environments, but are much more common in the ridge-plume environment. The felsic rocks in the back-arc basin environment are generally dacitic (Binns and Scott, 1993; Gribble et al., 1998; Hawkins, 1995; Binns and Whitford, 1987).

The spatial relationship between the volcanic rocks must also be considered. In the Blake River Group, the tholeiitic basalts are concentrated at the edge of the group (Rouyn-Pelletier sub-group); the tholeiitic and LREE-enriched andesites are interlayered in the central part of the group (Misema and Noranda sub-groups), and the felsic rocks are concentrated in the eastern extremity of the group (Noranda sub-group) where a volcanic cauldron is recognized (de Rosen-Spence, 1976; Gibson, 1989). Again, the ridge-plume (e.g. Iceland) and back-arc basin (e.g. Lau Basin) environments exhibit similar

relationships. On Iceland, ridge-axis and off-axis volcanism (MacDonald et al., 1990; McGarvie et al., 1990) and within-rift fissure swarms with independent reservoirs (Gudmundsson, 1995) have produced central felsic volcanoes in proximity to tholeiitic ridges, and in some areas the magma systems interact producing hybrid rock types (McGarvie et al., 1990). The Lau Basin exhibits a progression from the initial oceanic crust at the edge of the basin, through rifting volcanism, to sea-floor spreading at the centre of the basin, with variable interaction with magmas from the Tonga Arc (Ewart et al., 1998; Hawkins, 1995). Felsic rocks occur at the leading edges of propagating rift zones (Christie and Sinton, 1981; Pearce et al., 1995). Both sets of authors agree that the felsic rocks formed, at least in part, by fractional crystallization in shallow magma chambers that stabilized due to the lower magma supply rates and higher cooling rates in the crust being penetrated. Pearce et al. (1995) also suggests that partial melting of the pre-existing crust produces some of the felsic rocks. Seismic reflection and refraction data in the Lau basin (Morton and Sleep, 1985 in Hawkins, 1995) support the presence of a magma chamber/lens beneath the Valu Fa Ridge. Therefore, both the ridge-plume and the propagating back-arc basin examples have the crustal thicknesses required to sustain a magma chamber, and consequently sufficient for calderas or cauldrons to form.

5.6.2 Geochemistry

Geochemically, both the ridge-plume and back-arc basin environments exhibit multiple affinities as seen on an Mg versus Fe cation % diagram (Figure 5.10a). The Iceland lavas (data from Jónasson, 1994 - Kaffla, Jónasson et al., 1992 - Krokksfjörður, MacDonald et al., 1990 - Torfajökull and Veidivotn, and McGarvie et al., 1990 - Torfajökull) exhibit three trends similar to those of the Blake River Group lavas, but with higher Fe values than the corresponding Blake River Group trends. The arc magmas show both moderate Fe-enrichment (Luzon arc - Defant et al., 1991) similar to the transitional lavas of the Blake River Group, and non-enrichment trends (New Britain - Woodhead and Johnson, 1993) similar to some of the LREE-enriched lavas of the Blake River Group. Two back-arc basins are used as comparison: the Lau Basin (data from Pearce et al., 1995), and the Mariana Trough (data from Hawkins et al., 1990 and Stern

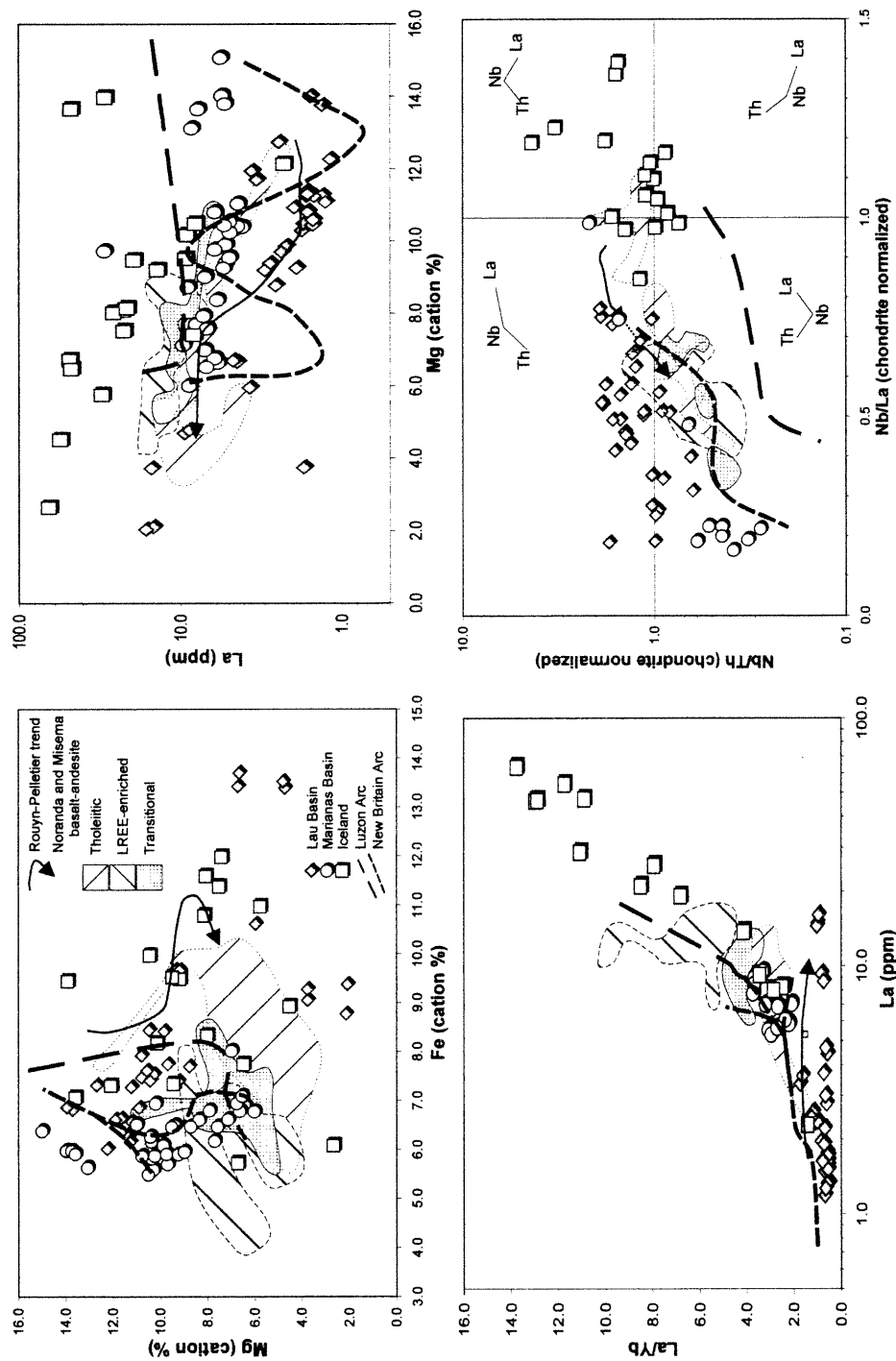


Figure 5.10: Variation diagrams comparing the Blake River Group mafic-intermediate lavas to modern ridge-plume and supra-subduction zone environments: zone of ridge-plume interaction - Iceland; island arcs - New Britain and Luzon arcs; backarc basins - Lau Basin and Mariana Trough (references given in text). The Rouyn-Pelletier sub-group lavas are shown separately, as they are geochemically distinct from the other Blake River Group lavas (the Noranda and Misema sub-groups). a) Mg versus Fe (cation %); b) Log-La (ppm) versus Mg (cation %); c) La/Yb versus Log-La (ppm); d) Log Nb/Th versus Nb/La (both ratios chondrite normalized) - the majority of the Blake River Group lavas exhibit negative Nb anomalies.

et al., 1990). The Lau Basin shows extreme Fe-enrichment, higher than that seen in the Blake River Group; the Fe-enrichment trend of the Mariana Trough data is similar to that of the Blake River Group transitional lavas, but reaches lower Fe values as the initial Fe contents are lower. Taken together, the suprasubduction zone examples account for the three Fe-enrichment trends seen in the Blake River Group. However, no single example exhibits these trends, and the Iceland data also follows similar trends.

On the Log-La versus Mg cation % diagram (Figure 5.10b), the Blake River Group data best corresponds to the back-arc basin data. The Noranda and Misema sub-groups plot with the main body of the Mariana data and the high-La end of the Lau Basin data. Conversely, most of the Rouyn-Pelletier sub-group plots at low La values, with the Lau Basin. The lines connecting the arc data indicate that the Blake River Group data overlaps part of the Luzon arc data, but that the New Britain data appears to have multiple evolutionary trends not seen in the Blake River Group data. Most of the Iceland data plots at higher La values for a given Mg cation % value.

The Blake River Group lavas overlap the back-arc data, and the arc data, on La/Yb versus Log-La diagram (Figure 5.10c). Here, the Noranda and Misema tholeiite field includes most of the Mariana data, and the Rouyn-Pelletier trend is parallel to the Lau Basin data, at slightly higher La/Yb ratios. Some back-arc basin lavas are considered to result from the interaction between arc magmas and spreading centre magmas (Hawkins, 1995; Fryer, 1995; Stern et al., 1990; Gribble et al., 1998). The presence of multiple chemical affinities in the basalts and andesites of Noranda and Misema sub-groups, and their complex evolutionary history, as shown in the previous section could be the result of the interaction of an arc component and a primitive spreading centre magma. High La/Yb ratios, such as those of the transitional and LREE-enriched lavas of the Blake River Group, are found in arc magma (the Luzon arc and some New Britain arc magmas) and in Iceland, with Iceland reaching higher La/Yb ratios and La contents than seen in the Blake River Group. However, the northern part of the Lau Basin is considered to be affected by the Samoan Plume (Hawkins, 1995; Ewart et al., 1998), and it is possible that a similar effect occurs in the Blake River Group.

Negative Nb anomalies are characteristic of subduction related-magmas and continental crust (Kelemen et al., 1993). Thus, the presence of such anomalies in the Blake River Group lavas (Figure 5.10d) indicate their formation in a subduction zone environment, or their contamination by continental crust. The middle crust directly under the Blake River Group has been interpreted to be an imbricated stack of plutonic and sedimentary rocks (Verpaelst et al., 1995). However, the seismic reflection profile suggests that these lithologies can be traced from under the Blake River Group to the Pontiac Sub-province in the south (Verpaelst et al., 1995). The Pontiac - Abitibi Sub-province boundary is tectonic in nature in the area of the Blake River Group, and the inherited zircons in the Blake River Group rhyolites (Vaillancourt, 1996) give ages consistent with early volcanism within the Blake River Group itself. There is, therefore, no evidence for continental crust underlying the Blake River Group during its formation. Also, geochemically, the LREE-enriched andesites have total REE contents consistent with their being formed in an oceanic rather than continental environment (Table 5-II). Modern analogues including contamination by continental crust were not, therefore, considered for the Blake River Group.

5.6.3 Metallogeny

The presence of VMS deposits is another defining characteristic of the Blake River Group, particularly in the Noranda sub-group. The Cu-Zn + Au deposits are commonly associated with felsic volcanic centres within the Noranda cauldron complex (Spence and de Rosen-Spence, 1975; Gibson and Watkinson, 1990) and comparisons have been drawn in the past between the Kuroko deposits of Japan and the Noranda deposits (Sangster and Scott, 1976; Urabe et al., 1983; Scott, 1980). More recently, actively forming sulphide deposits in back-arc basins are being compared to the Kuroko deposits (Fouquet et al., 1993; Ishibashi and Urabe, 1995), as are deposits forming in fore-arc basins (Iizasa et al., 1999). In the case of nascent basins, the recognition of felsic rocks is critical to the comparison with the Kuroko deposits (Ishibashi and Urabe, 1995) and in taking the comparison a step further to include the Noranda cauldron deposits.

5.7 Summary and Conclusions

The eastern part of the Blake River Group is characterized by three magmatic domains, two of which are petrogenetically related, and represent different stages in a laterally evolving system. The variation from andesite-dominant (Misema) to andesite-rhyolite (Noranda) volcanism is considered to be an along-axis evolution. The third magmatic domain represents a separate system, although it is not altogether independent as its dominant lava type is geochemically similar to the most mafic lava sampled in the main system. This basalt-dominant (Rouyn-Pelletier) volcanism is considered to be peripheral to the Misema-Noranda system.

The geochemical evolution of the lavas of the eastern part of the Blake River Group is extremely complex. Petrogenetic modelling indicates that the transitional andesites of the Noranda sub-group were likely formed by mixing of the tholeiitic and LREE-enriched andesites. These andesites may have fractionally crystallized to form rhyolite, but the model invoked cannot explain all the rhyolite chemistry observed. Both the tholeiitic and LREE-enriched andesites of the Noranda sub-group must have undergone some form of contamination or mixing as their La/Yb ratios increase and decrease, respectively, with increasing La. Laflèche et al. (1992a and 1992b) showed that the tholeiitic lavas in the eastern extremity of the Blake River Group may have undergone mixing with the LREE-enriched magmas of that area. However, Vaillancourt (1996) found inherited zircons in the Blake River Group rhyolites that are the same age as the older volcanics of the Blake River Group itself. This indicates that the Blake River Group lavas assimilated felsic material, in this case the older volcanics of the same group. A model of fractional crystallization of the tholeiitic lava with rhyolite contamination indeed approaches the trends observed in the samples, and results in rhyolite compositions similar to the Blake River Group rhyolites. The trends observed for the LREE-enriched lavas could not, however, be modeled by fractional crystallization or fractional crystallization with rhyolite

assimilation. The evolution of the LREE-enriched lavas was, therefore, more complex than the simple models calculated. The Rouyn-Pelletier tholeiitic basalts are more primitive than all but one tholeiitic basalt of the Noranda or Misema sub-groups, and although the Rouyn-Pelletier tholeiites include a subset exhibiting a slight negative Nb anomaly, they cannot be modelled by crystal fractionation with either contamination by LREE-enriched andesite or rhyolite. The eastern part of the Blake River Group has an extremely complex evolutionary history involving crystal fractionation, mixing of intermediate and mafic rocks of different geochemical affinities, and assimilation of previously existing crust (here taken to be rhyolite).

Using modern environments as analogies to the ancient, although posing certain problems, remains the best means for examining the ancient data in a comprehensive context. In seeking a modern analogue for the eastern part of the Blake River Group, its characteristic lithologies, geometry, geochemistry and metallogeny must be taken into account. The lithologies and geometry of the Blake River Group basin are similar to that observed in nascent back-arc basins, particularly at the propagating ridge tip where intermediate to felsic rocks occur, as do VMS deposits associated with the felsic volcanics. Mafic rocks occur at the edge of the rift zone. Geochemically, the Blake River Group mafic-intermediate rocks resemble arc - back-arc lavas; differences are, of course, to be expected as modern back-arc basins themselves are not a geochemically homogeneous group, showing significant variation from one basin to another.

The dominance of andesites in the Blake River Group compared to basalts in modern back-arc basins, may be a function of scale. The eastern part of the Blake River Group is 70 kilometres long and 35 kilometres at its widest. The Lau Basin, for example, is approximately 800 kilometres from the Tonga-Lau Ridge closure to the Peggy Ridge and 400 kilometres from the Lau Ridge to the Tofua Arc (Hawkins, 1995). The Blake River Group would, therefore, represent a portion of the Lau Basin equivalent to the southern tip of the Eastern Lau Spreading Centre: the Valu Fa Ridge, which is dominated by andesites with subordinate dacite (Hawkins, 1995) (Figure 5.11).

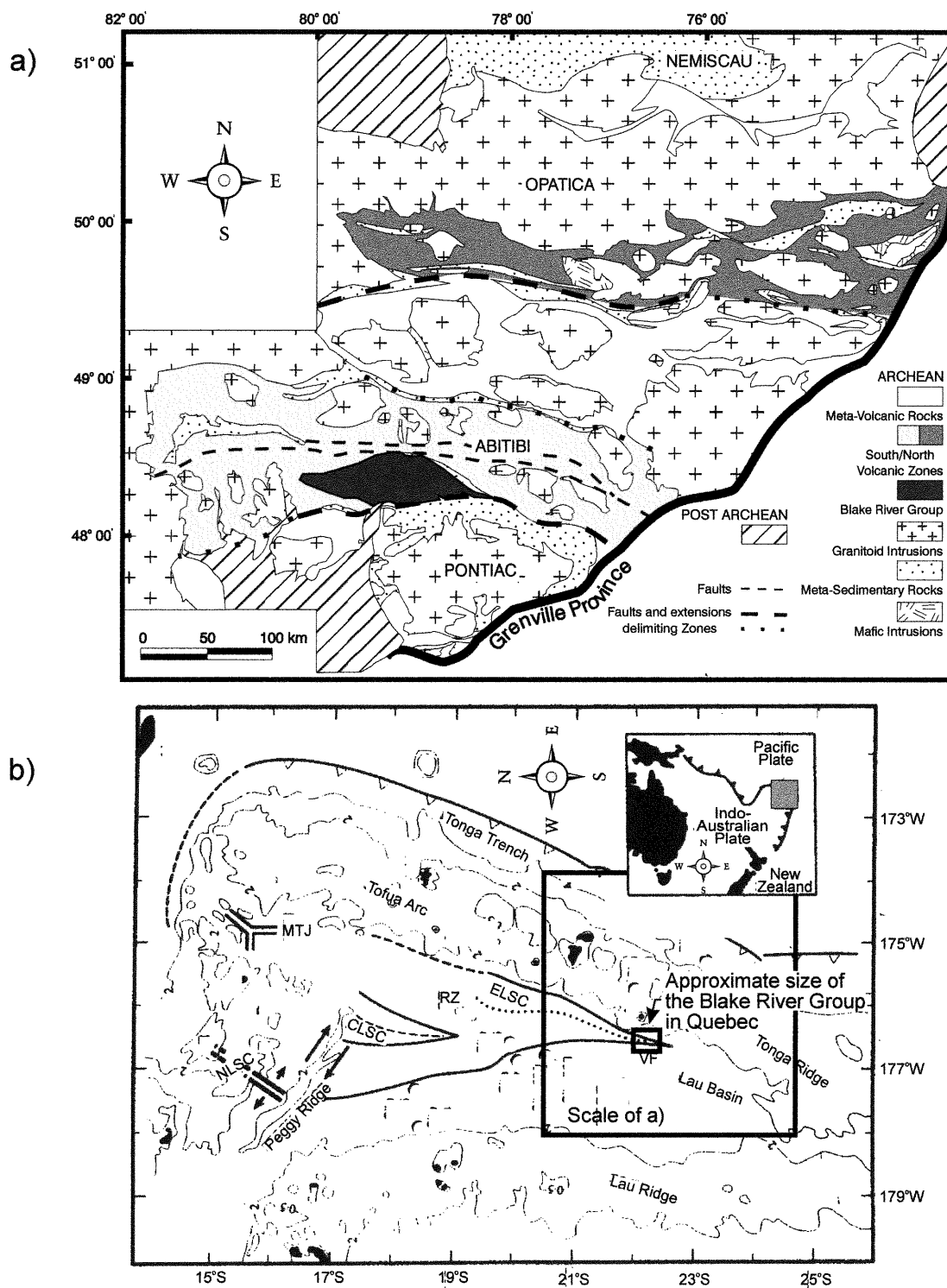


Figure 5.11: Maps of a) the Blake River Group in the Superior Province of Canada and b) the Lau basin in the South Pacific. Shows scale of Blake River Group compared to the propagating tip (Valu Fa Ridge - VF) of the East Lau Spreading Centre (ELSC). (Lau basin map from Hawkins, 1995: ELSC - East Lau Spreading Centre; CLSC - Central Lau Spreading Centre; VF - Valu Fa Ridge; RZ - Relay Zone; NLSC - North Lau Spreading Centre; MTJ - Mangatolu Triple Junction).

Interaction between arc and spreading centre magmas has been suggested to explain the particular chemistry of back-arc basin lavas (Hawkins, 1995; Fryer, 1995; Stern et al., 1990; Gribble et al., 1998). The presence of multiple chemical affinities in the basalts and andesites of the eastern Blake River Group, and the complex evolutionary history they exhibit, interpreted from petrogenetic modelling, could be considered the result of interaction of an arc component (LREE-enriched) and a primitive spreading centre (tholeiitic) magma with contamination from previously existing crust. The best modern analogue for the eastern part of the Blake River Group is a nascent back-arc basin. The Noranda sub-group represents the tip of the propagating ridge; the Misema sub-group represents the more mature part of the ridge, no longer producing felsic magmas; the Rouyn-Pelletier represents a second ridge within the basin, which had probably reached the spreading centre stage and was possibly being supplanted by the new ridge.

5.8 References

- Ayer, J.A., Trowell, N.F., Amelin, Y. and Corfu, F., 1999a. 4. Project Unit 95-24. Geological compilation of the Abitibi greenstone belt in Ontario: Toward a revised stratigraphy based on compilation and new geochronology results. In: J.A. Ayer, C.L. Baker, J.C. Ireland, R.I. Kelly and P.C. Thurston (Editors), *Summary of Field Work and Other Activities*. Miscellaneous Paper 169. Ontario Geological Survey, pp. 14-24.
- Ayer, J.A., Trowell, N.F., Madon, Z., Kamo, S., Kwok, Y.Y. and Amelin, Y., 1999b. 4. Compilation of the Abitibi greenstone belt in the Timmins-Kirkland Lake area: revisions to stratigraphy and new geochronological results, *Summary of Field Work and Other Activities*. Ontario Geological Survey, pp. 4-1 - 4-15.
- Bates, R.L. and Jackson, J.A., 1980. *Glossary of Geology*, American Geological Institute, 749 pp.
- Binns, R.A. and Scott, S.D., 1993. Activity-forming polymetallic sulfide deposits associated with felsic volcanic rocks in the eastern Manus Basin, Papua - New Guinea. *Economic Geology*, 88: 2226-2236.
- Binns, R.A. and Whitford, D.J., 1987. Volcanic rocks from the western Woodlark Basin, Papua New Guinea, Pacific Rim Congress 87. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Gold Coast, Queensland, Australia.

- Calvert, A.J. and Ludden, J.N., 1999. Archean continental assembly in the Southeastern Superior Province of Canada. *Tectonics*, in press.
- Calvert, A.J., Sawyer, E.W., Davis, W.J. and Ludden, J.N., 1995. Archean subduction inferred from seismic images of a mantle suture in the Superior Province. *Nature*, 375: 670-674.
- Capdevila, R., Goodwin, A.M., Ujike, O. and Gorton, M.P., 1982. Trace-element geochemistry of Archean volcanic rocks and crustal growth in southwestern Abitibi Belt, Canada. *Geology*, 10: 418-422.
- Christie, D.M. and Sinton, J.M., 1981. Evolution of abyssal lavas along propagating segments of the Galapagos spreading center. *Earth and Planetary Science Letters*, 56: 321-335.
- Clift, P.D. and ODP Leg 135 Scientific Party, 1995. Volcanism and sedimentation in a rifting island-arc terrain: an example from Tonga, SW Pacific. In: J.L. Smellie (Editor), *Volcanism Associated with Extension at Consuming Plate Margins*. The Geological Society, London, pp. 29-51.
- Corfu, F., 1993. The evolution of the southern Abitibi greenstone belt in light of precise U-Pb geochronology. *Economic Geology*, 88: 1323-1340.
- Côté, R., unpublished. Carte géologique d'une partie des cantons de Rouyn et de Beauchastel, comté Témiskamigue, Québec. available at the Rouyn-Noranda office of the Ministère des Ressources Naturelles du Québec.
- Cullers, R.L. and Graf, J.L., 1984. Chapter 8: Rare Earth Elements in igneous rocks of the continental crust: Intermediate and silicic rocks - ore petrogenesis. In: P. Henderson (Editor), *Rare Earth Element Geochemistry*. Developments in Geochemistry. Elsevier, Amsterdam- Oxford-New York-Tokyo, pp. 273-316.
- Davis, D.W., 1992. Age constraints on deposition and provenance of Archean Sediments in the Southern Abitibi and Pontiac Subprovinces for U-Pb analysis of detrital zircons. In: J.L. Ludden (Editor), *LITHOPROBE: Abitibi-Grenville Transect Workshop*. University of British Columbia, Montréal, pp. 147-150.
- de Rosen-Spence, A.F., 1976. Stratigraphy, development and petrogenesis of the central Noranda volcanic pile, Noranda, Quebec. Ph.D. Thesis, University of Toronto.
- Defant, M.J., Maury, R.C., Ripley, E.M., Feigenson, M.D. and Jacques, D., 1991. An example of island-arc petrogenesis: Geochemistry and petrology of the southern Luzon Arc, Philippines. *Journal of Petrology*, 32(3): 455-500.
- Desrochers, J.-P., 1998. Stratigraphie et géologie structurale du bloc composite de Malartic et des unités sédimentaires adjacentes, Abitibi, Québec. Ph.D. Thesis, Université de Montréal, Montréal.
- Desrochers, J.-P. and Hubert, C., 1996. Structural evolution and early accretion of the Archean Malartic composite block, southern Abitibi greenstone belt, Québec, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 33: 1556-1569.

- Desrochers, J.-P., Hubert, C., Ludden, J. and Pilote, P., 1993. Accretion of Archaean oceanic plateau fragments in the Malartic Composite Block, Abitibi Greenstone Belt, Canada. *Geology*, 21: 451-454.
- Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M. and Goulet, N., 1982. Evolution of the south-central part of the Archean Abitibi belt, Québec. Part I: Stratigraphy and paleogeographic model. *Journal Canadien de Sciences de la Terre*, 19: 1729-1758.
- Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M. and Goulet, N., 1983. Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, 20: 1374-1388.
- Ewart, A., Collerson, K.D., Regelous, M., Wendt, J.I. and Niu, Y., 1998. Geochemical evolution within the Tonga-Kermadec-Lau arc-backarc systems: the role of varying mantle wedge composition in space and time. *Journal of Petrology*, 39(3): 331-368.
- Fouquet, Y., von Stackelberg, U., Charlou, J.L., Erzinger, J., Herzig, P.M., Mühe, R. and Wiedicke, M., 1993. Metallogenesis in back-arc environments: the Lau Basin example. *Economic Geology*, 88: 2154-2181.
- Fryer, P., 1995. Geology of the Mariana Trough. In: B. Taylor (Editor), *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism*. Plenum Press, New York, pp. 237-279.
- Geist, D., Howard, K.A., Jellinek, A.M. and Rayder, S., 1994. The volcanic history of Volcàn Alcedo, Galàpagos Archipelago: a case study of rhyolitic oceanic volcanism. *Bulletin Volcanologique*, 56: 243-260.
- Geist, D., Howard, K.A. and Larson, P., 1995. The generation of oceanic rhyolites by crystal fractionation: the basalt-rhyolite association at Volcan Alcedo, Galapagos Archipelago. *Journal of Petrology*, 36(4): 965-982.
- Gélinas, L., Brooks, C., Perrault, G., Carignan, J., Trudel, P. and Grasso, F. 1977. Chemostratigraphic divisions within the Abitibi volcanic belt, Rouyn-Noranda, Québec. In: W.R.A. Baragar, L.C. Coleman, J.M. Hall (Editors), *Volcanic Regimes in Canada*. Géological Association of Canada, pp. 265-295.
- Gélinas, L. and Ludden, J.N., 1984. Rhyolitic volcanism and the geochemical evolution of an Archean central ring complex: The Blake River Group volcanics of the southern Abitibi belt, Superior Province. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 35: 77-88.
- Gélinas, L., Trudel, P. and Hubert, C., 1984. Chemostratigraphic division of the Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Abitibi, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 21: 220-231.
- Gibson, H.L., 1989. The geology and reconstruction of the Mine sequence and the Noranda cauldron of the Noranda complex, northwestern Québec. PhD Thesis, Carlton University.

- Gibson, H.L. and Watkinson, D.H., 1990. Volcanogenic massive sulphide deposits of the Noranda cauldron and shield volcano, Québec. In: M. Rive et al. (Editors), *The Northwestern Québec Polymetallic Belt: A summary of 60 years of mining exploration. Special Volume. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Rouyn-Noranda*, pp. 119-132.
- Goodwin, A.M., 1977. Archean volcanism in Superior Province, Canadian Shield. In: W.R.A. Baragar, L.C. Coleman and J.M. Hall (Editors), *Volcanic Regimes in Canada. Special Paper. Geological Association of Canada, Waterloo*, pp. 205-241.
- Goutier, J., 1997a. Destor (32D/07-200-0201). Ministère des Ressources naturelles du Québec, map 1:20 000.
- Goutier, J., 1997b. Géologie de la région de Destor. 96-13, Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec. 37 p.
- Gribble, R.F., Stern, R.J., Newman, S., Bloomer, S.H. and O'Hearn, T., 1998. Chemical and isotopic composition of lavas from the Northern Mariana Trough: implications for magmagenesis in back-arc basins. *Journal of Petrology*, 39(1): 125-154.
- Gudmundsson, A., 1995. Infrastructure and mechanics of volcanic systems in Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 64: 1-22.
- Hawkins, J.W., Jr., 1995. The geology of the Lau Basin. In: B. Taylor (Editor), *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism. Plenum Press, New York and London*, pp. 63-138.
- Hawkins, J.W., Lonsdale, P.F., Macdougall, J.D. and Volpe, A.M., 1990. Petrology of the axial ridge of the Mariana Trough backarc spreading center. *Earth and Planetary Science Letters*, 100: 226-250.
- Heather, K.B., Shore, G.T. and van Breemen, O., 1995. The convoluted "layer-cake": an old recipe with new ingredients for the Swayze greenstone belt, southern Superior Province, Ontario, Current Research, 1995-C. Geological Survey of Canada, pp. 1-10.
- Heather, K.B., Shore, G.T. and van Breemen, O., 1996. Geological investigations in the Swayze greenstone belt, southern Superior Province, Ontario: a final field update, Current Research, 1996-C. Geological Survey of Canada, pp. 125-136.
- Hubert, C., Trudel, P. and Gélinas, L., 1984. Archean wrench fault tectonics and structural evolution of the Blake River Group, Abitibi Belt, Québec. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, 21: 1024-1032.
- Iizasa, K., Fiske, R.S., Ishizuka, O., Yuasa, M., Hashimoto, J., Ishibashi, J., Naka, J., Horii, Y., Fujiwara, Y., Imai, A. and Koyama, S., 1999. A Kuroko-Type Polymetallic Sulfide Deposit in a Submarine Silicic Caldera. *Science*, 283: 975-977.

- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-549.
- Ishibashi, J.-i. and Urabe, T., 1995. Hydrothermal activity related to arc-backarc magmatism in the western Pacific. In: B. Taylor (Editor), *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism*. Plenum Press, New York and London, pp. 451-495.
- Jackson, S.L. and Sutcliffe, R.H., 1990. Central Superior Province geology: Evidence for an allochthonous, ensimatic, southern Abitibi greenstone belt. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 27: 582-589.
- Jackson, S.L., Fyon, J.A. and Corfu, F., 1994. Review of Archean supracrustal assemblages of the southern Abitibi greenstone belt in Ontario, Canada: products of microplate interaction within a large-scale plate-tectonic setting. *Precambrian Research*, 65: 183-205.
- Jolly, W.T., 1978. *Metamorphic History of the Archean Abitibi belt, Metamorphism in the Canadian Shield*. Paper. Geological Survey of Canada, pp. 63-77.
- Jónasson, K., 1994. Rhyolite volcanism in the Krafla central volcano, north-east Iceland. *Bulletin Volcanologic*, 56: 516-528.
- Jónasson, K., Holm, P.M. and Pedersen, A.K., 1992. Petrogenesis of silicic rocks from the Krokksfjördur central volcano, NW Iceland. *Journal of Petrology*, 33(6): 1345-1369.
- Kelemen, P.B., Shimizu, N. and Dunn, T., 1993. Relative depletion on niobium in some arc magmas and the continental crust: partitioning of K, Nb, La and Ce during melt/rock reaction in the upper mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 120: 111-134.
- Kimura, G., Ludden, J.N., Desrocher, J.-P. and Hori, R., 1993. A model of ocean-crust accretion for the Superior Province, Canada. *Lithos*, 30: 337-355.
- Laflèche, M.R., Dupuy, C. and Bougault, H., 1992a. Geochemistry and petrogenesis of Archean mafic volcanic rocks of the southern Abitibi Belt, Québec. *Precambrian Research*, 57: 207-241.
- Laflèche, M.R., Dupuy, C. and Dostal, J., 1992b. Tholeiitic volcanic rocks of the late Archean Blake River Group, southern Abitibi greenstone belt: origin and geodynamic implications. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29(7): 1448-1458.
- Lahaye, Y., Arndt, N., Byerly, G., Chauvel, C., Fourcade, S. and Gruau, G., 1995. The influence of alteration on the trace-element and Nd isotopic compositions of komatiites. *Chemical Geology*, 126: 43-64.
- Ludden, J.N. and Hubert, C., 1986. Geologic evolution of the Late Archean Abitibi greenstone belt of Canada. *Geology*, 14: 707-711.
- Ludden, J.N., Hubert, C. and Gariépy, C., 1986. The tectonic evolution of the Abitibi greenstone belt of Canada. *Geological Magazine*, 123(2): 153-166.

- Ludden, J.N. and Pélouquin, A.S., 1996. A geodynamic model for the evolution of the Abitibi belt and the implication for the origins of VMS deposits. In: D. Wyman (Editor), *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration*. Geological Association of Canada Short Course, Winnipeg, pp. 205-237.
- MacDonald, R., McGarvie, D.W., Pinkerton, H., Smith, R.L. and Palacz, Z.A., 1990. Petrogenetic evolution of Torfajökull volcanic complex, Iceland I. Relationship between the magma types. *Journal of Petrology*, 31(2): 429-459.
- Marsh, B.D., Gunnarsson, B., Congdon, R. and Carmody, R., 1991. Hawaiian basalt and Icelandic rhyolite: indicators of differentiation and partial melting. *Geologische Rundschau*, 80(2): 481-510.
- McGarvie, D.W., MacDonald, R., Pinkerton, H. and Smith, R.L., 1990. Petrogenetic evolution of the Torfajökull volcanic complex, Iceland II. The role of magma mixing. *Journal of Petrology*, 31(2): 461-481.
- Mortensen, J.K., 1987. Preliminary U-Pb zircon ages for volcanic and plutonic rocks of the Noranda-Lac Abitibi area, Abitibi subprovince, Québec, Geological Survey of Canada Paper 87-1A, pp. 581-590.
- Mortensen, J.K., 1993. U-Pb geochronology of the eastern Abitibi Subprovince. Part 2: Noranda - Kirkland Lake area. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30: 29-41.
- Mortensen, J.K. and Card, K.D., 1993. U-Pb age constraints for the magmatic and tectonic evolution of the Pontiac Subprovince, Québec. *Canadian Journal of Earth Science*, 30: 1970-1980.
- Morton, J. and Sleep, N.H., 1985. Seismic reflections from a Lau Basin magma chamber. In: D. Scholl and T. Vallier (Editors), *Geology and Offshore Resources of Pacific Island Arcs - Tonga Region*. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Houston, TX, pp. 441-453.
- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 67: 841-875.
- Paradis, S., 1990. Stratigraphy, volcanology and geochemistry of the New Vauze - Norbec area, Central Noranda Volcanic Complex, Québec, Canada. Ph.D. Thesis, Carleton University.
- Pearce, J.A., Ernewein, M., Bloomer, S.H., Parson, L.M., Murton, B.J. and Johnson, L.E., 1995. Geochemistry of Lau Basin volcanic rocks: influence of ridge segmentation and arc proximity. In: J.L. Smellie (Editor), *Volcanism Associated with Extension at Consuming Plate Margins*. Geological Society Special Publications. The Geological Society, London, pp. 53-75.
- Pélouquin, A.S., Verpaelst, P., Dejou, B. and Gaulin, R., unpublished. Le Projet Blake River Ouest dans les cantons de Dufresnoy, de Duprat, de Montbray, de Beauchastel et de Dasserat, SNRC 32D/06 et 32D/05, Ministère des Ressources Naturelles du Québec.

- Péloquin, A.S., Verpaelst, P. and Ludden, J.N., 1996. Spherulitic rhyolites of the Archean Blake River Group, Canada: Implications for stratigraphic correlation and VMS exploration. *Economic Geology*, 91: 343-354.
- Powell, W.G., Carmichael, D.M. and Hodgson, C.J., 1995. Conditions and timing of metamorphism in the southern Abitibi greenstone belt, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32: 787-805.
- Sangster, D.F., 1972. Precambrian Volcanogenic Massive Sulphide Deposits in Canada: A Review. 72-22, Geological Survey of Canada, Ottawa.
- Sangster, D.F. and Scott, S.D., 1976. Precambrian, strata-bound, massive Cu-Zn-Pb sulfide ores of North America. In: K.H. Wolf (Editor), *Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits. II. Regional Studies and Specific Deposits*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, pp. 128-222.
- Scott, S.D., 1980. Geology and structural control of Kuroko-type massive sulphide deposits. In: D.W. Strangway (Editor), *The Continental Crust and Its Mineral Deposits. Special Paper*. Geological Association of Canada, pp. 703-721.
- Smith, R.L. and Bailey, R.A., 1968. Resurgent cauldrons. *Memoirs of the Geological Society of America*, 116: 613-662.
- Spence, C.D. and de Rosen-Spence, A.F., 1975. The place of sulfide mineralization in the volcanic sequence at Noranda, Quebec. *Economic Geology*, 70: 90-101.
- Stern, R.J., Ping-Nan Lin, Morris, J.D., Jackson, M.C., Fryer, P., Bloomer, S.H. and Ito, E., 1990. Enriched back-arc basin basalts from the northern Mariana Trough: implications for the magmatic evolution of back-arc basins. *Earth and Planetary Science Letters*, 100: 210-225.
- Sun, S.-s. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders and M.J. Norry (Editors), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication, pp. 313-345.
- Taylor, B. (Editor), 1995. *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism*. Plenum Press, New York and London, 521 pp.
- Thurston, P.C. and Chivers, K.M., 1990. Secular variation in greenstone sequence development emphasizing Superior Province, Canada. *Precambrian Research*, 46: 21-58.
- Trudel, P., 1978. *Géologie de la région de Cléricy, Abitibi-Ouest*. DP-598, Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Québec. 150 p.
- Ujike, O. and Goodwin, A.M., 1987. Geochemistry and origin of Archean felsic metavolcanic rocks, central Noranda area, Québec, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 24: 2551-2567.

- Urabe, T., Scott, S.D. and Hattori, K., 1983. A comparison of footwall-rock alteration and geothermal systems beneath some Japanese and Canadian volcanogenic massive sulfide deposits. *Economic Geology*, Monograph 5: 345-364.
- Vaillancourt, D., 1996. Âges U-Pb des minéralisations de type sulfures massifs volcanogènes dans le Groupe de Blake River de la Sous-province de l'Abitibi, Québec: Les sites d'Aldermac, Hébecourt et Millenbach. M.Sc. Thesis, Université du Québec à Montréal, Montréal, 32 pp.
- Verpaelst, P., 1985. Géologie de la séquence volcanique archéenne de Duprat, Abitibi, Québec. Ph.D. Thesis, Université de Montréal.
- Verpaelst, P., Péloquin, A.S., Adam, E., Barnes, A.E., Ludden, J.N., Dion, D.-J., Hubert, C., Milkereit, B. and Labrie, M., 1995. Seismic reflection profiles across the "Mine Series" in the Noranda camp of the Abitibi belt, eastern Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32: 167-176.
- Verpaelst, P. and Rioux, N., 1992. Hébecourt - Montsabrais 3. DV-92-02, Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Québec. p. 57.
- Walker, G.P.L., 1984. Downsag calderas, ring faults, caldera sizes, and incremental caldera growth. *Journal of Geophysical Research*, 89(B10): 8407-8416.
- Williams, H., 1941. Calderas and their origin. University of California, Department of Geological Sciences, Bulletin, 25(6): 239-346.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrology: A Global Tectonic Approach*. Unwin Hyman Ltd, London, Boston, Sydney, Wellington, 466 pp.
- Wong, L., Davis, D.W., Krogh, T.E. and Robert, F., 1991. U-Pb zircon and rutile chronology of Archean greenstone formation and gold mineralization in the Val d'Or region, Québec. *Earth and Planetary Science Letters*, 104: 325-336.
- Woodhead, J.D. and Johnson, R.W., 1993. Isotopic and trace-element profiles across the New Britain island arc, Papua New Guinea. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 113: 479-491.
- Wyman, D.A., 1999. A 2.7 Ga depleted tholeiite suite: evidence of plume-arc interaction in the Abitibi Greenstone Belt, Canada. *Precambrian Research*, 97: 27-42.
- Zhang, Q., unpublished data. Application de la methode de datation U-Pb aux zircons du sud-est de l'Abitibi, Quebec.
- Zhang, Q.-Z., Machado, N., Ludden, J.N. and Moore, D.M., 1993. Geotectonic constraints from U-Pb ages for the Blake River Group, the Kinojévis Group and the Normétal mine area, Abitibi, Québec, Geological Association of Canada/Mineralogical Association of Canada Annual Meeting. Program with Abstracts, Edmonton, Canada, pp. A114.

6.0 CONCLUSION

The Blake River Group in Québec is characterized by the presence of andesites and rhyolites; basalts are concentrated in the southern part of the Group and dacites are rare. Volcanogenic Massive Sulphide (VMS) deposits are associated with the areas of rhyolitic volcanism; in fact, the Blake River Group is the type-locality for Noranda-type VMS deposits (Sangster, 1972; Sangster and Scott, 1976). The andesites and basalts in the study area are classified into three geochemical affinities: tholeiitic, LREE-enriched, and transitional between the former two. The geographic distribution of the lithologies and geochemical affinities resulted in the Blake River Group being informally subdivided into subgroups. Although the term subgroup is no longer an official term in the North American Stratigraphic Code (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983), it is still used here, as the Blake River Group has locally been informally subdivided into formations and members (de Rosen-Spence, 1976; Gibson, 1989). Redefining the Blake River as a Super-group is premature; new data from the western Abitibi (Heather et al., 1995; Heather et al., 1996; Ayer et al., 1999a; Ayer et al. 1999b) shows that rethinking the internal structure of the entire Abitibi may be in order. Reclassification of the Blake River Group should then be undertaken in conjunction with the overall restructuring of the Abitibi Sub-province nomenclature.

The Blake River Group in Québec is subdivided into three subgroups. The tholeiitic basalts south of the Rouyn Fault form the Rouyn-Pelletier subgroup, comprising the Rouyn and Pelletier chemostratigraphic units of Gélinas et al. (1984). The andesites and rhyolites in the eastern part of the group form the Noranda subgroup; the andesites of the Noranda subgroup exhibit all three geochemical affinities. The area west of the Noranda subgroup, dominated by andesites also exhibiting all three geochemical affinities, form the Misema subgroup, after Goodwin (1977).

The stratigraphic relationship between the three subgroups of the Blake River Group is of utmost importance for the interpretation of the group's evolution, and therefore, for

the formation of the VMS deposits. Goodwin (1977) considered the subgroups to be vertically stacked with the Misema being older than the Noranda. However, the recognition of a key-bed, the highly spherulitic Fish-roe rhyolite, in all three of the subgroups indicates that they are, at least in part, contemporaneous (Péloquin et al., 1996). If the Misema sub-group were older than the Noranda and subsequently uplifted to its present position, a higher metamorphic grade and decreased upper-crustal thickness would be expected in the area. Powell et al. (1995) has shown that there is no change in metamorphic grade, and geophysical surveys (gravity: Bellefleur (1992) and seismic reflection: Verpaelst et al. (1995)) indicate that the upper-crust thickens to the west. The three subgroups forming at the same time implies that three magmatic systems were concurrently active: the basaltic system of the Rouyn-Pelletier subgroup, the andesitic system of the Misema subgroup and the bimodal, andesite-rhyolite system of the Noranda subgroup. The lithological and geochemical differences between the three subgroups, therefore, represent lateral variations. The change from andesitic volcanism to andesitic plus rhyolitic volcanism between the Misema and Noranda subgroups is interpreted to represent an along-axis variation on a propagating ridge. The Noranda would be the tip of the ridge where the thicker, colder crust allowed a stable magma chamber to form (Figure 6.1a), and the Misema would be a more mature part of the ridge. The Rouyn-Pelletier subgroup is peripheral to the main ridge, possibly a sub-parallel ridge (Figure 6.1) (Péloquin et al., 1996; Ludden and Péloquin, 1996; Péloquin et al., accepted).

In addition to the three magmatic systems operating, the systems themselves exhibit multiple magmatic components. The Rouyn-Pelletier subgroup seems to be the most homogeneous of the three subgroups, being dominated by tholeiitic basalts. However, LREE-enriched and transitional andesites do, rarely, occur. The Misema and Noranda subgroups exhibit the same geochemical affinities, the difference between the two lying in the percentage of rhyolite present. This association of multiple geochemical affinities has been long recognized in the Blake River Group in general (Goodwin, 1977; Gélinas et al., 1984). The problem of the relationship between the affinities and their possible interactions was addressed by Laflèche et al. (1992a and 1992b). They demonstrated by petrogenetic modelling that the evolutionary trends of the tholeiitic lavas in the

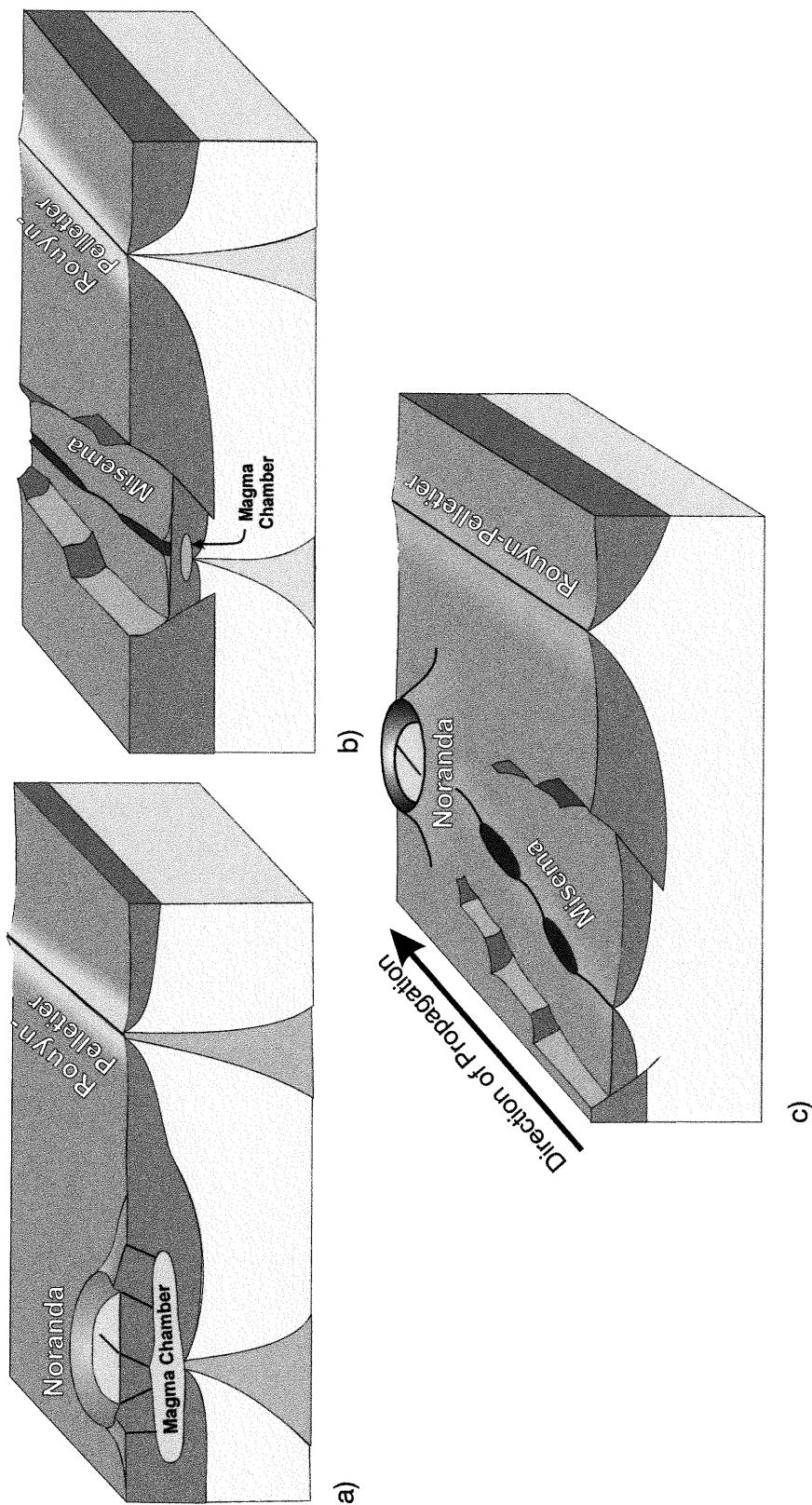


Figure 6.1: The proposed geographic relationship of the Noranda, Misema and Rouyn-Pelletier Subgroups at the time of their formation. a) schematic cross-sectional view of the Noranda and Rouyn-Pelletier Subgroups. b) schematic cross-sectional view of the Misema and Rouyn-Pelletier Subgroups. c) schema of the relationship between the three subgroups; the Noranda and Misema Subgroups representing the leading edge of a propagating ridge and the more mature basin, respectively; the Rouyn-Pelletier representing a parallel ridge system.

Relation paléogéographique proposée pour les sous-groupes de Noranda, de Misema et de Rouyn-Pelletier lors de leurs formations. a) schéma d'une coupe à travers les sous-groupes de Noranda et de Rouyn-Pelletier. b) schéma d'une coupe à travers les sous-groupes de Misema et de Rouyn-Pelletier. c) schéma de la relation entre les trois sous-groupes; le Noranda représente le point de propagation d'une ride; le Misema représente la portion la plus mature du bassin; le Rouyn-Pelletier représente une ride parallèle à la ride Misema - Noranda.

easternmost extremity of the Blake River Group could be explained by contamination by the LREE-enriched lavas. Recent U-Pb ages (Vaillancourt, 1996) show that the youngest rhyolites known in the Blake River Group contain inherited zircons having the same ages as the older rhyolites. The contamination of young rhyolites by older rhyolites suggests that the andesites and basalts are also contaminated. Petrogenetic modelling using XSTALN (program by D. Francis, McGill University) demonstrates that the tholeiitic trends can be reproduced by rhyolite contamination (Péloquin et al., in preparation). In all likelihood, both interaction of the two main mafic-intermediate affinities and contamination by pre-existing rhyolites play a part in the chemical evolution observed in the Blake River Group. It was postulated, *a priori*, that the transitional andesites were formed by the mixing of a tholeiitic and an LREE-enriched component (Péloquin et al., accepted). This theory was tested by binary mixing of the two end-member affinities (BINMIX - program by D. Francis, McGill University), and a reasonable reproduction of a transitional andesite was obtained (Péloquin et al., in preparation).

The relationship between the three geochemical affinities of the mafic-intermediate rocks of the Blake River Group in Québec is complex. There are two main affinities (tholeiitic and LREE-enriched) which mixed to form the third affinity (transitional). The evolutionary trends observed for the LREE-enriched lavas defied modelling, but the trends of the tholeiitic lavas are consistent with both contamination by the LREE-enriched magma (Lafèche et al., 1992a and 1992b) and by pre-existing rhyolite (Péloquin et al., in preparation). There is obviously complex interaction between all the components of the system.

The geochemistry of the rhyolites is consistent with their having evolved from the transitional andesites. This theory, as well as the possibility of their having evolved from the tholeiitic and LREE-enriched magmas, was tested. The model results show that fractionation of the transitional magmas, with or without rhyolite contamination, and fractionation of the tholeiitic magmas with rhyolite contamination can produce rhyolitic compositions similar to those of the Blake River Group. However, the models did not produce all of the rhyolitic compositions observed, particularly the highly evolved

rhyolites. Alternative processes that also generate rhyolitic magmas, such as crustal melting, may be in play, but were not examined here.

Modern environments are often used as analogies for the Archean, and while this practice has its drawbacks, using a modern frame of reference remains the best way to grapple with the ancient data. In seeking a modern analogue for the Blake River Group in Québec the presence of basalts, andesites and rhyolites, and their geographic distribution must be considered. The analogy must also meet the requirements of multiple geochemical affinities, locally interlayered, and the presence of major hydrothermal systems, manifest by the VMS deposits in the Noranda subgroup. Of the two environments considered here (incipient back-arc basins - Mariana and Lau basins, and zones of interaction between spreading centres and mantle plumes - Iceland), the incipient back-arc basin model best-fits the Blake River Group criteria. Iceland has much higher La contents than seen in the Blake River, and does not have negative Nb anomalies (Péloquin et al., in preparation). Negative Nb anomalies are a distinctive characteristic of volcanic rocks in subduction zone environments, and the LREE-enriched lavas of the Blake River Group exhibit such anomalies. The increasingly frequent recognition of felsic rocks at the tip of propagating ridges during basin formation (Gribble et al., 1998; Fryer, 1995; Hawkins, 1995), and the presence of hydrothermal fields and VMS deposits with the felsic rocks (Ishibashi and Urabe, 1995) also point to nascent back-arc basins as an analogy to the Blake River Group.

The Blake River Group in Québec is interpreted to represent an incipient back-arc basin. The Misema and Noranda subgroups were formed by the propagating ridge: the Misema being the more mature segment of the ridge, and the Noranda being the tip. The Rouyn-Pelletier subgroup is viewed as an independent system peripheral to the ridge (Figure 6.1). Using the Lau basin as an example, the Blake River Group is on scale with the Valu Fa Ridge, which is the propagating tip of the East Lau Spreading Centre (Figure 6.2).

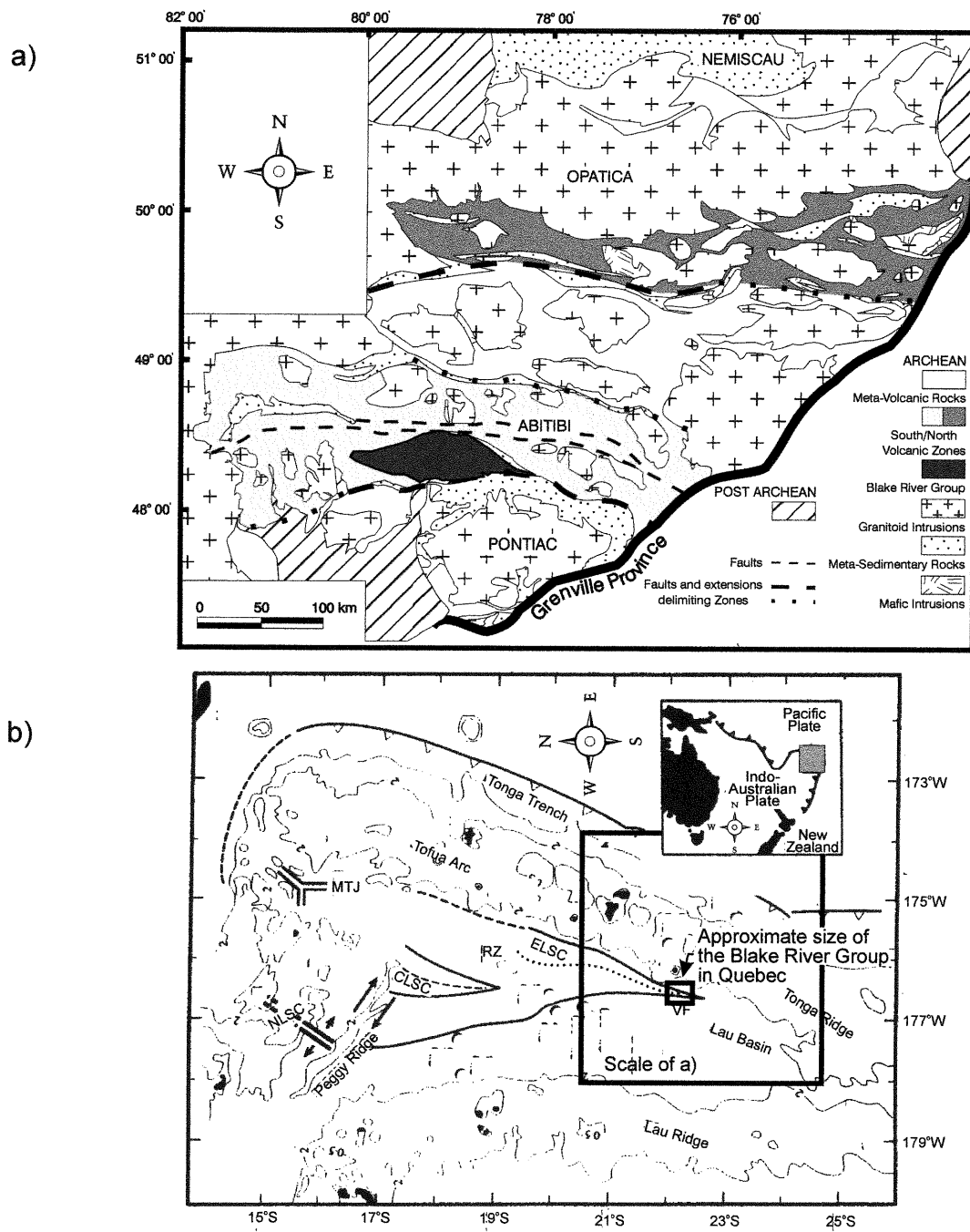


Figure 6.2: Maps of a) the Blake River Group in the Superior Province of Canada and b) the Lau basin in the South Pacific. Shows scale of Blake River Group compared to the propagating tip (Valu Fa Ridge - VF) of the East Lau Spreading Centre (ELSC). (Lau basin map from Hawkins, 1995: ELSC - East Lau Spreading Centre; CLSC - Central Lau Spreading Centre; VF - Valu Fa Ridge; RZ - Relay Zone; NLSC - North Lau Spreading Centre; MTJ - Mangatolu Triple Junction).

Cartes a) du Groupe de Blake River, Province Supérieure du Canada et b) du bassin de Lau, Pacifique-Sud. Comparaison d'échelle entre le Groupe de Blake River et le point du ride (VF) du ELSC. Carte de bassin de Lau d'après Hawkins (1995).

7.0 REFERENCES

- Adam, E. Milkereit, B., Mareschal, M., Barnes, A.E., Hubert, C. and Salisbury, M., 1992. The application of reflection seismology to the investigation of the geometry of near-surface units and faults in the Blake River Group, Abitibi Belt, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29: 2038-2045.
- Ambrose, J.W., 1941. Clericy and La Pause map area, Quebec. 233, Geological Survey of Canada, Ottawa. Memoire 233, 110 p.
- Anaconda, 1982. Travaux statutaires dans le canton Duprat. GM 39500, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec. GM 39500, 22 p.
- Anaconda, 1983. Travaux statutaire dans le canton Duprat. GM 40557, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec. GM 40557, 219 p.
- Ayer, J.A., Trowell, N.F., Amelin, Y. and Corfu, F., 1999a. 4. Project Unit 95-24. Geological compilation of the Abitibi greenstone belt in Ontario: Toward a revised stratigraphy based on compilation and new geochronology results. In: J.A. Ayer, C.L. Baker, J.C. Ireland, R.I. Kelly and P.C. Thurston (Editors), *Summary of Field Work and Other Activities*. Miscellaneous Paper 169. Ontario Geological Survey, pp. 14-24.
- Ayer, J.A., Trowell, N.F., Madon, Z., Kamo, S., Kwok, Y.Y. and Amelin, Y., 1999b. 4. Compilation of the Abitibi greenstone belt in the Timmins-Kirkland Lake area: revisions to stratigraphy and new geochronological results, *Summary of Field Work and Other Activities*. Ontario Geological Survey, pp. 4-1 - 4-15.
- Bacon, C.R., Macdonald, R., Smith, R.L. and Baedeker, P.A., 1981. Pleistocene high-silica rhyolites of the Coso Volcanic Field, Inyo County, California. *Journal of Geophysical Research*, 86(B11): 10223-10241.
- Baragar, W.R.A., 1968. Major-element geochemistry of the Noranda volcanic belt, Québec - Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 5(4): 773-790.
- Barrett, T.J. and MacLean, W.H., 1994. Gisements de sulfures massifs de la région de Rouyn-Noranda. 93-01, Ministère des Ressources Naturelles du Québec. 115 p.
- Bates, R.L. and Jackson, J.A., 1980. *Glossary of Geology*, American Geological Institute, 749 pp.
- Behr, S.R., Dugas, J. and Emo, B.W., 1958. Partie de l'ouest du canton Duprat rapport préliminaire 368, carte 1224, 1:24 000, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec.
- Bellefleur, G., 1992. Contribution des méthodes de potentiel à la cartographie géologique et à la structure profonde dans le Groupe de Blake River, Abitibi. MScA Thesis, École Polytechnique de Montréal. 101 p.

- Binns, R.A. and Scott, S.D., 1993. Activity-forming polymetallic sulfide deposits associated with felsic volcanic rocks in the eastern Manus Basin, Papua - New Guinea. *Economic Geology*, 88: 2226-2236.
- Binns, R.A. and Whitford, D.J., 1987. Volcanic rocks from the western Woodlark Basin, Papua New Guinea, Pacific Rim Congress 87. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Gold Coast, Queensland, Australia. pp. 531-535.
- Calvert, A.J. and Ludden, J.N., 1999. Archean continental assembly in the Southeastern Superior Province of Canada. *Tectonics*, in press.
- Calvert, A.J., Sawyer, E.W., Davis, W.J. and Ludden, J.N., 1995. Archean subduction inferred from seismic images of a mantle suture in the Superior Province. *Nature*, 375: 670-674.
- Camiré, G., 1989. Volcanic stratigraphy in the Hunter Creek Fault area, east of the Flavrian Pluton, Rouyn-Noranda, Québec. M.Sc. Thesis, Carlton University, Ottawa, 213 p.
- Capdevila, R., Goodwin, A.M., Ujike, O. and Gorton, M.P., 1982. Trace-element geochemistry of Archean volcanic rocks and crustal growth in southwestern Abitibi Belt, Canada. *Geology*, 10: 418-422.
- Chartrand, F. and Cattalani, S., 1990. Massive sulphide deposits in northwestern Québec. In: M. Rive et al. (Editors), *The Northwestern Québec Polymetallic Belt: A summary of 60 years of mining exploration. Special Volume 43.* Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Rouyn-Noranda, pp. 77-91.
- Christie, D.M. and Sinton, J.M., 1981. Evolution of abyssal lavas along propagating segments of the Galapagos spreading center. *Earth and Planetary Science Letters*, 56: 321-335.
- Clift, P.D. and ODP Leg 135 Scientific Party, 1995. Volcanism and sedimentation in a rifting island-arc terrain: an example from Tonga, SW Pacific. In: J.L. Smellie (Editor), *Volcanism Associated with Extension at Consuming Plate Margins.* The Geological Society, London, pp. 29-51.
- Corfu, F., 1993. The evolution of the southern Abitibi greenstone belt in light of precise U-Pb geochronology. *Economic Geology*, 88: 1323-1340.
- Côté, R., unpublished. Carte géologique d'une partie des cantons de Rouyn et de Beauchastel, comté Témiskamigue, Québec. available at the Rouyn-Noranda office of the Ministère des Ressources Naturelles du Québec.
- Cousineau, P.A., 1980. Stratigraphie et faciès des andésites Amulet, près de la mine Norbec, Rouyn-Noranda, Québec. M.Sc.A. Thesis, Université du Québec à Chicoutimi. 104 p.
- Cousineau, P.A., 1981. Organisation des coulées de la Formation andésitique d'Amulet (partie nord) DPV-731, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. 41p.

- Cullers, R.L. and Graf, J.L., 1984. Chapter 8: Rare Earth Elements in igneous rocks of the continental crust: Intermediate and silicic rocks - ore petrogenesis. In: P. Henderson (Editor), *Rare Earth Element Geochemistry. Developments in Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam- Oxford-New York-Tokyo, pp. 273-316.
- Davis, D.W., 1992. Age constraints on deposition and provenance of Archean Sediments in the Southern Abitibi and Pontiac Subprovinces for U-Pb analysis of detrital zircons. In: J.L. Ludden (Editor), *LITHOPROBE: Abitibi-Grenville Transect Workshop*. University of British Columbia, pp. 147-150.
- de Rosen-Spence, A.F., 1976. Stratigraphy, development and petrogenesis of the central Noranda volcanic pile, Noranda, Quebec. Ph.D. Thesis, University of Toronto, Ontario. 166 p.
- Defant, M.J., Maury, R.C., Ripley, E.M., Feigenson, M.D. and Jacques, D., 1991. An example of island-arc petrogenesis: Geochemistry and petrology of the southern Luzon Arc, Philippines. *Journal of Petrology*, 32(3): 455-500.
- Dejou, B., 1992. Pétrographie et géochimie du pluton syénitique du lac Tarsac, canton Montbray, Abitibi. M.Sc. Thesis, L'École Polytechnique de Montréal. 140 p.
- Dejou, B., Valiquette, G. and Verpaelst, P., 1990. Petrography and geochemistry of Tarsac Lake alkaline pluton, Abitibi, Québec., Geological Association of Canada / Mineralogical Association of Canada, Joint Annual Meeting, Vancouver.
- Desrochers, J.-P., 1998. Stratigraphie et géologie structurale du bloc composite de Malartic et des unités sédimentaires adjacentes, Abitibi, Québec. Ph.D. Thesis, Université de Montréal, Montréal, Québec. 188 p.
- Desrochers, J.-P. and Hubert, C., 1996. Structural evolution and early accretion of the Archean Malartic composite block, southern Abitibi greenstone belt, Québec, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 33: 1556-1569.
- Desrochers, J.-P., Hubert, C., Ludden, J. and Pilote, P., 1993. Accretion of Archaean oceanic plateau fragments in the Malartic Composite Block, Abitibi Greenstone Belt, Canada. *Geology*, 21: 451-454.
- Dimroth, E., Cousineau, P., Leduc, M. and Sanschagrín, Y., 1978. Structure and organization of Archean subaqueous basalt flows, Rouyn-Noranda Area. *Journal Canadien de Sciences de la Terre*, 15: 902-918.
- Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M. and Goulet, N., 1982. Evolution of the south-central part of the Archean Abitibi belt, Québec. Part I: Stratigraphy and paleogeographic model. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 19: 1729- 1758.
- Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M. and Goulet, N., 1983a. Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part II: Tectonic evolution and geomechanical model. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20: 1355-1373.

- Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M. and Goulet, N., 1983b. Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20: 1374-1388.
- Dugas, J., 1957. Northwest quarter of Duprat Township, Rouyn-Noranda County, carte 1:12 000, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec.
- Dugas, J., 1964. Quart nord-ouest du canton de Dufresnoy, Comte de Rouyn-Noranda. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec.
- Dugas, J. and Gilbert, J.E., 1955. Northeast quarter of Dasserat Township, Rouyn-Noranda County, carte 1:12 000, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec.
- Dugas, J. and Hogg, W.A., 1965. Southeast quarter of Montbray Township, carte 1535, 1:12 000, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec.
- Ewart, A., Collerson, K.D., Regelous, M., Wendt, J.I. and Niu, Y., 1998. Geochemical evolution within the Tonga-Kermadec-Lau arc-backarc systems: the role of varying mantle wedge composition in space and time. *Journal of Petrology*, 39(3): 331-368.
- Fouquet, Y., von Stackelberg, U., Charlou, J.L., Erzinger, J., Herzig, P.M., Mühe, R. and Wiedicke, M., 1993. Metallogenesis in back-arc environments: the Lau Basin example. *Economic Geology*, 88: 2154-2181.
- Fowler, A.D. and Jensen, L.S., 1989. Quantitative trace-element modelling of the crystallization history of the Kinojévis and Blake River Groups, Abitibi Greenstone Belt, Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26(7): 1356-1367.
- Fryer, P., 1995. Geology of the Mariana Trough. In: B. Taylor (Editor), *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism*. Plenum Press, New York, pp. 237-279.
- Fryer, P., Taylor, B., Langmuir, C.H. and Hochstaedter, A.G., 1990. Petrology and geochemistry of lavas from the Sumisu and Torishima backarc rifts. *Earth and Planetary Science Letters*, 100: 161-178.
- Furnes, H., Fridleifsson, I.B. and Atkins, F.B., 1980. Subglacial volcanics on the formation of acid hyaloclastites. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 8: 95-110.
- Geist, D., Howard, K.A., Jellinek, A.M. and Rayder, S., 1994. The volcanic history of Volcàn Alcedo, Galàpagos Archipelago: a case study of rhyolitic oceanic volcanism. *Bulletin Volcanologique*, 56: 243-260.
- Geist, D., Howard, K.A. and Larson, P., 1995. The generation of oceanic rhyolites by crystal fractionation: the basalt-rhyolite association at Volcan Alcedo, Galapagos Archipelago. *Journal of Petrology*, 36(4): 965-982.

- Gélinas, L., Brooks, C., Perrault, G., Carignan, J., Trudel, P. and Grasso, F. 1977. Chemostratigraphic divisions within the Abitibi volcanic belt, Rouyn-Noranda, Québec. In: W.R.A. Baragar, L.C. Coleman, J.M. Hall (Editors), *Volcanic Regimes in Canada*. Geological Association of Canada, pp. 265-295.
- Gélinas, L. and Ludden, J.N., 1984. Rhyolitic volcanism and the geochemical evolution of an Archean central ring complex: The Blake River Group volcanics of the southern Abitibi belt, Superior Province. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 35: 77-88.
- Gélinas, L., Trudel, P. and Hubert, C., 1984a. Chemostratigraphic division of the Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Abitibi, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 21: 220-231.
- Gélinas, L., Trudel, P. and Hubert, C., 1984b. Chimico- stratigraphie et tectonique du Groupe de Blake River, MM 83-01, Ministère de L'Energie et des Ressources du Québec.
- Gibson, H.L., 1989. The geology and reconstruction of the Mine sequence and the Noranda cauldron of the Noranda complex, northwestern Québec. PhD Thesis, Carlton University, Ottawa. 715 p.
- Gibson, H.L. and Watkinson, D.H., 1990. Volcanogenic massive sulphide deposits of the Noranda cauldron and shield volcano, Québec. In: M. Rive et al. (Editors), *The Northwestern Québec Polymetallic Belt: A summary of 60 years of mining exploration*. Special Volume. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Rouyn-Noranda, Special Volume 43, pp. 119-132.
- Goodwin, A.M., 1977. Archean volcanism in Superior Province, Canadian Shield. In: W.R.A. Baragar, L.C. Coleman, J.M. Hall (Editors), *Volcanic Regimes in Canada*. Special Paper. Geological Association of Canada. pp. 205-241.
- Goodwin, A.M., 1979. Archean volcanic studies in the Timmins - Kirkland Lake - Noranda region of Ontario and Québec. 278, Geological Survey of Canada, Ottawa. 51 p.
- Goodwin, A.M. and Smith, I.E.M., 1980. Chemical discontinuities in Archean metavolcanic terrains and the development of Archean crust. *Precambrian Research*, 10: 301-311.
- Goutier, J., 1997a. Destor (32D/07-200-0201). Ministère des Ressources naturelles du Québec, map 1:20 000.
- Goutier, J., 1997b. Géologie de la région de Destor. 96-13, Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec. 37 p.
- Green, A., Milkereit, B., Maynard, L., Ludden, J.N., Hubert, C., Jackson, S.L., Sutcliffe, R.H., West, G.F., Verpaelst, P. and Simard, A., 1990. Deep structure of an Archean greenstone terrane. *Geology*, 344: 327-330.

- Gribble, R.F., Stern, R.J., Newman, S., Bloomer, S.H. and O'Hearn, T., 1998. Chemical and isotopic composition of lavas from the Northern Mariana Trough: implications for magmagenesis in back-arc basins. *Journal of Petrology*, 39(1): 125-154.
- Gudmundsson, A., 1995. Infrastructure and mechanics of volcanic systems in Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 64: 1-22.
- Gunning, H.C., 1937. Cadillac Area, Québec. Geological Survey of Canada. 206: 80 p.
- Halliday, A.N., Mahood, G.A., Holden, P., Metz, J.M., Dempster, T.J. and Davidson, J.P., 1989. Evidence for long residence times of rhyolitic magma in the Long Valley magmatic system: the isotopic record in precaldera lavas of Glass Mountain. *Earth and Planetary Science Letters*, 94: 274-290.
- Hargreaves, R. and Ayres, L.D., 1979. Morphology of Archean meta-basalt flows, Utik Lake, Manitoba. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 16: 1452-1466.
- Hawkins, J.W., Jr., 1995. The geology of the Lau Basin. In: B. Taylor (Editor), *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism*. Plenum Press, pp. 63-138.
- Hawkins, J.W., Lonsdale, P.F., Macdougall, J.D. and Volpe, A.M., 1990. Petrology of the axial ridge of the Mariana Trough backarc spreading center. *Earth and Planetary Science Letters*, 100: 226-250.
- Heather, K.B., Shore, G.T. and van Breemen, O., 1995. The convoluted "layer-cake": an old recipe with new ingredients for the Swayze greenstone belt, southern Superior Province, Ontario, Current Research, 1995-C. Geological Survey of Canada, pp. 1-10.
- Heather, K.B., Shore, G.T. and van Breemen, O., 1996. Geological investigations in the Swayze greenstone belt, southern Superior Province, Ontario: a final field update, Current Research, 1996-C. Geological Survey of Canada, pp. 125-136.
- Hildreth, W., 1981. Gradients in silicic magma chambers: Implications for lithospheric magmatism. *Journal of Geophysical Research*, 86(B11): 10153-10192.
- Hogg, W.A., 1959. Quart nord-est du canton Montbray, carte 1276, 1:12 000. 389, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.
- Hogg, W.A. and Dugas, J., 1965. Moitié est du canton Montbray, cartes 1534 et 1535, 1:12 000. 115, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. 38 p.
- Hubert, C., Trudel, P. and Gélinas, L., 1984. Archean wrench fault tectonics and structural evolution of the Blake River Group, Abitibi Belt, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 21: 1024-1032.
- Iizasa, K., Fiske, R.S., Ishizuka, O., Yuasa, M., Hashimoto, J., Ishibashi, J., Naka, J., Horii, Y., Fujiwara, Y., Imai, A. and Koyama, S., 1999. A Kuroko-Type Polymetallic Sulfide Deposit in a Submarine Silicic Caldera. *Science*, 283: 975-977.

- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-549.
- Ishibashi, J.-i. and Urabe, T., 1995. Hydrothermal activity related to arc-backarc magmatism in the western Pacific. In: B. Taylor (Editor), *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism*. Plenum Press, pp. 451-495.
- Jackson, S.L. and Fyon, J.A., 1991. The Western Abitibi Subprovince in Ontario. In: P.C. Thurston, H.R. Williams, R.H. Sutcliffe and G.M. Stott (Editors), *Geology of Ontario. Special Volume 4, part 1*. Ontario Geological Survey, pp. 405-482.
- Jackson, S.L. and Sutcliffe, R.H., 1990. Central Superior Province geology: Evidence for an allochthonous, ensimatic, southern Abitibi greenstone belt. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 27: 582-589.
- Jackson, S.L., Cruden, A.R., White, D. and Milkereit, B., 1995. A seismic-reflection-based regional cross section of the southern Abitibi greenstone belt. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32: 135-148.
- Jackson, S.L., Fyon, J.A. and Corfu, F., 1994. Review of Archean supracrustal assemblages of the southern Abitibi greenstone belt in Ontario, Canada: products of microplate interaction within a large-scale plate-tectonic setting. *Precambrian Research*, 65: 183-205.
- Jackson, S.L., Sutcliffe, R.H., Ludden, J.N., Hubert, C., Green, A.G., Milkereit, B., Mayrand, L., West, G.F. and Verpaelst, P., 1990. Southern Abitibi greenstone belt: Archean crustal structure from seismic-reflection profiles. *Geology*, 18(11): 1086-1090.
- Jensen, L.S., 1985. Stratigraphy and petrogenesis of Archean metavolcanic sequences, southwestern Abitibi Subprovince, Ontario. In: L.D. Ayres, P.C. Thurston, K.D. Card and W. Weber (Editors), *Evolution of Archean Supracrustal Sequences*. Geological Association of Canada, pp. 65-87.
- Jolly, W.T., 1978. Metamorphic History of the Archean Abitibi belt, Metamorphism in the Canadian Shield. Paper. Geological Survey of Canada, pp. 63-77.
- Jónasson, K., 1994. Rhyolite volcanism in the Krafla central volcano, north-east Iceland. *Bulletin Volcanologic*, 56: 516-528.
- Jónasson, K., Holm, P.M. and Pedersen, A.K., 1992. Petrogenesis of silicic rocks from the Krokksfjörður central volcano, NW Iceland. *Journal of Petrology*, 33(6): 1345-1369.
- Kelemen, P.B., Shimizu, N. and Dunn, T., 1993. Relative depletion on niobium in some arc magmas and the continental crust: partitioning of K, Nb, La and Ce during melt/rock reaction in the upper mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 120: 111-134.

- Kimura, G., Ludden, J.N., Desrocher, J.-P. and Hori, R., 1993. A model of ocean-crust accretion for the Superior Province, Canada. *Lithos*, 30: 337-355.
- Kirkpatrick, R.J., 1978. Processes of crystallization in pillow basalts, Hole 396B, D.S.D.P. Leg 46. 46: 185-188.
- Lafèche, M.R., Dupuy, C. and Bougault, H., 1992a. Geochemistry and petrogenesis of Archean mafic volcanic rocks of the southern Abitibi Belt, Québec. *Precambrian Research*, 57: 207-241.
- Lafèche, M.R., Dupuy, C. and Dostal, J., 1992b. Tholeiitic volcanic rocks of the late Archean Blake River Group, southern Abitibi greenstone belt: origin and geodynamic implications. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29(7): 1448-1458.
- Lahaye, Y., Arndt, N., Byerly, G., Chauvel, C., Fourcade, S. and Gruau, G., 1995. The influence of alteration on the trace-element and Nd isotopic compositions of komatiites. *Chemical Geology*, 126: 43-64.
- Leduc, M., 1986. Géologie de la région du lac Dasserat, Abitibi (Groupe de Blake River). 86-14, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. 180 p.
- L'Esperance, R.L., 1951. The geology of Duprat township and some adjacent areas (Comté D'Abitibi). 087, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. 166p.
- Lofgren, G., 1971a. Spherulitic textures in glassy and crystalline rocks. *Journal of Geophysical Research*, 76(23): 5635-5648.
- Lofgren, G., 1971b. Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolite glass. *Geological Society of America Bulletin*, 82: 111-124.
- Lofgren, G., 1980. Experimental studies of dynamic crystallization of silicate melts. In: R.B. Hargraves (Editor), *Physics of Magmatic Processes*. Princeton University Press, pp. 487-551.
- Ludden, J.N. and Hubert, C., 1986. Geologic evolution of the Late Archean Abitibi greenstone belt of Canada. *Geology*, 14: 707-711.
- Ludden, J.N., Hubert, C. and Gariépy, C., 1986. The tectonic evolution of the Abitibi greenstone belt of Canada. *Geological Magazine*, 123(2): 153-166.
- Ludden, J.N. and Péloquin, A.S., 1996. A geodynamic model for the evolution of the Abitibi belt and the implication for the origins of VMS deposits. In: D. Wyman (Editor), *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration*. Geological Association of Canada Short Course, pp. 205-237.
- MacDonald, R., McGarvie, D.W., Pinkerton, H., Smith, R.L. and Palacz, Z.A., 1990. Petrogenetic evolution of Torfajökull volcanic complex, Iceland I. Relationship between the magma types. *Journal of Petrology*, 31(2): 429-459.

- Mahood, G.A., 1980a. The geological and chemical evolution of a late Pleistocene rhyolitic center: The Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. Ph.D. Thesis, University of California, Berkley, 245 pp.
- Mahood, G.A., 1980b. Geological evolution of a Pleistocene rhyolitic center - Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 8: 199-230.
- Marsh, B.D., Gunnarsson, B., Congdon, R. and Carmody, R., 1991. Hawaiian basalt and Icelandic rhyolite: indicators of differentiation and partial melting. *Geologische Rundschau*, 80(2): 481-510.
- McGarvie, D.W., MacDonald, R., Pinkerton, H. and Smith, R.L., 1990. Petrogenetic evolution of the Torfajokull volcanic complex, Iceland II. The role of magma mixing. *Journal of Petrology*, 31(2): 461-481.
- Mortensen, J.K., 1987. Preliminary U-Pb zircon ages for volcanic and plutonic rocks of the Noranda-Lac Abitibi area, Abitibi subprovince, Québec, Geological Survey of Canada Paper 87-1A, pp. 581-590.
- Mortensen, J.K., 1993a. U-Pb geochronology of the eastern Abitibi Subprovince. Part 1: Chibougamau - Matagami - Joutel region. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30: 11-28.
- Mortensen, J.K., 1993b. U-Pb geochronology of the eastern Abitibi Subprovince. Part 2: Noranda - Kirkland Lake area. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30: 29-41.
- Mortensen, J.K. and Card, K.D., 1993. U-Pb age constraints for the magmatic and tectonic evolution of the Pontiac Subprovince, Québec. *Canadian Journal of Earth Science*, 30: 1970-1980.
- Morton, J. and Sleep, N.H., 1985. Seismic reflections from a Lau Basin magma chamber. In: D. Scholl and T. Vallier (Editors), *Geology and Offshore Resources of Pacific Island Arcs - Tonga Region*. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Houston, TX, pp. 441-453.
- M.R.N.Q. (Ministère des Ressources Naturelles du Québec), 1982. Cartes de compilation géoscientifiques. 32D/5 104, 204 et 304, et 32D/6 101, 102, 201, 202, 203, 204, 301, 302, 303 et 304 (1 : 10 000).
- M.R.N.Q./O.G.S. (Ministère des Ressources Naturelles du Québec et Ontario Geological Survey), 1983. Carte lithostratigraphique de la Sous-province de l'Abitibi. DV 83-16.
- Natland, J.H., 1978. Crystal morphologies in basalts from DSDP Site 395, 23°N, 46°W, Mid-Atlantic Ridge. 45: 423-445.
- Natland, J.H., 1980. Crystal morphologies in basalts dredged and drilled from the East Pacific Rise near 9°N and the Sequeiros Fracture Zone. 54: 605-633.

- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983. North American Stratigraphic Code. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67: 841-875.
- Paradis, S., 1990. Stratigraphy, volcanology and geochemistry of the New Vauze - Norbec area, Central Noranda Volcanic Complex, Québec, Canada. Ph.D. Thesis, Carleton University, Ottawa. 695 p.
- Paradis, S., Ludden, J. and Gélinas, L., 1988. Evidence for contrasting compositional spectra in comagmatic intrusive and extrusive rocks of the late Archean Blake River Group, Abitibi, Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences, 25: 134-144.
- Pearce, J.A., Ernewein, M., Bloomer, S.H., Parson, L.M., Murton, B.J. and Johnson, L.E., 1995. Geochemistry of Lau Basin volcanic rocks: influence of ridge segmentation and arc proximity. In: J.L. Smellie (Editor), Volcanism Associated with Extension at Consuming Plate Margins. Geological Society Special Publications. The Geological Society, London, pp. 53-75.
- Péloquin, A.S., Ludden, J.N., Hubert, C. and Verpaelst, P., 1994. Magmatic systems in late Archean volcanic basins: Implications for Noranda-type VMS., Geological Association of Canada/Mineralogical Association of Canada Annual Meeting, Waterloo, Ontario, pp. A87.
- Péloquin, A.S., Ludden, J.N. and Verpaelst, P., 1995. The Blake River Group in Québec: A 2.7 GA in situ propagating volcanic basin hosting volcanogenic massive sulphide deposits, Precambrian '95, Montréal, pp. 271.
- Péloquin, A.S., Ludden, J.N. and Verpaelst, P., in preparation. The Eastern Blake River Group: A Propagating Back-arc Basin Hosting Volcanogenic Massive Sulphide Deposits. Precambrian Research.
- Péloquin, A.S., Ludden, J.N., Verpaelst, P. and Francis, D.F., 1992. Archean andesites: Their spatial variations and possible origins, Abitibi Subprovince, Quebec, Canada., AGU 1992 Spring Meeting. EOS, Montreal, Canada, pp. 331.
- Péloquin, A.S., Potvin, R., Paradis, S., Laflèche, M.R., Verpaelst, P. and Gibson, H.L., 1990a. The Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Québec: A stratigraphic synthesis. In: M. Rive et al. (Editors), The Northwestern Québec Polymetallic Belt: A summary of 60 years of mining exploration. Special Volume 43. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Rouyn-Noranda, pp. 107-118.
- Péloquin, A.S., Potvin, R., Paradis, S., Laflèche, M.R., Verpaelst, P. and Gibson, H.L., 1990b. Le Groupe de Blake River, Rouyn-Noranda, Québec: Synthèse Stratigraphique, DV 90-02, La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois: géologie et production minérale. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, pp. 70-83.

- Péloquin, A.S. and Verpaelst, P., 1989. Groupe de Blake River, région de Rouyn-Noranda, Québec: Correlation au nord et au sud de la faille de Hunter Creek, Association Géologique du Canada\Association Minéralogique du Canada, réunion annuel, pp. A37.
- Péloquin, A.S., Verpaelst, P., Dejou, B. and Gaulin, R., unpublished. Le Projet Blake River Ouest dans les cantons de Dufresnoy, de Duprat, de Montbray, de Beauchastel et de Dasserat, SNRC 32D/06 et 32D/05, Ministère des Ressources Naturelles du Québec.
- Péloquin, A.S., Verpaelst, P. and Gaulin, R., 1989a. Le Blake River dans les cantons de Duprat, de Montbray, de Beauchastel et de Dasserat, Rapport Interiminaire, MB 89-64, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec. 89 p.
- Péloquin, A.S., Verpaelst, P. and Ludden, J.N., 1996. Spherulitic rhyolites of the Archean Blake River Group, Canada: Implications for stratigraphic correlation and VMS exploration. *Economic Geology*, 91: 343-354.
- Péloquin, A.S., Verpaelst, P., Ludden, J.N., Dejou, B. and Gaulin, R., accepted. La Statigraphie du Groupe du Blake River Ouest, Ceinture de l'Abitibi, Québec, Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Service Géologique du Nord-Ouest.
- Péloquin, A.S., Verpaelst, P., Paradis, S., Gaulin, R. and Cousineau, P., 1989b. Projet Blake River Ouest Cantons de Duprat et de Dufresnoy, SNRC 32D/06, Rapport Interiminaire, MB 89-02, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec. 176p.
- Powell, W.G., Carmichael, D.M. and Hodgson, C.J., 1995. Conditions and timing of metamorphism in the southern Abitibi greenstone belt, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32: 787-805.
- Robert, F., 1990. An overview of gold deposits in the eastern Abitibi Subprovince. In: M. Rive et al. (Editors), *The Northwestern Québec Polymetallic Belt: A summary of 60 years of mining exploration*. Special Volume 43. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Rouyn-Noranda, pp. 94-105.
- Robinson, W.G., 1950. Canton de Duprat, comté de Rouyn-Noranda (Quarts nord-est, nord-ouest et sud-est). Ministère des Ressources Naturelles du Québec. map 1:12 000.
- Sangster, D.F., 1972. Precambrian Volcanogenic Massive Sulphide Deposits in Canada: A Review. 72-22, Geological Survey of Canada, Ottawa. 44 p.
- Sangster, D.F. and Scott, S.D., 1976. Precambrian, strata-bound, massive Cu-Zn-Pb sulfide ores of North America. In: K.H. Wolf (Editor), *Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits. II. Regional Studies and Specific Deposits*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, pp. 128-222.

- Scott, S.D., 1980. Geology and structural control of Kuroko-type massive sulphide deposits. In: D.W. Strangway (Editor), *The Continental Crust and Its Mineral Deposits*. Special Paper. Geological Association of Canada, pp. 703-721.
- Sharpe, J.I., 1968. Carte géologique de la région de Rouyn-Noranda, carte 1388. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.
- Smith, I.E.M., 1980. Geochemical evolution in the Blake River Group, Abitibi Greenstone Belt, Superior Province. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 17: 1292-1299.
- Smith, R.L. and Bailey, R.A., 1968. Resurgent cauldrons. *Memoirs of the Geological Society of America*, 116: 613-662.
- Spence, C.D. and de Rosen-Spence, A.F., 1975. The place of sulfide mineralization in the volcanic sequence at Noranda, Quebec. *Economic Geology*, 70: 90-101.
- Stern, R.J., Ping-Nan Lin, Morris, J.D., Jackson, M.C., Fryer, P., Bloomer, S.H. and Ito, E., 1990. Enriched back-arc basin basalts from the northern Mariana Trough: implications for the magmatic evolution of back-arc basins. *Earth and Planetary Science Letters*, 100: 210-225.
- Stix, J. and Gorton, M., 1993. Replenishment and crystallization in epicontinental silicic magma chambers: evidence from the Bandelier magmatic system. *Journal of Volcanology and Geochemical Research*, 55: 201-215.
- Sun, S.-s. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders and M.J. Norry (Editors), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication, pp. 313-345.
- Taylor, B. (Editor), 1995. *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism*. Plenum Press, 521 pp.
- Thurston, P.C. and Chivers, K.M., 1990. Secular variation in greenstone sequence development emphasizing Superior Province, Canada. *Precambrian Research*, 46: 21-58.
- Trudel, P., 1978. Géologie de la région de Cléricy, Abitibi-Ouest. DP-598, Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Québec. 150 p.
- Trudel, P., 1979. Le volcanisme archéen et la géologie structurale de la région de Cléricy, Abitibi, Québec. Ph.D. Thesis, École Polytechnique de Montréal. 307 p.
- Ujike, O. and Goodwin, A.M., 1987. Geochemistry and origin of Archean felsic metavolcanic rocks, central Noranda area, Québec, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 24: 2551-2567.
- Urabe, T., Scott, S.D. and Hattori, K., 1983. A comparison of footwall-rock alteration and geothermal systems beneath some Japanese and Canadian volcanogenic massive sulfide deposits. *Economic Geology, Monograph 5*: 345-364.

- Vaillancourt, D., 1996. Âges U-Pb des minéralisations de type sulfures massifs volcanogènes dans le Groupe de Blake River de la Sous-province de l'Abitibi, Québec: Les sites d'Aldermac, Hébécourt et Millenbach. M.Sc. Thesis, Université du Québec à Montréal, Montréal, 32 pp.
- Verpaelst, P., 1980. Rhyolites et roches associées du complexe volcanique de Duprat. DPV-752, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. 40 p.
- Verpaelst, P., 1985. Géologie de la séquence volcanique archéenne de Duprat, Abitibi, Québec. Ph.D. Thesis, Université de Montréal. 260 p.
- Verpaelst, P., Péloquin, A.S., Adam, E., Barnes, A.E., Ludden, J.N., Dion, D.-J., Hubert, C., Milkereit, B. and Labrie, M., 1995. Seismic reflection profiles across the "Mine Series" in the Noranda camp of the Abitibi belt, eastern Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32: 167-176.
- Verpaelst, P. and Rioux, N., 1992. Hébécourt - Montsabrais 3. DV-92-02, Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Québec. p. 57.
- Walker, G.P.L., 1984. Downsag calderas, ring faults, caldera sizes, and incremental caldera growth. *Journal of Geophysical Research*, 89(B10): 8407-8416.
- Watson, E.B. and Harrison, T.M., 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 64: 295-304.
- Watson, E.B. and Harrison, T.M., 1984. Accessory minerals and the geochemical evolution of crustal magmatic systems: a summary and prospectus of experimental approaches. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 35: 19-30.
- Williams, H., 1941. Calderas and their origin. University of California, Department of Geological Sciences, *Bulletin*, 25(6): 239-346.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrology: A Global Tectonic Approach*. Unwin Hyman Ltd, 466 pp.
- Wilson, M.E., 1941. Noranda district, Quebec. 229, Geological Survey of Canada. 162p.
- Wong, L., Davis, D.W., Krogh, T.E. and Robert, F., 1991. U-Pb zircon and rutile chronology of Archean greenstone formation and gold mineralization in the Val d'Or region, Québec. *Earth and Planetary Science Letters*, 104: 325-336.
- Woodhead, J.D. and Johnson, R.W., 1993. Isotopic and trace-element profiles across the New Britain island arc, Papua New Guinea. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 113: 479-491.
- Wyman, D.A., 1999. A 2.7 Ga depleted tholeiite suite: evidence of plume-arc interaction in the Abitibi Greenstone Belt, Canada. *Precambrian Research*, 97: 27-42.
- Zhang, Q., unpublished data. Application de la methode de datation U-Pb aux zircons du sud-est de l'Abitibi, Quebec.

Zhang, Q.-Z., Machado, N., Ludden, J.N. and Moore, D.M., 1993. Geotectonic constraints from U-Pb ages for the Blake River Group, the Kinojévis Group and the Normétal mine area, Abitibi, Québec, Geological Association of Canada/Mineralogical Association of Canada Annual Meeting. Program with Abstracts, Edmonton, Canada, pp. A114.

Appendix A:

Seismic reflection profiles across the "Mine Series" in the Noranda camp of the Abitibi belt, eastern Canada^{1,2}

(Canadian Journal of Earth Sciences, 1995, v.32, p.167-176)

Pierre Verpaelst

Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Rouyn-Noranda, QC, J9X 6N5,
Canada

A. Shirley Péloquin

Département de Géologie, Université de Montréal, C.P. 6128 Succ. Centre-Ville,
Montréal, QC, H3C 3J7, Canada

Erick Adam and Arthur E. Barnes

Département de Génie Minéral, École Polytechnique de Montréal, C.P. 6079,
Succ. Centre-Ville, Montréal, QC, H3C 3A7, Canada

John N. Ludden

Département de Géologie, Université de Montréal, C.P. 6128 Succ. Centre-Ville,
Montréal, QC, H3C 3J7, Canada

Denis-Jacques Dion

Ministère des Ressources naturelles du Québec, Charlesbourg, QC, G1H 6R1, Canada

Claude Hubert

Département de Géologie, Université de Montréal, C.P. 6128 Succ. Centre-Ville,
Montréal, QC, H3C 3J7, Canada

Bernd Milkereit

Geological Survey of Canada, 1 Observatory Crescent, Ottawa, ON,
K1A 0Y3, Canada

M. Labrie

Corporation Minière Metall, Rouyn-Noranda, QC, Canada

¹ LITHOPROBE contribution number: 625

² Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec contribution number: MRN-94-5130-07

ABSTRACT

The Abitibi-Grenville LITHOPROBE project completed a regional (Line 21) and a high-resolution (Line 21-1) seismic survey in the Noranda Central Volcanic Complex of the Blake River Group, Abitibi, Quebec. Line 21 provides a regional framework in which the Archean crust is divided into three layers, two of which are discussed here: the uppermost layer corresponds to the Blake River Group, is the least reflective, and lies above 4 s (12 km); and the mid-crustal layer, between 4 and 8 s, which is composed of a complex pattern of generally east-northeast dipping reflectors. Within the regional data, the Mine Series of the Central Volcanic Complex is imaged as a semi-transparent series of reflectors overlying a highly reflective east facing structure interpreted as the subvolcanic Flavrian Pluton. The high resolution data (Line 21-1) were collected in the vicinity of the Ansil mine. The seismic images in this region can be controlled by surface geology and extensive drill hole data, and the project was designed to test the applicability of seismic reflection profiling in providing structural and stratigraphic information for use in mineral exploration: shallow dipping reflectors correlate well with lithological variations or contacts in the volcanic sequence; strong subhorizontal reflectors correspond to diorite and gabbro dykes and sills; several abrupt lateral changes in the reflectivity coincide with known intrusive contacts such as the Lac Dufault Pluton.

RÉSUMÉ

Dans le cadre du projet Abitibi-Grenville du programme LITHOPROBE, des levés de sismique réflexion régional (ligne 21) et à haute résolution (ligne 21-1) ont été effectués dans le Complexe volcanique central de Noranda du Groupe de Blake River, Abitibi, Québec. La ligne 21 montre la structure régionale de la croûte archéenne que se divise en trois couches, dont deux sont décrites ici: la couche supérieure, de moindre réflexivité et située entre 0 et 4 s (12 km), correspond au Groupe de Blake River; la couche crustale moyenne, entre 4 et 8 s, montre un motif complexe de réflecteurs à pendage général vers l'est-nord-est. Sur le levé régional, la séquence des Mines du Complexe volcanique central se présente comme une série de réflecteurs d'intensité moyenne qui surmonte une structure à forte réflexivité à pendage vers l'est. Cette structure est interprétée comme étant le pluton sub-volcanique de Flavrian. Le secteur de la mine Ansil a fait l'objet d'un levé à haute résolution. Le projet a été conçu pour vérifier si les profils de sismique réflexion peuvent donner des informations utiles sur la stratigraphie et la structure en exploration minérale. Les images sismiques obtenues sur la ligne 21-1 peuvent être corrélées avec les données géologiques de surface et les données de plusieurs forages au diamant. Ainsi, les réflecteurs à faible pendage correspondent aux contacts lithologiques de la séquence volcanique; les forts réflecteurs sub-horizontaux correspondent aux dykes et filons-couches de diorite et de gabbro; les changements latéraux abrupts dans la réflectivité concordent avec les contacts intrusifs comme celui du pluton du Lac Dufault.

INTRODUCTION

As part of the 1990 regional seismic reflection survey of the entire Abitibi belt (Ludden et al. 1993; Jackson et al. this vol), LITHOPROBE collected a regional and a coincident high-resolution (H-R) line (lines 21 and 21-1 respectively) across the Blake River Group (BRG), in addition to the north-south profiles recorded in 1989 (lines 12 and 14, Green et al. 1990; Jackson et al. 1990; Adam et al. 1992). The initial results from lines 12 and 14 have demonstrated the ability of vibroseis reflection profiling to image shallow structures in the volcanic and plutonic sequence of a greenstone belt. Therefore, lines 21 and 21-1 were acquired to provide a partial 3-D image of this important mining region (Fig. A-1).

Regional line 21 joins high-resolution line 12A (Ontario) and regional line 14 (Quebec). The objectives of this survey were to assess the gross crustal structure of Archean crust and to place the BRG in a tectonic context relative to other subprovinces and lithological groups of the Abitibi belt.

High-resolution line 21-1 is located along the line 21 regional seismic survey, between highway 101 and the Tarsac Lake Fault (Fig. A-1), and crosses the Noranda Central Volcanic Complex (de Rosen-Spence 1976; Gibson 1990) in the vicinity of the Ansil mine. Given the excellent control of the surface geology, and the detailed 3-D stratigraphic and structural section available from multiple drill holes, some as deep as 1.6 km, the objectives of this survey were (i) to verify the correspondence between the seismic profile and the subsurface geology, (ii) to image structures not visible through other geological or geophysical means, (iii) to assess the potential of H-R reflection seismic for mining exploration in an Archean sequence and, at a smaller scale, (iv) to establish the correlation between the physical properties of different rock types and the seismic data. Here, the results from line 21-1, where detailed correlations with stratigraphy, structure and physical properties were undertaken, are presented in order to evaluate the effectiveness of the H-R seismic technique for mapping shallow structures and lithologies in Archean volcanic terranes.

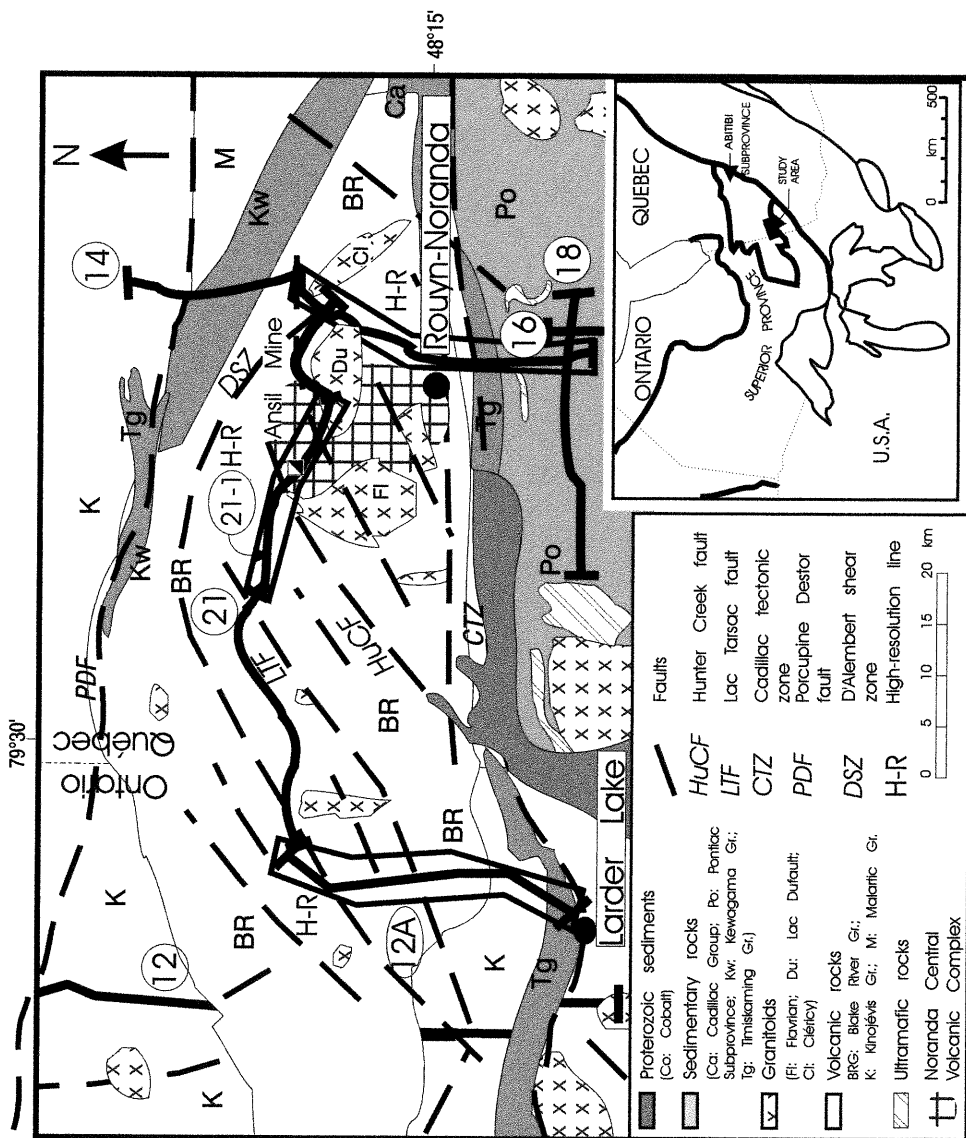


Figure A-1: Locations of LITHOPROBE regional and high-resolution seismic lines within the Blake River Group (BR) in the southwestern Abitibi belt.

Geological setting

The BRG geological setting

The Blake River Group is dominated by andesitic to basaltic and rhyolitic volcanic rocks which are considered to be the result of cyclic bimodal volcanic activity (Gélinas et al. 1984; Gélinas and Ludden 1984; Pélouquin et al. 1990). U-Pb geochronological data indicate a very narrow time interval, between 2703 (+/-2) Ma and 2698 (+/-1) Ma (Corfu 1993; Mortensen 1993), for the construction of the sequence, which is cored by the cogenetic Flavrian Pluton (Paradis et al. 1988), and cut by the Lac Dufault pluton (Mortensen 1993). The Blake River Group is similar to the Val-d'Or formation to the east with its young age and apparent discordant relationships relative to the adjacent and underlying volcanic groups. The Val-d'Or formation has been interpreted as an autochthonous igneous sequence erupted in a rift basin (Desrochers et al. 1993). Jackson et al. (this vol.) also interpret the Blake River as an autochthonous sequence in a rift environment.

Stratigraphic correlation within the BRG is difficult because of the numerous faults and shear zones that may locally repeat parts of the sequence (Pélouquin et al. 1990; Hubert et al. 1984). Nonetheless, the stratigraphy is well defined in the Central Volcanic Complex including the Mines Series which is located east of the Flavrian pluton and hosts the majority of the volcanic massive sulphides (VMS) of the Noranda camp (Gibson 1990), and one of the principal objectives of the LITHOPROBE study was to evaluate the possibility of correlating volcanic units outside of the Central Volcanic Complex with those of the Mines Series.

In addition to the plutons indicated in figure A-1, the volcanic sequences are intruded by numerous dioritic dykes and sills, most of which appear to have been deformed and metamorphosed to the same extent as the volcanic rocks. Deformation of the BRG varies from the centre of the group, where deformation is weak and the bedding is relatively flat ($\sim 30^\circ$), to its limits, defined to the south by the Cadillac Tectonic Zone (CTZ) and to the north by the

Porcupine-Destor fault where the deformation is moderate to intense and the bedding becomes steeper ($>70^\circ$) (Hubert et al. 1984; P eloquin et al. 1990).

Geological setting of Regional Line 21

Line 21 starts from the intersection with line 14 in the east and extends west to line 12A in Ontario for a total length of approximately 57 km (Fig. A-1). The regional seismic results are presented in a fence diagram which displays the intersection of the three lines (Fig. A-2). Line 21 crosses from east to west (i) a volcanic sequence comprising andesites and rhyolites in the northeastern BRG of Quebec, (ii) the D'Alembert shear zone, (iii) the western limit of the Lac Dufault granodiorite pluton; (iv) the Central Volcanic Complex (the location of the Ansil mine is shown on Fig. A-1); (v) the Hunter Creek Fault (HuCF), which cuts the northern tip of the Flavrian trondhjemite pluton; from the Hunter Creek Fault to its intersection with line 12A, line 21 runs parallel to the volcanic stratigraphy and then across relatively flat-lying andesitic and rhyolitic volcanic units.

Geological setting for Line 21-1 and the Ansil Mine section

Line 21-1 starts in the Lac Dufault pluton and trends to the west for 20 km, terminating near the Tarsac Lake fault (Fig. A-1). It traverses a volcanic domain essentially composed of shallow dipping andesite and rhyolite flows intruded by dioritic dykes and sills, and by the Flavrian and Dufault plutons. Some of the dykes have intruded reverse fault zones which repeat the volcanic stratigraphy (P eloquin et al. 1990). Faults crosscut all lithologies and show various directions with dips varying from 45° to 90° . The Flavrian pluton is an east-dipping tabular body sub-parallel to the volcanic stratigraphy, and the syn- to post-tectonic Lac Dufault pluton may also be tabular in nature (Chouteau and Deschamps 1989) but field relationships indicate that at the eastern limit of line 21-1 it cuts the volcanic sequence at a high angle.

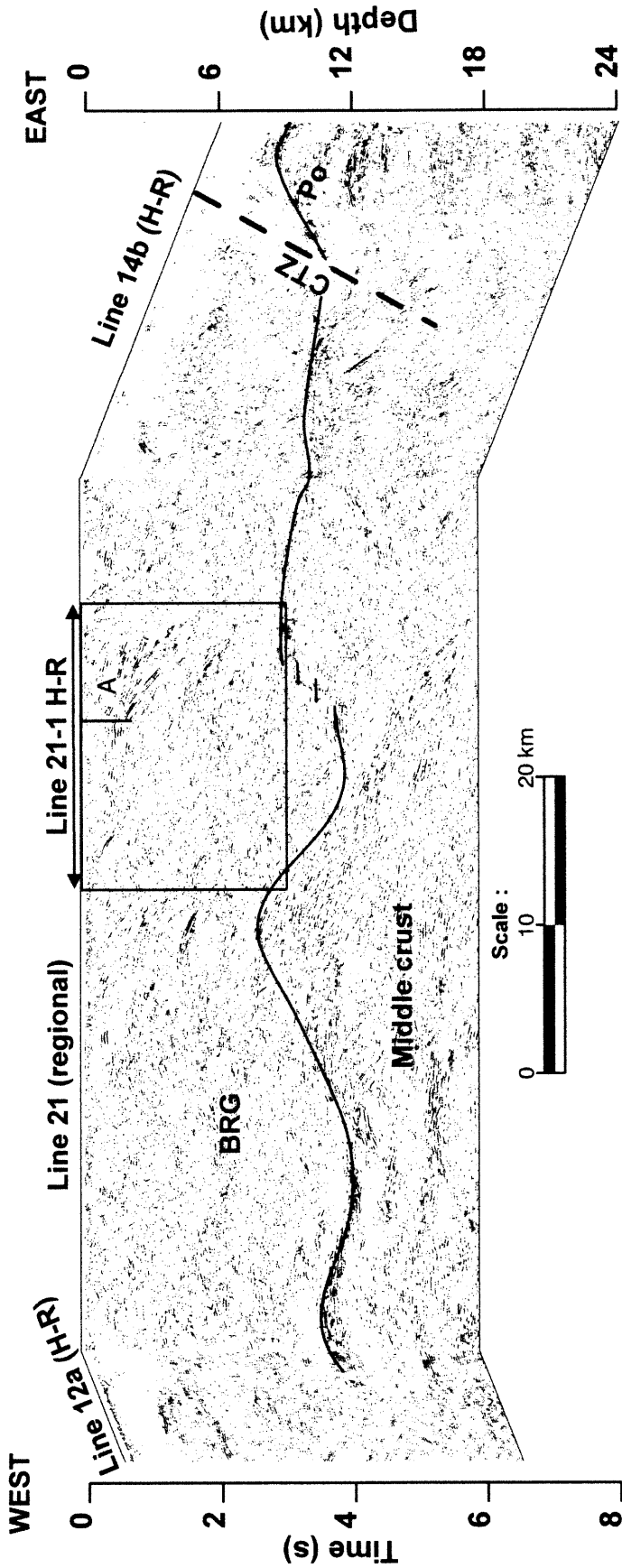


FIGURE A-2: Coherency filtered, unmigrated seismic "fence" section for lines 12a, 21 and 14b (locations shown in Fig.A-1). Solid dot labelled "A" shows the projection of the Ansil mine onto the seismic profile. The thin line indicates the interface between the BRG basin and the underlying lithologies. Flavrian pluton is indicated by a thin line at its upper contact (crossed pattern).

Seismic acquisition parameters

The survey parameters for the regional data and high-resolution data are compared in Table A-1. In the regional acquisition, the source used was 4 vibrators sweeping 8 times at vibration points placed every 100 m. The sweep was from 10 to 56 Hz, which provides an effective vertical resolution of about 45 m. The receiver spread consisted of 240 geophone groups spaced every 50 m, and laid out in an asymmetrical split-spread pattern with a near offset of 150 m and a far offset of 12 km. These parameters result in a nominal fold of 60 and a stacked trace spacing of 25 m. The data were correlated in the field. Data processing was standard and included refraction statics, deconvolution, velocity analysis every 8 km, trim statics, common midpoint stack, amplitude gain, and f - k migration at a constant velocity of 6 km/s.

In the H-R seismic reflection survey the source consisted of two vibroseis trucks sweeping four times per vibrator point, spaced at 20 m. The sweep was a 12 s linear upsweep from 30 to 140 Hz. The receiver spread employed 240 receiver groups spaced every 20 m; hence the nominal fold is 120 and the final trace spacing is 10 m. The nominal spread geometry was almost evenly split-spread, with a near offset of 0 m and a far offset of 2400 m. Each receiver group comprised 9 geophones with a resonant frequency of 30 Hz laid out in a linear array covering 20 m. The fully correlated records have a length of 4 s.

Table A-1: Seismic acquisition parameters

Technical Parameters	Regional Survey	High-res survey
Sweep length	18 s.	12 s.
Frequencies	10-56 Hz.	30-140 Hz.
Near offset	150 m.	0 m.
Far offset	4.1 to 8.1 km	2.4 km
Recording channels	240	240
Source spacing	100 m	20 m
Receiver spacing	50 m	20 m
Stacked trace spacing	25 m	10 m
Nominal fold	60	120

General characteristics of the seismic profiles

Regional line 21

The fence section in figure A-2 illustrates the geometrical relationship of line 21 with lines 12A and 14B and it also displays the broad relationships between the BRG, the mid-crustal layer and the Pontiac Subprovince. The upper 6 s of the seismic section (Fig. A-2) represents the upper and middle crust. The seismic signature is similar to that described in earlier interpretations of the crust below the BRG by Green et al. (1990) and Jackson et al. (1990), and by Ludden et al. (1993) for the entire Abitibi-Pontiac region:

Upper crust: The uppermost layer is the least reflective and lies above 4 s (12 km); its lower limit is interpreted as being the base of the BRG. Reflectors in the upper crust dip towards the northeast from the central to eastern limit of the line, which is consistent with the surface geology of the region. Dips in the western end of the line are poorly defined, but the entire sequence may dip to the west across an antiformal structure which may also affect the mid-crustal layer, or be subvertically displaced by 4-6 km along a crustal-scale fault.

Middle crust: The mid-crustal layer, lying between 4 and 8 s (the lower two seconds are not shown), is composed of a complex pattern of clearly east dipping reflections on line 21, with horizontal to southerly dips indicated by line 14B. In the Abitibi belt to the north of the BRG and in the Pontiac Subprovince, the mid-crust is interpreted as an imbricate stack of plutonic and sedimentary rocks. In contrast to the BRG, in these regions, the volcanic sequences in the upper crust are interpreted as thin allochthonous slices; mid-crust lithologies may be traced under the BRG from the Pontiac subprovince and the CTZ may become listric at depth (Green et al. 1990).

High-resolution line 21-1

The complete high-resolution seismic section for line 21-1 is presented in figure A-3. As seen in the regional data, the moderate (30° to 40°) northeast dip of the BRG in this

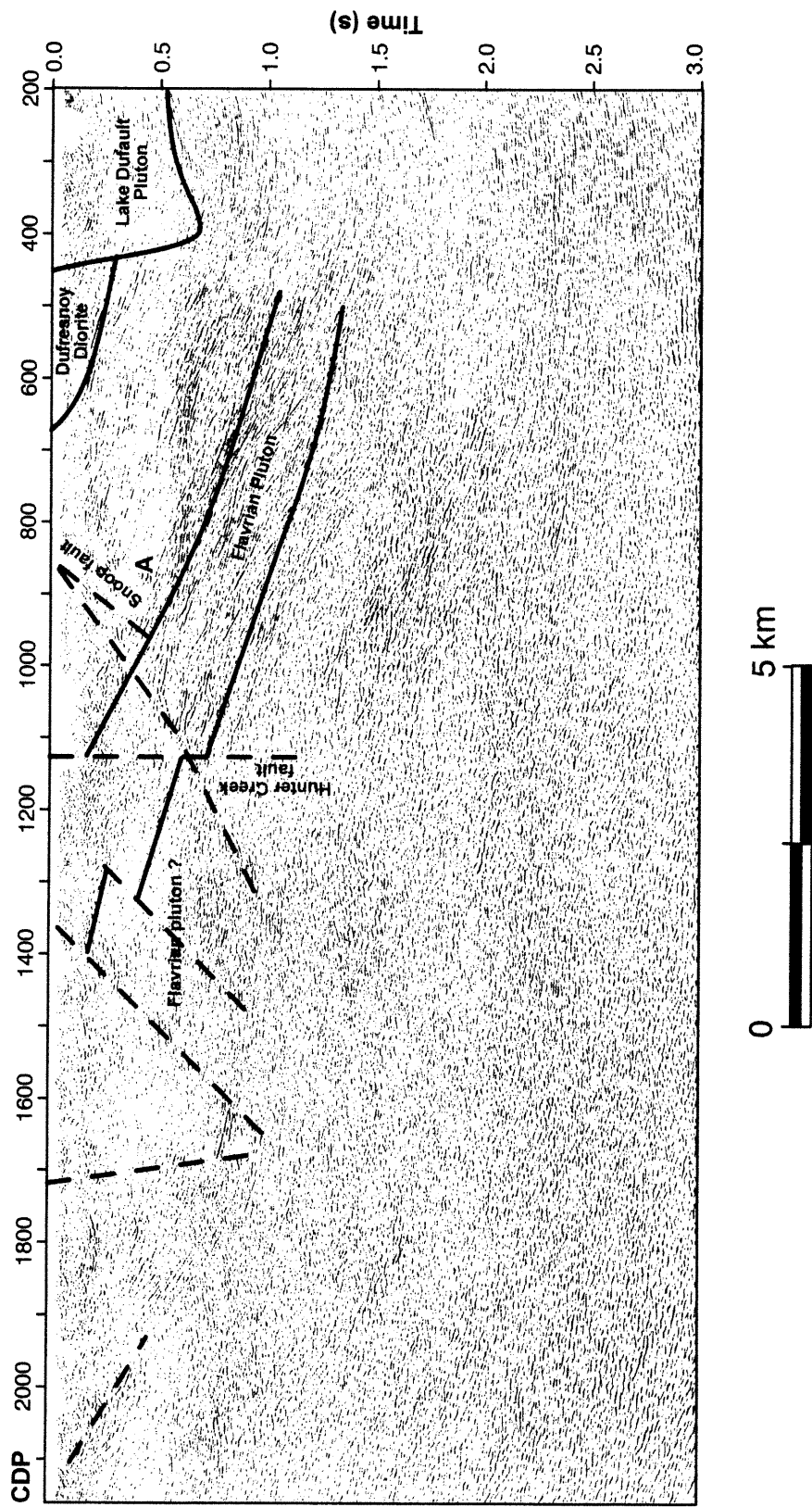


Figure A-3: Coherency filtered and migrated high-resolution seismic section 21-1. The Ansil mine is located for reference.

region is evident east of the Hunter Creek fault, indicating the lithological integrity of the BRG in this region. The highly reflective Flavrian pluton in the vicinity of the Mines Series is imaged clearly, as is its upper contact. The differences in reflectivity below this contact may reflect either several sill-shaped intrusions, or dioritic series within the Flavrian pluton (Goldie 1979; Richard et al. 1990). The implied thickness of the pluton is similar to that inferred from the gravity model in this region (Chouteau and Deschamps 1989; Bellefleur 1992). From the seismic interpretation of the Central Volcanic Complex above the pluton, the strong sub-horizontal reflectors correspond to screens of high-density diorite sills in the volcano-plutonic sequence, and the volcanics are imaged as weakly reflective and dipping at 30-40°. Assuming that this is the general case for the BRG section in figure A-3, and given that all of these zones of high reflectivity dip northeast, the abrupt lateral change in the reflective pattern in the vicinity of common midpoints (CMP) 1000 and 1100 is interpreted to result from steeply dipping faults or subvertical intrusive contacts. The Lac Dufault pluton cuts the section at its eastern extremity. The HuCF cuts the northern extremity of the Flavrian pluton and has been previously interpreted as limiting the Mines Series to the north (de Rosen Spence 1976; Gibson and Watkinson 1990) (Fig. A-1). The highly reflective zone delimited by the Flavrian pluton appears to be downfaulted in the vicinity of the HuCF. The possible occurrence of the Flavrian pluton on both sides of the fault has important implications, as the domain located to the west of the HuCF would be a favourable volcanic sequence for volcanogenic massive sulphide deposits if one accepts that the Flavrian pluton was the heat source responsible for those deposits.

Seismic signatures within the Central Volcanic Sequence

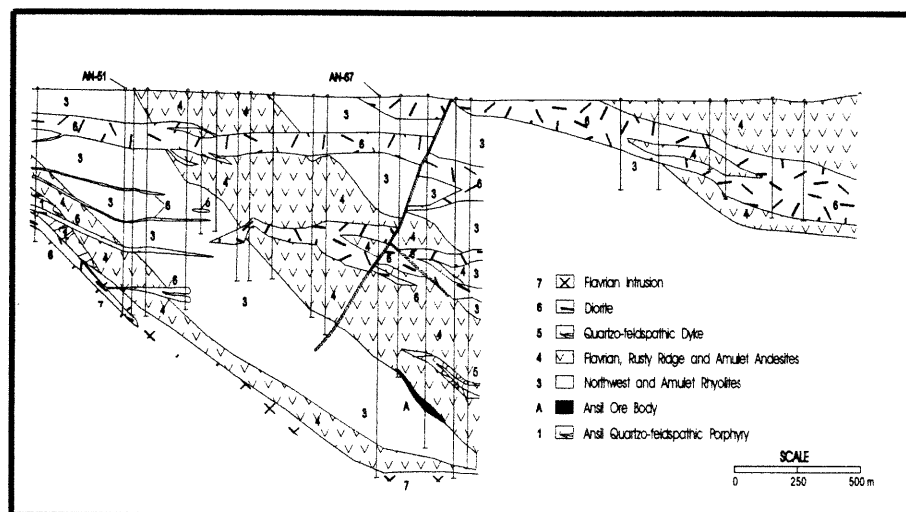
The extensive drill hole information and the good control on the surface geology in the Ansil region, coupled with the excellent reflective contrasts in the seismic response along a dip-line, make this an ideal test case for the origin of the seismic signals. Full waveform sonic and density logging surveys were conducted in conjunction with specific gravity measurements of representative core samples.

The geology, based on surface outcrop and drill hole data, is given in figure A-4a with the seismic results for this region given for comparison in figure A-4b. In general there is a good correlation between the reflective patterns produced on the seismic profile and the lithological variations or contacts in the volcanic units. The highly reflective subhorizontal features correspond to diorite and gabbro dykes and sills which crosscut the low-angle reflectors corresponding to the volcanics. The Flavrian Pluton shows strong reflections which correspond to the tonalite-diorite contacts. Seismically transparent zones correspond to large intrusions such as the Lac Dufault pluton at the eastern end of the line (Fig. A-3). Local discrepancies between the geology and the seismic profile are ascribed to 3-D effects inherent to the seismic reflection method (side reflections). That is, to the extent that the seismic line is not perpendicular to the strike of a geological structure, reflections from the extension of the structure not directly beneath the line will appear on the seismic section. The seismic signatures were further analyzed in this region following the physical property and down-hole measurements as discussed below.

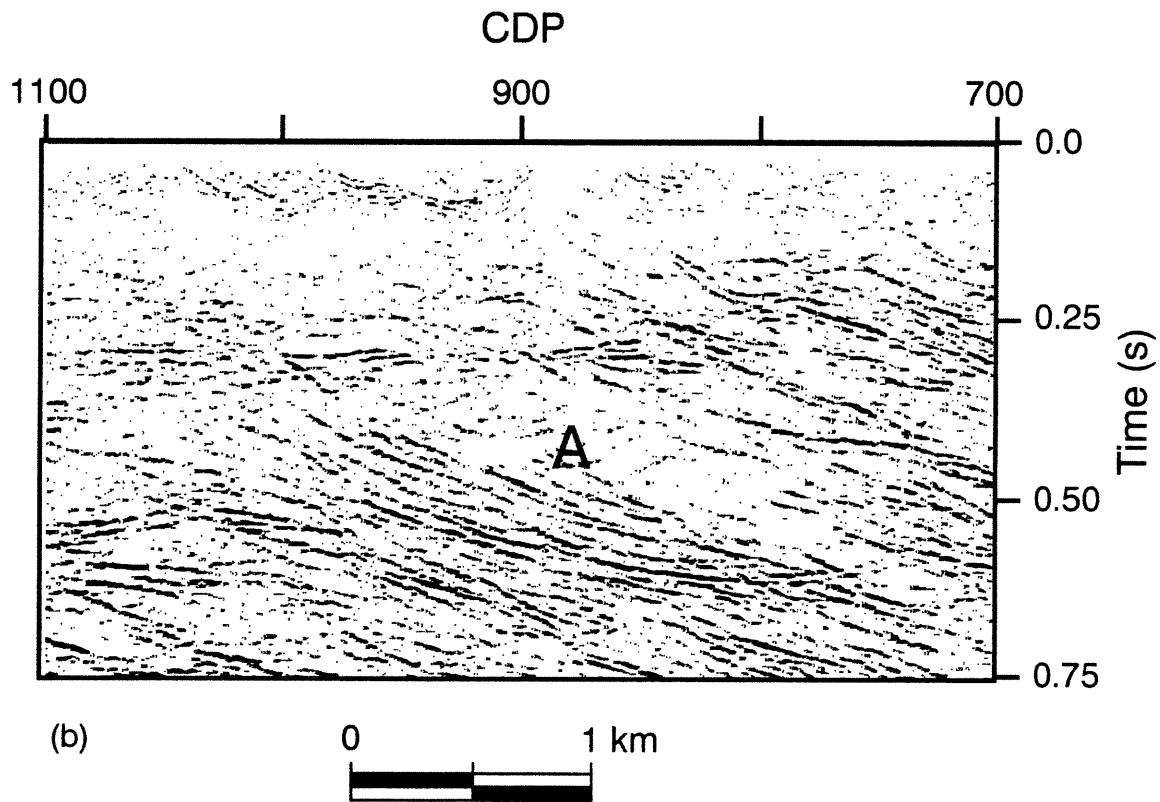
"A" marks the location of the Ansil VMS deposit in both figures A-4a and A-4b. The lithological section is converted from depth to record time by taking into account the seismic velocities of each rock type as determined from in situ measurements and from laboratory samples in order to provide a truer correspondence between the two sections.

Seismic signatures and physical rock properties

Line 21-1 (Figs. A-3 and A-4a and b) displays particularly well-defined continuous reflections at the upper crustal levels and drill hole information is available in the region to depths up to 1.6 km. A better understanding the seismic reflectivity of the upper crust can be achieved by the analyses of the physical properties of near surface lithologies, both by in situ measurements in drill holes and by laboratory analyses of drill core samples. The amplitude of the seismic response is controlled by variations of acoustic impedances (the product of density and compressional wave velocity).



(a)



(b)

Figure A-4: (a) Lithological section of the main mine series below line 21-1 in the vicinity of the Ansil mine, based on drill hole information and surface geology (by permission of Corporation Minière Metall)
 (b) Migrated DMO section of high-resolution seismic profile in the Ansil mine region.

Three vertical drill holes close to the seismic survey line in the vicinity of the Ansil mine were chosen for investigation: AN-51 (970 m), AN-67 (1610 m) and AN-71 (1677 m). The drill holes cross rhyolitic and andesitic units and diorite and gabbro dykes; all three reach the Flavrian pluton (Fig. A-4a).

Laboratory specific gravity measurements

A total of 412 core samples from 2 drill holes in the Ansil mine area (AN-51 and AN-67) were provided by Minnova Inc. for specific gravity measurements. The sampling intervals were 10 m for AN-51 and 5 m for AN-67. The two drill holes intercept the well defined stratigraphy of the Mines Series. In this area, the main lithologies of the volcanic sequence are, from bottom to top: the Flavrian andesite immediately above the Flavrian pluton, the Northwest rhyolite, the Rusty Ridge andesite, the Amulet rhyolite and the Waite andesite (de Rosen-Spence 1976). These lithologies have been intruded by numerous sills and dykes of gabbro and diorites.

Specific gravity measurements are given in table A-2. Most lithologies have a distinctive specific gravity, the mafic dykes and sills showing a bimodal distribution which can be ascribed to at least two populations of dykes of differing Fe-content (Lagraa 1994). Specific gravity distribution as a function of depth and rock type is represented in figure A-5.

The specific gravity contrasts indicate that, in this particular study, the main seismic markers should correspond to contacts between lithologies of contrasting density and to fault zones. The contrasts of high specific gravity diorite to rhyolite, and of andesite to tonalite (Flavrian pluton), are the most important.

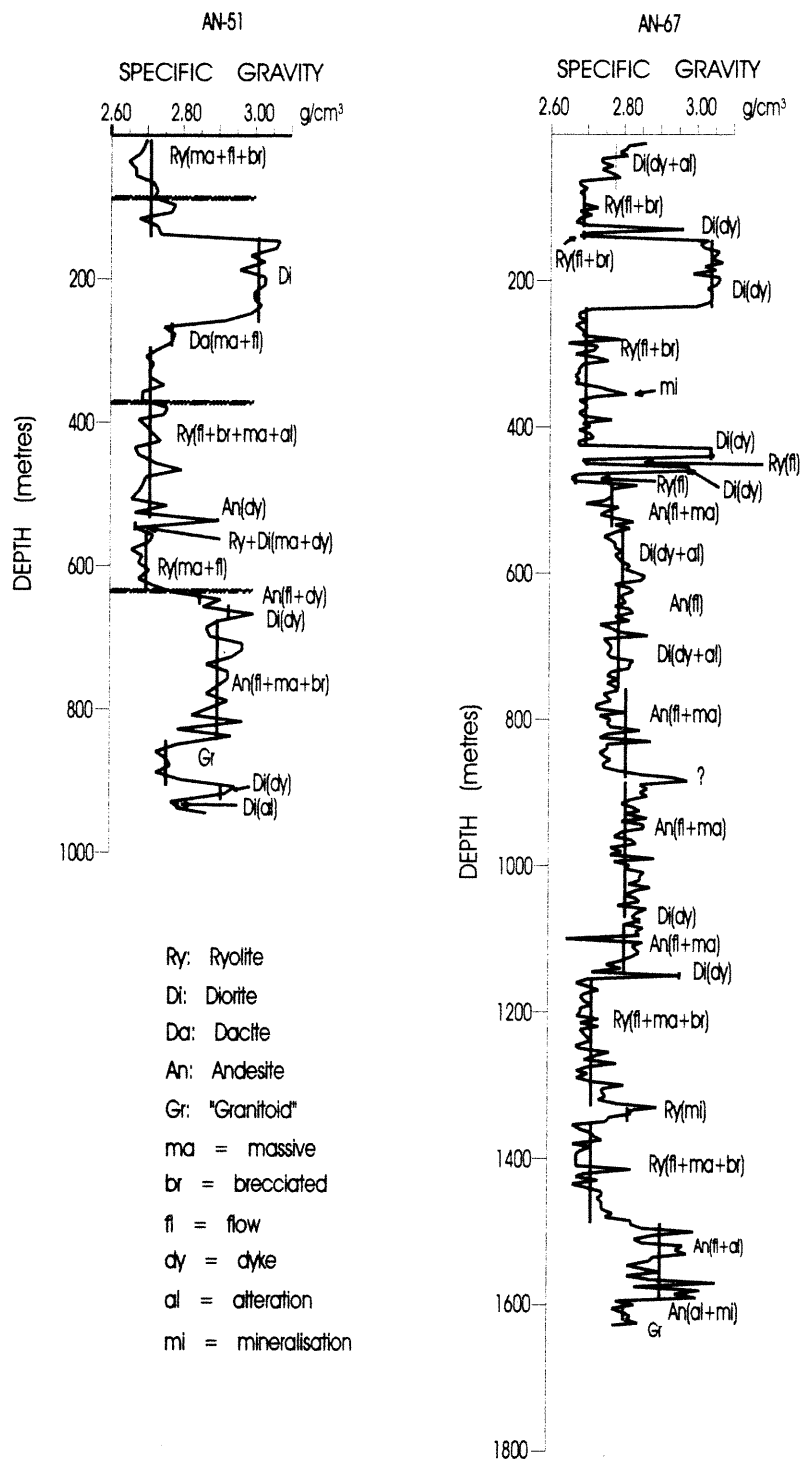


Figure A-5: Calculated specific gravity in Drill hole An-51 and An-67 based on core samples provided by Corporation Minière Metall.

Table A-2: Laboratory measurements of rock samples**from drill-cores An-51 and An-67**

Lithology	Number of samples	Specific gravity
High-Fe diorite	46	3.00 - 0.07
Low-Fe diorite	42	2.79 - 0.03
Andesite	146	2.83 - 0.07
Rhyolite	167	2.71 - 0.04
dacite	8	2.78 - 0.04
Tonalite (Flavrian)	3	2.77 - 0.02

Well logging measurements

Sonic and density log measurements were performed in a 1677 m drill hole (AN-71) which is close to the seismic transect (Fig. A-5). The digital full waveform seismic data are of excellent quality and compressional wave (P-wave) and shear-wave (S-wave) arrivals could be identified unambiguously. P- and S-wave first breaks are picked interactively on the far and near offset data. Velocities are calculated by dividing the distance between the far and near receivers by the difference of arrival time at the two receivers.

Lithologies, P- and S-wave velocities, as well as densities, as a function of depth are shown in figure A-5. The rhyolites can be recognized by their low velocities (~6 km/s) and low densities (~2.73 g/cm³). Andesites are characterized by velocities of ~6.4 km/s and densities of ~2.86 g/cm³. The diorites show the highest velocities (~6.7 km/s) and densities (~3.0 g/cm³). The lowest specific gravities and densities are associated with faults and fractures (Figs. A-5 and A-6). Prominent density and velocity variations can be seen in the upper 400 metres. Densities as high as 3.25 g/cm³ are observed at a depth of about 1000 metres. Anomalous density readings occur at depths of 460, 980 and 1120 metres; these readings appear to correspond with zones of lower velocities and correlate with the presence of pyrite mineralization (from trace amounts to as much as 20%).

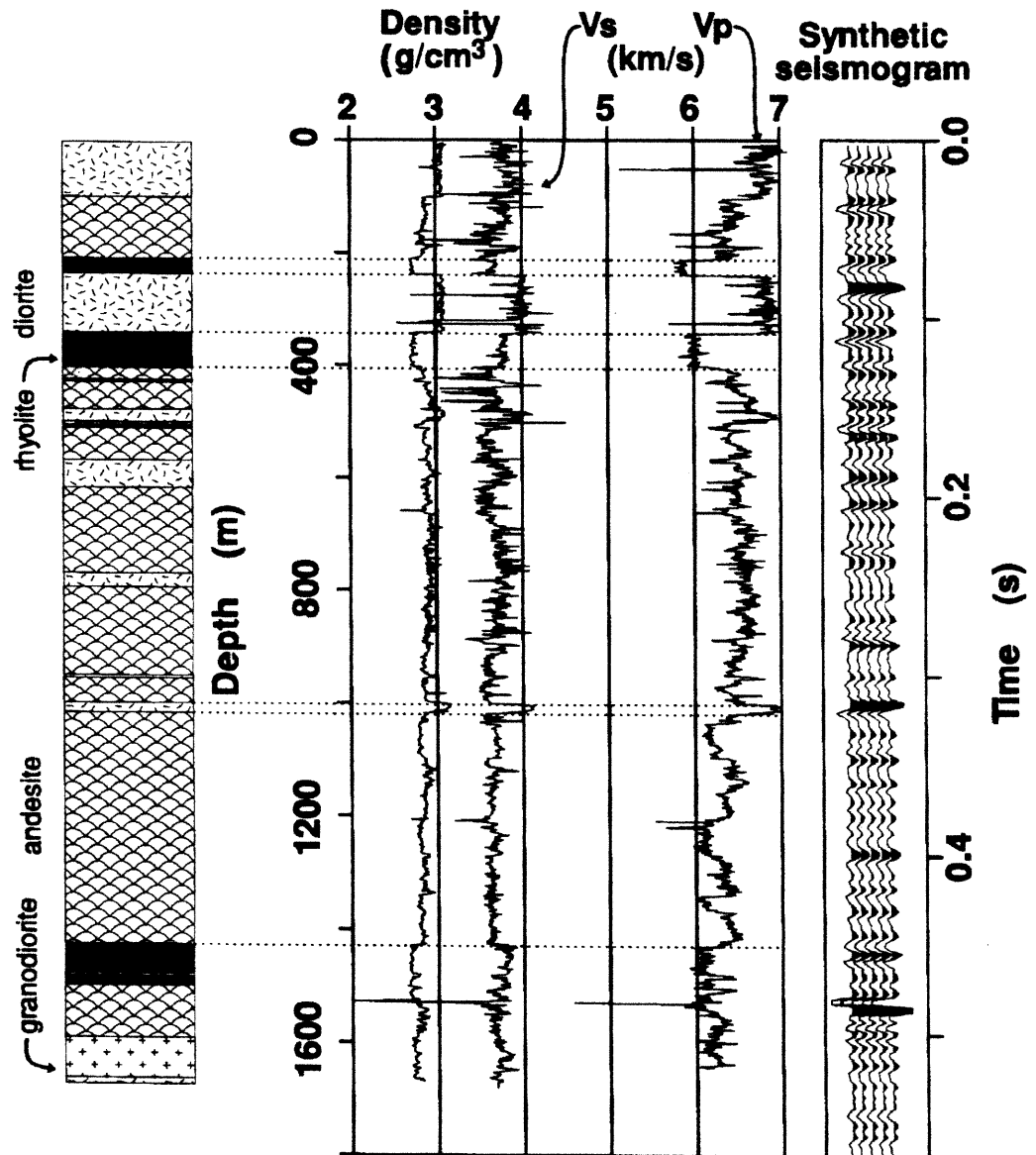


Figure A-6: Stratigraphic units (left), density, shear wave velocity and compressional wave velocity in hole An-71. The synthetic seismogram (right) was computed from density and compressional wave velocity measurements. Strong reflections are evident for diorite-rhyolite and diorite-andesite contacts.

Impedances were evaluated from P-wave velocity and density readings. A band-limited synthetic seismogram in the 40-130 Hz range was calculated by convolving the reflectivity function (primaries and multiples) with a Ricker wavelet. The resulting synthetic seismogram is shown on figure A-5. Reflections at 230 and 340 m correspond to the top and the base of a diorite sill; the top of the intrusion is better defined than its base. The presence of a thin (23 m) diorite dyke at about 480 m, may be responsible for the observed reflection on the synthetic seismogram. A 16 m thick diorite dyke intercepted at about 1000 m also appears to be a source of strong reflections, as does the contact between the Flavrian andesite and the Northwest rhyolite at 1425 m depth.

DISCUSSION

The BRG in a regional setting

The gross divisions of Archean crust below the BRG which have been outlined in this paper are interpreted largely on the basis of seismic character. The regional seismic data indicate that, in the area studied, the BRG is a homogeneous and relatively thick package of volcanic and plutonic rocks of 10 - 12 km in thickness. This contrasts with the volcanic assemblages in the northern Abitibi and Pontiac subprovince which appear as isolated lenses or thin (<4 km thick) units (Sawyer and Benn 1993; Barnes et al. 1992); this characteristic provides some support for the autochthonous basin model for the BRG. Parts of the mafic Kinojevis Group near the northwestern BRG and the mafic sequences in the southern BRG may form part of a larger basin of mafic volcanics in which the central BRG in Quebec and eastern Ontario represents a series of intermediate to felsic centres related to the rifting of this basin (Péloquin et al. 1994). While the Pontiac-BRG relationship from the seismic record suggests that Pontiac reflectors can be traced under the BRG in the mid-crust (Fig. A-2), this relationship may result from late underthrusting of Pontiac lithologies relative to the BRG. The original basement to the BRG may have been tectonically removed during this underthrusting, or may well have been extensively or totally thinned during the formation of the Blake River Group basin.

High-resolution studies and physical properties

From the study of rock properties from drill core samples and from *in situ* measurements, there is a good correlation between density and velocity. Reflections result from impedance variations which occur at lithological contacts. Thus, the reflectors in the seismic profiles can be correlated with intrusive contacts of intermediate to mafic dykes and sills with the volcanic rocks. Similar conclusions were drawn from the studies of H-R line 14a (Adam et al. 1992) in the Blake River Group and H-R line across the Matagami volcanic complex (Milkereit et al. 1992). Volcanic unit contacts are also reflective if they produce a sufficient impedance contrast as, for example, the contact between the Flavrian andesite and the Northwest rhyolite (Figs. A-5 and A-6).

Features similar to those observed on line 21-1 in the Mines Series are also evident west of the HuCF; both the high-resolution and the regional data indicate a relatively simple northeast-facing dip to the BRG central mines sequence, which has been disrupted by the sub-vertical Hunter Creek Fault. Thus an extension of Mines Series and the underlying syn-volcanic Flavrian Pluton appear to occur in the down-dropped block west of the Hunter Creek Fault. This interpretation has important consequences for volcanogenic massive sulphide mineral exploration and requires further testing.

Although the results from the Mines Series indicate that the contacts most likely to be imaged are between the volcanic and intrusive rocks, a general pattern throughout the seismic profile gives a clear indication of the apparent stratigraphy which can then be followed either to the surface or to depth.

ACKNOWLEDGMENTS

J. Ludden, C. Hubert, S. Péroquin and E. Adam acknowledge support from the National Science and Engineering Research Council strategic grant and LITHOPROBE supporting

geosciences funds. This work forms part of a PhD thesis by S. Péroquin, funded in part by the Fonds pour la Formation de Chercheurs et l'Aide à la Recherche-Québec. E. Adam also acknowledges support from the Geological Survey of Canada. We also thank Corporation Minière Métall (previously Minnova) for supplying stratigraphic sections, drill hole logs and access to drill holes.

REFERENCES

- Adam, E., Milkereit, B., Mareschal, M., Barnes, A.E., Hubert, C., and Salisbury, M. 1992. The application of reflection seismology to the investigation of the geometry of near-surface units and faults in the Blake River Group, Abitibi Belt, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **29**: 2038-2045.
- Barnes, S.J., Sawyer, E.W., Mainville, M., and Bouchaib, C. 1992. Reconnaissance results from the Belleterre-Angliers belt. LITHOPROBE report #25, Univ. British Columbia, pp. 135-138.
- Bellefleur, G. 1992. Contribution des méthodes de potentiel à la cartographie géologique et à la structure profonde dans le Groupe de Blake River, Abitibi. M.Sc.A. Thesis, École Polytechnique de Montréal, 101p.
- Chouteau, M., and Deschamps, F. 1989. Geometric constraints of the Blake River Group and surrounding terranes in the Noranda region, Abitibi, from gravity data interpretation. LITHOPROBE Abitibi - Grenville Project 1989 Workshop, Abstract.
- Corfu, F. 1993. The evolution of the Southern Abitibi Greenstone belt in the light of precise U-Pb geochronology. *Economic Geology*, **88**: 1323-1340.
- De Rosen-Spence, A.F. 1976. Stratigraphy, development and petrogenesis of the central Noranda volcanic pile, Noranda, Québec. Ph.D. Thesis, University of Toronto, Ontario, Canada. 166 p.
- Desrochers, J.-P., Hubert, C., Ludden, J.N., and Pilote, P. 1993. Accretion of Archean oceanic plateau fragments in the Malartic Composite Block, Abitibi Greenstone Belt, Canada. *Geology*, **21**: 451-454.
- Gélinas, L., Trudel, P., and Hubert, C. 1984. Chemostratigraphic division of the Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Abitibi, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **21**: 220-231.

- Gélinas, L., and Ludden, J.N. 1984. Rhyolitic volcanism and the geochemical evolution of an Archaean central ring complex: the Blake River Group volcanics of the southern Abitibi belt, Superior province. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **35**: 77-88.
- Gibson, H.L., 1990. The geology and reconstruction of the Mine sequence and the Noranda cauldron of the Noranda complex, northwestern Québec. Ph.D. Thesis, Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada. 715 p.
- Gibson, H.L. and Watkinson, D.H. 1990. Volcanogenic massive sulphide deposits of the Noranda cauldron and shield volcano, Quebec. In *The Northwestern Quebec polymetallic belt: a summary of 60 years of mining exploration*. Edited by M. Rive, P. Verpaelst, Yves Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin and A. Simard. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume **43**: 119-132
- Goldie, R.J. 1978. Magma mixing in the Flavrian plutons, Noranda area, Quebec, *Canadian Journal of Earth Sciences*, **15**: 132-144.
- Green, A., Milkereit, B., Mayrand, L., Ludden, J.N., Hubert, C., Jackson, S.L., Sutcliffe, R.H., West, G.F., Verpaelst, P., and Simard, A., 1990. Deep structure of an Archaean greenstone terrane. *Geology*, **344**: 327-330.
- Hubert, C., Trudel, P., and Gélinas, L., 1984. Archean wrench fault tectonics and structural evolution of the Blake River Group, Abitibi Belt, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **21**: 1024-1032.
- Jackson, S.L., Sutcliffe, R.H., Ludden, J.N., Hubert, C., Green, A.G., Milkereit, B., Mayrand, L., West, G.F., and Verpaelst, P. 1990. The Archaean southern Abitibi greenstone belt: crustal structure from seismic reflection profiles. *Geology*, **18**: 1086-1090.
- Jackson, S.L., Cruden., A.R., White, D., and Milkereit, B. (this volume). A seismic reflection-based regional cross section of the southern Abitibi greenstone belt. *Canadian Journal of Earth Sciences*. (1995, **32**: 135-148)
- Lagraa, K. 1994. Pétrographie et géochimie des dykes de diorites du Groupe de Blake River, QC. M.Sc. thesis, University of Montreal, 81 p.
- Ludden, J., Hubert, C., Barnes, A., Milkereit, B., and Sawyer, E. 1993. A three dimensional perspective on the evolution of Archaean crust: LITHOPROBE seismic reflection images in the southwestern Superior Province. *LITHOS*, **30**: 357-372.
- Milkereit, B., Adam, E., Barnes, A., Beaudry, C., Pineault, R., and Cinq-Mars, A. 1992. An application of reflection seismology to mineral exploration in the Matagami area, Abitibi Belt, Quebec. In *Current Research, Part C*, Geological Survey of Canada, Paper 92-1C, pp. 13-18.

- Mortensen, J.K. 1993. U-Pb geochronology of the eastern Abitibi subprovince, Part 2: Noranda-Kirkland Lake area: *Canadian Journal of Earth Sciences*, **30**: 29-41.
- Paradis, S., Ludden, J. and Gélinas, L. 1988. Evidence for contrasting compositional spectra in comagmatic intrusive and extrusive rocks of the late Archean Blake River Group, Abitibi, Quebec. *Journal canadien des sciences de la terre*, **25**, pp. 134-144.
- Péloquin, A.S., Potvin, R., Paradis, S., Laflèche, M.R., Verpaelst, P., and Gibson, H.L. 1990. The Blake River Group, Rouyn-Noranda Area, Québec: A Stratigraphic Synthesis. In *Northwestern Québec Polymetallic Belt. Edited by M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.M. Lulin, G. Riverin and A. Simard.* Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 43, pp. 107-118.
- Péloquin, A.S., Verpaelst, P., and Ludden, J.N. 1994. Spherulitic rhyolites of the Archean Blake River Group, Canada: Implications for stratigraphic correlation and VMS exploration. *Economic Geology*. (1996, **91**: 343-354)
- Richard, M., Hubert, C., Brown, A.C., and Sirois, R. 1990. The Pierre Beauchemin gold mine: a structurally controlled deposit within a sub-horizontal layered composite granitoid. In *Northwestern Québec Polymetallic Belt. Edited by M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.M. Lulin, G. Riverin, and A. Simard.* Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 43, pp. 211-220.
- Sawyer, E.W and Benn, K. 1993. Structure of the high-grade Opatica Belt and adjacent low-grade Abitibi subprovince, Canada: an Archean mountain front. *Journal of Structural Geology*, **15**: 1443-1458.

APPENDIX B

STRATIGRAPHIE ET PÉTROGRAPHIE

Chapitre du rapport:

PROJET BLAKE RIVER OUEST

CANTONS DE DUFRESNOY, DE DUPRAT, DE MONTBRAY,
DE BEAUCHASTEL ET DE DASSERAT

SNRC 32D/06

Par

A.S. Peloquin (U.R.S.T.M.¹), P. Verpaelst (M.E.R.Q.²),
B. Dejou (Ecole Polytechnique³) et R. Gaulin (C.A.T.⁴)

Juin 1990

RAPPORT NON-PUBLIÉ

¹ Unité de Recherche et de Service en Technologie Minérale

² Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec

³ Ecole Polytechnique de Montréal

⁴ CEGEP de l'Abitibi-Témiscamingue

STRATIGRAPHIE ET PETROGRAPHIE

INTRODUCTION

La région étudiée est divisée en six blocs par des failles et zones de cisaillements, et leurs extensions. Le bloc D'Alembert se trouve à l'est du Cisaillement de D'Alembert; le bloc Flavrian, au sud de la Faille Hunter Creek entre le Cisaillement de D'Alembert et la Faille de la Rivière Mouilleuse; le bloc Hunter, au nord de la Faille Hunter Creek aussi entre le Cisaillement de D'Alembert et la Faille de la Rivière Mouilleuse; le bloc Arnoux, au sud entre les failles de Hunter Creek et de la Rivière Mouilleuse; le bloc Mouilleuse, à l'ouest entre les failles de Hunter Creek et de la Rivière Mouilleuse; et le bloc Després, au nord de la Faille de Baie Fabie (Figure B-1). Un total de 316 échantillons ont été analysés en lames minces dans les six blocs (Tableau B-I).

Les blocs Flavrian, Hunter, Arnoux et la partie est du bloc Mouilleuse sont caractérisés par l'alternance d'unités andésitiques et rhyolitiques (Figure B-1), rendue évidente en général par le nombre d'échantillons respectif de ces deux lithologies (Tableau B-I). Les blocs D'Alembert et Després, et la partie ouest du bloc Mouilleuse sont toutefois dominés par les andésites (Figure B-1, Tableau B-I). Le bloc D'Alembert avait été interprété auparavant (M.R.N.Q., 1982) comme étant constitué d'une alternance d'unités dacitiques et andésitiques. Les dacites sont en fait des andésites silicifiées, épidotisées par surcroît à plusieurs endroits le long des failles injectées par des dykes de diorites. Dans le bloc Flavrian, la stratigraphie est aussi recoupée par des dykes de diorite et par des failles inverses qui peuvent répéter des unités.

Dans le bloc Flavrian, et la partie sud-est du bloc Hunter, les roches volcaniques ont été divisées en unités par de Rosen-Spence (1976; Figure B-2), et les échantillons recueillis dans ce secteur ont été décrits dans Péloquin et al. (1989a) en fonction de ces unités. Une description générale des différentes lithologies est donnée ici, sauf pour l'unité-référence de la rhyolie de Fish-Roe, qui est décrit en détail. Les échantillons recueillis pendant l'été 1988 sont décrits dans Péloquin (1989b).

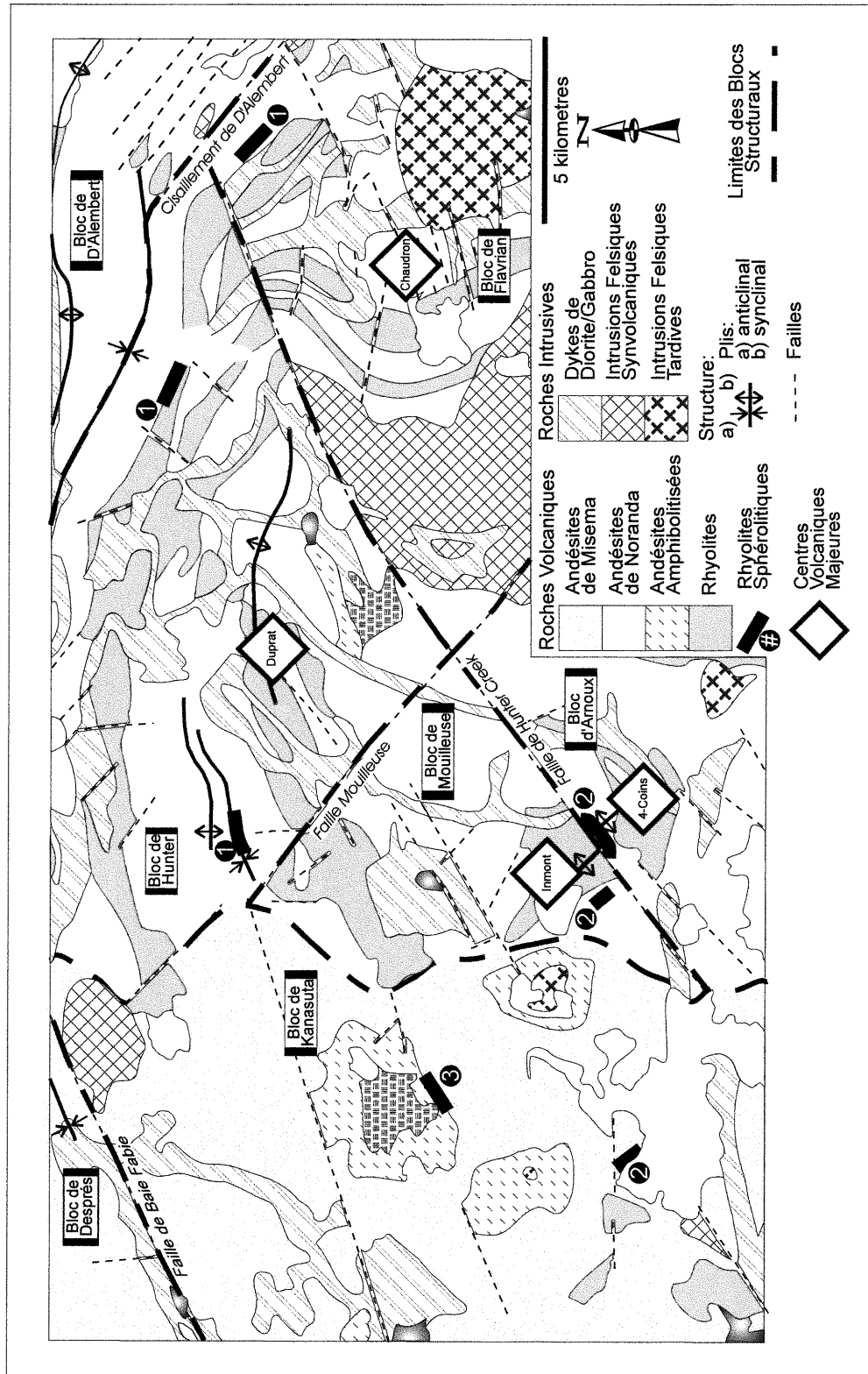


Figure B-1: La géologie du secteur étudié avec les sous-groupes, les rhyolites hautement sphérolithiques et les blocs structuraux.

Tableau B-I: Nombres et lithologies des échantillons étudié dans chaque bloc.

	BLOC DE D'ALEMBERT	BLOC DE FLAVRIAN	BLOC DE HUNTER	BLOC DE ARNOUX	BLOC DE MOUILLEUSE	BLOC DE DESPRES
RHYOLITES	7	17	45	10	29	1
ANDESITES	22	19	54	20	86	6
TOTALE	29	36	99	30	115	7
% RHYOLITES	24	47	45	33	25	14
% ANDESITES (T)	76	53	55	67	75	86
ANDESITES SANS CPX	19	18	30	19	73	3
ANDESITES AVEC CPX	3	1	24	1	13	3
% ANDESITE SANS CPX	86	95	56	95	85	50
% ANDESITE AVEC CPX	14	5	44	5	15	50

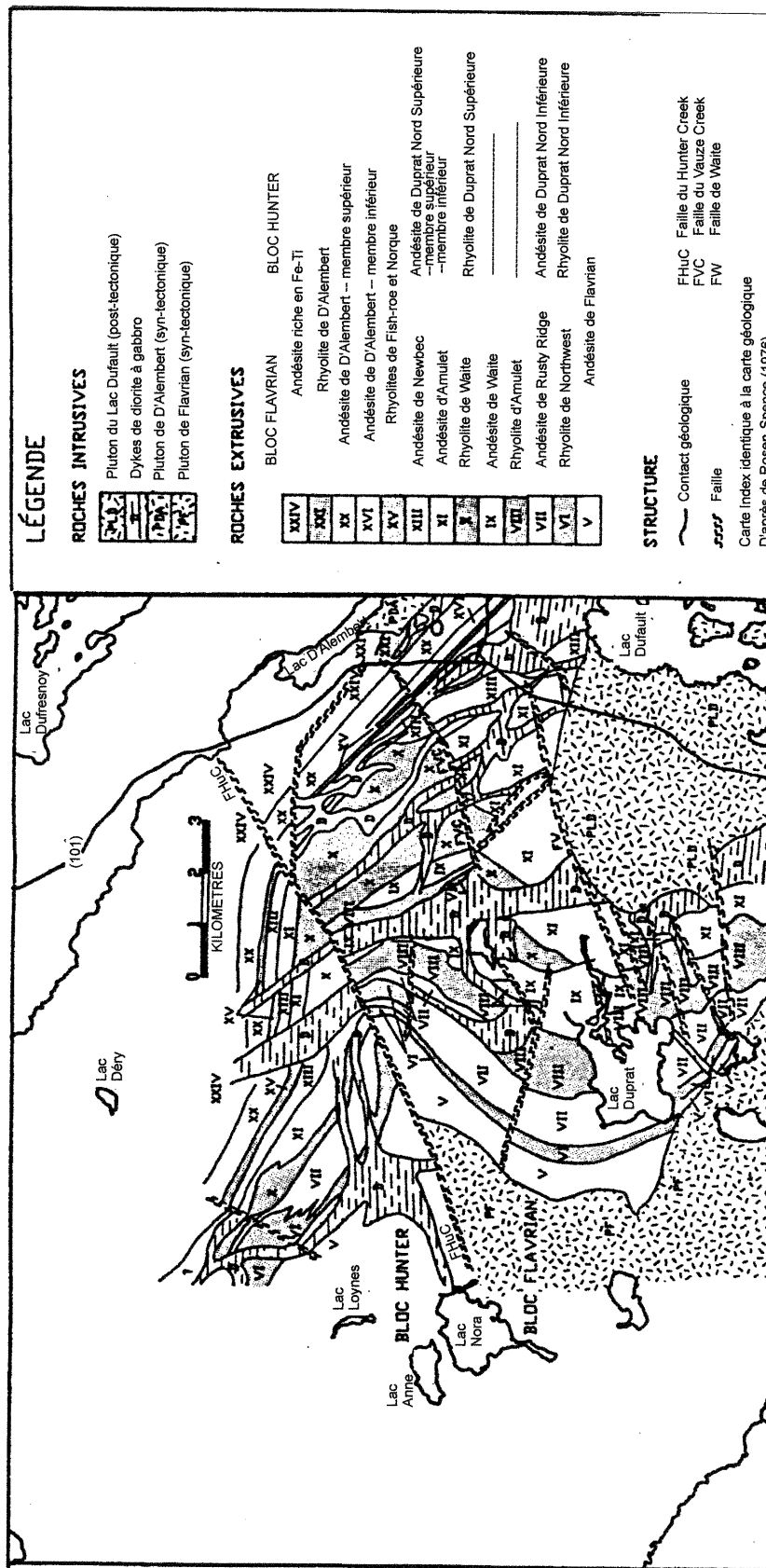


Figure B-2: Carte géologique du secteur étudié en 1987 selon la stratigraphie de de Rosen-Spence (1976).

LES ANDÉSITES

Les andésites prédominent dans la région étudiée, mais sont plus abondantes encore dans les parties ouest, nord et est. Elles sont présentes surtout sous forme de coulées de laves, mais aussi sous forme de roches pyroclastiques. Les coulées montrent tous les morphofaciès des laves intermédiaires (Dimroth et al., 1978; Hargreaves and Ayres, 1979): massif, coussiné et bréchique. Les faciès les plus communs dans la région sont les faciès massif et coussiné. Le bloc Arnoux est dominé par les coulées massives et la partie ouest du bloc Mouilleuse est dominé par les coulées coussinées. Les brèches sont plus abondantes dans la partie est du bloc Mouilleuse, dans la partie sud du bloc Hunter, et localement dans le bloc D'Alembert. Les pyroclastites andésitiques, rares en général, sont quand même présentes dans le bloc Després, dans la parties NE du bloc Hunter et dans le bloc D'Alembert. Il s'agit surtout de tufs à lapilli, localement de tufs à blocs et, à un endroit dans la partie nord du bloc Hunter, de tufs à cristaux. On en trouve un peu dans les blocs Mouilleuse et Flavrian mais elles sont absentes dans le bloc Arnoux.

Les andésites peuvent être aphanitiques ou porphyriques en plagioclase, amygdalaires ou non. Certaines coulées andésitiques montrent des structures particulières comme des fractures concentriques de refroidissement dans les coussins, une grande abondance d'amygdales, et un haute pourcentage de phénocristaux de plagioclase. Ces coulées se retrouvent à plusieurs endroits dans la région d'étude, mais ne peuvent être utilisées comme unités-repères qu'à l'échelle locale.

Certaines unités, interprétées jusqu'ici comme des dacites et des rhyolites, sont en réalité des andésites altérées. Dans la partie nord du bloc Mouilleuse, dans la partie centrale du bloc Arnoux, dans la partie sud du bloc Hunter et dans le bloc D'Alembert, les andésites silicifiées sont surtout du faciès coussinées. Dans la partie est du bloc Mouilleuse, dans la partie centrale du bloc Hunter et dans le bloc Flavrian, ces unités sont surtout des brèches. Ces brèches sont de type brèches de coussins ou brèches hydroclastiques (Smith and Batiza, 1989); elles consistent essentiellement en fragments et lambeaux d'andésite silicifiée et épidotisée dans une mésostase d'andésite chloritisée. De telles roches, décrites auparavant comme des brèches à fragments de rhyolites dans un matrice

d'andésite (Newmont, 1982), ont été reconnues comme des andésites dans le bloc Flavrian par Gibson et al. (1983) et dans le bloc Hunter par Verpaelst (1985). L'altération (silicification, épidotisation, chloritisation et localement biotitisation), de même que la déformation des laves augmentent près des zones axiales des plis, des failles et zones de cisaillements, et près du contact avec le pluton Flavrian. En outre, certaines unités interprétées comme des basaltes sont en fait les andésites altérées dans la zone de métamorphisme de contact des petits intrusions felsiques.

Quelques contacts entre les rhyolites et les andésites affleurent. Ces contacts sont plutôt nets, sauf là où la rhyolite et l'andésite sont toutes les deux bréchiques. Dans ce cas, la brèche andésitique est généralement silicifiée et ressemble à la brèche rhyolitique; le changement abrupt d'une brèche porphyrique à quartz et plagioclase à une brèche non-porphyrique peut être interprété comme un contact rhyolite - andésite. Quels que soient les faciès en présence, les contacts rhyolite - andésite observés sont généralement minéralisés en sulfures disséminés.

Pétrographie

Le métamorphisme dans le secteur étudié avait été interprété comme étant du faciès préhnite-pumpellyite au nord de la Faille Hunter Creek et à l'est du Cisaillement D'Alembert, et du faciès schiste vert au sud de la Faille Hunter Creek (Dimroth et al., 1983; Gélinas et al., 1984). Ainsi les blocs Mouilleuse, Després, Hunter et D'Alembert sont métamorphisés au faciès préhnite-pumpellyite, et les blocs Arnoux et Flavrian, au faciès schiste vert. Dans l'étude pétrographique effectuée ici, les indicateurs du faible métamorphisme, la préhnite, la pumpellyite et le clinopyroxène relique, se trouvent surtout dans ces blocs interprétés comme étant faiblement métamorphisés (Tableaux B-II & B-III). Aucune préhnite ni pumpellyite n'ont été observées dans les lames minces des blocs Arnoux et Flavrian, et le clinopyroxène y est plus rare. Dans les blocs Mouilleuse, Després et D'Alembert, les échantillons avec des minéraux de faible métamorphisme ont une distribution erratique, tandis que dans le bloc Hunter ces échantillons sont concentrées dans une bande de roches de direction ENE

Tableau B-II: Minéralogie majeur des andésites. Pourcentage des échantillons qui les contiennent.

	ANDESITES						
	BLOC DE D'ALEMBERT (%)	BLOC DE FLAVRIAN (%)	BLOC DE HUNTER (%)	BLOC DE ARNOUX (%)	BLOC DE MOUILLEUSE (%)	BLOC DE DESPRES (%)	
CLINOPYROXENE	14	5	44	5	15	50	
ACTINOTE	55	53	43	80	60	67	
CHLORITE	100	95	100	70	84	100	
EPIDOTE	95	95	93	90	97	100	
CALCITE	59	47	59	30	38	67	
SERICITE	41	42	30	35	26	50	
BIOTITE	18	5	4	20	15	0	
HORNBLLENDE	0	16	0	15	14	0	
AMPHIBOLE SODIQUE	0	0	0	5	0	0	
PREHNITE	9	0	9	0	6	50	
PUMPELLYITE	5	0	9	0	7	50	
(NOMBRES DE ECHANTILLONS)	(22)	(19)	(54)	(20)	(86)	(6)	

Tableau B-III: Présences des minéraux majeurs dans les andésites avec et sans du clinopyroxène relique, en pourcent échantillons.

	MINERALOGIE DES ANDESITES SANS ET AVEC CLINOPYROXENES RELIQUES											
	BLOC DE D'ALEMBERT (%)		BLOC DE FLAVRIAN (%)		BLOC DE HUNTER (%)		BLOC DE ARNOUX (%)		BLOC DE MOUILLEUSE (%)		BLOC DE DESPRÉS (%)	
	SANS CPX	AVEC CPX	SANS CPX	AVEC CPX	SANS CPX	AVEC CPX	SANS CPX	AVEC CPX	SANS CPX	AVEC CPX	SANS CPX	AVEC CPX
ACTINOTE	53	67	50	100	33	54	79	100	60	62	33	33
CHLORITE	100	100	94	100	100	100	68	100	82	92	50	100
EPIDOTE	95	100	94	100	87	100	89	100	96	100	50	100
CALCITE	63	33	100	0	67	50	32	0	38	38	33	33
SERICITE	42	33	39	100	30	29	37	0	26	23	33	17
BIOTITE	16	33	6	0	7	0	21	0	16	8	0	0
HORNBLENDE	0	0	17	0	0	0	0	0	16	0	0	0
Na-AMPHIBOLE	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
PREHNITE	11	0	0	0	3	17	0	0	4	15	33	17
PUMPELLYITE	5	0	0	0	0	21	0	0	4	23	33	17
(NOMBRE DE ECHANTILLON)	(19)	(3)	(18)	(1)	(30)	(24)	(19)	(1)	(73)	(13)	(3)	(3)

qui se limite à l'ouest approximativement à la Faille Rivière Mouilleuse. Dans les cas des blocs Hunter et D'Alembert, il y a une correspondance entre la présence de préhnite, de pumpellyite et de clinopyroxène relique dans les échantillons, ce qui n'est pas le cas pour les blocs Mouilleuse et Després (Tableau B-III).

La plupart des échantillons étudiés en lames minces proviennent des faciès massifs ou des centres des coussins. Ces échantillons ont été aussi analysés pour la géochimie. Donc, les andésites étudiés sont généralement massives et homogènes, et seulement quelques échantillons montrent des structures fragmentaires, schisteuses et cataclastiques. La plupart des andésites sont microlitiques, parfois amygdalaires et parfois porphyriques en plagioclase. La préhnite se trouve surtout dans les amygdales. Très localement, les andésites exhibent des glomérophénocristaux de plagioclase ou des pseudomorphes de microphénocristaux de clinopyroxène et possiblement d'olivine. Les phénocristaux et glomérophénocristaux de plagioclases peuvent constituer jusqu'à 30% de la roche. Les textures pilotaxitique et intersertale à sub-ophitique sont communes; les andésites à texture trachitique sont plus rares et sont surtout du faciès coussinée. Des textures de trempe (sous-refroidissement) ont été rarement observées.

Deux échantillons de tufs, provenant du bloc Hunter, ont été examinés. Ce sont des tufs lités qui renferment par endroit, des stratifications obliques. L'épaisseur des lamines varie entre 0,5 mm et 1,5 mm. Le premier montre un litage défini par la granulométrie des cristaux de quartz et plagioclase. Des veinules de préhnite recoupent cette roche. Dans le second, le litage est plutôt défini par des variations minéralogiques, principalement en épidote, chlorite et séricite. La granulométrie varie avec la minéralogie.

Les variations minéralogiques vus dans les compositions modales moyennes des andésites qui ne contiennent pas de clinopyroxène et ceux qui en contiennent (Tableaux B-IV, B-V et B-VI) ne sont pas uniformes entre des blocs. Il existe quand même une certaine ressemblance entre les blocs Arnoux et Flavrian qui les distinguent des autres. Les variations en pourcentage de plagioclase, du total en quartz + plagioclase, et de l'épidote dans les blocs

Tableau B-IV: Composition modale moyenne des andésites avec du clinopyroxène relique.

	COMPOSITION MOYEN (MODALE) DES ANDESITES AVEC CLINOPYROXENE					
	BLOC DE D'ALEMBERT (%)	BLOC DE FLAVRIAN (%)	BLOC DE HUNTER (%)	BLOC DE ARNOUX (%)	BLOC DE MOUILLEUSE (%)	BLOC DE DESPRES (%)
PLAGIOCLASE	15	16	31	4	34	31
QUARTZ	6	0	10	20	8	7
QTZ-PLAG	0	0	0	5	4	0
CLINOPYROXENE	10	16	12	4	13	19
ACTINOTE	7	16	8	24	7	2
CHLORITE	29	3	14	13	9	4
EPIDOTE	15	13	16	13	12	31
CARBONATE	1	0	1	0	3	1
SERICITE	2	32	3	0	2	<1
BIOTITE	7	0	0	0	<1	0
HORNLENDE	0	0	0	0	0	0
AMPHIBOLE-SODIQUE	0	0	0	0	0	0
PREHNITE	0	0	1	0	<1	<1
PUMPELLYITE	0	0	<1	0	<1	<1
LEUXOCENE	9	5	5	16	10	5
	100	100	100	100	100	100

Tableau B-V: Composition modale moyenne des andésites sans du clinopyroxène relique.

COMPOSITION MOYEN (MODALE) DES ANDESITES SANS CLINOPYROXENE

	BLOC DE D'ALEMBERT (%)	BLOC DE FLAVRIAN (%)	BLOC DE HUNTER (%)	BLOC DE ARNOUX (%)	BLOC DE MOUILLEUSE (%)	BLOC DE DESPRES (%)
PLAGIOCLASE	15	52	29	37	34	23
QUARTZ	18	10	12	18	9	5
QTZ-PLAG	5	4	6	2	5	9
ACTINOTE	8	6	10	17	14	3
CHLORITE	20	12	15	9	10	22
EPIDOTE	16	7	14	9	14	16
CARBONATE	3	2	4	<1	1	<1
SERICITE	2	1	2	2	2	5
BIOTITE	2	0	<1	1	1	0
HORNBLende	0	1	0	2	1	0
AMPHIBOLE-SODIQUE	0	0	0	1	0	0
PREHNITE	<1	0	0	0	0	5
PUMPELLYITE	0	0	0	0	<1	<1
LEUXOCENE	10	5	8	2	7	11
	100	100	100	100	100	100

Tableau B-VI: Variations (gaines et pertes) en minéralogie modale moyenne des échantillons d'andésite qui ne contiennent pas de clinopyroxène comparé aux ceux qui le contiennent.

MINÉRALOGIE	MOUILLEUSE	DESPRÉS	ARNOUX	HUNTER	FLAVRIAN	D'ALEMBERT
PG	0	-	+	0	+	0
QZ	0	0	0	0	+	+
P-Q MATRICE	0	+	(-)	+	+	+
PG-QZ _(T)	0	0	+	0	+	(+)
ACT	+	0	-	(+)	-	0
CHL	0	+	-	0	+	-
EP	0	-	-	(-)	-	0
CCT	-	0	0	+	(+)	(+)
SER	0	+	+	0	-	0
BIO	0	0	(+)	0	0	-
HBL	(+)	0	+	0	0	0
NA-AM	0	0	(+)	0	0	0
PREH	(-)	+	0	(-)	0	(-)
PUMP	0	0	0	(-)	0	0
LEUX	(+)	+	-	+	0	0

(PG = plagioclase; QZ = quartz; P-Q MATRICE = matrice felsique <rapport pg:qz indéterminé>; PG-QZ_(T) = <PG + QZ + P-Q MATRICE>; ACT = actinote; CHL = chlorite; EP = épidote; CCT = carbonate; SER = séricite; BIO = biotite; HBL = hornblende; NA-AM = amphibole sodique; PREH = préhnite; PUMP = pumpellyite; LEUX = leuxocène)

Arnoix et Flavrian sont dues à la présence de l'albite lipide dans les andésites sans clinopyroxène, tandis que des plagioclases sont saussuritisés dans l'andésite avec clinopyroxène. La diminution en épidote dans les andésites à albite lipide peut indiquer que l'albitisation est métasomatique et non pas simplement métamorphique. Dans ce cas, l'absence du clinopyroxène relique en association avec l'albite lipide peut être le résultat de l'altération et au lieu d'une indication d'un métamorphisme au faciès schiste-verte. Dans les autres blocs, où l'albitisation métasomatique n'est pas évidente, la saussuritisation se

trouve aussi dans les andésites sans clinopyroxène, mais il est plus variable que dans les andésites avec clinopyroxène. Dans ce cas, l'absence de clinopyroxène peut être le résultat de la métamorphisme au faciès schist-vert, ou une fonction de la composition primaire des laves, qui a fait en sorte que les clinopyroxènes ont été altérés même que le métamorphisme soit seulement du faciès préhnite-pumpellyite. Dans les blocs Hunter et D'Alembert, certains échantillons sans clinopyroxène sont complètement carbonatisés et saussuritisés. Ici, comme dans les blocs Arnoux et Flavrian, l'absence du clinopyroxène peut être due simplement à l'altération, dans ce cas, la carbonatation. Les minéraux mafiques dans les andésites sans clinopyroxène sont pour la plupart chloritisés dans le bloc Flavrian et transformés en hornblende dans le bloc Arnoux, expliquant ainsi la variation entre la chlorite et la hornblende, comparé à l'actinote dans les deux types d'andésite de ces blocs. Les blocs Mouilleuse et Hunter, par contre, montrent une augmentation en actinote, indiquant que leurs minéraux mafiques se sont plutôt transformés en actinote.

La hornblende et l'amphibole sodique présentes dans les andésites de la région étudiée sont le produit du métamorphisme de contact causé par des intrusions felsiques. Ainsi des échantillons contenant de la biotite disséminée, en lamelles ou en veinules ont été prélevés près de roches intrusives felsiques ou intermédiaires, et près de failles. La présence de la biotite suggère un métamorphisme de contact en bordure de ces intrusions et un faible métasomatisme près des failles. Dans le bloc D'Alembert, la biotitisation s'observe d'être en bordure des dykes de diorite injectés dans les failles de la zone de Cisaillement de D'Alembert.

D'autres altérations en épidote et quartz, en carbonate ou en chlorite ont été aussi observées près des dykes de diorite, au contact du pluton de Flavrian, près des failles tardives et syn-volcaniques, et près des zones axiales des plis. Près de la Faille de Hunter Creek et dans la zone de Cisaillement de D'Alembert, la texture primaire des andésites est souvent oblitérée tant par la déformation que par l'altération. L'altération au contact du pluton de Flavrian est possiblement aussi reliée à la Faille MacDougall qui passe près de la bordure du pluton de Flavrian.

LES RHYOLITES

Les rhyolites sont surtout observées dans la partie centrale de la carte (Figure B-1), c'est-à-dire, dans le bloc Flavrian, dans la partie central des blocs Hunter et Arnoux, et dans la partie est du bloc Mouilleuse. Elles sont très rares dans la partie ouest du bloc Mouilleuse, dans le bloc Després, et dans le bloc D'Alembert. Les secteurs où les rhyolites sont concentrées font partie des cycles andésite-séquence bimodale (de Rosen-Spence, 1976).

Les rhyolites de la partie ouest du bloc Mouilleuse se présentent sous forme d'un dôme massif aux joints polygonaux, et sous forme de brèches pyroclastique et d'effondrement de dôme. La seule rhyolite observée dans le bloc Després est du faciès massif. Les rhyolites du bloc D'Alembert sont surtout du faciès massif et localement du faciès lobes et brèches (Furnes et al., 1980; Verpaelst, 1985). Dans un cas, on observe des joints polygonaux à la base de la rhyolite.

Les rhyolites qui font partie des cycles andésite-séquence bimodale se présentent surtout sous forme de coulées massives, de coulées à brèches et lobes, de brèches et de tufs à lapilli et à blocs. Plusieurs des dômes de rhyolites ont des joints polygonaux. Les rubanements de coulée se trouvent généralement dans les faciès massifs et à lobes, et localement, dans les fragments du faciès bréchiq. Une brèche polymictite d'effondrement de dôme observée dans le bloc Arnoux fait partie de l'indice minéralisé de "Quatre-coins". Les tufs et les tufs cherteux sont rares; ceux-ci se trouvent généralement aux contacts entre les rhyolites et les andésites.

Par endroits, des rhyolites à l'apparence bréchiq. sont interprétées comme des pseudo-brèches produites par l'altération ou par l'intersection de deux schistosités. L'aspect bréchiq. de ce dernier type de pseudo-brèche n'est pas très évident en lames minces. Localement, surtout près du Cisaillement de D'Alembert, les rhyolites montrent une déformation intense, presque mylonitique, et avaient été cartographiées auparavant comme les tufs.

Les rhyolites sont généralement porphyriques à gloméro-porphyriques en quartz et plagioclase. Les rhyolites à phénocristaux et microphénocristaux de plagioclase seulement sont plus rares; dans le bloc D'Alembert, par contre, aucune rhyolite ne contient des phénocristaux de quartz. Dans tous les blocs, les rhyolites sont très peu amygdalaires et contiennent localement des sphérolites de dévitrification. Des sphérolites de cristallisation, qui ressemblent à celles trouvées dans les laves mafiques (Natland, 1978; Natland, 1980; Kirkpatrick, 1978), ont été observées localement dans les blocs Mouilleuse, Arnoux, Hunter et Flavrian. Une unité de rhyolite à sphérolites de séricite a été observée dans le bloc Arnoux près de l'indice minéralisé de "Quatre-coins". Les sphérolites de cristallisation et de séricite sont évident sur le terrain et sont distinguable un de l'autre, tandis que les sphérolites de dévitrification sont rarement observé sur le terrain, soiant défini seulement en lames minces.

Cinq unités de rhyolite à sphérolites de cristallisation ont été relevées dans la région étudiée. La rhyolite de Fish-Roe affleure dans le bloc Flavrian et dans le bloc Hunter. Elle est gloméro-porphyrique en plagioclase, en plus d'être sphérolitique. Elle est massive dans le bloc Flavrian et exhibe le faciès lobes et brèche dans le bloc Hunter. Dans le bloc Flavrian, la rhyolite de Fish-Roe est recouverte par du tuf cherteux, qui exhibe un litage et même une stratification oblique, et par du tuf à cristaux de quartz et à lapilli de rhyolite et d'andésite. La deuxième unité de rhyolite à sphérolites de cristallisation se trouve dans le bloc Hunter au nord de l'Anticlinal de la Rivière Kanasuta dans l'axe d'un synclinal. Cette unité se poursuit sur 2 km est-ouest. La troisième unité se trouve dans les blocs Mouilleuse et Arnoux, près de la Faille de Hunter Creek. C'est un tuf à lapilli qui ne contient pas de phénocristaux. Les deux dernières unités se trouvent dans le bloc Mouilleuse. L'une au nord du lac Dasserat, près de la Faille de Lac Remillac, s'agit d'une brèche micro-porphyrique en quartz. L'autre unité est au sud-ouest du lac Tarsac près de la Faille Tarsac. Il se poursuit sur une distance est-ouest de 1.5 km.

Pétrographie

Le faciès métamorphique des rhyolites est difficile à déterminer, car elles contiennent très peu de minéraux indicateurs (Tableau B-VII). Seules les rhyolites des bloc Mouilleuse et Hunter contiennent de la pumpellyite. Dans le bloc Mouilleuse, ces rhyolites se trouvent près de la Faille de Hunter Creek au sud du lac Montbray et juste au sud de la Faille de Tarsac; dans le bloc Hunter, elles se trouvent associées avec les andésites de faible métamorphisme. Le clinopyroxène relique observé dans le bloc Hunter provient des sphérolites de cristallisation de la rhyolite de Fish-Roe.

En lames minces, les rhyolites sont généralement massives et homogènes; quelques échantillons montrent des structures schisteuses et laminées, fragmentaires, et cataclastiques. L'analyse pétrographique confirme les observations de terrain quant à l'occurrence des phénocristaux et des sphérolites. Les phénocristaux de quartz et plagioclases, et plus rarement de plagioclase seulement, composent jusqu'à 25% de la roche. Dans les blocs Flavrian, Hunter, Arnoux et Mouilleuse, quelques échantillons de rhyolite présentent des textures granophyriques et micrographiques dans les phénocristaux, et dans un cas, dans le bloc Flavrian, deux populations des phénocristaux de plagioclase ont été observées: l'une caractérisée par des macles polysynthétiques et l'autre par des macles complexes du type "jupe écossaise". La rhyolite de Fish-Roe, dans les blocs Flavrian et Hunter, contient des phénocristaux de plagioclase distinctifs; ils se trouvent sous deux formes: (1) de cristaux trapus individuels et (2) d'agrégats de lattes parallèles. L'échantillon étudié du bloc Flavrian montre une forte carbonatation. Cette rhyolite contient aussi du leucocène en pseudomorphe des cristaux bien-développés de rutile.

La mésostase des rhyolites est généralement microlitique à sphérolitiques, et peu amygdalaire; les microlites montrent plutôt une texture pilotaxitique qu'une texture trachytique. Localement, les brèches de rhyolite sont perlitiques. En lames minces les sphérolites de cristallisation sont composés de cristaux squelettiques

Tableau B-VII: Présences des minéraux majeurs dans les rhyolites en pourcentage d'échantillons.

	RHYOLITES						
	BLOC DE D'ALEMBERT (%)	BLOC DE FLAVRIAN (%)	BLOC DE HUNTER (%)	BLOC DE ARNOUX (%)	BLOC DE MOUILLEUSE (%)	BLOC DE DESPRES (%)	(1)
CHLORITE	100	88	96	70	86	100	
EPIDOTE	86	59	67	80	86	100	
CALCITE	100	94	67	30	55	100	
SERICITE	43	47	60	60	59	0	
BIOTITE	0	6	18	60	21	0	
PUMPELLYITE	0	0	4	0	7	0	
CLINOPYROXENE	0	0	4	0	0	0	
ACTINOTE	0	0	2	40	14	0	
HORNBLÈNDE	0	0	0	0	3	0	
(NOMBRES DE ÉCHANTILLONS)	(7)	(17)	(45)	(10)	(30)	(1)	

d'actinote inclus dans des amas sphériques formant une texture orbiculaire. Les sphérolites de séricite, observé près de l'indice minéralisé de "Quatre-coin", peuvent résulter entièrement de l'altération hydrothermale ou être des pseudomorphes des sphérolites de dévitrification ou cristallisation.

La composition minéralogique moyenne des rhyolites analysées est donnée au tableau 10. Certains minéraux accessoires comme le zircon et l'apatite ne sont pas inclus dans le tableau. Il ne semble pas y avoir de variation systématique dans la minéralogie liée à la présence de pumpellyite dans les rhyolites.

Dans la composition modale moyenne des rhyolites le pourcentage total de plagioclase, quartz et matrice felsique est de 75% à 78%, sauf pour le bloc Després où il atteint 87%. Les rhyolites du bloc Després contiennent aussi plus de leucoxène que les rhyolites des autres blocs et un peu moins de chlorite. Dans les blocs Mouilleuse et Hunter, les rhyolites contiennent plus d'épidote. La pumpellyite indiquée sur le Tableau B-VII est en quantité si faible dans le bloc Mouilleuse qu'elle n'apparaît pas dans la moyenne modale. Le clinopyroxène, dans le bloc Hunter, a été observé dans les sphérolites de cristallisation de la rhyolite de Fish-Roe. Les rhyolites du bloc Arnoux contiennent plus d'actinote, et ceux des blocs Flavrian et D'Alembert contiennent plus de carbonate. Les rhyolites du bloc D'Alembert contiennent aussi plus de chlorite que les rhyolites des autres blocs. Le rutile indiqué sur le Tableau B-VIII pour les blocs Mouilleuse, Arnoux, Hunter et Flavrian provient des rhyolites à sphérolite de cristallisation.

La silicification est l'altération dominante; elle est indiquée en lames minces par le remplacement du plagioclase par du quartz. La carbonatation est locale dans tous les blocs, mais est plus fréquente dans les blocs Flavrian et D'Alembert (Tableau B-VIII). Dans le cas des brèches rhyolitiques, la matrice est généralement séricitisée et chloritisée. Par endroits, là où silicification et carbonatation sont intenses, les textures primaires ne sont pas bien préservées. Plusieurs échantillons de rhyolite contiennent de la biotite disséminée, en lamelles ou en veinules. Comme pour les andésites, ces échantillons ont été prélevés près de roches intrusives et de failles.

Tableau B-VIII: Composition modale moyenne des rhyolites.

	COMPOSITION MOYEN (MODALE) DES RHYOLITES						
	BLOC DE D'ALEMBERT (%)	BLOC DE FLAVRIAN (%)	BLOC DE HUNTER (%)	BLOC DE ARNOUX (%)	BLOC DE MOUILLEUSE (%)	BLOC DE DESPRES (%)	
PLAGIOCLASE	13	7	23	26	19	46	
QUARTZ	21	18	20	25	28	41	
QTZ-PLAG	44	53	35	26	28	0	
CLINOPYROXENE	0	0	<1	0	0	0	
ACTINOTE	0	0	0	7	1	0	
CHLORITE	12	8	9	7	8	5	
EPIDOTE	1	1	6	4	8	2	
CARBONATE	5	9	3	1	2	1	
SERICITE	3	2	3	4	4	0	
BIOTITE	0	0	<1	1	1	0	
PUMPELLYITE	0	0	<1	0	0	0	
LEUXOCENE	1	1	2	<1	1	5	
RUTILE	0	<1	<1	<1	<1	0	
	100	100	100	100	100	100	

La déformation des rhyolites augmente, avec l'altération, près des failles ou des contacts andésite - rhyolite cisailés. L'intersection de deux schistosités peut donner un aspect bréchiq ue aux laves massives. D'autre part, dans certaines brèches, les variations mineures dans la distribution des minéraux d'altération (la chlorite et le carbonate) donnent un aspect hétérogène; mais la dévitrification, la foliation et même l'altération secondaire en chlorite et carbonate cachent la texture bréchiq ue primaire.

CONCLUSION

La partie du Groupe de Blake River étudié entre 1987 et 1990, est caractérisé surtout par l'alternance les unités rhyolitiques avec les unités andésitiques. de Rosen-Spence (1976) a regroupé ces unités dans le bloc Flavrian et la partie sud-est du bloc Hunter dans des cycles (les "Series de Rhyolites" selon son nomenclature), qui comprende un unité d'andésite basale surmonté par une séquences des unités de rhyolites et andésite interlitées.

Les textures qui permet à distinguer une unité d'une autres, tel que l'abondance des phenocristaux et le présence des fentes de refroidissement concentrique dans les coussins, sont surtout à l'échelle locale. Par contre, des rhyolites à sphérolite de cristallisation (la Rhyolite de Fish-Roe) peuvent être utilisé comme unités de repères; il est important, donc, à reconnaître de tel types de roches sur le terrain et en laboratoire.

Texturalement, des andésites et des rhyolites se ressemblent entre des blocs, mais minéralogiquement, il existe des différences qui sont important à noter. Au niveau des andésites, celles des blocs Flavrian et Arnoux ne comprennent que peu qui contient du clinopyroxène relique, et aucune qui contient de la préhnite ou de la pumpellyite. Dans le bloc Flavrian, les andésites contiennent plus d'albite lipide et moins d'épidote que les autres blocs. Au niveau des rhyolites, celles de bloc Flavrian contiennent beaucoup plus de carbonate. Ces différences minéralogiques peut être des

indications d'une altération métasomatique plus forte dans le bloc Flavrian, où se trouve le plupart des gisements de sulfures massive volcanogène dans le Groupe de Blake River.

RÉFÉRENCES:

- (M.R.N.Q.), Ministère des Ressources Naturelles du Québec, 1982. Cartes de compilation géoscientifiques. 32D/5 104, 204 et 304, et 32D/6 101, 102, 201, 202, 203, 204, 301, 302, 303 et 304 (1 : 10 000).
- de Rosen-Spence, A.F., 1976. Stratigraphy, development and petrogenesis of the central Noranda volcanic pile, Noranda, Quebec. Ph.D. Thesis, University of Toronto, Ont. 166 p.
- Dimroth, E., Cousineau, P., Leduc, M. and Sanschagrin, Y., 1978. Structure and organization of Archean subaqueous basalt flows, Rouyn-Noranda Area. *Journal Canadien de Sciences de la Terre*, 15: 902-918.
- Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M. and Goulet, N., 1983. Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, 20: 1374-1388.
- Furnes, H., Fridleifsson, I.B. and Atkins, F.B., 1980. Subglacial volcanics on the formation of acid hyaloclastites. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 8: 95-110.
- Gélinas, L., Trudel, P. and Hubert, C., 1984. Chimico- stratigraphie et tectonique du Groupe de Blake River, MM 83-01, Ministère de L'Energie et des Ressources du Québec. 41 p.
- Gibson, H.L., Watkinson, D.H. and Comba, C.D.A., 1983. Silicification: Hydrothermal alteration in an Archean geothermal system within the Amulet Rhyolite Formation, Noranda, Quebec. *Economic Geology*, 78: 954-971.
- Hargreaves, R. and Ayres, L.D., 1979. Morphology of Archean meta-basalt flows, Utik Lake, Manitoba. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, 16: 1452-1466.
- Kirkpatrick, R.J., 1978. Processes of crystallization in pillow basalts, Hole 396B, D.S.D.P. Leg 46. 46: 185-188.
- Natland, J.H., 1978. Crystal morphologies in basalts from DSDP Site 395, 23°N, 46°W, Mid-Atlantic Ridge. 45: 423-445.
- Natland, J.H., 1980. Crystal morphologies in basalts dredged and drilled from the East Pacific Rise near 9°N and the Sequeiros Fracture Zone. 54: 605-633.

- Newmont Exploration of Canada, 1982. Travaux statutaire dans les cantons de Duprat et Montbray. GM 35586, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec.
- Péloquin, A.S., Verpaelst, P., Paradis, S., Gaulin, R. and Cousineau, P., 1989a. Projet Blake River Ouest Cantons de Duprat et de Dufresnoy, SNRC 32D/06, Rapport Interimaire, MB 89-02, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec. 180 p.
- Péloquin, A.S., Verpaelst, P. and Gaulin, R., 1989b. Le Blake River dans les cantons de Duprat, de Montbray, de Beauchastel et de Dasserat, Rapport Interimaire, MB 89-64, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec. 90 p.
- Smith, T.L. and Batiza, R., 1989. New field and laboratory evidence for the origin of hyaloclastite flows on seamount summits. *Bulletin Volcanologique*, 51: 96-114.
- Verpaelst, P., 1985. Géologie de la séquence volcanique archéenne de Duprat, Abitibi, Québec. Ph.D. Thesis, Université de Montréal. 260 p.

APPENDIX C

Tables of detection limits, data reproducibility, standard analyses, and comparisons of duplicate analyses and analytical methods.

C-i: Detection limits

C-ii: Reproducibility data from CRM

C-iii: Standards ran with analyses at CRM

C-iv: Duplicate analyses from X-RAL

C-v: Analyses from CRM compared to X-RAL

C-vi: XRF analyses from UdM compared to CRM

C-vii: Standards ran with ICP-MS

C-viii: ICP-MS analyses compared to INAA, XRF and AES analyses

C-ix: Duplicate XRF analyses from McGill and compared to UdM XRF

Appendix C-i: Detection Limits for Laboratory Analyses

Detection Limits:

	CRM XRF (wt %)	X-RAL XRF (wt %)	McGill
SiO ₂	0.10%	0.01%	
TiO ₂	0.01%	0.01%	
Al ₂ O ₃	0.02%	0.01%	
F ₂ O ₃ *	0.10%	0.01%	
MgO	0.05%	0.01%	
CaO	0.02%	0.01%	
Na ₂ O	0.10%	0.01%	
K ₂ O	0.01%	0.01%	
MnO	0.01%	0.01%	
P ₂ O ₅	0.01%	0.01%	
Cr ₂ O	0.01%	0.01%	

AES
(ppm)

Ni	1
V	2

XRF
(ppm)

	XRF (ppm)	XRF (ppm)	XRF (ppm)
Nb	3	1	1
Rb	3	1	1
Sr	3	1	1
Th	10	1	1
Y	3	1	1
Zr	3	1	1

INAA
(ppm)

Ce	2
Cs	0.2
Eu	0.1
Hf	0.2
Ho	0.5
La	0.5
Lu	0.05
Nd	2
Sc	0.05
Sm	0.05
Ta	0.1
Tb	0.1
Th	0.2
Tm	0.2
U	0.5
Yb	0.2

Appendix C-ii: Reproducibility data provided by MRNQ

Element	AM-01			05/07/95			AM-03			13/04/95			AM-05			13/04/95			AM-07			13/04/95			AM-09			13/04/95			AM-13			13/04/95			AM-15			13/04/95			GBO-00			13/04/95		
	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type	no	Moyenne	écart type									
SI02	6	72.52	0.56	9	63.05	0.54	2	76.16	0.86	8	48.59	0.45	9	61.45	0.45	4	51.56	0.45	4	51.56	0.45	4	51.56	0.45	9	61.45	0.45	4	51.56	0.45	4	51.56	0.45	13	0.11	0.01	56	63.09	2.49									
AI203	6	12.63	0.13	9	16.25	0.25	2	13.04	0.19	7	14.01	0.24	9	14.25	0.69	4	13.98	0.13	4	13.98	0.13	4	13.98	0.13	9	14.25	0.69	4	13.98	0.13	4	13.98	0.13	13	0.03	0.03	56	15.57	0.74									
FEZ03T	6	2.92	0.26	9	5.48	0.2	4	3.46	0.27	9	9.65	0.54	10	8.7	1.01	5	12.32	0.36	13	12.32	0.36	13	12.32	0.36	10	8.7	1.01	5	12.32	0.36	13	0.12	0.03	59	4.91	0.63												
MGO	6	0.33	0.08	9	0.62	0.04	3	0.88	0.02	8	9.24	0.11	9	4.06	0.13	4	4.95	0.13	4	4.95	0.13	4	4.95	0.13	9	4.06	0.13	4	4.95	0.13	13	21.59	0.36	56	3.26	0.7												
CAO	6	1.48	0.02	9	2.21	1.65	3	0.33	0.17	8	12.03	0.75	10	1.64	1.33	5	6.95	0.38	13	6.95	0.38	13	6.95	0.38	13	1.64	1.33	5	6.95	0.38	13	31.09	0.46	59	5.46	1.01												
NA2O	6	2.83	0.03	9	5.34	0.47	4	0.6	0.59	9	2.63	0.17	10	4.08	0.27	5	4.02	0.16	13	4.02	0.16	13	4.02	0.16	13	4.08	0.27	5	4.02	0.16	13	0.1	0.02	59	3.69	0.22												
K2O	6	5.37	0.08	9	5.63	0.15	3	2.84	0.02	8	0.94	0.02	9	1.82	0.03	4	1.54	0.02	13	1.54	0.02	13	1.54	0.02	13	1.82	0.03	4	1.54	0.02	13	0.01	0.01	56	1.98	0.67												
TiO2	6	0.32	0	8	0.6	0.02	3	0.26	0.01	8	0.41	0.02	9	0.52	0.01	4	2.25	0.02	13	2.25	0.02	13	2.25	0.02	13	0.52	0.01	4	2.25	0.02	13	0.02	0.01	56	0.49	0.07												
MiO	6	0.06	0	9	0.22	0	3	0.05	0	8	0.15	0	9	0.22	0.05	5	0.18	0.07	13	0.18	0.07	13	0.18	0.07	13	0.22	0.05	5	0.18	0.07	13	0.02	0.01	56	0.08	0.01												
P2O5	6	0.06	0.02	9	0.16	0	3	0.03	0.01	8	0.08	0.01	8	0.08	0.01	4	0.26	0.01	4	0.26	0.01	4	0.26	0.01	4	0.08	0.01	4	0.26	0.01	4	0.06	0.04	56	0.09	0.02												
LO1	6	0.89	0.13	9	0.84	0.06	3	1.92	0.88	8	2.18	0.1	9	2.93	0.62	4	1.99	0.08	13	1.99	0.08	13	1.99	0.08	13	2.93	0.62	4	1.99	0.08	13	46.27	0.69	56	1.27	0.11												
CE	5	375.6	42	8	68.38	35.51	3	58	9.27	11	11.45	4.6	6	18.33	8.6	4	44.5	6.73	10	44.5	6.73	10	44.5	6.73	10	18.33	8.6	4	44.5	6.73	10	6.5	5.78	38	20.45	10.64												
CR	1	20	0	1	50	0	2	25	5	5	630.8	16.95	4	26	10.39	3	116.67	33	5	116.67	33	5	116.67	33	5	26	10.39	3	116.67	33	5	26	12	23	57.22	16.2												
EU	5	4.6	0.8	8	3.5	1.94	3	3.67	1.89	11	3.91	1.78	6	2.33	1.89	4	3.5	1.5	8	3.5	1.5	8	3.5	1.5	8	2.33	1.89	4	3.5	1.5	8	4	1.73	36	2.81	1.97												
LA	5	207.4	31.73	8	38.25	19.36	3	27	2.16	11	5.55	1.88	6	7.33	3.64	4	16.75	4.92	10	16.75	4.92	10	16.75	4.92	10	7.33	3.64	4	16.75	4.92	10	5.4	7.49	38	10.29	5.11												
NB	5	22.4	0.8	9	40.22	13.32	3	14.33	0.47	7	3	0	7	3.29	0.45	3	11.33	0.47	9	11.33	0.47	9	11.33	0.47	9	3.29	0.45	3	11.33	0.47	9	3.56	1.57	46	4.43	0.9												
ND	5	132	18.29	8	27.75	13.85	3	27.67	3.77	11	23.45	4.89	6	20.67	6.16	4	26.25	2.17	10	26.25	2.17	10	26.25	2.17	10	20.67	6.16	4	26.25	2.17	10	27.5	12.18	38	23.87	3.95												
NI	6	4.67	3.25	9	29.56	40.41	4	18	1.22	15	161.33	16.19	7	25.86	15.42	5	51.2	2.79	13	51.2	2.79	13	51.2	2.79	13	25.86	15.42	5	51.2	2.79	13	136.92	451.49	55	49.38	8.02												
RB	5	184	4.9	9	80.22	26.1	4	59.5	26	8	12.25	2.05	7	44.29	2.25	4	37.5	2.06	10	37.5	2.06	10	37.5	2.06	10	44.29	2.25	4	37.5	2.06	10	19.6	33.63	49	56.33	5.86												
SC	5	3.6	0.49	8	10.63	5.02	3	7.33	0.47	11	29.36	5	6	24.67	5.34	4	31	2.12	9	31	2.12	9	31	2.12	9	24.67	5.34	4	31	2.12	9	3.67	5.92	38	15.68	2.83												
SR	5	10	0	8	10	0	3	29.33	13.12	7	10	0	7	10	0	3	10	0	9	10	0	9	10	0	9	10	0	3	10	0	9	10	0	46	10	0												
TH	5	10	0	8	10	0	3	10.67	0.94	7	11.71	1.76	7	11.71	2.76	3	10.33	0.47	9	10.33	0.47	9	10.33	0.47	9	11.71	2.76	3	10.33	0.47	9	10	0	46	10.17	0.67												
TM	5	21.2	1.17	9	3.44	1.34	4	6.5	2.29	8	2.75	0.66	7	3.43	0.73	4	3	0.45	49	3	0.45	49	3	0.45	49	3.43	0.73	4	3	0.45	49	3	0.45	49	2.96	0.28												
V	6	32.17	3.02	8	15.5	3.12	4	14.5	1.66	11	5.18	0.57	6	6.17	1.95	5	5.4	0.87	7	5.4	0.87	7	5.4	0.87	7	6.17	1.95	5	5.4	0.87	7	4.29	3.73	36	9.42	2.33												
Y	6	1.17	0.37	8	58.38	96.27	4	4.5	0.5	11	1.36	0.88	6	40.17	84.91	4	1.5	0.87	7	1.5	0.87	7	1.5	0.87	7	40.17	84.91	4	1.5	0.87	7	35.14	83.63	36	221.97	39.62												
ZR	6	74	6.06	10	146.5	47.1	4	67	4.06	16	160.06	28.1	8	89.63	12.58	4	108.5	5.12	12	108.5	5.12	12	108.5	5.12	12	89.63	12.58	4	108.5	5.12	12	18.67	21.2	61	73.61	17.13												

Appendix c-iii: CRM Internal standards ran with the analyses

Element	Std 1 - 1988			Std 2 - 1988			Std 2 - 1989			Std 3 - 1989			Std 2 - 1988 & 1989		
	Mean	Standard Deviation	Count	Mean	Standard Deviation	Count	Mean	Standard Deviation	Count	Mean	Standard Deviation	Count	Mean	Standard Deviation	Count
SiO2	48.97	0.25	3	48.80	0.28	2	48.60	0.57	2	68.90	0.28	2	48.70	0.38	4
Al2O3	18.03	0.38	3	14.25	0.07	2	14.95	0.07	2	16.35	0.07	2	14.60	0.41	4
Fe2O3T	10.47	0.31	3	10.80	0.14	2	10.55	0.35	2	2.18	0.11	2	10.68	0.26	4
MgO	4.47	0.32	3	7.96	0.11	2	7.36	0.40	2	1.02	0.02	2	7.66	0.42	4
CaO	10.17	0.70	3	11.65	0.07	2	11.00	0.57	2	2.70	0.03	2	11.33	0.50	4
Na2O	2.49	0.21	3	1.86	0.04	2	2.23	0.18	2	4.42	0.15	2	2.04	0.24	4
K2O	0.27	0.05	3	0.25	0.07	2	0.35	0.15	2	2.55	0.01	2	0.30	0.11	4
TiO2	1.02	0.08	3	0.82	0.04	2	0.84	0.02	2	0.31	0.01	2	0.83	0.03	4
MnO	0.19	0.01	3	0.18	0.00	2	0.17	0.01	2	0.03	0.00	2	0.17	0.01	4
P2O5	0.12	0.01	3	0.09	0.01	2	0.08	0.01	2	0.11	0.01	2	0.08	0.01	4
PAF	2.97	0.13	3	2.33	0.08	2	2.56	0.06	2	0.55	0.01	2	2.44	0.14	4
Totale	99.17	0.11	3	98.98	0.40	2	98.66	0.27	2	99.10	0.69	2	98.82	0.33	4
CE	5.00	1.73	3	10.00		1	10.00		1	23.50	0.71	2	10.00	0.00	2
EU	1.50	0.71	2	1.00		1	1.00		1			0	1.00		1
LA	3.67	1.15	3	4.50	0.71	2	3.50	0.71	2	15.50	0.71	2	4.00	0.82	4
NI	46.33	2.89	3	103.00	4.24	2	82.50	0.71	2	14.00	1.41	2	92.75	12.09	4
SC	34.33	2.08	3	45.50	0.71	2	41.50	2.12	2	4.50	0.71	2	43.50	2.65	4
V	252.33	8.33	3	226.50	3.54	2	204.00	16.97	2	33.00	4.24	2	215.25	16.40	4
NB	7.67	1.15	3	5.50	0.71	2	4.00	0.00	2	4.50	0.71	2	4.75	0.96	4
RB	4.33	0.58	3	5.00	1.41	2	9.50	0.71	2	80.50	0.71	2	7.25	2.75	4
SR	120.00	10.00	3	115.00	7.07	2	125.00	7.07	2	535.00	7.07	2	120.00	8.16	4
Y	25.67	1.53	3	20.50	2.12	2	21.50	0.71	2	5.00	0.00	2	21.00	1.41	4
ZR	64.33	1.53	3	47.50	0.71	2	58.50	2.12	2	135.00	7.07	2	53.00	6.48	4

Appendix C-iv: Duplicate analyses from X-RAL

	SP-198A-87			SP-2020A-87			SPR-5.1			SPP-11.1		
	Mean	Standard Deviation	Count	Mean	Standard Deviation	Count	Mean	Standard Deviation	Count	Mean	Standard Deviation	Count
SiO2	58.60	0.28	2	52.30	0.42	2	50.60	0.14	2	54.15	0.07	2
Al2O3	13.40	0.00	2	15.45	0.35	2	13.15	0.07	2	18.90	0.14	2
Fe2O3T	10.95	0.07	2	10.75	0.21	2	14.00	0.14	2	7.04	0.04	2
MgO	3.26	0.00	2	5.07	0.02	2	5.27	0.04	2	3.45	0.00	2
CaO	5.12	0.03	2	6.06	0.27	2	10.75	0.07	2	8.95	0.04	2
Na2O	4.10	0.02	2	4.30	0.08	2	1.37	0.01	2	2.98	0.01	2
K2O	0.17	0.01	2	0.58	0.01	2	0.02	0.00	2	0.38	0.01	2
TiO2	1.50	0.01	2	1.09	0.03	2	1.40	0.00	2	0.80	0.01	2
MnO	0.18	0.00	2	0.22	0.01	2	0.23	0.00	2	0.10	0.00	2
P2O5	0.30	0.01	2	0.40	0.01	2	0.16	0.00	2	0.14	0.01	2
PAF	2.23	0.04	2	2.80	0.14	2	3.40	0.28	2	2.93	0.04	2
Totale	99.79	0.47	2	99.00	1.05	2	100.35	0.17	2	99.80	0.22	2

Appendix C-v: Comparison of analyses from CRM to X-RAL

	SP-198A-87			SP-2020A-87		
	CRM	X-RAL Mean	Count X-RAL	CRM	X-RAL Mean	Count X- RAL
SiO ₂	56.40	58.60	2	53.00	52.30	2
Al ₂ O ₃	14.50	13.40	2	16.30	15.45	2
Fe ₂ O ₃ T	11.50	10.95	2	10.70	10.75	2
MgO	3.32	3.26	2	4.99	5.07	2
CaO	4.58	5.12	2	6.20	6.06	2
Na ₂ O	4.61	4.10	2	4.43	4.30	2
K ₂ O	0.19	0.17	2	0.56	0.58	2
TiO ₂	1.76	1.50	2	1.27	1.09	2
MnO	0.18	0.18	2	0.21	0.22	2
P ₂ O ₅	0.31	0.30	2	0.42	0.40	2
PAF	2.28	2.23	2	2.84	2.80	2
Totale	99.63	99.79	2	100.92	99.00	2

APPENDIX C-vi: Duplicate sample analyses and repeated sample statistics from Udm XRF compared to analyses from CRM

	SP-0213A-87			SP-1099B-87			SP-0418A-88			SP-0466A-88			SP-1767B-89		
	CRM	Udm (XRF)	s.d.	CRM	Udm (XRF)	s.d.	CRM	Udm (XRF)	s.d.	CRM	Udm (XRF)	s.d.	CRM	Udm (XRF)	s.d.
	1x	1x	10x	1x	1x	10x	1x	1x	10x	1x	1x	10x	1x	1x	11x
Nb	9	6.52	5.51	8	4.42	5.14	11	6.93	6.21	6	8	6.84	4	5.65	5.62
Zr	110	98.21	98.26	97	90.23	89.83	120	119.73	119.26	110	106.43	106.55	110	110.72	109.46
Y	19	19.97	19.83	16	17.69	16.5	16	15.16	15.26	31	34.39	35.25	16	16.77	16.38
Str	210	187.67	190.75	200	192.76	193.59	120	125.6	124.24	164	163.8	164.46	230	230.57	227.22
Rb	8	10.63	10.83	10	12.7	12.59	27	28.86	28.6	3	7.73	7.04	6	7.14	6.66

APPENDIX C-vii: Standards run with the ICP-MS analyses.

	BIR-1 STD		BIR-1 STD		BIR-1 STD		BHVO-1 STD		BHVO-1 STD		BHVO-1 STD		BR STD		BR STD	
	Govindaraju (1989)	Govindaraju ran with samples	UdM stats n=15	s.d.	Govindaraju (1989)	Govindaraju ran with samples	UdM stats n=5	s.d.	Govindaraju (1989)	Govindaraju ran with samples	UdM stats n=4	s.d.	Govindaraju (1989)	Govindaraju ran with samples	UdM stats n=4	s.d.
Rb 85	0.272	0.223	0.223	0.111	11.000	9.595	9.720	0.070	47.000	47.818	51.790	0.830	47.000	47.818	51.790	0.830
Sr 86	109.00	108.62	112.39	3.09	403.00	394.94	412.75	3.80	1320.00	1320.56	1490.21	26.16	1320.00	1320.56	1490.21	26.16
Y 89	16.80	16.24	14.87	0.49	27.60	27.07	24.84	0.11	30.00	30.54	28.36	0.31	30.00	30.54	28.36	0.31
Zr 90	12.10	14.23	15.72	0.61	179.00	168.10	182.25	1.77	250.00	263.88	288.13	4.17	250.00	263.88	288.13	4.17
Zr 91		14.74				167.69				264.15				264.15		
Nb 93	49.00	0.49	2.08	0.84	19.00	16.63	27.19	0.34	98.00	99.42	190.60	8.48	98.00	99.42	190.60	8.48
Cs 133	0.006	0.005	0.097	0.083		0.106			1.000	0.848	0.890	0.290	1.000	0.848	0.890	0.290
Ba 135	7.64	6.22	6.50	0.28	139.00	131.62	132.24	2.68	1050.00	1050.40	1115.46	8.61	1050.00	1050.40	1115.46	8.61
Ba 137*		6.25				132.32				1049.41				1049.41		
La 139	0.594	0.652	0.699	0.077	15.800	15.612	15.820	0.110	82.000	81.947	85.060	0.500	82.000	81.947	85.060	0.500
Ce 140	1.83	1.90	2.07	0.10	39.00	38.64	40.65	0.31	150.00	151.01	165.59	0.61	150.00	151.01	165.59	0.61
Pr 141	0.341	0.410	0.444	0.067	5.700	5.701	5.530	0.060		18.086	17.880	0.210		18.086	17.880	0.210
Nd 143	2.19	2.37	2.44	0.16	25.20	24.74	25.31	0.35	65.00	65.56	68.33	0.61	65.00	65.56	68.33	0.61
Nd 146*		2.35				24.69				65.54				65.54		
Sm 147*	1.07	1.09	1.18	0.10	6.20	6.09	6.32	0.17	12.00	12.04	12.36	0.12	12.00	12.04	12.36	0.12
Sm 149		1.10				6.17				11.98				11.98		
Eu 151	0.457	0.498	0.546	0.037	2.060	1.993	2.110	0.030	3.700	3.740	4.040	0.100	3.700	3.740	4.040	0.100
Eu 153*		0.477	1.870			1.916				3.773				3.773		
Gd 156	1.52	0.60	1.87	0.07	6.40	3.83	6.70	0.08	9.50	11.33	11.27	0.17	9.50	11.33	11.27	0.17
Gd 157		1.23				5.04				10.50				10.50		
Tb 159	0.300	0.312	0.385	0.046	0.960	0.868	0.941	0.010		1.322	1.250	0.090		1.322	1.250	0.090
Gd 160		1.71				5.91				9.91				9.91		
Dy 161	2.25	2.29	2.83	0.11	5.20	4.96	5.85	0.08	6.20	6.47	7.19	0.05	6.20	6.47	7.19	0.05
Dy 163		2.45				5.10				6.27				6.27		
Ho 165	0.550	0.537	0.597	0.061		0.923	1.010	0.020		1.013	1.110	0.100		1.013	1.110	0.100
Er 166	1.50	1.55	1.77	0.12	2.40	2.41	2.62	0.03	2.40	2.64	2.68	0.12	2.40	2.64	2.68	0.12
Er 167		1.62				2.44				2.51				2.51		
Tm 169	0.227	0.271	0.311	0.059	0.330	0.363	0.377	0.011		0.352	0.332	0.142		0.352	0.332	0.142
Yb 172*	1.36	1.65	1.71	0.09	2.02	2.07	2.03	0.04	1.90	1.92	1.84	0.06	1.90	1.92	1.84	0.06
Yb 173		1.63				2.06				1.96				1.96		
Lu 175	0.227	0.248	0.268	0.038	0.291	0.285	0.294	0.010	0.250	0.263	0.232	0.073	0.250	0.263	0.232	0.073
Hf 177	0.580	0.562	0.643	0.053	4.380	4.253	4.660	0.080	5.400	5.542	5.860	0.090	5.400	5.542	5.860	0.090
Hf 178*		0.568				4.285				5.521				5.521		
Ta 181	0.600	0.052	2.411	2.423	1.230	1.298	2.090	0.270	6.200	6.204	6.730	0.230	6.200	6.204	6.730	0.230
Th 232	0.031	0.026	0.118	0.088	1.080	1.247	1.330	0.020	11.000	10.859	11.150	0.290	11.000	10.859	11.150	0.290
U 238	0.010	0.010	0.081	0.041	0.420	0.430	0.474	0.012	2.500	2.519	2.580	0.160	2.500	2.519	2.580	0.160

* indicates the isotope used for data

^ standards ran repetitively with the samples
Govindaraju (1989) Geostandards Newsletter, v. 13, p. 1-113

APPENDIX C-vii: (continued)

	JB-1 STD		JB-1 T		AGV-1 STD		AGV-1 INC		AGV-1 STD	
	Govindaraju (1989)	ran with samples	Udm stats n=10 [^]	s.d.	Govindaraju (1989)	Udm stats n=3 [^]	s.d.	Udm stats n=4	s.d.	
Rb 85	41.000	40.642	40.512	0.109	67.300	68.591	0.154	73.660	2.350	
Sr 86	443.00	440.61	439.76	1.41	662.00	651.02	0.92	728.67	24.25	
Y 89	25.00	23.77	23.76	0.07	20.00	19.79	0.02	18.55	0.60	
Zr 90	144.00	133.58	133.43	0.49	227.00	225.02	0.50	247.99	8.78	
Zr 91		133.53	133.29	0.43		224.20	0.69			
Nb 93	27.00	31.85	31.89	0.10		11.90	0.34	24.32	0.53	
Cs 133	1.200	1.486	1.488	0.006	1.280	1.375	0.003	1.170	0.020	
Ba 135	497.00	491.25	491.79	1.42	1226.00	1199.64	2.04	1264.46	12.98	
Ba 137*		493.19	492.89	2.07		1196.15	2.63			
La 139	38.000	38.198	38.025	0.159	38.000	38.106	0.157	39.160	0.190	
Ce 140	67.00	67.19	67.04	0.28	67.00	69.75	0.26	74.93	0.36	
Pr 141		7.496	7.507	0.046		8.847	0.067	8.590	0.070	
Nd 143		26.10	26.20	0.11	33.00	31.49	0.14	32.34	0.39	
Nd 146*		26.18	26.19	0.11		31.50	0.27			
Sm 147*	5.20	5.04	5.06	0.03	5.90	5.75	0.01	5.83	0.14	
Sm 149		5.08	5.06	0.02		5.68	0.07			
Eu 151	1.500	1.530	1.533	0.006	1.640	1.834	0.008	1.900	0.030	
Eu 153*		1.559	1.572	0.005		2.050	0.002			
Gd 156		5.03	5.10	0.04	5.00	5.19	0.04	5.38	0.08	
Gd 157		4.80	4.79	0.03		5.16	0.05			
Tb 159	0.700	0.693	0.695	0.004	0.700	0.655	0.004	0.602	0.010	
Gd 160		4.61	4.65	0.02		4.71	0.03			
Dy 161		3.97	4.00	0.03	3.60	3.50	0.02	3.93	0.05	
Dy 163		3.99	4.03	0.02		3.45	0.02			
Ho 165		0.768	0.772	0.006	0.670	0.636	0.003	0.639	0.019	
Er 166		2.14	2.17	0.02		1.81	0.00	1.80	0.03	
Er 167		2.18	2.19	0.02		1.77	0.01			
Tm 169	0.340	0.346	0.353	0.004		0.281	0.005	0.191	0.010	
Yb 172*	2.00	2.10	2.12	0.02	1.72	1.70	0.01	1.61	0.04	
Yb 173		2.08	2.12	0.02		1.68	0.03			
Lu 175	0.330	0.316	0.313	0.003	0.270	0.249	0.002	0.198	0.019	
Hf 177	3.400	3.342	3.339	0.026	5.100	4.926	0.041	5.290	0.090	
Hf 178*		3.332	3.351	0.032		4.944	0.012			
Ta 181	2.000	2.660	2.672	0.014	0.900	0.842	0.040	1.000	0.210	
Th 232	8.800	9.367	9.422	0.038	6.500	6.498	0.041	6.480	0.120	
U 238	1.600	1.670	1.685	0.012	1.920	1.974	0.008	1.900	0.030	

APPENDIX C-viii: ICP-MS analyses compared to INAA, XRF and AES

Sample	SP-0020A-87			C028			G019			G265			SP-0026D-87			SP-1006B-87		
	ICP-MS UdM	INAA CRM	XRF UdM	ICP-MS UdM	INAA CRM	XRF UdM	ICP-MS UdM	INAA CRM	XRF UdM	ICP-MS UdM	INAA CRM	XRF UdM	ICP-MS UdM	INAA CRM	XRF UdM	ICP-MS UdM	INAA CRM	XRF UdM
Rb 85	0.44	3.04	3.04	2.25	13.00	13.00	13.00	10.83	12.00	40.34	1.21	2.36	6.13	7.32	1.55	11.99	12.00	3.51
Sr 86	86.71	88.44	88.44	79.57	33.00	33.00	33.00	25.64	28.00	169.79	113.76	111.07	174.66	177.71	77.02	32.82	32.00	77.58
Y 89	34.48	34.38	34.38	43.90	23.00	23.00	23.00	14.30	17.00	23.69	40.13	39.27	30.16	31.65	30.64	21.05	22.00	30.79
Zr 90	121.43	146.83	146.83	142.82	6.20	6.20	6.20	3.40	3.90	121.38	124.49	132.11	121.31	136.59	148.48	159.05	159.05	159.05
Nb 93	4.53	8.39	8.39	7.19	1.30	1.30	1.30	1.06	0.85	6.05	5.63	9.05	6.12	6.91	6.38	8.60	8.60	8.60
La 139	13.24	13.00	13.00	13.53	13.00	13.00	13.00	10.83	12.00	12.76	13.00	11.47	11.00	11.00	11.99	12.00	12.00	12.00
Ce 140	32.69	32.00	32.00	34.39	33.00	33.00	33.00	25.64	28.00	31.21	30.00	28.39	28.00	32.82	32.00	32.00	32.00	32.00
Nd 146	20.14	22.00	22.00	22.66	23.00	23.00	23.00	14.30	17.00	19.49	19.00	17.23	18.00	21.05	22.00	22.00	22.00	22.00
Sm 147	5.02	5.00	5.00	5.97	6.20	6.20	6.20	3.40	3.90	5.01	5.20	4.22	4.40	5.10	5.30	5.30	5.30	5.30
Eu 153	1.26	1.40	1.40	1.58	1.70	1.70	1.70	1.06	0.85	1.42	1.42	1.24	1.10	1.09	1.20	1.20	1.20	1.20
Tb 159	0.83	1.10	1.10	1.05	1.30	1.30	1.30	0.56	0.69	0.92	0.96	0.71	0.72	0.79	0.81	0.81	0.81	0.81
Ho 165	1.12	1.20	1.20	1.47	1.50	1.50	1.50	0.74	0.80	1.31	1.20	1.00	1.20	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
Tm 169	0.56	1.10	1.10	0.77	1.10	1.10	1.10	0.36	0.75	0.66	1.00	0.50	0.88	0.48	0.70	0.70	0.70	0.70
Yb 172	3.51	3.30	3.30	4.81	5.00	5.00	5.00	2.24	2.40	4.08	4.10	3.06	3.30	2.90	3.00	3.00	3.00	3.00
Lu 175	0.51	0.51	0.51	0.75	0.73	0.73	0.73	0.32	0.35	0.61	0.58	0.46	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Hf 178	3.23	3.60	3.60	3.85	4.70	4.70	4.70	2.74	2.90	3.43	3.40	3.14	3.40	3.79	3.80	3.80	3.80	3.80
Ta 181	0.31	0.81	0.81	1.02	1.20	1.20	1.20	0.82	0.78	0.85	1.10	0.40	0.68	0.40	0.74	0.74	0.74	0.74
Th 232	1.25	1.20	1.20	1.79	1.70	1.70	1.70	1.52	1.50	1.57	1.50	1.08	1.10	1.43	1.40	1.40	1.40	1.40
U 238	0.32	0.45	0.45	0.38	0.69	0.69	0.69	0.38	0.69	0.39	0.39	0.29	0.65	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

Sample	SP-1012-87			SP-0031C-87			SP-1030D-87			SP-2020-87			SP-0198A-87			
	ICP-MS UdM	INAA CRM	XRF UdM	ICP-MS UdM	INAA CRM	XRF UdM	ICP-MS UdM	INAA CRM	XRF UdM	ICP-MS UdM	INAA CRM	XRF UdM	ICP-MS UdM	INAA CRM	XRF UdM	
Rb 85	10.14	11.29	11.29	0.54	2.06	2.06	23.80	10.53	25.60	11.96	4.11	207.69	138.26	130	3	
Sr 86	119.45	117.00	117.00	47.93	52.20	52.20	142.95	169.25	139.44	169.25	23.65	25.26	33.87	35	35	
Y 89	36.09	35.07	35.07	34.27	36.96	36.96	14.76	23.65	16.47	23.65	43.82	81.17	103.98	95.43	140	140
Zr 90	102.19	116.33	116.33	129.81	8.90	8.90	1.72	3.79	2.75	3.79	6.02	3.79	3.70	11	11	
Nb 93	5.00	7.28	7.28	5.44	9.54	9.54	8.70	2.35	2.40	10.21	10.00	9.80	12	12	12	
La 139	12.19	12.00	12.00	12.00	24.58	24.58	23.00	6.16	6.30	24.81	27.00	24.36	29	29	29	
Ce 140	29.97	18.66	18.66	19.00	16.22	16.22	15.00	4.85	3.70	15.26	17.00	16.14	120	120	120	
Nd 146	4.77	4.90	4.90	4.26	4.60	4.60	1.53	1.50	3.73	4.00	4.26	4.26	4	4	4	
Sm 147	1.48	1.60	1.60	1.00	1.10	1.10	0.66	0.60	0.61	0.60	1.34	1.60	1.36	1.36	1.36	
Eu 153	0.85	0.93	0.93	0.78	0.83	0.83	0.32	0.42	0.32	0.42	0.61	0.80	0.79	0.80	0.80	
Tb 159	0.57	1.30	1.30	0.88	1.13	1.13	1.20	0.49	0.67	0.79	1.20	1.13	1.13	1.13	1.13	
Ho 165	0.57	0.88	0.88	0.57	0.83	0.83	0.24	0.61	0.24	0.61	0.36	0.66	0.56	0.56	0.56	
Tm 169	3.48	3.40	3.40	3.50	3.60	3.60	1.45	1.70	2.18	2.40	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	
Yb 172	0.51	0.50	0.50	0.54	0.50	0.50	0.22	0.24	0.22	0.24	0.32	0.35	0.31	0.31	0.31	
Lu 175	2.88	2.90	2.90	3.45	3.30	3.30	0.89	0.95	0.89	0.95	2.09	2.60	2.56	2.56	2.56	
Hf 178	0.38	0.73	0.73	0.41	1.10	1.10	0.13	0.63	0.13	0.63	0.30	0.62	0.27	0.27	0.27	
Ta 181	1.24	1.20	1.20	1.05	0.99	0.99	0.15	1.15	1.15	1.10	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	
Th 232	0.31	0.78	0.78	0.26	0.64	0.64	0.04	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	

APPENDIX C-ix: Duplicate XRF analysis from McGill and
comparison analysis with Udm

	SPR-4.1		Mean s.d.		SP-2020-87		Mean s.d.	
	both samples analysed at McGill				McGill	UdM		
Ga	17.7	17.5	17.6	0.1	18.9		18.9	
Nb	6.8	6.2	6.5	0.3	7.8	6.02	6.91	1.26
Rb	10.2		10.2	0	10.2	11.96	11.08	1.24
Sr	105.1	105.7	105.4	0.3	175.2	207.69	191.45	22.97
Th		1	1	0				
Y	37	36.8	36.9	0.1	24.1	25.26	24.68	0.82
Zr	101.7	102.3	102	0.3	101	103.98	102.49	2.11

APPENDIX D

Tables of analyses

and

Sample locations

(Modified Transverse Mercators SNRC 32D/06)

D-i: Noranda sub-group

D-ii: Misema sub-group

D-iii: Rouyn-Pelletier sub-group and Garrison sub-group

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Echant.	Bloc	Affinité	Lithologie	Strat.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Totale
2410C	Arnoux	dac-rhyodac	rhyo-dacite		67.73	0.75	13.59	6.24	0.10	1.88	3.65	4.81	1.18	0.08	100.00
0372B	Arnoux	enrichie	andésite		56.17	1.46	14.95	11.42	0.18	3.92	9.68	1.91	0.16	0.16	100.00
0418A	Arnoux	enrichie	andésite		57.40	0.91	16.53	7.35	0.12	5.78	8.50	2.63	0.60	0.17	100.00
0754A	Arnoux	enrichie	andésite		56.89	0.74	18.17	7.47	0.11	5.65	7.03	2.95	0.89	0.10	100.00
2391A	Arnoux	non-enrichie	basalte		53.97	1.61	15.11	12.23	0.15	4.33	7.89	3.79	0.76	0.14	100.00
1308B	Arnoux	non-enrichie	andésite		56.60	1.65	15.45	10.57	0.16	5.15	5.77	4.26	0.22	0.17	100.00
1305	Arnoux	non-enrichie	andésite		57.16	1.59	15.44	11.25	0.14	2.99	7.26	3.53	0.49	0.15	100.00
0327A	Arnoux	non-enrichie	andésite		55.79	1.64	14.59	12.65	0.19	4.01	6.82	3.65	0.49	0.16	100.00
0319A	Arnoux	non-enrichie	andésite		55.31	1.53	15.04	12.46	0.18	3.62	8.19	3.31	0.26	0.11	100.00
1464	Arnoux	rhyolite	rhyolite		78.83	0.13	11.79	1.46	0.03	0.25	0.71	4.72	2.09	0.00	100.00
0433A	Arnoux	rhyolite	rhyolite		78.68	0.15	11.75	1.63	0.04	0.23	0.97	4.74	1.80	0.01	100.00
1462A	Arnoux	rhyolite	rhyolite		78.13	0.19	11.21	3.13	0.07	0.38	1.45	5.12	0.27	0.04	100.00
0351	Arnoux	rhyolite sph	rhyolite sph		71.89	0.73	12.08	5.47	0.08	1.31	2.40	5.50	0.44	0.09	100.00
0453C	Arnoux	transitionelle	basalte		52.77	0.83	16.63	9.65	0.16	7.75	9.76	2.14	0.21	0.10	100.00
0370B	Arnoux	transitionelle	andésite		56.08	1.47	14.77	11.67	0.17	4.07	7.67	3.62	0.31	0.18	100.00
1047B	Dalembert	dac-rhyodac	dacite	FTA	64.56	1.56	11.20	11.80	0.19	2.37	4.45	2.99	0.50	0.38	100.00
0155A	Dalembert	enrichie	basalte	FTA	53.46	1.01	17.07	10.63	0.15	5.09	9.27	2.90	0.18	0.22	100.00
1048A	Dalembert	enrichie	andésite	FTA	56.74	0.95	16.11	8.71	0.15	5.69	8.72	2.37	0.39	0.15	100.00
0133A	Dalembert	enrichie	andésite	FTA	54.97	1.02	19.83	7.67	0.11	3.68	8.67	3.24	0.64	0.17	100.00
1033C	Dalembert	non-enrichie	andésite	FTA	56.36	1.50	13.32	13.73	0.19	4.22	7.72	2.58	0.26	0.12	100.00
1035	Dalembert	non-enrichie	andésite	FTA	57.18	1.74	12.59	15.03	0.21	3.49	6.64	2.56	0.39	0.16	100.00
0159A	Dalembert	non-enrichie	basalte	FTA	49.71	1.13	15.52	13.90	0.25	6.50	9.44	3.24	0.13	0.18	100.00
0131A	Dalembert	non-enrichie	basalte	FTA	52.06	1.82	16.01	14.25	0.22	4.35	8.42	2.29	0.23	0.35	100.00
0191B	Dalembert	non-enrichie	basalte	FTA	53.36	1.16	15.20	13.86	0.22	5.71	6.39	3.93	0.01	0.18	100.00
0193A	Dalembert	rhyolite	rhyolite	DR	74.60	0.20	13.77	3.89	0.06	0.33	0.40	6.39	0.33	0.02	100.00
0192A	Dalembert	rhyolite	rhyolite	DR	74.36	0.20	13.30	3.86	0.07	0.50	1.36	5.73	0.60	0.02	100.00
G075	Flavrian	dac-rhyodac	dacite	ARU	64.96	1.40	13.72	8.38	0.16	2.38	3.92	4.58	0.22	0.26	100.00
G074	Flavrian	dac-rhyodac	rhyo-dacite	ARU	68.81	1.30	13.56	5.17	0.09	1.15	3.83	5.64	0.18	0.28	100.00
G028	Flavrian	dac-rhyodac	dacite	WA	67.51	1.01	13.36	7.33	0.12	2.21	2.75	5.23	0.15	0.32	100.00
G103	Flavrian	dac-rhyodac	dacite	ARU	62.68	1.42	14.12	9.05	0.16	3.03	4.38	4.58	0.31	0.26	100.00
G094	Flavrian	dac-rhyodac	dacite	ARU	62.74	1.51	14.30	8.80	0.12	2.16	4.78	5.13	0.18	0.28	100.00
G079	Flavrian	dac-rhyodac	dacite	ARU	66.10	0.92	14.52	7.45	0.10	1.55	2.62	6.41	0.11	0.20	100.00
C410N	Flavrian	enrichie	andésite	DA	58.73	0.65	15.29	6.64	0.11	6.70	5.76	4.88	1.13	0.09	100.00
C495	Flavrian	enrichie	andésite	AA	59.26	1.16	17.03	9.15	0.13	1.80	5.78	4.94	0.34	0.40	100.00
C332N	Flavrian	enrichie	basalte	AA	53.57	1.02	18.13	9.55	0.19	6.30	6.37	3.88	0.81	0.18	100.00
C-008	Flavrian	enrichie	andésite	NBA	56.25	1.53	16.78	8.74	0.19	4.79	5.80	4.01	1.64	0.28	100.00
C008	Flavrian	enrichie	andésite	NBA	56.77	1.21	16.48	7.83	0.15	5.82	4.83	4.02	2.71	0.18	100.00
G019	Flavrian	enrichie	andésite	WA	56.91	1.18	15.88	9.66	0.16	4.84	7.02	2.99	1.21	0.15	100.00
0022A	Flavrian	enrichie	andésite	RRF	57.70	1.25	15.53	10.59	0.29	4.58	4.66	5.06	0.16	0.17	100.00
G107	Flavrian	enrichie	andésite	ARU	61.97	1.46	14.88	9.44	0.15	3.51	2.83	4.96	0.49	0.31	100.00
0027	Flavrian	enrichie	andésite	RRF	56.99	0.98	15.02	7.82	0.17	7.82	6.37	3.71	0.98	0.14	100.00
G027	Flavrian	enrichie	andésite	WA	57.25	1.18	15.87	9.38	0.16	5.41	4.04	4.50	2.06	0.15	100.00
G028	Flavrian	enrichie	andésite	WA	59.20	1.00	15.63	7.89	0.11	3.45	7.31	5.03	0.25	0.13	100.00
0031C	Flavrian	non-enrichie	andésite	RRF	59.51	1.22	14.35	10.61	0.22	4.60	3.99	5.30	0.04	0.15	100.00
0026D	Flavrian	non-enrichie	andésite	RRF	55.64	1.20	16.64	9.87	0.21	5.36	6.23	4.15	0.53	0.19	100.00
1030D	Flavrian	non-enrichie	basalt	DA	48.99	0.89	15.51	11.13	0.18	8.96	11.33	1.86	1.07	0.07	100.00
G033	Flavrian	non-enrichie	andésite	ARU	58.83	1.34	14.20	11.48	0.21	2.61	5.52	5.38	0.07	0.35	100.00
G006	Flavrian	non-enrichie	andésite	RRA	56.30	1.61	15.17	11.81	0.25	3.85	5.76	4.75	0.29	0.20	100.00
G005	Flavrian	non-enrichie	andésite	RRA	54.74	1.64	15.22	12.56	0.27	4.99	4.85	4.50	1.01	0.20	100.00
1012	Flavrian	non-enrichie	andésite	RRA	54.49	1.59	15.29	12.05	0.18	5.81	4.94	4.79	0.66	0.18	100.00
G261	Flavrian	non-enrichie	andésite	RRA	57.49	1.56	14.66	10.73	0.15	4.31	6.23	4.46	0.19	0.21	100.00
G265	Flavrian	non-enrichie	andésite	RRA	55.96	1.70	15.06	11.70	0.14	5.38	5.04	4.68	0.12	0.22	100.00
G166	Flavrian	rhyolite	rhyolite	CRR	75.87	0.40	12.08	3.52	0.04	0.81	1.65	5.50	0.05	0.08	100.00
1013A	Flavrian	rhyolite	rhyolite	ARL	74.66	0.39	11.67	5.75	0.13	0.99	1.08	4.52	0.74	0.07	100.00
G162	Flavrian	rhyolite	rhyolite	ARL	73.16	0.39	12.18	6.18	0.12	0.78	1.60	3.29	2.22	0.07	100.00
G155	Flavrian	rhyolite	rhyolite	ARU	77.31	0.30	10.89	3.95	0.07	1.13	1.63	3.01	1.67	0.05	100.00
G109	Flavrian	rhyolite	rhyolite	ARL	78.91	0.28	9.87	2.51	0.09	0.45	2.16	3.54	2.14	0.04	100.00
G159	Flavrian	rhyolite	rhyolite	ARL	73.93	0.30	12.14	5.19	0.08	0.69	1.36	5.19	1.06	0.06	100.00
1005A	Flavrian	rhyolite	rhyolite	NWR	73.21	0.43	12.49	6.72	0.08	1.59	0.92	4.16	0.28	0.10	100.00
0055A	Flavrian	rhyolite	rhyolite	NWR	74.60	0.34	12.55	5.58	0.10	0.94	0.48	5.19	0.15	0.06	100.00
C316	Flavrian	rhyolite	rhyolite	WR	76.69	0.20	10.77	4.80	0.06	0.29	1.06	3.60	2.50	0.03	100.00
2001	Flavrian	rhyolite	rhyolite	NWR	74.51	0.40	12.60	4.10	0.05	1.84	0.99	5.40	0.03	0.07	100.00
2G171	Flavrian	rhyolite	rhyolite	NWR	73.70	0.35	13.09	4.61	0.06	1.75	0.76	5.55	0.07	0.06	100.00
2G167	Flavrian	rhyolite	rhyolite	NWR	75.32	0.39	12.45	2.80	0.03	0.81	1.94	6.13	0.04	0.09	100.00

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Echant.	Bloc	Affinité	Lithologie	Strat	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Totale
2004	Flavrian	rhyolite	rhyolite	NWR	74.59	0.37	12.93	3.52	0.04	1.91	0.58	5.95	0.04	0.06	100.00
1030C	Flavrian	rhyolite	rhyolite	NQR	74.30	0.39	13.29	3.98	0.08	0.73	1.47	3.20	2.50	0.06	100.00
C579	Flavrian	rhyolite	rhyolite	WR	73.56	0.23	12.90	4.59	0.10	0.76	1.38	4.99	1.44	0.03	100.00
C511	Flavrian	rhyolite	rhyolite	WR	74.16	0.25	12.90	5.75	0.13	0.62	0.77	3.17	2.21	0.02	100.00
CS59	Flavrian	rhyolite	rhyolite	WR	73.69	0.24	12.70	5.50	0.19	0.90	0.92	5.03	0.79	0.02	100.00
C604	Flavrian	rhyolite	rhyolite	WR	75.90	0.22	11.97	4.12	0.08	0.70	1.15	4.90	0.93	0.02	100.00
0303B	Flavrian	rhyolite sph	rhyolite sph	FRR	74.50	1.00	11.47	3.55	0.08	0.87	4.30	2.73	1.34	0.15	100.00
0282A	Flavrian	rhyolite sph	rhyolite sph	FRR	70.98	0.98	10.83	4.68	0.15	0.86	5.25	1.02	5.11	0.15	100.00
C-430	Flavrian	transitionnelle	andésite	NBA	55.83	1.47	17.24	8.21	0.13	6.43	5.53	4.71	0.33	0.12	100.00
0020A	Flavrian	transitionnelle	andésite	RRF	57.60	1.21	15.09	10.60	0.24	4.07	5.46	5.48	0.07	0.16	100.00
CS05	Flavrian	transitionnelle	basalte	AA	53.73	1.53	16.57	10.23	0.92	6.12	5.32	4.50	0.91	0.17	100.00
1006B	Flavrian	transitionnelle	andésite	RRA	55.22	1.28	15.82	11.13	0.17	5.72	4.97	5.31	0.16	0.22	100.00
0916C	Hunter	dac-rhyodac	dacite		62.10	0.92	16.57	5.95	0.09	3.39	5.49	3.71	1.66	0.13	100.00
0489B	Hunter	enrichie	andésite		57.93	1.06	16.21	9.49	0.13	4.11	7.47	3.13	0.36	0.10	100.00
0484C	Hunter	enrichie	andésite		57.93	1.71	16.29	9.29	0.23	4.03	6.24	3.48	0.52	0.30	100.00
0250B	Hunter	enrichie	andésite		54.62	1.15	17.86	9.76	0.14	5.51	5.62	4.88	0.30	0.15	100.00
0437B	Hunter	enrichie	andésite		59.36	1.65	15.77	7.91	0.16	3.47	7.50	3.61	0.34	0.23	100.00
1099B	Hunter	enrichie	andésite		55.57	0.70	16.77	7.66	0.12	5.86	10.10	2.57	0.57	0.08	100.00
1389	Hunter	enrichie	andésite		55.23	1.06	16.59	9.49	0.15	6.30	6.59	3.72	0.69	0.17	100.00
1500A	Hunter	enrichie	andésite		55.86	1.06	16.57	8.22	0.14	4.70	8.83	4.16	0.26	0.20	100.00
1327A	Hunter	enrichie	andésite		59.63	1.04	15.69	8.34	0.12	4.20	4.14	5.33	1.37	0.15	100.00
V2199	Hunter	enrichie	basalte		50.87	1.34	17.34	10.48	0.00	7.14	7.62	3.44	1.61	0.17	100.00
1123	Hunter	enrichie	andésite		55.08	1.18	15.52	10.24	0.13	4.89	8.43	3.82	0.57	0.14	100.00
0234	Hunter	enrichie	andésite		54.81	0.93	15.67	10.21	0.15	5.43	10.19	2.32	0.14	0.13	100.00
0175A	Hunter	enrichie	andésite		54.91	0.98	17.11	9.42	0.18	4.94	6.31	5.11	0.89	0.14	100.00
0214A	Hunter	enrichie	andésite		56.60	1.36	15.93	8.44	0.16	6.18	7.00	3.67	0.44	0.22	100.00
0211A	Hunter	enrichie	andésite		56.03	1.03	16.37	9.73	0.15	5.56	6.23	4.66	0.10	0.13	100.00
0206B	Hunter	enrichie	andésite		57.08	1.28	15.90	9.99	0.14	4.90	5.65	4.14	0.71	0.20	100.00
V2204	Hunter	non-enrichie	andésite		61.68	1.43	15.15	9.27	0.00	3.55	3.61	4.98	0.10	0.21	100.00
1357A	Hunter	non-enrichie	andésite		55.64	1.20	14.89	12.94	0.21	4.97	6.36	3.45	0.25	0.10	100.00
V2192	Hunter	non-enrichie	andésite		57.73	1.45	14.57	12.49	0.00	3.85	6.49	2.98	0.26	0.18	100.00
V2174	Hunter	non-enrichie	andésite		55.12	1.48	14.61	13.04	0.00	3.91	7.85	3.50	0.27	0.23	100.00
0198A	Hunter	non-enrichie	andésite		57.94	1.81	14.89	11.81	0.18	3.41	4.70	4.74	0.20	0.32	100.00
1409A	Hunter	non-enrichie	andésite		59.51	1.47	14.88	10.55	0.16	3.26	5.92	3.69	0.34	0.22	100.00
1364A	Hunter	non-enrichie	andésite		55.91	1.39	14.65	12.28	0.19	4.52	7.54	3.27	0.10	0.15	100.00
1361B	Hunter	non-enrichie	andésite		55.65	1.40	14.89	11.58	0.19	4.54	7.77	3.71	0.13	0.13	100.00
1129C	Hunter	rhyolite	rhyolite		77.86	0.18	9.96	5.18	0.11	2.01	1.33	2.84	0.50	0.02	100.00
1142A	Hunter	rhyolite	rhyolite		74.24	0.17	13.72	3.86	0.07	0.62	0.70	5.87	0.72	0.03	100.00
2048	Hunter	rhyolite	rhyolite		74.03	0.32	11.29	5.84	0.12	1.06	2.85	3.12	1.30	0.05	100.00
0174	Hunter	rhyolite	rhyolite	UND	77.49	0.28	11.93	2.78	0.04	0.23	0.77	5.66	0.79	0.03	100.00
0177B	Hunter	rhyolite	rhyolite	UND	74.60	0.44	11.17	5.10	0.11	0.68	2.58	4.28	0.95	0.09	100.00
1491	Hunter	rhyolite	rhyolite		76.63	0.18	11.77	3.99	0.07	0.88	0.85	4.15	1.45	0.02	100.00
2352B	Hunter	rhyolite	rhyolite		78.97	0.20	10.82	2.78	0.04	0.57	1.84	4.68	0.08	0.02	100.00
1330A	Hunter	rhyolite	rhyolite		76.58	0.26	12.17	3.09	0.04	0.52	2.32	4.00	0.96	0.05	100.00
V2194	Hunter	rhyolite	rhyolite		73.60	0.35	12.96	3.34	0.00	0.66	2.92	4.84	1.26	0.07	100.00
0482C	Hunter	rhyolite	rhyolite		78.37	0.31	11.41	2.52	0.05	0.50	1.01	4.33	1.44	0.06	100.00
0479A1	Hunter	rhyolite	rhyolite		78.17	0.17	11.63	2.67	0.05	0.81	0.87	5.07	0.54	0.03	100.00
0487A2	Hunter	rhyolite	rhyolite		76.84	0.26	11.93	2.64	0.04	0.36	1.54	3.77	2.58	0.04	100.00
0489C	Hunter	rhyolite	rhyolite		71.60	0.49	13.24	5.20	0.11	2.24	2.60	2.78	1.64	0.09	100.00
0488A1	Hunter	rhyolite	rhyolite		79.90	0.20	10.48	2.31	0.05	0.47	1.14	3.27	2.15	0.03	100.00
0241T	Hunter	rhyolite	rhyolite		74.45	0.35	12.36	4.57	0.09	0.66	1.08	4.01	2.38	0.05	100.00
0241M	Hunter	rhyolite	rhyolite		74.49	0.34	13.57	2.34	0.04	0.49	1.97	5.72	0.98	0.05	100.00
0244A	Hunter	rhyolite	rhyolite		77.66	0.18	11.31	3.46	0.09	0.82	0.81	5.01	0.64	0.02	100.00
0471A1	Hunter	rhyolite	rhyolite		75.88	0.43	12.81	2.75	0.05	0.68	1.02	6.08	0.20	0.09	100.00
0239	Hunter	rhyolite	rhyolite		77.93	0.21	11.38	3.35	0.07	1.71	0.26	4.27	0.81	0.01	100.00
0935A	Hunter	rhyolite	rhyolite		79.72	0.16	10.71	2.00	0.03	0.30	1.87	4.07	1.12	0.01	100.00
0930A	Hunter	rhyolite	rhyolite		79.72	0.16	10.31	2.67	0.04	0.74	0.29	3.09	2.98	0.00	100.00
V2413	Hunter	rhyolite	rhyolite		77.70	0.18	11.33	2.89	0.00	0.57	1.95	4.12	1.22	0.04	100.00
0949A	Hunter	rhyolite	rhyolite		77.78	0.18	11.50	2.75	0.08	0.10	1.07	4.43	2.10	0.00	100.00
0919A	Hunter	rhyolite	rhyolite		78.01	0.19	11.52	1.77	0.05	0.32	1.49	3.55	3.10	0.00	100.00
0918C	Hunter	rhyolite	rhyolite		78.41	0.20	11.69	2.18	0.03	0.52	0.54	4.68	1.73	0.01	100.00
0923B	Hunter	rhyolite	rhyolite		80.50	0.15	11.18	1.68	0.05	0.26	0.34	5.35	0.46	0.02	100.00
0927E	Hunter	rhyolite	rhyolite		78.33	0.18	11.54	2.71	0.03	0.46	0.49	4.98	1.29	0.00	100.00
1100	Hunter	rhyolite sph	rhyolite sph	FRR	73.13	1.13	11.05	6.40	0.10	1.04	2.91	3.39	0.68	0.17	100.00

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Echant.	Bloc	Affinité	Lithologie	Strat.	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Totale
1101	Hunter	rhyolite sph	rhyolite sph	FRR	72.55	1.11	11.34	5.90	0.10	0.99	3.57	2.56	1.70	0.18	100.00
1376	Hunter	rhyolite sph	rhyolite sph												
1103	Hunter	transitionelle	andésite		56.28	1.03	16.81	7.80	0.16	5.09	9.04	3.54	0.11	0.14	100.00
1337	Hunter	transitionelle	andésite		57.18	0.97	15.54	8.73	0.12	4.79	9.89	2.48	0.20	0.10	100.00
0208A	Hunter	transitionelle	andésite		57.84	1.14	15.12	8.87	0.15	4.14	9.16	3.21	0.19	0.18	100.00
0213A	Hunter	transitionelle	andésite		54.78	0.89	16.37	9.35	0.13	5.82	9.32	2.91	0.32	0.11	100.00
1391B	Hunter	transitionelle	basalte		52.75	1.91	15.10	14.07	0.27	4.93	6.20	3.48	1.05	0.25	100.00
2020	Hunter	transitionelle	andésite		54.04	1.29	16.62	10.91	0.21	5.09	6.32	4.52	0.57	0.43	100.00
1343A	Hunter	transitionelle	andésite		58.47	1.81	15.51	7.81	0.16	4.38	8.40	3.12	0.13	0.21	100.00
1353A	Hunter	transitionelle	andésite		54.41	1.34	15.84	10.70	0.20	5.41	9.53	2.44	0.06	0.08	100.00
1444A	Mouilleuse	dac-rhyodac	dacite		64.66	1.02	14.14	8.95	0.16	1.90	4.11	4.13	0.63	0.31	100.00
1318A	Mouilleuse	dac-rhyodac	dacite		63.57	1.07	14.03	8.67	0.18	1.29	4.88	5.37	0.48	0.45	100.00
2340A	Mouilleuse	dac-rhyodac	dacite		64.69	1.41	12.24	8.45	0.15	3.79	5.27	3.49	0.38	0.13	100.00
1311B	Mouilleuse	enrichie	andésite		54.82	1.40	15.50	10.23	0.19	4.98	6.74	4.77	1.19	0.18	100.00
1311A1	Mouilleuse	enrichie	andésite		57.94	1.14	16.04	8.82	0.22	4.02	5.42	4.79	1.41	0.19	100.00
1322A	Mouilleuse	enrichie	andésite		56.58	1.00	15.73	9.71	0.15	5.62	6.41	4.62	0.04	0.14	100.00
2325	Mouilleuse	enrichie	andésite		56.53	1.70	16.39	9.15	0.18	4.19	7.31	3.27	1.13	0.16	100.00
1428A	Mouilleuse	enrichie	andésite		57.74	1.01	16.29	8.94	0.12	4.42	7.09	3.58	0.65	0.14	100.00
1324A	Mouilleuse	enrichie	andésite		60.45	1.55	14.50	9.01	0.15	3.67	5.56	4.48	0.33	0.31	100.00
0494A	Mouilleuse	enrichie	andésite		54.42	1.60	15.56	12.68	0.16	4.49	7.88	2.45	0.58	0.16	100.00
2321	Mouilleuse	non-enrichie	andésite		60.95	1.48	14.06	10.36	0.15	2.98	5.86	3.68	0.32	0.16	100.00
1421A	Mouilleuse	non-enrichie	andésite		58.98	1.46	14.85	10.37	0.16	3.26	8.75	1.89	0.09	0.19	100.00
0466A	Mouilleuse	non-enrichie	andésite		57.80	1.32	14.37	11.48	0.16	3.21	8.29	3.00	0.28	0.10	100.00
0497B	Mouilleuse	non-enrichie	andésite		56.30	1.68	15.04	12.44	0.20	4.40	7.12	2.48	0.20	0.15	100.00
1316A	Mouilleuse	non-enrichie	andésite		58.97	1.48	15.17	10.80	0.18	3.24	4.62	4.73	0.59	0.22	100.00
2338A	Mouilleuse	rhyolite	rhyolite		77.67	0.14	12.02	2.41	0.05	0.29	1.21	4.95	1.23	0.02	100.00
2334B	Mouilleuse	rhyolite	rhyolite		79.32	0.14	11.42	1.34	0.04	0.01	1.38	4.18	2.14	0.03	100.00
2343	Mouilleuse	rhyolite	rhyolite		76.59	0.21	12.51	2.97	0.06	0.16	1.18	5.38	0.93	0.00	100.00
2341A	Mouilleuse	rhyolite	rhyolite		75.09	0.65	11.45	5.42	0.12	0.94	1.37	3.86	0.94	0.17	100.00
0348A	Mouilleuse	rhyolite	rhyolite		76.90	0.22	11.74	3.62	0.09	0.36	1.93	3.93	1.17	0.03	100.00
0455A1	Mouilleuse	rhyolite	rhyolite		78.60	0.20	11.94	1.87	0.04	0.37	1.13	5.64	0.17	0.02	100.00
0454A1	Mouilleuse	rhyolite	rhyolite		82.45	0.18	9.90	1.21	0.03	0.15	0.79	5.09	0.17	0.03	100.00
1320A	Mouilleuse	rhyolite	rhyolite		74.88	0.39	12.51	3.62	0.05	0.63	2.63	4.27	0.93	0.08	100.00
0455A2	Mouilleuse	rhyolite	rhyolite		76.52	0.21	11.94	3.71	0.05	0.44	0.51	2.98	3.61	0.03	100.00
1443A	Mouilleuse	rhyolite	rhyolite		77.71	0.15	11.96	2.67	0.05	0.29	0.93	4.78	1.43	0.02	100.00
0377A	Mouilleuse	rhyolite	rhyolite		75.27	0.27	12.31	4.53	0.09	0.56	1.25	2.92	2.75	0.04	100.00
0376A1	Mouilleuse	rhyolite sph	rhyolite sph		68.34	0.85	12.88	7.47	0.10	2.59	3.00	4.51	0.15	0.10	100.00
1449A	Mouilleuse	transitionelle	andésite		55.47	1.76	15.41	12.53	0.17	4.37	6.14	3.53	0.42	0.20	100.00
2326	Mouilleuse	transitionelle	andésite		56.43	1.83	16.27	9.91	0.19	4.76	5.50	4.09	0.84	0.20	100.00

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Echant.	Bloc	Affinité	Mg#	Fe#	Ba	Co	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Nb	Rb	Sr	Y	Zr
2410C	Arnoux	dac-rhyodac	0.23	0.77	255	12	118		19	118	56	13	25	110	40	220
0372B	Arnoux	enrichie	0.26	0.74	43	28	97		19	402	80	8	3	280	11	90
0418A	Arnoux	enrichie	0.44	0.56	125	33	14		167	190	65	6.2	29	124	15	119
0754A	Arnoux	enrichie	0.43	0.57	209	25	58		96	155	65	5	28	140	22	120
2391A	Arnoux	non-enrichie	0.26	0.74	123	27	28		13	459	64	7	26	160	28	91
1308B	Arnoux	non-enrichie	0.33	0.67	79	36	57		18	433	94	9	8	89	30	92
1305	Arnoux	non-enrichie	0.21	0.79	106	22	21		8	341	44	10	16	150	33	120
0327A	Arnoux	non-enrichie	0.24	0.76	140	29	38		18	413	97	10	10	130	27	120
0319A	Arnoux	non-enrichie	0.22	0.78	86	30	99		18	381	90	7	7	170	30	110
1464	Arnoux	rhyolite	0.14	0.86	425		31		2		20	23	33	46	86	350
0433A	Arnoux	rhyolite	0.13	0.88	501		11				69	17	23	62	56	330
1462A	Arnoux	rhyolite	0.11	0.89	86		8		1		35	17		53	79	340
0351	Arnoux	rhyolite sph	0.19	0.81	112	7	34		3	81	67	21	10	76	130	380
0453C	Arnoux	transitionelle	0.45	0.55	105	43	61		240	224	102	4.5	6.6	154	16	78
0370B	Arnoux	transitionelle	0.26	0.74	96	29	172		19	391	82	8	7	110	13	93
1047B	Dalembert	dac-rhyodac	0.17	0.83	150	24	42		2	38	74	17	6	95	69	230
0155A	Dalembert	enrichie	0.32	0.68	65	33	65		48	199	74	6	5	180	22	120
1048A	Dalembert	enrichie	0.40	0.60	95	30	106		66	203	67	11	9	240	26	150
0133A	Dalembert	enrichie	0.32	0.68	187	26	59		47	199	78	6.6	24	231	17	120
1033C	Dalembert	non-enrichie	0.24	0.76	69	38	68		17	334	109	14	4	120	61	180
1035	Dalembert	non-enrichie	0.19	0.81	150	42	68		12	425	116	15	8	90	67	210
0159A	Dalembert	non-enrichie	0.32	0.68	85	45	104		42	310	100	5.5	3.8	153	25	73
0131A	Dalembert	non-enrichie	0.23	0.77	236	41	114		36	326	104	11	4	270	38	140
0191B	Dalembert	non-enrichie	0.29	0.71	47	44	103		40	316	101	6.4	1.1	93	24	68
0193A	Dalembert	rhyolite	0.08	0.92	251		3		1	2	88	21	5	91	54	300
0192A	Dalembert	rhyolite	0.12	0.88	252		4		1	2	101	21	11	83	55	290
G075	Flavrian	dac-rhyodac	0.22	0.78	93	60	74		1	93	238	13	4	120	32	160
G074	Flavrian	dac-rhyodac	0.18	0.82	57	52	16		1	86	52	12	3	100	32	160
C028	Flavrian	dac-rhyodac	0.23	0.77	63.91	10	9			22	89	7.19	2.25	79.57	43.9	190
G103	Flavrian	dac-rhyodac	0.25	0.75	82	39	64		2	112	127	12	5	150	33	170
G094	Flavrian	dac-rhyodac	0.20	0.80	72	41	69		1	104	72	13	3	120	36	160
G079	Flavrian	dac-rhyodac	0.17	0.83	58	53	19		1	31	89	16	3	69	46	250
C410N	Flavrian	enrichie	0.50	0.50	334	34	98		52	157	85	11	18	110	20	120
C495	Flavrian	enrichie	0.16	0.84	80	10	19		1	27	66	15	3	140	43	230
C332N	Flavrian	enrichie	0.40	0.60	197	27	24		44	195	178	10	24	220	27	180
C-008	Flavrian	enrichie	0.35	0.65	509	31	31		71	272	54	10	35	250	25	140
C008	Flavrian	enrichie	0.43	0.57	618	26	184		40	258	178					
G019	Flavrian	enrichie	0.33	0.67	261.65	45	63	66	52	251	88	5.05	39.69	167.21	22.64	121
0022A	Flavrian	enrichie	0.30	0.70	188	28	21		20	272	105	11	3	130	34	160
G107	Flavrian	enrichie	0.27	0.73	125	45	70		1	83	112	14	6	76	36	180
0027	Flavrian	enrichie	0.50	0.50	1000	24	3		34	193	92	11	11	150	26	120
G027	Flavrian	enrichie	0.37	0.63	246	57	734		65	260	170	12	41	75	25	130
G028	Flavrian	enrichie	0.30	0.70	78	47	60		44	237	61	11	6	150	21	120
0031C	Flavrian	non-enrichie	0.30	0.70	42.89	26	1.2	33	22	216	93	5.44	0.54	47.93	34.27	146
0026D	Flavrian	non-enrichie	0.35	0.65	505.57	30	197	110	34	200	126	6.12	6.13	174.66	30.16	137
1030D	Flavrian	non-enrichie	0.45	0.55	228.58	53	115	350	150	253	54	1.72	23.8	142.95	14.76	44
G033	Flavrian	non-enrichie	0.19	0.81	32	103	39		1	83	93	11	3	110	35	150
G006	Flavrian	non-enrichie	0.25	0.75	80	46	82		11	304	143	12	5	69	34	130
G005	Flavrian	non-enrichie	0.28	0.72	203	63	72		65	276	158	11	17	67	34	130
1012	Flavrian	non-enrichie	0.33	0.67	179.81	38	39	56	53	298	102	5	10.14	119.45	36.09	116
G261	Flavrian	non-enrichie	0.29	0.71			186		27	275	109	11	3	110	35	130
G265	Flavrian	non-enrichie	0.32	0.68	65.38		309	34	22	261	167	5.63	1.21	113.76	40.13	132
G166	Flavrian	rhyolite	0.19	0.81			6		1	8	9	17	3	90	63	280
1013A	Flavrian	rhyolite	0.15	0.85	97		12		1	2	105	18	7	39	60	300
G162	Flavrian	rhyolite	0.11	0.89	286	86	65		1	4	95	20	32	79	73	350
G155	Flavrian	rhyolite	0.22	0.78	288	66	1		1	4	61	17	34	16	57	310
G109	Flavrian	rhyolite	0.15	0.85	277	90	92		1	2	281	17	20	48	52	270
G159	Flavrian	rhyolite	0.12	0.88	260	71	39		1	2	52	19	10	53	69	340
1005A	Flavrian	rhyolite	0.19	0.81	72	6	7		4	5	20	17	6	57	67	270
0055A	Flavrian	rhyolite	0.14	0.86	69	7	14		1	2	45	17	3	30	57	290
C316	Flavrian	rhyolite	0.06	0.94	371		6		2	2	62	17	37	76	45	300
2001	Flavrian	rhyolite	0.31	0.69	34		4		1	2	40	16	3	32	51	270
2G171	Flavrian	rhyolite	0.28	0.72	33	69	5		1	2	23	17	3	36	67	290
2G167	Flavrian	rhyolite	0.23	0.78	24	59	6		1	2	16	17	3	58	56	290

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Echant.	Bloc	Affinité	Mg#	Fe#	Ba	Co	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Nb	Rb	Sr	Y	Zr
2004	Flavrian	rhyolite	0.35	0.65	44	4	5		1	2	18	18	3	33	57	310
1030C	Flavrian	rhyolite	0.15	0.85	611	8	18		2	22	72	23	57	29	80	280
C579	Flavrian	rhyolite	0.14	0.86	265		102		1	2	79	18	23	42	67	320
C511	Flavrian	rhyolite	0.10	0.90	367		28		1	7	158	20	43	31	65	360
C559	Flavrian	rhyolite	0.14	0.86	100		5		1	2	155	19	15	62	68	350
C604	Flavrian	rhyolite	0.15	0.85	308		8		1	2	71	18	9	62	53	320
0303B	Flavrian	rhyolite sph	0.20	0.80	389	4	4		3	38	61	28	37	37	150	450
0282A	Flavrian	rhyolite sph	0.15	0.85	137	37	54		95	254	82	30	42	66	180	450
C-430	Flavrian	transitionelle	0.44	0.56	145	36	36		35	361	88	8	5	120	26	94
0020A	Flavrian	transitionelle	0.28	0.72	63.2	29	350	36	13	261	73	4.53	0.44	86.71	34.48	147
C505	Flavrian	transitionelle	0.37	0.63	613	40	190		25	321	319	9	16	100	23	97
1006B	Flavrian	transitionelle	0.34	0.66	122.08	29	1.5	126	63	188	57	6.38	1.55	77.02	30.64	159
0916C	Hunter	dac-rhyodac	0.36	0.64	528	18	50		32	163	58	6	33	180	23	140
0489B	Hunter	enrichie	0.30	0.70	141	29	63		54	261	69	10	6	140	25	130
0484C	Hunter	enrichie	0.30	0.70	176	20	49		25	265	91	11	9	200	27	140
0250B	Hunter	enrichie	0.36	0.64	143	35	39	148	106	214	79	7	7	192	21	123
0437B	Hunter	enrichie	0.30	0.70	88	22	30	28	27	288	84	7.8	8.7	140	25	129
1099B	Hunter	enrichie	0.43	0.57	135	30	61	125	86	181	54	5.1	13	194	17	90
1389	Hunter	enrichie	0.40	0.60	264	34	40	203	129	204	87	8.4	23	241	29	140
1500A	Hunter	enrichie	0.36	0.64	108	25	52		44	224	84	10	5	200	22	120
1327A	Hunter	enrichie	0.34	0.66	376	28	27		65	195	90	10	35	200	30	170
V2199	Hunter	enrichie	0.41	0.59					125	177		8	47	188	21	96
1123	Hunter	enrichie	0.32	0.68	33	42	201		147	180	53	10	8	110	23	110
0234	Hunter	enrichie	0.35	0.65	58	26	45		23	252	79	9	3	130	22	110
0175A	Hunter	enrichie	0.34	0.66	355	32	38	98	73	223	81	6.4	19	156	17	117
0214A	Hunter	enrichie	0.42	0.58	128	32	46		65	168	102	10	9	190	25	120
0211A	Hunter	enrichie	0.36	0.64	73	31	18		19	231	73	9	3	190	23	120
0206B	Hunter	enrichie	0.33	0.67	257	27	63		32	199	94	10	17	220	23	130
V2204	Hunter	non-enrichie	0.28	0.72					2	204		10	3	88	44	144
1357A	Hunter	non-enrichie	0.28	0.72	69	38	80	30	9.4	434	92	5.2	7.4	81	26	79
V2192	Hunter	non-enrichie	0.24	0.76					2	253		10	5	150	39	136
V2174	Hunter	non-enrichie	0.23	0.77					18	351		8	4	169	31	107
0198A	Hunter	non-enrichie	0.22	0.78	71.6	21	49		3	168	94	3.7	4.11	138.26	33.87	140
1409A	Hunter	non-enrichie	0.24	0.76	112	27	43	13		302	91	8.1	14	158	39	140
1364A	Hunter	non-enrichie	0.27	0.73	40	27	84		18	274	68	9		58	24	71
1361B	Hunter	non-enrichie	0.28	0.72	47	33	82		21	343	84	8		85	27	69
1129C	Hunter	rhyolite	0.28	0.72	155		7		1	2	533	19	10	82	80	340
1142A	Hunter	rhyolite	0.14	0.86	209		3		2	2	104	16	13	91	36	200
2048	Hunter	rhyolite	0.15	0.85	117		16		1	2	45	11	16	25	32	150
0174	Hunter	rhyolite	0.08	0.92	159		6		1	2	62	18	20	31	55	330
0177B	Hunter	rhyolite	0.12	0.88	183		13		1	2	128	12	15	60	39	170
1491	Hunter	rhyolite	0.18	0.82	326		23		2	5	83	20	26	73	84	350
2352B	Hunter	rhyolite	0.17	0.83	25		18				159	17		180	73	310
1330A	Hunter	rhyolite	0.14	0.86	219	4	3			15	20	14	25	86	51	250
V2194	Hunter	rhyolite	0.16	0.84					4	30		17	30	128	61	265
0482C	Hunter	rhyolite	0.17	0.83	392		20		2	27	40	14	27	58	46	220
0479A1	Hunter	rhyolite	0.23	0.77	149		3				51	20	11	53	94	350
0487A2	Hunter	rhyolite	0.12	0.88	393		41			16	27	15	51	70	62	240
0489C	Hunter	rhyolite	0.30	0.70	586	9	36		11	59	57	14	35	120	52	230
0488A1	Hunter	rhyolite	0.17	0.83	399		6			5	29	6	51	74	49	230
0241T	Hunter	rhyolite	0.13	0.87	584		20		1	2	115	17	51	84	62	260
0241M	Hunter	rhyolite	0.17	0.83	104		42		1	2	110	16	19	50	51	250
0244A	Hunter	rhyolite	0.19	0.81	122		28		1	2	118	19	11	44	84	340
0471A1	Hunter	rhyolite	0.20	0.80	42		36		3	17	38	13	3	37	37	200
0239	Hunter	rhyolite	0.34	0.66	128		1		1	2	81	20	30	24	80	360
0935A	Hunter	rhyolite	0.13	0.87	259		1		1	3	19	13	14	180	72	330
0930A	Hunter	rhyolite	0.22	0.78	658		26			4	22	16	47	21	81	340
V2413	Hunter	rhyolite	0.16	0.84					3	20		22	22	132	77	330
0949A	Hunter	rhyolite	0.04	0.96	461		23			4	62	15	26	60	80	360
0919A	Hunter	rhyolite	0.15	0.85	558		16				108	14	51	110	64	350
0918C	Hunter	rhyolite	0.19	0.81	349		15			4	21	16	25	42	63	360
0923B	Hunter	rhyolite	0.13	0.87	93		369			2	288	14	15	38	70	320
0927E	Hunter	rhyolite	0.14	0.86	443		28				25	15	18	46	78	360
1100	Hunter	rhyolite sph	0.14	0.86	184	9	16		5	53	128	30	6	56	160	440

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Echant.	Bloc	Affinité	Mg#	Fe#	Ba	Co	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Nb	Rb	Sr	Y	Zr
1101	Hunter	rhyolite sph	0.14	0.86	492	6	20		3	56	139	27	20	76	160	420
1376	Hunter	rhyolite sph														
1103	Hunter	transitionelle	0.39	0.61	97	31	74	142	42	205	61	4.8	4.2	79	19	93
1337	Hunter	transitionelle	0.35	0.65	72	24	90		28	232	67	9	6	99	25	110
0208A	Hunter	transitionelle	0.32	0.68	70	22	13	64	28	180	60	6.3	5	194	21	110
0213A	Hunter	transitionelle	0.38	0.62	108	31	74	101	55	209	67	5.5	11	191	20	98
1391B	Hunter	transitionelle	0.26	0.74	490	32	44	23	2.6	373	107	5.3	28	135	22	62
2020	Hunter	transitionelle	0.32	0.68	272.46	28	34	108	63	154	102	3.79	10.53	169.25	23.65	104
1343A	Hunter	transitionelle	0.36	0.64	47	27	49		40	327	85	10	3	140	23	100
1353A	Hunter	transitionelle	0.34	0.66	59	32	128		24	456	81	7	0	150	14	59
1444A	Mouilleuse	dac-rhyodac	0.17	0.83	221	11	7		1	23	70	12	10	110	35	170
1318A	Mouilleuse	dac-rhyodac	0.13	0.87	51	12	79			21	195	12	12	110	38	180
2340A	Mouilleuse	dac-rhyodac	0.31	0.69	140	19	65		27	235	65	8	7	66	16	74
1311B	Mouilleuse	enrichie	0.33	0.67	390	29	44		51	244	86	7.5	32	349	22	132
1311A1	Mouilleuse	enrichie	0.31	0.69	284	25	7		64	185	123	10	35	330	17	160
1322A	Mouilleuse	enrichie	0.37	0.63	128	34	80		26	232	75	8	9	84	13	100
2325	Mouilleuse	enrichie	0.31	0.69	307	26	81		35	321	95	8.2	27	150	25	133
1428A	Mouilleuse	enrichie	0.33	0.67	192	35	73		61	267	63	7.9	16	177	24	121
1324A	Mouilleuse	enrichie	0.29	0.71	71	21	55		19	259	77	11	7	100	22	110
0494A	Mouilleuse	enrichie	0.26	0.74	151	25	105		24	412	76	8	16	170	11	95
2321	Mouilleuse	non-enrichie	0.22	0.78	109	24	74		14	376	77	7.5	11	119	36	127
1421A	Mouilleuse	non-enrichie	0.24	0.76	32	28	98		13	329	99	10	0	110	28	130
0466A	Mouilleuse	non-enrichie	0.22	0.78	95	24	53		6	306	89	6.8	7	164	35	107
0497B	Mouilleuse	non-enrichie	0.26	0.74	66	33	123		22	470	113	10	3	280	28	130
1316A	Mouilleuse	non-enrichie	0.23	0.77	129	26	69		9	261	94	8.4	17	100	35	134
2338A	Mouilleuse	rhyolite	0.11	0.89	208		3				51	15	16	49	43	260
2334B	Mouilleuse	rhyolite	0.01	0.99	266		2				18	17	30	55	34	260
2343	Mouilleuse	rhyolite	0.05	0.95	207		5		2		56	16	12	43	66	290
2341A	Mouilleuse	rhyolite	0.15	0.85	348	4	14		2	17	82	12	18	61	39	130
0348A	Mouilleuse	rhyolite	0.09	0.91	273		34				143	14	20	89	48	240
0455A1	Mouilleuse	rhyolite	0.17	0.83	44		4				35	15	4	61	41	240
0454A1	Mouilleuse	rhyolite	0.11	0.89	33		23				31	14	3	29	31	200
1320A	Mouilleuse	rhyolite	0.15	0.85	336	6	5		2	28	29	12	21	81	34	260
0455A2	Mouilleuse	rhyolite	0.10	0.90	1200		11				34	15	71	44	49	250
1443A	Mouilleuse	rhyolite	0.10	0.90	398		4				77	17	21	89	52	280
0377A	Mouilleuse	rhyolite	0.11	0.89	776		10				35	15	49	100	37	230
0376A1	Mouilleuse	rhyolite sph	0.26	0.74	68	16	36		8	157	107	20	0	99	120	320
1449A	Mouilleuse	transitionelle	0.26	0.74	111	28	105		15	467	90	6.1	10	156	24	92
2326	Mouilleuse	transitionelle	0.32	0.68	208	27	94		46	332	103	10	22	160	24	110

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Echant.	Bloc	Affinité	La/Sm	Sm/Yb	Ce/Nb	La/Yb	Th/Yb	Nb/La	Nb/Zr	Nb/Y	Nb/Th	Th/Nb
2410C	Amoux	dac-rhyodac	3.05	1.59	3.15	4.86	0.57	0.72	0.06	0.33	6.19	0.16
0372B	Amoux	enrichie							0.09	0.73		
0418A	Amoux	enrichie	3.24	1.61	4.35	5.22	0.61	0.52	0.05	0.41	4.43	0.23
0754A	Amoux	enrichie							0.04	0.23		
2391A	Amoux	non-enrichie							0.08	0.25		
1308B	Amoux	non-enrichie							0.10	0.30		
1305	Amoux	non-enrichie							0.08	0.30		
0327A	Amoux	non-enrichie							0.08	0.37		
0319A	Amoux	non-enrichie							0.06	0.23		
1464	Amoux	rhyolite	2.54	1.46	3.43	3.71	0.48	0.70	0.07	0.27	5.35	0.19
0433A	Amoux	rhyolite	2.93	1.38	3.88	4.03	0.53	0.59	0.05	0.30	4.47	0.22
1462A	Amoux	rhyolite							0.05	0.22		
0351	Amoux	rhyolite sph	1.58	0.80	2.24	1.27	0.14	1.11	0.06	0.16	10.00	0.10
0453C	Amoux	transitionelle	2.86	1.38	3.11	3.94	0.52	0.71	0.06	0.28	5.42	0.18
0370B	Amoux	transitionelle	3.03	1.32	2.25	4.00	0.39	0.91	0.09	0.62	9.41	0.11
1047B	Dalembert	dac-rhyodac							0.07	0.25		
0155A	Dalembert	enrichie							0.05	0.27		
1048A	Dalembert	enrichie							0.07	0.42		
0133A	Dalembert	enrichie	3.75	1.68	4.24	6.32	0.52	0.55	0.06	0.39	6.67	0.15
1033C	Dalembert	non-enrichie							0.08	0.23		
1035	Dalembert	non-enrichie							0.07	0.22		
0159A	Dalembert	non-enrichie	2.30	1.08	2.55	2.48	0.17	0.89	0.08	0.22	12.79	0.08
0131A	Dalembert	non-enrichie							0.08	0.29		
0191B	Dalembert	non-enrichie	2.30	0.90	2.34	2.07	0.13	1.03	0.09	0.27	16.84	0.06
0193A	Dalembert	rhyolite							0.07	0.39		
0192A	Dalembert	rhyolite	3.38	1.19	2.71	4.03	0.53	0.84	0.07	0.38	6.36	0.16
G075	Flavrian	dac-rhyodac							0.08	0.41		
G074	Flavrian	dac-rhyodac							0.08	0.38		
C028	Flavrian	dac-rhyodac	2.27	1.24	4.78	2.81	0.37	0.53	0.04	0.16	4.02	0.25
G103	Flavrian	dac-rhyodac							0.07	0.36		
G094	Flavrian	dac-rhyodac							0.08	0.36		
G079	Flavrian	dac-rhyodac							0.06	0.35		
C410N	Flavrian	enrichie							0.09	0.55		
C495	Flavrian	enrichie							0.07	0.35		
C332N	Flavrian	enrichie							0.06	0.37		
C-008	Flavrian	enrichie							0.07	0.40		
C008	Flavrian	enrichie										
G019	Flavrian	enrichie	3.19	1.52	5.08	4.83	0.68	0.47	0.04	0.22	3.32	0.30
0022A	Flavrian	enrichie							0.07	0.32		
G107	Flavrian	enrichie							0.08	0.39		
0027	Flavrian	enrichie							0.09	0.42		
G027	Flavrian	enrichie							0.09	0.48		
G028	Flavrian	enrichie							0.09	0.52		
0031C	Flavrian	non-enrichie	2.24	1.22	4.52	2.73	0.30	0.57	0.04	0.16	5.18	0.19
0026D	Flavrian	non-enrichie	2.72	1.38	4.64	3.75	0.35	0.53	0.04	0.20	5.67	0.18
1030D	Flavrian	non-enrichie	1.54	1.06	3.58	1.62	0.00	0.73	0.04	0.12		
G033	Flavrian	non-enrichie							0.07	0.31		
G006	Flavrian	non-enrichie							0.09	0.35		
G005	Flavrian	non-enrichie							0.08	0.32		
1012	Flavrian	non-enrichie	2.56	1.37	5.99	3.50	0.36	0.41	0.04	0.14	4.03	0.25
G261	Flavrian	non-enrichie							0.08	0.31		
G265	Flavrian	non-enrichie	2.55	1.23	5.54	3.13	0.38	0.44	0.04	0.14	3.59	0.28
G166	Flavrian	rhyolite							0.06	0.27		
1013A	Flavrian	rhyolite	2.50	1.13	2.61	2.82	0.34	0.90	0.06	0.30	7.50	0.13
G162	Flavrian	rhyolite							0.06	0.27		
G155	Flavrian	rhyolite	2.56	1.15	2.76	2.94	0.35	0.85	0.05	0.30	7.08	0.14
G109	Flavrian	rhyolite	2.12	1.08	2.18	2.30	0.34	1.21	0.06	0.33	8.10	0.12
G159	Flavrian	rhyolite							0.06	0.28		
1005A	Flavrian	rhyolite	2.95	1.26	3.24	3.71	0.44	0.65	0.06	0.25	5.48	0.18
0055A	Flavrian	rhyolite							0.06	0.30		
C316	Flavrian	rhyolite							0.06	0.38		
2001	Flavrian	rhyolite							0.06	0.31		
2G171	Flavrian	rhyolite							0.06	0.25		
2G167	Flavrian	rhyolite							0.06	0.30		

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Echant.	Bloc	Affinité	La/Sm	Sm/Yb	Ce/Nb	La/Yb	Th/Yb	Nb/La	Nb/Zr	Nb/Y	Nb/Th	Th/Nb
2004	Flavrian	rhyolite	2.53	1.10	2.50	2.79	0.47	0.95	0.06	0.32	5.63	0.18
1030C	Flavrian	rhyolite	2.82	1.28	3.17	3.60	0.56	0.74	0.08	0.29	4.79	0.21
C579	Flavrian	rhyolite	2.76	1.32	3.17	3.64	0.44	0.75	0.06	0.27	6.21	0.16
C511	Flavrian	rhyolite							0.06	0.31		
C559	Flavrian	rhyolite							0.05	0.28		
C604	Flavrian	rhyolite							0.06	0.34		
0303B	Flavrian	rhyolite sph	1.79	1.19	3.07	2.13	0.21	0.82	0.06	0.19	8.24	0.12
0282A	Flavrian	rhyolite sph	1.74	1.00	2.87	1.74	0.18	0.91	0.07	0.17	8.82	0.11
C-430	Flavrian	transitionelle							0.09	0.31		
0020A	Flavrian	transitionelle	2.64	1.43	7.22	3.77	0.36	0.34	0.03	0.13	3.62	0.28
C505	Flavrian	transitionelle							0.09	0.39		
1006B	Flavrian	transitionelle	2.35	1.76	5.14	4.13	0.49	0.53	0.04	0.21	4.46	0.22
0916C	Hunter	dac-rhyodac							0.04	0.26		
0489B	Hunter	enrichie							0.08	0.40		
0484C	Hunter	enrichie							0.08	0.41		
0250B	Hunter	enrichie	3.14	1.84	4.00	5.79	0.33	0.64	0.06	0.33	11.29	0.09
0437B	Hunter	enrichie	3.25	1.82	3.59	5.91	0.64	0.60	0.06	0.31	5.57	0.18
1099B	Hunter	enrichie	3.57	1.50	3.33	5.36	0.79	0.68	0.06	0.30	4.64	0.22
1389	Hunter	enrichie	2.86	1.69	3.93	4.83	0.34	0.60	0.06	0.29	8.48	0.12
1500A	Hunter	enrichie							0.08	0.45		
1327A	Hunter	enrichie							0.06	0.33		
V2199	Hunter	enrichie	2.22	2.89	3.30	6.42	0.44	0.78	0.08	0.38	11.43	0.09
1123	Hunter	enrichie							0.09	0.43		
0234	Hunter	enrichie							0.08	0.41		
0175A	Hunter	enrichie	3.79	1.81	4.22	6.88	1.00	0.58	0.05	0.38	4.00	0.25
0214A	Hunter	enrichie							0.08	0.40		
0211A	Hunter	enrichie							0.08	0.39		
0206B	Hunter	enrichie							0.08	0.43		
V2204	Hunter	non-enrichie	2.45	1.24	2.94	3.05	0.28	0.77	0.07	0.23	8.33	0.12
1357A	Hunter	non-enrichie	2.44	1.14	3.46	2.79	0.26	0.67	0.07	0.20	7.03	0.14
V2192	Hunter	non-enrichie	2.59	1.29	2.88	3.35	0.34	0.77	0.07	0.26	7.69	0.13
V2174	Hunter	non-enrichie	2.47	1.38	3.05	3.40	0.34	0.81	0.07	0.26	8.00	0.13
0198A	Hunter	non-enrichie	2.30	1.24	6.58	2.86	0.30	0.38	0.03	0.11	3.63	0.28
1409A	Hunter	non-enrichie	2.35	1.28	3.70	3.00	0.33	0.68	0.06	0.21	6.23	0.16
1364A	Hunter	non-enrichie							0.13	0.38		
1361B	Hunter	non-enrichie							0.12	0.30		
1129C	Hunter	rhyolite	2.76	1.17	3.53	3.21	0.38	0.70	0.06	0.24	5.94	0.17
1142A	Hunter	rhyolite	3.64	1.31	2.63	4.76	0.55	0.80	0.08	0.44	6.96	0.14
2048	Hunter	rhyolite							0.07	0.34		
0174	Hunter	rhyolite	2.89	1.19	3.39	3.43	0.54	0.75	0.05	0.33	4.74	0.21
0177B	Hunter	rhyolite	2.46	1.17	3.25	2.88	0.35	0.80	0.07	0.31	6.67	0.15
1491	Hunter	rhyolite							0.06	0.24		
2352B	Hunter	rhyolite	3.23	1.33	3.82	4.31	0.49	0.55	0.05	0.23	4.86	0.21
1330A	Hunter	rhyolite	3.28	1.31	3.29	4.29	0.57	0.67	0.06	0.27	5.00	0.20
V2194	Hunter	rhyolite	3.33	1.16	3.12	3.87	0.57	0.74	0.06	0.28	5.00	0.20
0482C	Hunter	rhyolite	3.68	1.31	3.71	4.81	0.38	0.56	0.06	0.30	7.00	0.14
0479A1	Hunter	rhyolite							0.06	0.21		
0487A2	Hunter	rhyolite							0.06	0.24		
0489C	Hunter	rhyolite							0.06	0.27		
0488A1	Hunter	rhyolite	2.74	1.27	6.83	3.47	0.43	0.35	0.03	0.12	2.86	0.35
0241T	Hunter	rhyolite	2.76	1.19	2.88	3.28	0.42	0.81	0.07	0.27	6.30	0.16
0241M	Hunter	rhyolite	3.15	1.35	3.44	4.26	0.52	0.70	0.06	0.31	5.71	0.18
0244A	Hunter	rhyolite	2.45	1.17	3.68	2.87	0.35	0.70	0.06	0.23	5.76	0.17
0471A1	Hunter	rhyolite	2.88	1.40	3.00	4.05	0.52	0.76	0.07	0.35	5.91	0.17
0239	Hunter	rhyolite	2.58	1.35	3.90	3.48	0.37	0.65	0.06	0.25	6.06	0.17
0935A	Hunter	rhyolite							0.04	0.18		
0930A	Hunter	rhyolite							0.05	0.20		
V2413	Hunter	rhyolite	2.21	1.26	2.86	2.80	0.40	1.01	0.07	0.29	7.10	0.14
0949A	Hunter	rhyolite							0.04	0.19		
0919A	Hunter	rhyolite							0.04	0.22		
0918C	Hunter	rhyolite							0.04	0.25		
0923B	Hunter	rhyolite							0.04	0.20		
0927E	Hunter	rhyolite							0.04	0.19		
1100	Hunter	rhyolite sph							0.07	0.19		

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Echant.	Bloc	Affinité	La/Sm	Sm/Yb	Ce/Nb	La/Yb	Th/Yb	Nb/La	Nb/Zr	Nb/Y	Nb/Th	Th/Nb
1101	Hunter	rhyolite sph	1.72	1.06	3.15	1.82	0.18	0.87	0.06	0.17	8.71	0.11
1376	Hunter	rhyolite sph	1.52	1.11		1.68	0.15	0.00			0.00	
1103	Hunter	transitionelle	3.19	1.44	3.96	4.61	0.56	0.58	0.05	0.25	4.80	0.21
1337	Hunter	transitionelle							0.08	0.36		0.00
0208A	Hunter	transitionelle	2.85	1.65	3.49	4.70	0.50	0.67	0.06	0.30	6.30	0.16
0213A	Hunter	transitionelle	3.04	1.33	3.64	4.05	0.26	0.65	0.06	0.28	10.19	0.10
1391B	Hunter	transitionelle	2.84	1.48	3.58	4.19	0.44	0.60	0.09	0.24	5.70	0.18
2020	Hunter	transitionelle	2.74	1.71	6.55	4.68	0.53	0.37	0.04	0.16	3.30	0.30
1343A	Hunter	transitionelle							0.10	0.43		
1353A	Hunter	transitionelle							0.12	0.50		
1444A	Mouilleuse	dac-rhyodac							0.07	0.34		
1318A	Mouilleuse	dac-rhyodac							0.07	0.32		
2340A	Mouilleuse	dac-rhyodac							0.11	0.50		
1311B	Mouilleuse	enrichie	2.89	2.00	3.33	5.79	0.46	0.68	0.06	0.34	8.52	0.12
1311A1	Mouilleuse	enrichie							0.06	0.59		
1322A	Mouilleuse	enrichie							0.08	0.62		
2325	Mouilleuse	enrichie	3.49	1.87	3.66	6.52	0.65	0.55	0.06	0.33	5.47	0.18
1428A	Mouilleuse	enrichie	3.42	1.58	3.42	5.42	0.58	0.61	0.07	0.33	5.64	0.18
1324A	Mouilleuse	enrichie							0.10	0.50		
0494A	Mouilleuse	enrichie							0.08	0.73		
2321	Mouilleuse	non-enrichie	2.67	1.29	3.33	3.43	0.29	0.63	0.06	0.21	7.50	0.13
1421A	Mouilleuse	non-enrichie							0.08	0.36		
0466A	Mouilleuse	non-enrichie	2.21	1.16	3.38	2.57	0.26	0.72	0.06	0.19	7.08	0.14
0497B	Mouilleuse	non-enrichie							0.08	0.36		
1316A	Mouilleuse	non-enrichie	2.22	1.32	2.98	2.94	0.29	0.84	0.06	0.24	8.48	0.12
2338A	Mouilleuse	rhyolite	2.80	1.34	3.20	3.75	0.39	0.71	0.06	0.35	6.82	0.15
2334B	Mouilleuse	rhyolite	2.86	1.57	3.12	4.49	0.55	0.77	0.07	0.50	6.30	0.16
2343	Mouilleuse	rhyolite	2.93	1.15	3.25	3.38	0.35	0.73	0.06	0.24	6.96	0.14
2341A	Mouilleuse	rhyolite	2.56	1.34	2.08	3.44	0.30	1.09	0.09	0.31	12.63	0.08
0348A	Mouilleuse	rhyolite							0.06	0.29		
0455A1	Mouilleuse	rhyolite							0.06	0.37		
0454A1	Mouilleuse	rhyolite	2.65	1.20	2.29	3.17	0.49	1.08	0.07	0.45	7.00	0.14
1320A	Mouilleuse	rhyolite	3.00	1.36	3.50	4.09	0.55	0.67	0.05	0.35	5.00	0.20
0455A2	Mouilleuse	rhyolite							0.06	0.31		
1443A	Mouilleuse	rhyolite	2.89	1.19	3.12	3.43	0.37	0.71	0.06	0.33	6.54	0.15
0377A	Mouilleuse	rhyolite							0.07	0.41		
0376A1	Mouilleuse	rhyolite sph	1.57	1.00	2.80	1.57	0.13	0.91	0.06	0.17	11.11	0.09
1449A	Mouilleuse	transitionelle	2.88	1.50	3.44	4.32	0.39	0.64	0.07	0.25	7.18	0.14
2326	Mouilleuse	transitionelle							0.09	0.42		

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Echant.	Bloc	Affinité	MTM est	MTM nord	Lab #
2410C	Arnoux	dac-rhyodac	322900	5348590	88.05824
0372B	Arnoux	enrichie	321918	5352882	88.05704
0418A	Arnoux	enrichie	316750	5347890	88.05716
0754A	Arnoux	enrichie	308070	5347440	89.21424
2391A	Arnoux	non-enrichie	325775	5356060	88.05818
1308B	Arnoux	non-enrichie	324165	5353910	88.05737
1305	Arnoux	non-enrichie	325065	5353080	88.05736
0327A	Arnoux	non-enrichie	323035	5354525	88.05735
0319A	Arnoux	non-enrichie	323970	5354440	88.05720
1464	Arnoux	rhyolite	321000	5352580	88.05788
0433A	Arnoux	rhyolite	320225	5348450	88.05745
1462A	Arnoux	rhyolite	320525	5352200	88.05765
0351	Arnoux	rhyolite sph	318215	5350520	88.05753
0453C	Arnoux	transitionelle	320140	5346490	88.05789
0370B	Arnoux	transitionelle	321793	5358925	88.02710
1047B	Dalembert	dac-rhyodac	340245	5363748	87.09956
0155A	Dalembert	enrichie	336721	5364103	90.35205
1048A	Dalembert	enrichie	340300	5363464	87.09957
0133A	Dalembert	enrichie	337455	5364648	87.07230
1033C	Dalembert	non-enrichie	341292	5363522	87.07223
1035	Dalembert	non-enrichie	341178	5363044	87.07246
0159A	Dalembert	non-enrichie	337051	5363709	87.09964
0131A	Dalembert	non-enrichie	337793	5364815	87.09963
0191B	Dalembert	non-enrichie	337768	5363073	87.09960
0193A	Dalembert	rhyolite	337123	5363568	87.09962
0192A	Dalembert	rhyolite	337569	5363320	87.09961
G075	Flavrian	dac-rhyodac	334570	5358270	87.07190
G074	Flavrian	dac-rhyodac	334570	5358270	87.07191
C028	Flavrian	dac-rhyodac	336350	5358170	87.07179
G103	Flavrian	dac-rhyodac	334715	5358655	87.07194
G094	Flavrian	dac-rhyodac	334490	5358265	87.07192
G079	Flavrian	dac-rhyodac	334535	5358280	87.07193
C410N	Flavrian	enrichie	339900	5359650	87.07166
C495	Flavrian	enrichie	340140	5357680	87.07170
C332N	Flavrian	enrichie	336830	5357500	87.07169
C-008	Flavrian	enrichie	337610	5360880	88.05741
C008	Flavrian	enrichie	337610	5360880	87.07168
G019	Flavrian	enrichie	334110	5357020	87.07183
0022A	Flavrian	enrichie	330860	5355380	87.07248
G107	Flavrian	enrichie	334555	5358620	87.07199
0027	Flavrian	enrichie	330741	5355391	87.09951
G027	Flavrian	enrichie	334235	5357040	87.07182
G028	Flavrian	enrichie	334410	5356980	87.07181
0031C	Flavrian	non-enrichie	330579	5355472	87.07252
0026D	Flavrian	non-enrichie	330729	5355322	87.07217
1030D	Flavrian	non-enrichie	340054	5359990	87.09959
G033	Flavrian	non-enrichie	334290	5357075	87.07187
G006	Flavrian	non-enrichie	333035	5358300	87.07208
G005	Flavrian	non-enrichie	333205	5358255	87.07207
1012	Flavrian	non-enrichie	334058	5358476	87.07250
G261	Flavrian	non-enrichie	332620	5357990	87.07203
G265	Flavrian	non-enrichie	332620	5357990	87.07202
G166	Flavrian	rhyolite	333630	5359090	87.07211
1013A	Flavrian	rhyolite	334060	5358273	87.07234
G162	Flavrian	rhyolite	334660	5360190	87.07198
G155	Flavrian	rhyolite	335040	5359930	87.07197
G109	Flavrian	rhyolite	334490	5358585	87.07200
G159	Flavrian	rhyolite	334630	5359850	87.07196
1005A	Flavrian	rhyolite	332822	5359013	87.07242
0055A	Flavrian	rhyolite	331287	5357283	87.07162
C316	Flavrian	rhyolite	337420	5358200	87.07172
2001	Flavrian	rhyolite	330916	5357175	87.07165
2G171	Flavrian	rhyolite	330980	5357170	87.07212
2G167	Flavrian	rhyolite	330920	5357170	87.07214

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Échant.	Bloc	Affinité	MTM est.	MTM nord	Lab #
2004	Flavrian	rhyolite	331050	5357168	87.09955
1030C	Flavrian	rhyolite	340043	5359990	87.09958
C579	Flavrian	rhyolite	338040	5359700	87.07173
C511	Flavrian	rhyolite	338000	5358200	87.07174
C559	Flavrian	rhyolite	337360	5359740	87.07176
C604	Flavrian	rhyolite	337100	5360010	87.07175
0303B	Flavrian	rhyolite sph	338680	5360630	88.05769
0282A	Flavrian	rhyolite sph	339564	5359797	87.09966
C-430	Flavrian	transitionelle	339150	5359860	88.05719
0020A	Flavrian	transitionelle	330810	5355655	87.07163
C505	Flavrian	transitionelle	339860	5357550	87.07171
1006B	Flavrian	transitionelle	332868	5358834	87.07237
0916C	Hunter	dac-rhyodac	323350	5366000	90.35202
0489B	Hunter	enrichie	319740	5358680	88.05819
0484C	Hunter	enrichie	319050	5359470	88.05774
0250B	Hunter	enrichie	327351	5361936	87.07222
0437B	Hunter	enrichie	317620	5359650	88.05747
1099B	Hunter	enrichie	330819	5362703	87.07225
1389	Hunter	enrichie	319500	5363640	88.05718
1500A	Hunter	enrichie	321559	5363813	88.05790
1327A	Hunter	enrichie	322760	5355380	88.05728
V2199	Hunter	enrichie	Verpaelst (1985)		
1123	Hunter	enrichie	328656	5360551	87.09967
0234	Hunter	enrichie	327050	5360279	87.07243
0175A	Hunter	enrichie	331079	5361257	87.07240
0214A	Hunter	enrichie	327521	5359482	87.07235
0211A	Hunter	enrichie	327372	5360019	87.07219
0206B	Hunter	enrichie	328864	5359726	87.07229
V2204	Hunter	non-enrichie	Verpaelst (1985)		
1357A	Hunter	non-enrichie	316960	5361050	88.05713
V2192	Hunter	non-enrichie	Verpaelst (1985)		
V2174	Hunter	non-enrichie	Verpaelst (1985)		
0198A	Hunter	non-enrichie	329128	5359859	87.07228
1409A	Hunter	non-enrichie	316030	5361940	88.05717
1364A	Hunter	non-enrichie	316070	5360810	88.05701
1361B	Hunter	non-enrichie	315910	5360980	88.05703
1129C	Hunter	rhyolite	326021	5361805	87.07227
1142A	Hunter	rhyolite	335602	5362644	87.07239
2048	Hunter	rhyolite	335460	5361231	87.07251
0174	Hunter	rhyolite	331115	5361382	87.09965
0177B	Hunter	rhyolite	330791	5361357	87.07233
1491	Hunter	rhyolite	317810	5364860	88.05762
2352B	Hunter	rhyolite	319470	5365600	88.05777
1330A	Hunter	rhyolite	322650	535750	88.05727
V2194	Hunter	rhyolite	Verpaelst (1985)		
0482C	Hunter	rhyolite	319380	5359810	88.05772
0479A1	Hunter	rhyolite	321640	5364590	88.05755
0487A2	Hunter	rhyolite	318870	5359000	88.05780
0489C	Hunter	rhyolite	319740	5358680	88.05819
0488A1	Hunter	rhyolite	319230	5358920	88.05778
0241T	Hunter	rhyolite	326810	5362390	87.07164
0241M	Hunter	rhyolite	326810	5362390	87.07161
0244A	Hunter	rhyolite	326015	5362508	87.07221
0471A1	Hunter	rhyolite	320520	5361280	88.05763
0239	Hunter	rhyolite	326247	5362159	87.07231
0935A	Hunter	rhyolite	323870	5365050	90.35204
0930A	Hunter	rhyolite	324640	5364820	90.35203
V2413	Hunter	rhyolite	Verpaelst (1985)		
0949A	Hunter	rhyolite	327710	5364680	90.35207
0919A	Hunter	rhyolite	323600	5365650	90.35208
0918C	Hunter	rhyolite	323590	5365740	90.35206
0923B	Hunter	rhyolite	324700	5365270	90.35201
0927E	Hunter	rhyolite	323910	5365540	90.35215
1100	Hunter	rhyolite sph	330879	5362706	87.07254

APPENDIX D-i: Analyses du sous-groupe Noranda

Echant.	Bloc	Affinité	MTM est	MTM nord	Lab #
1101	Hunter	rhyolite sph	331160	5368235	87.07247
1376	Hunter	rhyolite sph	317830	5360900	95-19720
1103	Hunter	transitionelle	330555	5362689	87.07226
1337	Hunter	transitionelle	322000	5356620	88.05706
0208A	Hunter	transitionelle	328871	5360037	87.07218
0213A	Hunter	transitionelle	327454	5359736	87.07220
1391B	Hunter	transitionelle	319450	5365490	88.05751
2020	Hunter	transitionelle	329786	5362057	87.07238
1343A	Hunter	transitionelle	319130	5360800	88.05726
1353A	Hunter	transitionelle	318890	5361380	88.05767
1444A	Mouilleuse	dac-rhyodac	317630	5357530	88.05786
1318A	Mouilleuse	dac-rhyodac	321700	5354940	88.05739
2340A	Mouilleuse	dac-rhyodac	317000	5358760	88.05822
1311B	Mouilleuse	enrichie	322200	5354840	88.05732
1311A1	Mouilleuse	enrichie	322200	5354840	88.05738
1322A	Mouilleuse	enrichie	321630	5355580	88.05721
2325	Mouilleuse	enrichie	317440	5359560	88.05752
1428A	Mouilleuse	enrichie	317340	535590	88.05742
1324A	Mouilleuse	enrichie	320970	5355470	88.05740
0494A	Mouilleuse	enrichie	319420	5358850	88.05776
2321	Mouilleuse	non-enrichie	317480	5353910	88.05748
1421A	Mouilleuse	non-enrichie	317550	5353910	88.05744
0466A	Mouilleuse	non-enrichie	316290	5353150	88.05803
0497B	Mouilleuse	non-enrichie	320180	5352870	88.05779
1316A	Mouilleuse	non-enrichie	321840	535300	88.05724
2338A	Mouilleuse	rhyolite	317060	5358500	88.05760
2334B	Mouilleuse	rhyolite	317080	5358110	88.05759
2343	Mouilleuse	rhyolite	317260	5358340	88.05783
2341A	Mouilleuse	rhyolite	316400	5359200	88.05770
0348A	Mouilleuse	rhyolite	317775	5351500	88.05768
0455A1	Mouilleuse	rhyolite	317750	5351240	88.05756
0454A1	Mouilleuse	rhyolite	315510	5358520	88.05758
1320A	Mouilleuse	rhyolite	321500	5354960	88.05722
0455A2	Mouilleuse	rhyolite	317750	5351240	88.05757
1443A	Mouilleuse	rhyolite	316890	5357200	88.05761
0377A	Mouilleuse	rhyolite	316740	5351076	88.05702
0376A1	Mouilleuse	rhyolite sph	316428	5350537	88.05730
1449A	Mouilleuse	transitionelle	317550	5357720	88.05787
2326	Mouilleuse	transitionelle	317240	5359600	88.05743

APPENDIX D-ii: Analyses du sous-groupe Misema

Echantillon	Bloc	Affinité	Lithologie	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Totale	Mg#	Fe#	Ba	Co	Cu	Cr	Ni
1649A	Kanasuta	dac-rhyodac	dacite	66.09	1.56	13.88	6.69	0.11	2.29	3.81	4.61	0.72	0.23	100.00	0.26	0.74	86	27	127		66
1651A	Kanasuta	dac-rhyodac	rhyo-dacite	70.33	0.43	14.91	3.62	0.06	0.85	1.26	5.97	2.51	0.06	100.00	0.19	0.81	378	6	21		4
1658A	Kanasuta	dac-rhyodac	dacite	62.74	0.84	15.25	6.90	0.15	3.51	5.41	4.27	0.79	0.14	100.00	0.34	0.66	188	19	44		54
1671A	Kanasuta	dac-rhyodac	dacite	62.03	0.85	15.08	7.89	0.15	3.93	4.76	3.27	1.87	0.17	100.00	0.33	0.67	459	23	47		47
0667B	Kanasuta	enrichie	andésite	56.19	0.89	16.05	9.06	0.13	5.61	8.44	3.21	0.30	0.12	100.00	0.38	0.62	82	28	71		123
0707A	Kanasuta	enrichie	andésite	57.53	0.81	17.18	7.51	0.12	5.10	7.88	3.22	0.51	0.13	100.00	0.40	0.60	116	25	76		90
0735A	Kanasuta	enrichie	andésite	57.00	0.98	16.31	9.25	0.10	5.26	6.47	4.19	0.25	0.17	100.00	0.36	0.64	103	27	64		71
0737A	Kanasuta	enrichie	andésite	60.99	0.71	16.01	7.21	0.10	4.29	6.34	3.81	0.45	0.10	100.00	0.37	0.63	109	23	58		95
0763A	Kanasuta	enrichie	andésite	54.37	1.17	16.78	8.32	0.20	5.58	7.14	3.94	2.33	0.19	100.00	0.40	0.60	827	23	15		68
1647A	Kanasuta	enrichie	basalte	53.07	1.29	16.73	9.93	0.18	5.76	8.09	3.79	1.04	0.12	100.00	0.37	0.63	206	28	145		57
1655A	Kanasuta	enrichie	andésite	61.02	0.64	15.63	6.05	0.10	3.32	5.16	5.19	2.57	0.32	100.00	0.35	0.65	1300	17	16		40
1661A	Kanasuta	enrichie	basalte	52.56	1.09	16.44	11.24	0.23	6.34	8.36	2.91	0.63	0.19	100.00	0.36	0.64	191	46	55		287
1711A	Kanasuta	enrichie	andésite	58.60	1.45	15.70	9.12	0.14	3.48	6.51	3.81	1.02	0.17	100.00	0.28	0.72	399	23	80		21
1713A	Kanasuta	enrichie	andésite	57.15	0.87	17.83	6.87	0.11	3.13	11.41	2.40	0.06	0.18	100.00	0.31	0.69	32	16	33		56
2610A	Kanasuta	enrichie	andésite	60.19	0.81	17.05	6.19	0.09	4.13	8.15	2.77	0.50	0.14	100.00	0.40	0.60	120	23	66		97
2620B	Kanasuta	enrichie	andésite	59.46	1.45	16.33	7.95	0.11	3.11	7.76	3.13	0.51	0.18	100.00	0.28	0.72	147	25	35		23
2630A	Kanasuta	enrichie	andésite	60.89	0.78	16.60	5.83	0.07	4.75	7.06	3.40	0.48	0.13	100.00	0.45	0.55	186	22	131		106
2648B	Kanasuta	enrichie	basalte	52.91	1.57	14.07	15.31	0.24	4.31	8.45	2.85	0.14	0.14	100.00	0.22	0.78	397	30	64		44
2666A	Kanasuta	enrichie	basalte	53.42	0.94	18.99	9.35	0.14	4.67	9.06	2.95	0.33	0.15	100.00	0.33	0.67	48	33	89		47
0620A	Kanasuta	non-enrichie	andésite	59.32	1.71	14.88	11.03	0.18	2.46	6.74	3.22	0.20	0.27	100.00	0.18	0.82	102	14	61		5
0651A	Kanasuta	non-enrichie	andésite	55.91	1.58	16.11	8.03	0.16	3.27	11.49	3.18	0.11	0.15	100.00	0.29	0.71	72	17	97		10
0743A	Kanasuta	non-enrichie	andésite	61.90	1.69	13.73	9.53	0.15	2.87	7.69	2.15	0.07	0.22	100.00	0.23	0.77	33	21	110		18
1624A	Kanasuta	non-enrichie	andésite	56.15	1.75	15.45	10.82	0.18	2.98	5.89	5.50	1.04	0.25	100.00	0.22	0.78	408	25	73		2
1625A	Kanasuta	non-enrichie	andésite	57.66	1.73	15.80	10.77	0.18	3.20	5.95	4.04	0.43	0.25	100.00	0.23	0.77	156	30	41		2
1651B	Kanasuta	non-enrichie	andésite	57.04	1.94	15.50	10.06	0.19	3.17	6.47	4.77	0.53	0.32	100.00	0.24	0.76	144	17	51		2
1689A?	Kanasuta	non-enrichie	andésite	54.62	1.67	15.53	11.12	0.17	5.25	6.20	4.44	0.84	0.14	100.00	0.32	0.68	215	32	189		17
1790A	Kanasuta	non-enrichie	basalte	53.32	1.63	15.54	12.63	0.18	4.09	8.00	3.75	0.72	0.14	100.00	0.24	0.76	100	32	146		16
2653A	Kanasuta	non-enrichie	andésite	55.68	1.41	15.23	12.14	0.23	4.29	7.87	2.72	0.29	0.14	100.00	0.26	0.74	133	28	101		21
2655A	Kanasuta	non-enrichie	andésite	55.02	1.44	16.26	10.84	0.19	4.38	7.53	4.05	0.09	0.19	100.00	0.29	0.71	78	30	131		58
2658C	Kanasuta	non-enrichie	andésite	55.90	1.44	15.25	10.16	0.19	3.97	8.40	4.26	0.28	0.14	100.00	0.28	0.72	130	23	95		10
0676C	Kanasuta	rhyolite	rhyolite	76.91	0.37	11.03	4.71	0.11	0.44	1.26	4.18	0.94	0.05	100.00	0.08	0.92	101		10		
0784A	Kanasuta	rhyolite	rhyolite	73.41	0.53	11.86	6.06	0.11	0.88	2.20	4.57	0.29	0.08	100.00	0.13	0.87	159		8		1
1642A	Kanasuta	rhyolite	rhyolite	76.73	0.14	13.01	3.05	0.05	0.24	1.14	4.48	1.17	0.00	100.00	0.07	0.93	403				0
1747A	Kanasuta	rhyolite	rhyolite	77.44	0.08	12.53	1.64	0.04	0.33	1.46	4.76	1.71	0.01	100.00	0.17	0.83	333		6		2
0634A	Kanasuta	rhyolite sph	rhyolite sph	68.73	0.70	14.15	5.96	0.08	1.88	5.13	2.56	0.71	0.09	100.00	0.24	0.76	220	8	29		6
0635A	Kanasuta	rhyolite sph	rhyolite sph	73.93	0.79	11.65	4.45	0.07	0.62	3.94	2.79	1.63	0.12	100.00	0.12	0.88	433	4	42		6
0679A	Kanasuta	rhyolite sph	rhyolite sph	74.52	0.81	12.07	4.05	0.08	0.64	2.02	5.61	0.08	0.11	100.00	0.14	0.86	22	4	28		
0758A	Kanasuta	rhyolite sph	rhyolite sph	72.12	0.76	12.48	6.19	0.08	1.63	2.44	3.25	0.95	0.10	100.00	0.21	0.79	193	7	23		13
0662A	Kanasuta	transitionelle	andésite	57.29	1.38	15.75	11.19	0.19	3.76	5.79	3.75	0.45	0.46	100.00	0.25	0.75	167	16	303		41
0692B	Kanasuta	transitionelle	basalte	53.53	1.06	16.88	10.40	0.15	5.53	8.37	3.39	0.58	0.11	100.00	0.35	0.65	222	30	82		69
0709B	Kanasuta	transitionelle	andésite	54.36	1.03	16.74	9.52	0.12	4.83	9.62	3.17	0.48	0.12	100.00	0.34	0.66	142	26	149		45
1612B	Kanasuta	transitionelle	andésite	56.86	1.50	15.91	9.32	0.17	4.75	6.07	4.74	0.48	0.21	100.00	0.34	0.66	270	27	85		48
1735B	Kanasuta	transitionelle	andésite	57.85	1.57	15.81	9.49	0.17	3.95	7.16	3.51	0.23	0.24	100.00	0.29	0.71	58	21	68		26

APPENDIX D-ii: Analyses du sous-groupe Misema

Échantillon	Bloc	Affinité	V	Zn	Nb	Rb	Sr	Y	Zr	Ce	Cs	Eu	Hf	Ho	La	Lu	Nd	Sc	Sm	Th	Tb	Tm	Yb	Zr/Y
1649A	Kanasuta	dac-rhyodac	208	74	8	25	130	22	130	33	0.5	1.2	3.3	0.9	12	0.3	21	27	4.8	0.9	0.8	0.3	2.1	5.91
1651A	Kanasuta	dac-rhyodac	21	25	10	41	67	35	200															5.71
1658A	Kanasuta	dac-rhyodac	149	66	7	31	220	27	140	32	0.9	1.2	3.7	1.1	14	0.4	16	20	4	1.8	0.8	0.4	2.5	5.19
1671A	Kanasuta	dac-rhyodac	144	75	6	84	200	26	140	31	1.9	0.9	3.5	0.7	13	0.4	19	20	4.1	1.3	0.7	0.4	2.3	5.38
0667B	Kanasuta	enrichie	168	66	5	14	140	19	102	24	0.8	1	2.6	0.8	11	0.3	13	23	3.2	1.2	0.6	0.3	2	5.37
0707A	Kanasuta	enrichie	168	65	5.6	28	131	21	112	25	0.8	1.2	2.6	0.5	11	0.4	10	22	3.2	1.6	0.5	0.3	1.8	5.33
0735A	Kanasuta	enrichie	211	63	6	9	200	24	130															5.42
0737A	Kanasuta	enrichie	139	63	6	22	110	28	140															5.00
0763A	Kanasuta	enrichie	186	62	5.2	36	232	18	108	30	0.3	1.1	2.6	0.7	11	0.2	16	25	3.5	1	0.5		1.1	6.00
1647A	Kanasuta	enrichie	257	78	4	33	180	21	100															4.76
1655A	Kanasuta	enrichie	125	79	6	65	1000	41	230															5.61
1661A	Kanasuta	enrichie	275	104	6.4	31	346	20	108	31	0.7	1.6	2.4	0.9	12	0.3	18	26	3.7	1	0.6	0.3	1.8	5.40
1711A	Kanasuta	enrichie	303	114	8.8	37	123	32	158	38	0.3	1.3	4.3	1.5	16	0.5	24	27	5	1.9	1	0.5	3.3	4.94
1713A	Kanasuta	enrichie	153	56	7	3	190	22	140															6.36
2610A	Kanasuta	enrichie	166	66	6.8	12	108	20	127	28	0.3	1	3.1	0.7	12	0.3	14	18	3.2	1.7	0.6		1.6	6.35
2620B	Kanasuta	enrichie	324	82	8.8	17	161	35	166	40		1.4	4.7	1.3	16	0.6	24	25	5.3	2.2	0.8	0.5	2.9	4.74
2630A	Kanasuta	enrichie	157	65	7.1	9.9	203	20	129	28	0.5	1	3	1	13	0.3	15	18	3.1	1.6	0.6		1.8	6.45
2648B	Kanasuta	enrichie	212	71	7.4	39	291	23	140	23	1.2	1.2	2.2	1	9.4	0.3	12	48	3.3	1	0.7		2.2	6.09
2666A *	Kanasuta	enrichie	224	95	6.1	15	116	20	113	29	0.3	1.3	3	0.9	14	0.3	15	27	3.4	1.8	0.6		1.5	5.65
0620A	Kanasuta	non-enrichie	169	119	7.4	4.5	178	32	125	25		1.5	3.1	1.3	10	0.5	14	33	4.4	0.9	0.8		3	3.91
0651A	Kanasuta	non-enrichie	450	65	5	4.3	142	24	84	16		1.1	1.9	0.6	6.5	0.4	9	41	3	0.6	0.6	0.4	2.3	3.50
0743A	Kanasuta	non-enrichie	359	57	5.3	4.4	49	24	86	16		1	2.2	1.1	6.8	0.4	11	40	2.9	0.7	0.6	0.3	2.3	3.58
1624A	Kanasuta	non-enrichie	204	144	7	40	300	42	160															3.81
1625A	Kanasuta	non-enrichie	244	113	9	18	150	44	160															3.64
1651B	Kanasuta	non-enrichie	180	84	7	12	240	38	140															3.68
1689A?	Kanasuta	non-enrichie	559	89	5	39	140	23	89															3.87
1790A	Kanasuta	non-enrichie	556	81	5	45	120	23	84															3.65
2653A	Kanasuta	non-enrichie	318	88	5.6	8.5	242	28	85	22	0.4	1.2	2	1.2	9	0.5	14	41	3.7	1	0.8	0.6	3	3.04
2655A	Kanasuta	non-enrichie	289	93	7	6	170	25	110															4.40
2658C	Kanasuta	non-enrichie	421	81	5	9	130	25	93															3.72
0676C	Kanasuta	rhyolite	2	73	14	30	57	82	260	49	1.4	1.9	7.4	3	19	1.3	34	13	8.8	2.2	1.9	1.2	8.1	3.17
0784A	Kanasuta	rhyolite		71	10	8	96	70	230	46		2.2	6.4	2.6	18	1.2	31	17	8.4	2	1.7	0.7	7	3.29
1642A	Kanasuta	rhyolite		48	12	24	67	77	240															3.12
1747A	Kanasuta	rhyolite	5	36	13	45	49	110	150	72	1.1	1.7	5.7	4.1	30	1.7	45	5	12	4.7	2.4	1.5	10	1.36
0634A	Kanasuta	rhyolite sph	115	84	20	19	130	190	450	78	0.6	4.3	13	7.3	30	3	63	17	19	2.4	4.3	1.8	18	2.37
0635A	Kanasuta	rhyolite sph	35	119	21	42	130	170	430	79	1	4	13	6.8	30	2.8	58	17	18	2.5	4.1	2.5	17	2.53
0679A	Kanasuta	rhyolite sph	21	52	22		35	180	460	83	0.3	3.9	14	7.5	30	2.9	65	18	19	2.9	4.4	2.6	18	2.56
0758A	Kanasuta	rhyolite sph	61	70	21	24	85	170	430	74	1.1	4	13	6.6	27	2.8	62	18	18	2.6	4.1	1.6	17	2.53
0662A	Kanasuta	transitionelle	106	98	7.2	18	259	29	118	28	0.3	1.6	2.7	1.2	11	0.5	20	29	4.7	1.1	0.8	0.5	2.7	4.07
0692B	Kanasuta	transitionelle	263	74	6.7	15	243	24	102	22	0.3	1	2.7	0.8	9.5	0.4	12	30	3.3	1.4	0.6	0.4	2.2	4.25
0709B	Kanasuta	transitionelle	228	72	4	18	210	24	100															4.17
1612B	Kanasuta	transitionelle	258	90	7	16	110	27	110															4.07
1735B	Kanasuta	transitionelle	194	101	7.8	8.3	91	28	121	26		1.4	3.2	1	11	0.5	18	34	4.2	1.1	0.9	0.6	3	4.32

APPENDIX D-ii: Analyses du sous-groupe Misema

Échantillon	Bloc	Affinité	La/Sm	Sm/Yb	Ce/Nb	La/Yb	Th/Yb	Nb/La	Nb/Zr	Nb/Y	Nb/Th	Th/Nb	MTM est	MTM nor	Lab #
1649A	Kanasuta	dac-rhyodac	2.50	2.29	4.13	5.71	0.40	0.67	0.06	0.36	9.41	0.11	312650	5357020	89.28003
1651A	Kanasuta	dac-rhyodac							0.05	0.29			312910	5355550	89.21464
1658A	Kanasuta	dac-rhyodac	3.50	1.60	4.57	5.60	0.72	0.50	0.05	0.26	3.89	0.26	312060	5355950	89.28004
1671A	Kanasuta	dac-rhyodac	3.17	1.78	5.17	5.65	0.57	0.46	0.04	0.23	4.62	0.22	309240	5357350	89.21467
0667B	Kanasuta	enrichie	3.44	1.60	4.80	5.50	0.60	0.45	0.05	0.26	4.17	0.24	305850	5357440	89.21414
0707A	Kanasuta	enrichie	3.44	1.78	4.46	6.11	0.89	0.51	0.05	0.27	3.50	0.29	304050	5358340	89.21420
0735A	Kanasuta	enrichie							0.05	0.25			303930	5354440	89.28016
0737A	Kanasuta	enrichie							0.04	0.21			304050	5354190	89.28019
0763A	Kanasuta	enrichie	3.14	3.18	5.77	10.00	0.89	0.47	0.05	0.29	5.31	0.19	304460	5346830	89.21427
1647A	Kanasuta	enrichie							0.04	0.19			312250	5357030	89.21461
1655A	Kanasuta	enrichie							0.03	0.15			309290	5356440	89.21465
1661A	Kanasuta	enrichie	3.24	2.06	4.84	6.67	0.53	0.53	0.06	0.32	6.74	0.15	305380	5353900	89.21466
1711A	Kanasuta	enrichie	3.20	1.52	4.32	4.85	0.58	0.55	0.06	0.28	4.63	0.22	305390	5359630	89.28006
1713A	Kanasuta	enrichie							0.05	0.32			304950	5359390	89.28007
2610A	Kanasuta	enrichie	3.75	2.00	4.12	7.50	1.06	0.57	0.05	0.34	4.00	0.25	305580	5362340	89.21436
2620B	Kanasuta	enrichie	3.02	1.83	4.55	5.52	0.76	0.55	0.05	0.25	4.00	0.25	307400	5360350	89.21438
2630A	Kanasuta	enrichie	4.19	1.72	3.94	7.22	0.89	0.55	0.06	0.36	4.44	0.23	307890	5362950	89.21440
2648B	Kanasuta	enrichie	2.85	1.50	3.11	4.27	0.45	0.79	0.05	0.32	7.47	0.13	311960	5361870	89.21442
2666A	Kanasuta	enrichie	4.12	2.27	4.75	9.33	1.20	0.44	0.05	0.31	3.39	0.30	310120	5362600	89.21446
0620A	Kanasuta	non-enrichie	2.27	1.47	3.38	3.33	0.30	0.74	0.06	0.23	8.13	0.12	305830	5348150	89.21405
0651A	Kanasuta	non-enrichie	2.17	1.30	3.20	2.83	0.27	0.77	0.06	0.21	8.06	0.12	306740	5354580	89.21412
0743A	Kanasuta	non-enrichie	2.34	1.26	3.02	2.96	0.32	0.78	0.06	0.22	7.26	0.14	307530	5354580	89.21421
1624A	Kanasuta	non-enrichie							0.04	0.17			309610	5357210	89.21454
1625A	Kanasuta	non-enrichie							0.06	0.20			309860	5357290	89.21456
1651B	Kanasuta	non-enrichie							0.05	0.18			312910	5355550	89.21463
1689A?	Kanasuta	non-enrichie							0.06	0.22			309460	5355600	89.21478
1790A	Kanasuta	non-enrichie							0.06	0.22			309650	5355660	89.21494
2653A	Kanasuta	non-enrichie	2.43	1.23	3.93	3.00	0.32	0.62	0.07	0.20	5.89	0.17	312980	5361900	89.21443
2655A	Kanasuta	non-enrichie							0.06	0.28			313120	5362370	89.21444
2658C	Kanasuta	non-enrichie							0.05	0.20			313020	5362520	89.21445
0676C	Kanasuta	rhyolite	2.16	1.09	3.50	2.35	0.27	0.74	0.05	0.17	6.36	0.16	308750	5354080	89.21415
0784A	Kanasuta	rhyolite	2.14	1.20	4.60	2.57	0.29	0.56	0.04	0.14	5.00	0.20	313690	5350970	89.21432
1642A	Kanasuta	rhyolite							0.05	0.16			306070	5350000	90.35217
1747A	Kanasuta	rhyolite	2.50	1.20	5.54	3.00	0.47	0.43	0.09	0.12	2.77	0.36	307070	5347820	89.28013
0634A	Kanasuta	rhyolite sph	1.58	1.06	3.90	1.67	0.13	0.67	0.04	0.11	8.33	0.12	309400	5354460	89.21408
0635A	Kanasuta	rhyolite sph	1.67	1.06	3.76	1.76	0.15	0.70	0.05	0.12	8.40	0.12	309290	5354250	89.21409
0679A	Kanasuta	rhyolite sph	1.58	1.06	3.77	1.67	0.16	0.73	0.05	0.12	7.59	0.13	308610	5354300	89.21417
0758A	Kanasuta	rhyolite sph	1.50	1.06	3.52	1.59	0.15	0.78	0.05	0.12	8.08	0.12	308780	5347170	89.21426
0662A	Kanasuta	transitionelle	2.34	1.74	3.89	4.07	0.41	0.65	0.06	0.25	6.55	0.15	306610	5355500	89.21413
0692B	Kanasuta	transitionelle	2.88	1.50	3.28	4.32	0.64	0.71	0.07	0.28	4.79	0.21	308820	5361910	89.21419
0709B	Kanasuta	transitionelle							0.04	0.17			303950	5358010	89.28016
1612B	Kanasuta	transitionelle							0.06	0.26			311100	5361390	89.21452
1735B	Kanasuta	transitionelle	2.62	1.40	3.33	3.67	0.37	0.71	0.06	0.28	7.09	0.14	309890	5359510	89.28008

APPENDIX D-iii: Analyses des sous-groupes non pas traités en profondeur dans le chapitre 4

sous-groupe Rouyn-Pelletier

Echantillon	Bloc	Affinité	Lithologie	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Totale	Mg#	Fe#	Ba	Co	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Nb	Rb	SR	Y	Zr	Ce	Cs	Eu	Hf	Ho	La
SPP-11.1	Pelletier	enrichie	andésite	56.03	0.82	19.42	7.25	0.10	3.57	9.22	3.07	0.38	0.13	99.99	0.33	0.67	138							4.19	13	194	13	86.8	18		0.8	1.2	0.4	7.8
SPP-4.1	Pelletier	non-enrichie	basalte	48.54	0.75	16.46	12.24	0.17	7.38	12.14	2.21	0.03	0.07	99.99	0.38	0.62	16.2							1.72	0.6	132	13	32.2	5		0.6	0.6	0.4	1.8
SPP-5.1	Pelletier	non-enrichie	basalte	48.22	0.72	15.87	12.03	0.19	9.14	12.45	1.27	0.04	0.07	100.00	0.43	0.57	20.6							1.69	1.4	116	13	31.9	5		0.6	0.6	0.4	1.9
SPP-6.1	Pelletier	non-enrichie	basalte	46.51	0.76	16.83	12.13	0.20	8.33	13.70	1.46	0.00	0.07	99.99	0.41	0.59	8.09							1.53	0.2	122	13	32.7	5.1		0.5	0.6	0.4	1.8
SPP-8.1	Pelletier	non-enrichie	basalte	47.43	0.72	16.39	11.65	0.19	8.64	13.61	1.32	0.00	0.07	100.02	0.43	0.57	9.34							1.42	0.1	123	13	31.2	4.8		0.5	0.6	0.4	1.8
SPP-9.1	Pelletier	non-enrichie	basalte	46.21	0.74	17.16	11.38	0.17	8.20	14.68	1.03	0.14	0.07	99.98	0.41	0.59								4.2	162	14	31.4							
Z-4001	Rouyn	rhyolite sph	rhyolite sph	75.57	0.76	13.29	4.44		1.16	1.32	0.29	3.04	0.13	100.00	0.21	0.79				16	7		55	5.1	21	445	7	149	92	0.4	3.5	13	7.4	35
SPR-10.1	Rouyn	non-enrichie	basalte	48.73	1.30	13.65	15.26	0.26	5.99	13.44	1.14	0.11	0.13	100.01	0.28	0.72	22.7							2.14	1.9	132	22	53.2	9.3		1	1	0.7	3.4
SPR-4.1	Rouyn	non-enrichie	basalte	52.46	0.97	14.14	12.50	0.20	6.96	10.65	1.96	0.09	0.09	100.02	0.36	0.64	30.6							3.41	1.6	105	39	102	15		1.2	1.5	1.3	5.4
SPR-5.1	Rouyn	non-enrichie	basalte	52.19	1.45	13.57	14.44	0.24	5.44	11.09	1.42	0.02	0.17	100.00	0.27	0.73	13							4.15	0.5	146	35	98	16		1.1	1.7	1.1	6.2
SPR-6.1	Rouyn	non-enrichie	basalte	48.05	0.72	16.56	11.65	0.18	8.76	11.96	1.66	0.39	0.07	100.00	0.43	0.57	94.9							1.67	13	126	13	31.4	4.7		0.6	0.5	0.4	1.7
SPR-9.1	Rouyn	transitionnelle	andésite	58.57	1.00	13.38	9.84	0.19	5.54	7.40	3.77	0.18	0.11	99.98	0.36	0.64	37.6							6.49	4	89	64	183	26		1.4	3.6	2.1	9.4

sous-groupe Garrison (ancien nom de Goodwin 1977)

Echantillon	Bloc	Affinité	Lithologie	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Totale	Mg#	Fe#	Ba	Co	Cu	Cr	Ni	V	Zn	Nb	Rb	SR	Y	Zr	Ce	Cs	Eu	Hf	Ho	La
0614A	Despres	rhyolite	rhyolite	74.05	0.29	12.86	5.02	0.08	0.60	1.06	5.60	0.37	0.05	100.00	0.11	0.89	75		4		2	3	63	11	8	44	47	230						
1767B	Despres	enrichie	andésite	57.57	0.64	17.17	7.41	0.11	5.39	5.95	5.43	0.26	0.08	100.00	0.42	0.58	134	31	82		145	151	65	5.6	6.7	227	16	109	23	0.3	0.9	2.9	0.9	11
1798D	Despres	transitionnelle	andésite	57.01	1.30	14.79	10.48	0.15	4.68	6.76	4.58	0.09	0.14	100.00	0.31	0.69	74	30	115		35	307	69	6.2	3.2	101	24	119	24	0.3	1.2	3.1	1.1	11

APPENDIX D-iii: Analyses des sous-groupes non pas traités en profondeur dans le chapitre 4

sous-groupe Rouyn-Pelletier

Échantillon	Bloc	Affinité	Lu	Nd	Sc	Sm	Th	Tb	Tm	Yb	Zr/Y	La/Sm	Sm/Yb	Ce/Nb	La/Yb	Th/Yb	Nb/La	Nb/Zr	Nb/Y	Nb/Th	Th/Nb	MTM est	MTM nord
SPP-11.1	Pelletier	enrichie	0.16	9.53	2.3	0.9	0.4	0.2	1.2	6.61	3.48	1.91	4.24	6.64	0.73	0.54	0.05	0.32	4.87	0.21	341450	5348340	
SPP-4.1	Pelletier	non-enrichie	0.19	4.23	1.4	0.1	0.3	0.2	1.3	2.39	1.30	1.04	2.90	1.36	0.08	0.95	0.05	0.13	15.64	0.06	341530	5342680	
SPP-5.1	Pelletier	non-enrichie	0.19	4.18	1.4	0.1	0.3	0.2	1.3	2.40	1.37	1.09	2.97	1.49	0.09	0.89	0.05	0.13	15.36	0.07	341410	5342640	
SPP-6.1	Pelletier	non-enrichie	0.19	4.25	1.4	0.1	0.3	0.2	1.3	2.45	1.32	1.05	3.31	1.39	0.08	0.83	0.05	0.11	13.91	0.07	341350	5342570	
SPP-8.1	Pelletier	non-enrichie	0.18	4	1.3	0.1	0.3	0.2	1.2	2.47	1.37	1.04	3.37	1.43	0.08	0.80	0.05	0.11	14.20	0.07	341990	5342290	
SPP-9.1	Pelletier	non-enrichie																			341190	5342510	
Z-4001	Rouyn	rhyolite sph	2.7	63	17	3.4	4	2.6	17	21.29	1.67	1.24	18.03	2.06	0.20	0.15	0.03	0.73	1.50	0.67	341350	5340400	
SPR-10.1	Rouyn	non-enrichie	0.3	7.81	2.5	0.2	0.5	0.3	2.1	2.46	1.37	1.19	4.33	1.64	0.11	0.63	0.04	0.10	9.73	0.10	343750	5340840	
SPR-4.1	Rouyn	non-enrichie	0.54	12.1	3.9	0.5	0.9	0.6	3.9	2.62	1.38	1.02	4.39	1.40	0.12	0.63	0.03	0.09	7.10	0.14	343600	5340290	
SPR-5.1	Rouyn	non-enrichie	0.48	12	3.7	0.5	0.8	0.6	3.4	2.82	1.68	1.08	3.87	1.81	0.15	0.67	0.04	0.12	8.14	0.12	343440	5340670	
SPR-6.1	Rouyn	non-enrichie	0.18	4.04	1.3	0.1	0.3	0.2	1.3	2.40	1.32	1.04	2.83	1.37	0.09	0.96	0.05	0.13	15.18	0.07	343530	5340860	
SPR-9.1	Rouyn	transitionnelle	0.93	20.6	6.6	0.9	1.4	1.1	6.6	2.84	1.42	1.01	4.06	1.42	0.14	0.69	0.04	0.10	7.21	0.14	343030	5341480	

sous-groupe Garrison (ancien nom de Goodwin 1977)

Échantillon	Bloc	Affinité	Lu	Nd	Sc	Sm	Th	Tb	Tm	Yb	Zr/Y	La/Sm	Sm/Yb	Ce/Nb	La/Yb	Th/Yb	Nb/La	Nb/Zr	Nb/Y	Nb/Th	Th/Nb	MTM est	MTM nord	Lab #
0614A	Despres	rhyolite									4.89							0.05	0.23			310290	5365930	89 21403
1767B	Despres	enrichie	0.26	10	19	2.5	1.8	0.5	1.9	6.81	4.40	1.32	4.11	5.79	0.95	0.51	0.05	0.35	3.11	0.32	304040	5362610	89 21497	
1798D	Despres	transitionnelle	0.37	15	31	3.3	1.4	0.7	4.1	4.96	3.33	1.38	3.87	4.58	0.58	0.56	0.05	0.26	4.43	0.23	308580	5365900	89 21490	

APPENDIX E

Table of Kd's used in Modelling Program

APPENDIX E: Kd's for minerals used in modelling program (XSTALN)
 Kd's taken from the Geochemical Earth Reference Model (GERM) website
<http://www-ep.es.llnl.gov/germ/>

	Olivine		Orthopyroxene		Clinopyroxene		Plagioclase		K-feldspar		Apatite	
	GERM-b	GERM-a	GERM-b	GERM-a	GERM-b	GERM-a	GERM-b	GERM-a	GERM-b	GERM-a	GERM-b	GERM-a
Th	0.0220	0.0390	0.0130	0.0480	0.0220	0.0300	0.1300	0.1900	0.0070	0.0070		
Nb	0.0016	0.0065	0.0030	0.2700	0.0300	0.0300	0.0080	0.0450	0.0040	0.0040		
La	0.0004	0.0004	0.0019	0.0023	0.0500	0.2700	0.0750	0.1800	0.0520	0.0520	8.6000	2.9500
Ce	0.0038	0.0083	0.0035	0.0069	0.1700	0.2800	0.0620	0.1400	0.0390	0.0390	11.2000	16.6000
Sr	0.0080	0.0180	0.0070	0.1300	0.0700	0.0700	1.4000	3.5000	2.3000	2.3000		1.3500
Nd	0.0093	0.0110	0.0130	0.0270	0.2500	0.3500	0.0260	0.1200	0.0260	0.0260	14.0000	21.0000
Sm	0.0065	0.0280	0.0630	0.0890	0.5500	0.8000	0.0170	0.0830	0.0280	0.0280	14.6000	19.1000
Zr	0.0047	0.0110	0.0610	0.1300	0.2000	0.3300	0.0009	0.1500	0.0030	0.0030	0.6360	
Eu	0.0057	0.0230	0.0250	0.0860	0.5200	0.5500	0.4800	0.7900	1.2610	1.2610	9.6000	14.5000
Tb	0.0080	0.0350	0.1600	0.3200	0.5700	0.6800	0.0400	0.0610	0.0200	0.0200	15.4000	
Y	0.0180	0.0450	0.3600	0.4600	0.5000	2.4000	0.0100	0.0380	0.0170	0.0170		
Yb	0.0380	0.0710	0.3900	0.9200	0.5400	0.6500	0.0040	0.0140	0.0280	0.0280	8.1000	9.4000
Lu	0.0450	0.0810	0.6700	1.4000	0.5500	0.6000	0.0100	0.0200				2.2000
Ni			11.0000	7.3000	5.6000	8.4000	0.0600	0.3000				

GERM-b = basalt Kd's
 GERM-a = andesite Kd's

The basalt modelling program was ran for starting samples with <54% SiO₂ and was ended at 54% SiO₂
 The andesite modelling program was ran for starting composition over 54% SiO₂ or used the final liquid
 of the basalt modelling program as its starting composition

APPENDIX F

Calculated mineral chemistry for crystallizing phases (XSTALN)

F-i: Noranda tholeiitic basalt model

F-ii: Noranda tholeiitic basalt with rhyolite contaminant

F-iii: Noranda LREE-enriched andesite model

F-iv: Noranda LREE-enriched andesite with rhyolite contaminant

F-v: Noranda transitional basalt model

F-vi: Noranda transitional basalt with rhyolite contaminant

F-vii: Rouyn-Pelletier tholeiitic basalt model

F-viii: Rouyn-Pelletier tholeiitic basalt with LREE-enriched andesite contaminant

F-ix: Rouyn-Pelletier tholeiitic basalt with rhyolite contaminant

Mineral chemistry is given for the beginning of crystallization steps where the crystallizing phases changed (appearance or disappearance of a phase).

APPENDIX F-i: Calculated mineral chemistry for tholeiite crystallization model, Noranda subgroup
Oxides in wt%, Traces & REE in ppm

STEP LEGEND	1: Ol & Plag			2: Cpx & Opx in			3: Mt in			4: Ilm in & Opx out						7: Ol out				
	Ol	Plag	Ol	Cpx	Opx	Plag	Ol	Cpx	Opx	Plag	Mt	Ol	Cpx	Plag	Mt	Ilm	Cpx	Plag	Mt	Ilm
SiO2	38.4	50.7	37.87	50.1	65.78	50.94	37.46	48.91	65.83	51.11	0.27	38.1	44.69	51.94	0.27	0.51	44.16	58.45	0.27	0.51
TiO2	0	0	0	0.45	0	0	0	0.52	0	0	0	0	0.92	0	0	50.27	0.98	0	0	50.27
Al2O3	0	31.57	0	5.98	0.1	31.4	0	7.54	0.12	31.29	0.21	0	14.29	30.7	0.21	0	13.37	26.32	0.21	0
Fe2O3	25.08	0	28.14	9.43	0.24	0	30.55	9.95	0.26	0	102.94	26.38	7.27	0	102.94	51.31	13.62	0	102.94	51.31
MnO	0.37	0	0.42	0	0.46	0	0.47	0	0.47	0	0	0.81	0	0	0	0	1.45	0	0	1.45
MgO	38.59	0	36.32	13.53	27.49	0	34.53	12.47	25.77	0	0	37.31	9.62	0	0	0.46	9.62	0	0	0.46
CaO	0	14.22	0	21.2	5.86	14.02	0	21.35	7.53	13.89	0	0	23.66	13.21	0	0.71	19.35	8.08	0	0.71
Na2O	0	3.48	0	0.24	0.03	3.59	0	0.24	0.03	3.67	0	0	0.26	4.06	0	0	0.25	7.07	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOI	0.02	0.02	0.1	0.1	0.1	0.1	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.02	0.02	0.02	0.02	0.51	0.51	0.51	0.51
TOTAL	102.46	99.99	102.85	101.03	100.06	100.05	103.16	101.13	100.16	100.11	103.57	102.62	100.73	99.93	103.44	104.73	101.86	100.43	103.93	105.22
Ni	600.4	2.55	403.6	133.8	261.6	1.43	297.6	86.82	169.7	0.93	0	131.6	42.75	1.53	0	0	1.79	0.06	0	0
Sr	1.24	216.8	1.27	11.11	1.11	222.1	1.3	11.35	1.13	227	0	3.36	13.05	652.1	0	0	10.27	513.1	0	0
Y	0.46	0.25	0.49	13.7	9.82	0.27	0.52	14.47	10.37	0.29	0	1.59	84.71	1.34	0	0	78.29	1.24	0	0
Zr	0.35	0.07	0.38	16.02	4.86	0.07	0.4	16.99	5.16	0.08	0	1.18	35.45	16.1	0	0	61.16	27.79	0	0
Nb	0.01	0.04	0.01	0.18	0.02	0.05	0.01	0.19	0.02	0.05	0	0.05	0.25	0.37	0	0	0.48	0.72	0	0
Th	0.01	0.06	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.01	0.06	0	0.02	0.12	0.12	0	0	0.04	0.23	0	0
La	0	0.47	0	0.34	0.01	0.51	0	0.36	0.02	0.54	0	0	2.48	1.65	0	0	4.33	2.89	0	0
Ce	0.05	0.88	0.06	2.61	0.05	0.95	0.06	2.76	0.06	1.01	0	0.17	5.74	2.87	0	0	10.09	5.04	0	0
Nd	0.1	0.29	0.11	3.01	0.16	0.31	0.12	3.19	0.17	0.33	0	0.18	5.61	1.92	0	0	9.7	3.32	0	0
Sm	0.02	0.05	0.02	1.63	0.19	0.05	0.02	1.72	0.2	0.05	0	0.11	3.05	0.32	0	0	4.61	0.48	0	0
Eu	0.01	0.49	0.01	0.56	0.03	0.52	0.01	0.58	0.03	0.54	0	0.03	0.73	1.04	0	0	0.99	1.43	0	0
Tb	0.01	0.03	0.01	0.44	0.12	0.03	0.01	0.47	0.13	0.03	0	0.03	0.68	0.06	0	0	1.07	0.1	0	0
Yb	0.1	0.01	0.1	1.48	1.06	0.01	0.11	1.56	1.12	0.01	0	0.25	2.28	0.05	0	0	3.68	0.08	0	0
Lu	0.02	0	0.02	0.24	0.29	0	0.02	0.25	0.31	0	0	0.05	0.33	0.01	0	0	0.55	0.02	0	0

APPENDIX F-ii: Calculated mineral chemistry tholeiitic crystallization model with rhyolite contaminant, Noranda subgroup Oxides in wt%, Traces & REE in ppm

STEP LEGEND	1: Ol & Plag				2: Cpx & Opx in				3: Mt in & Opx out				5: Ilm in				7: Ol out						
	Ol	Plag	Opx	Plag	Ol	Cpx	Opx	Plag	Ol	Cpx	Opx	Plag	Mt	Ol	Cpx	Plag	Mt	Ilm	Cpx	Plag	Mt	Ilm	
SiO2	38.4	50.7	37.87	50.1	65.78	50.94	37.46	48.97	51.11	0.27	37.29	43.21	53.08	0.27	0.51	40.8	58.38	0.27	0.51	40.8	58.38	0.27	0.51
TiO2	0	0	0	0.45	0	0	0	0.51	0	0	0	0	0	0	0	0.91	0	0	50.27	0	0	0	50.27
Al2O3	0	31.57	0	5.98	0.1	31.4	0	7.46	31.29	0.21	0	16.01	29.95	0.21	0	19.18	26.38	0.21	0	19.18	26.38	0.21	0
Fe2O3	25.08	0	28.14	9.43	0.24	0	30.51	9.96	0	102.94	31.31	9.26	0	102.94	51.31	11.62	0	102.94	51.31	11.62	0	102.94	51.31
MnO	0.37	0	0.42	0	0.46	0	0.47	0	0	0	0.75	0	0	0	1.45	0	0	0	1.45	0	0	0	1.45
MgO	38.59	0	36.32	13.53	27.49	0	34.56	12.51	0	0	33.75	8.49	0	0	0.46	7.23	0	0	0.46	7.23	0	0	0.46
CaO	0	14.22	0	21.2	5.86	14.02	0	21.32	13.89	0	0	22.75	12.32	0	0.71	21.07	8.14	0	0.71	21.07	8.14	0	0.71
Na2O	0	3.48	0	0.24	0.03	3.59	0	0.24	3.67	0	0	0.26	4.59	0	0	0.27	7.04	0	0	0.27	7.04	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOI	0.02	0.02	0.1	0.1	0.1	0.1	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TOTAL	102.46	99.99	102.85	101.03	100.06	100.05	103.14	101.11	100.11	100.1	103.56	103.1	100.89	99.94	103.42	104.71	101.16	99.95	103.43	104.72	103.43	104.72	104.72
Ni	600.4	2.55	403.6	133.8	261.6	1.43	300.5	88.01	0.94	0	117.1	32.76	1.17	0	0	6.07	0.22	0	0	6.07	0.22	0	0
Sr	1.24	216.8	1.27	11.11	1.11	222.1	1.3	11.36	227.2	0	2.8	10.9	54.7	0	0	8.72	436	0	0	8.72	436	0	0
Y	0.46	0.25	0.49	13.7	9.82	0.27	0.52	14.46	0.29	0	1.43	76.5	1.21	0	0	73.15	1.16	0	0	73.15	1.16	0	0
Zr	0.35	0.07	0.38	16.02	4.86	0.07	0.4	16.98	0.08	0	1.5	45.12	20.5	0	0	71.49	32.49	0	0	71.49	32.49	0	0
Nb	0.01	0.04	0.01	0.18	0.02	0.05	0.01	0.19	0.05	0	0.06	0.27	0.41	0	0	0.4	0.6	0	0	0.4	0.6	0	0
Th	0.01	0.06	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.06	0	0.04	0.03	0.19	0	0	0.05	0.34	0	0	0.05	0.34	0	0
La	0	0.47	0	0.34	0.01	0.51	0	0.36	0.54	0	2.94	1.96	0	0	4.43	2.95	0	0	4.43	2.95	0	0	0
Ce	0.05	0.88	0.06	2.61	0.05	0.95	0.06	2.76	1.01	0	0.21	6.92	3.46	0	0	10.57	5.28	0	0	10.57	5.28	0	0
Nd	0.1	0.29	0.11	3.01	0.16	0.31	0.12	3.19	0.33	0	0.19	6.18	2.12	0	0	8.63	2.96	0	0	8.63	2.96	0	0
Sm	0.02	0.05	0.02	1.63	0.19	0.05	0.02	1.72	0.05	0	0.12	3.35	0.35	0	0	4.48	0.46	0	0	4.48	0.46	0	0
Eu	0.01	0.49	0.01	0.56	0.03	0.52	0.01	0.58	0.54	0	0.03	0.72	1.03	0	0	0.83	1.19	0	0	0.83	1.19	0	0
Tb	0.01	0.03	0.01	0.44	0.12	0.03	0.01	0.47	0.03	0	0.04	0.69	0.06	0	0	0.86	0.08	0	0	0.86	0.08	0	0
Yb	0.1	0.01	0.1	1.48	1.06	0.01	0.11	1.56	0.01	0	0.26	2.4	0.05	0	0	3.1	0.07	0	0	3.1	0.07	0	0
Lu	0.02	0	0.02	0.24	0.29	0	0.02	0.25	0	0	0.05	0.36	0.01	0	0	0.47	0.02	0	0	0.47	0.02	0	0

APPENDIX F-iii: Calculated mineral chemistry crystallization
of LREE-enriched andesite, Noranda subgroup

Oxides in wt%, Traces & REE in ppm

STEP	1: Ol, Cpx, Plag & Mt in				3: Ilm in				
LEGEND	Ol	Cpx	Plag	Mt	Ol	Cpx	Plag	Mt	Ilm
SiO2	38.72	50.85	52.52	0.27	37.29	48.84	55.52	0.27	0.51
TiO2	0	0.46	0	0	0	0.94	0	0	50.27
Al2O3	0	5.22	30.33	0.21	0	6.65	28.32	0.21	0
Fe2O3	23.06	8.42	0	102.94	31.47	12.19	0	102.94	51.31
MnO	0.37	0	0	0	0.6	0	0	0	1.45
MgO	39.96	14.8	0	0	33.75	13.13	0	0	0.46
CaO	0	20.75	12.76	0	0	19.21	10.41	0	0.71
Na2O	0	0.24	4.33	0	0	0.24	5.71	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOI	0.02	0.02	0.02	0.02	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
TOTAL	102.13	100.76	99.96	103.44	103.44	101.53	100.29	103.75	105.04
Ni	1390	617.4	22.06	0	358.7	103.6	3.7	0	0
Sr	2.83	11	549.9	0	1.78	6.92	346.1	0	0
Y	0.77	41.08	0.65	0	0.98	52.15	0.83	0	0
Zr	1.3	38.88	17.67	0	1.8	54.08	24.58	0	0
Nb	0.04	0.19	0.29	0	0.06	0.28	0.42	0	0
Th	0.06	0.05	0.31	0	0.09	0.07	0.43	0	0
La	0	2.99	1.99	0	0.01	4.15	2.76	0	0
Ce	0.23	7.61	3.81	0	0.32	10.64	5.32	0	0
Nd	0.17	5.29	1.81	0	0.23	7.4	2.54	0	0
Sm	0.08	2.34	0.24	0	0.11	3.21	0.33	0	0
Eu	0.02	0.55	0.8	0	0.03	0.65	0.94	0	0
Tb	0.02	0.39	0.04	0	0.03	0.54	0.05	0	0
Yb	0.11	1.05	0.02	0	0.16	1.47	0.03	0	0
Lu	0.02	0.15	0.01	0	0.03	0.21	0.01	0	0

APPENDIX F-iv: Calculated mineral chemistry, crystallization of LREE enriched andesite with rhyolite contaminant, Noranda subgroup
Oxides in wt%, Traces & REE in ppm

STEP	1: Ol, Cpx, Plag & Mt in				4: Ilm in & Mt out				6: Ol out			
	Ol	Cpx	Plag	Mt	Ol	Cpx	Plag	Ilm	Ol	Cpx	Plag	Ilm
SiO2	38.72	50.85	52.52	0.27	37.31	43.26	55.28	0.51	39.92	61.33	0.51	0.51
TiO2	0	0.46	0	0	0	1.03	0	50.27	1.11	0	50.27	0
Al2O3	0	5.22	30.33	0.21	0	15.65	28.47	0	18.57	24.39	0	0
Fe2O3	23.06	8.42	0	102.94	31.24	10.07	0	51.31	17.29	0	51.31	0
MnO	0.37	0	0	0	0.63	0	0	1.45	0	0	1.45	0
MgO	39.96	14.8	0	0	33.9	8.86	0	0.46	6.69	0	0.46	0
CaO	0	20.75	12.76	0	0	21.86	10.6	0.71	17.87	5.82	0.71	0
Na2O	0	0.24	4.33	0	0	0.26	5.6	0	0.26	8.4	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOI	0	0	0	0	0.04	0.04	0.04	0.04	0.15	0.15	0.15	0.15
TOTAL	102.11	100.74	99.94	103.42	103.12	101.03	99.99	104.75	101.86	100.09	104.86	104.86
Ni	1390	617.4	22.06	0	329.1	67.42	2.41	0	3.66	0.13	0	0
Sr	2.83	11	549.9	0	1.98	7.7	385	0	6.44	322	0	0
Y	0.77	41.08	0.65	0	1.06	56.74	0.9	0	59.04	0.93	0	0
Zr	1.3	38.88	17.67	0	1.98	59.25	26.93	0	79.29	36.03	0	0
Nb	0.04	0.19	0.29	0	0.06	0.29	0.43	0	0.39	0.59	0	0
Th	0.06	0.05	0.31	0	0.09	0.07	0.42	0	0.09	0.55	0	0
La	0	2.99	1.99	0	0.01	4.15	2.76	0	5.34	3.56	0	0
Ce	0.23	7.61	3.81	0	0.31	10.46	5.23	0	13.39	6.69	0	0
Nd	0.17	5.29	1.81	0	0.23	7.32	2.51	0	9.34	3.2	0	0
Sm	0.08	2.34	0.24	0	0.12	3.44	0.36	0	4.34	0.45	0	0
Eu	0.02	0.55	0.8	0	0.03	0.66	0.95	0	0.75	1.08	0	0
Tb	0.02	0.39	0.04	0	0.03	0.57	0.05	0	0.72	0.06	0	0
Yb	0.11	1.05	0.02	0	0.19	1.73	0.04	0	2.32	0.05	0	0
Lu	0.02	0.15	0.01	0	0.03	0.25	0.01	0	0.35	0.01	0	0

APPENDIX F-v: Calculated mineral chemistry, crystallization of transitional andesite, Noranda subgroup
Oxides in wt%, Traces & REE in ppm

SAMPLE LEGEND	1: Ol & Plag						2: Cpx & Opx in						5: Mt & Ilm in						8: Ol & Opx out																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	Ol	Plag	Ol	Plag	Opx	Ilm	Ol	Plag	Opx	Ilm	Opx	Plag	Mt	Ilm	Ol	Plag	Opx	Ilm	Ol	Plag	Opx	Ilm	Mt	Plag	Opx	Ilm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
SiO2	39.77	48.71	39.32	50.04	63.45	48.84	37.76	43.71	63.99	49.8	0.27	0.51	38.36	57.27	0.27	0.51	TiO2	0	0	0	0.32	0	0	0	0.6	0	0	0	50.27	0	50.27	Al2O3	0	32.91	0	7.17	0.11	32.8	0	15.95	0.19	32.16	0	102.94	51.31	0	102.94	Fe2O3	16.84	0	19.5	6.23	0.17	0	28.77	8.63	0.21	0	0	0	1.45	0	1.45	MnO	0.23	0	0.27	0	0.39	0	0.43	0	0.47	0	0	0	0.46	0	0.46	MgO	44.47	0	42.57	14.12	29.92	0	35.84	8.85	24.28	0	0	0	0.71	0	0.71	CaO	0	15.8	0	22.35	5.81	15.66	0	22.83	10.82	14.9	0	17.1	9.02	0	17.1	Na2O	0	2.56	0	0.24	0.03	2.63	0	0.26	0.03	3.07	0	0	6.52	0	6.52	K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	LOI	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.61	0.61	0.61	TOTAL	101.33	100	101.68	100.49	99.9	99.95	103.09	101.12	100.28	100.22	103.71	105	102.42	100.55	104.03	NI	2853	14.51	2070	1202	1041	42.96	476	172.9	149.5	6.17	0	0	4.78	0.17	0	Sr	1.24	217.3	2.88	11.18	20.68	559.3	2.47	9.6	17.74	479.8	0	0	9.03	451.2	0	Y	0.29	0.16	0.79	41.86	7.99	0.66	0.81	42.96	8.2	0.68	0	0	36.92	0.58	0	Zr	0.37	0.07	0.94	28.09	11.02	12.78	1.22	36.55	14.33	16.61	0	0	58.76	26.7	0	Nb	0.01	0.04	0.03	0.15	1.32	0.22	0.04	0.2	1.8	0.3	0	0	0.36	0.54	0	Th	0.02	0.11	0.04	0.03	0.04	0.17	0.05	0.04	0.06	0.23	0	0	0.06	0.4	0	La	0	0.48	0	1.85	0.02	1.24	0	2.42	0.02	1.62	0	0	3.96	2.64	0	Ce	0.05	0.87	0.13	4.27	0.1	2.14	0.17	5.61	0.14	2.8	0	0	9.21	4.6	0	Nd	0.06	0.16	0.07	2.29	0.18	0.79	0.09	2.99	0.23	1.02	0	0	4.82	1.65	0	Sm	0.01	0.04	0.07	1.92	0.21	0.2	0.08	2.38	0.26	0.25	0	0	3.37	0.35	0	Eu	0	0.34	0.02	0.41	0.06	0.59	0.02	0.48	0.07	0.69	0	0	0.64	0.93	0	Tb	0	0.01	0.01	0.22	0.1	0.02	0.01	0.28	0.13	0.03	0	0	0.41	0.04	0	Yb	0.06	0.01	0.12	1.13	1.6	0.02	0.16	1.42	2	0.03	0	0	2.07	0.04	0	Lu	0.01	0	0.02	0.16	0.36	0.01	0.03	0.2	0.46	0.01	0	0	0.29	0.01	0

APPENDIX F-vi: Calculated mineral chemistry, crystallization of transitional basalt with rhyolite contaminant, Noranda subgroup
Oxides in wt%, Traces & REE in ppm

STEP LEGEND	1: Ol & Plag				2: Cpx & Opx in				5: Mt & Ilm in				8: Ol out				9: Mt out							
	Ol	Plag	Ol	Plag	Opx	Cpx	Ol	Plag	Opx	Cpx	Ilm	Mt	Plag	Opx	Ilm	Mt	Plag	Opx	Ilm	Mt	Plag	Opx	Ilm	
SiO2	39.77	48.71	39.32	50.04	63.45	48.84	37.97	43.86	63.65	49.95	0.27	0.51	38.57	55.6	0.27	0.51	38.57	55.6	0.27	0.51	41.59	65.12	0.51	50.27
TiO2	0	0	0	0.32	0	0	0	0.57	0	0	0	0	0.56	0	0	0	0.56	0	0	0	0.45	0	0	50.27
Al2O3	0	32.91	0	7.17	0.11	32.8	0	15.93	0.19	32.05	0.21	0	23.22	28.25	0.21	0	23.22	28.25	0.21	0	15.46	21.84	0	0
Fe2O3	16.84	0	19.5	6.23	0.17	0	27.48	8.13	0.2	102.94	51.31	0	11.84	0	102.94	51.31	11.84	0	102.94	51.31	25.22	0	51.31	0
MnO	0.23	0	0.27	0	0.39	0	0.42	0	0.44	0	0	0	0	0	0	0	1.45	0	0	0	1.45	0	0	1.45
MgO	44.47	0	42.57	14.12	29.92	0	36.78	8.98	24.51	0	0	0	5.45	0	0	0	0.46	5.45	0	0	9.52	0	0.46	0
CaO	0	15.8	0	22.35	5.81	15.66	0	23.06	10.98	14.79	0	0.71	21.25	10.34	0	0.71	21.25	10.34	0	0.71	10	2.83	0.71	0
Na2O	0	2.56	0	0.24	0.03	2.63	0	0.26	0.03	3.14	0	0	0.27	5.75	0	0	0.27	5.75	0	0	0.25	10.15	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOI	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.29	0.29	0.21	0.21	0.29	0.29	0.21	0.21	0.44	0.44	0.44	0.44
TOTAL	101.33	100	101.68	100.49	99.9	99.95	102.86	101	100.21	100.14	103.63	104.92	101.45	100.23	103.71	105	102.93	100.38	105.15	102.93	100.38	105.15	105.15	105.15
Ni	2853	14.51	2070	1202	1041	42.96	580.5	211.9	183.4	7.57	0	0	16.55	0.59	0	0	16.55	0.59	0	0	5.73	0.2	0	0
Sr	1.24	217.3	2.88	11.18	20.68	559.3	2.45	9.5	17.57	474.9	0	0	8.46	422.9	0	0	8.46	422.9	0	0	7.86	392.8	0	0
Y	0.29	0.16	0.79	41.86	7.99	0.66	0.85	45.23	8.63	0.72	0	0	49.02	0.78	0	0	49.02	0.78	0	0	43.84	0.69	0	0
Zr	0.37	0.07	0.94	28.09	11.02	12.78	1.27	38.04	14.92	17.29	0	0	63.83	29	0	0	63.83	29	0	0	76.56	34.79	0	0
Nb	0.01	0.04	0.03	0.15	1.32	0.22	0.04	0.2	1.81	0.3	0	0	0.33	0.49	0	0	0.33	0.49	0	0	0.42	0.62	0	0
Th	0.02	0.11	0.04	0.03	0.04	0.17	0.05	0.04	0.06	0.23	0	0	0.06	0.39	0	0	0.06	0.39	0	0	0.08	0.49	0	0
La	0	0.48	0	1.85	0.02	1.24	0	2.48	0.02	1.65	0	0	3.98	2.65	0	0	3.98	2.65	0	0	4.8	3.2	0	0
Ce	0.05	0.87	0.13	4.27	0.1	2.14	0.17	5.76	0.14	2.88	0	0	9.4	4.7	0	0	9.4	4.7	0	0	11.37	5.68	0	0
Nd	0.06	0.16	0.07	2.29	0.18	0.79	0.1	3.18	0.24	1.09	0	0	5.71	1.96	0	0	5.71	1.96	0	0	6.84	2.35	0	0
Sm	0.01	0.04	0.07	1.92	0.21	0.2	0.09	2.46	0.27	0.25	0	0	3.62	0.38	0	0	3.62	0.38	0	0	4.08	0.42	0	0
Eu	0	0.34	0.02	0.41	0.06	0.59	0.02	0.49	0.08	0.7	0	0	0.64	0.91	0	0	0.64	0.91	0	0	0.7	1	0	0
Tb	0	0.01	0.01	0.22	0.1	0.02	0.02	0.3	0.14	0.03	0	0	0.49	0.04	0	0	0.49	0.04	0	0	0.57	0.05	0	0
Yb	0.06	0.01	0.12	1.13	1.6	0.02	0.16	1.46	2.06	0.03	0	0	2.2	0.05	0	0	2.2	0.05	0	0	2.54	0.05	0	0
Lu	0.01	0	0.02	0.16	0.36	0.01	0.03	0.2	0.47	0.01	0	0	0.32	0.01	0	0	0.32	0.01	0	0	0.37	0.01	0	0

APPENDIX F-vii: Calculated mineral chemistry, crystallization model for tholeiitic basalt, Rouyn-Pelletier subgroup
Oxides in wt%, Traces & REE in ppm

STEP #	1: Ol in			2: Cpx & Plag in			3: Opx & Mt in			4: Ilm in							
	LEGEND	Ol	Plag	Ol	Cpx	Plag	Ol	Cpx	Opx	Plag	Mt	Ol	Cpx	Opx	Plag	Mt	Ilmen
SiO2	39.64	39.28	51.17	47.41	37.99	51.02	65.91	48.82	0.27	37.29	49.78	66.36	49.55	0.27	0.51	0.51	0.51
TiO2	0	0	0.22	0	0	0.38	0	0	0	0	0.54	0	0	0	0	0	0
Al2O3	0	0	5.58	33.8	0	4.69	0.09	32.84	0.21	0	5.97	0.1	32.35	0.21	0	0	0
Fe2O3	17.87	20.02	6.23	0	27.49	9.3	0.24	0	102.94	31.53	10.67	0.27	0	102.94	51.31	0	0
MnO	0.22	0.26	0	0	0.38	0	0.48	0	0	0.48	0	0.57	0	0	1.45	0	0
MgO	44.04	42.45	14.7	0	36.88	14.18	28.36	0	0	33.85	13.1	25.95	0	0	0.46	0	0
CaO	0	0	22.48	16.82	0	21.11	4.91	15.7	0	0	20.76	6.73	15.13	0	0.71	0	0
Na2O	0	0	0.24	1.95	0	0.23	0.03	2.61	0	0	0.24	0.03	2.95	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOI	0.02	0.06	0.06	0.06	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
TOTAL	101.79	102.07	100.68	100.04	103.17	101.34	100.45	100.4	103.85	103.7	101.61	100.56	100.53	103.97	105.26	105.26	105.26
Sr	1.02	1.06	9.32	186.3	1.11	9.68	0.96	193.5	0	1.21	10.54	1.05	210.8	0	0	0	0
Y	0.24	0.25	6.9	0.14	0.39	10.82	7.76	0.22	0	0.48	13.33	9.54	0.27	0	0	0	0
Zr	0.15	0.16	6.61	0.03	0.25	10.73	3.26	0.05	0	0.32	13.51	4.1	0.06	0	0	0	0
Nb	0	0	0.05	0.01	0	0.09	0.01	0.02	0	0.01	0.11	0.01	0.03	0	0	0	0
Th	0	0	0	0.02	0	0	0	0.02	0	0.01	0.01	0	0.03	0	0	0	0
La	0	0	0.09	0.14	0	0.15	0.01	0.22	0	0	0.19	0.01	0.28	0	0	0	0
Ce	0.02	0.02	0.85	0.31	0.03	1.35	0.03	0.49	0	0.04	1.69	0.03	0.62	0	0	0	0
Nd	0.04	0.04	1.06	0.11	0.06	1.7	0.09	0.18	0	0.08	2.13	0.11	0.22	0	0	0	0
Sm	0.01	0.01	0.76	0.02	0.01	1.19	0.14	0.04	0	0.02	1.46	0.17	0.05	0	0	0	0
Eu	0	0	0.31	0.29	0	0.42	0.02	0.39	0	0.01	0.49	0.02	0.45	0	0	0	0
Tb	0	0	0.17	0.01	0	0.27	0.08	0.02	0	0	0.33	0.09	0.02	0	0	0	0
Yb	0.05	0.05	0.72	0.01	0.08	1.13	0.81	0.01	0	0.1	1.38	0.99	0.01	0	0	0	0
Lu	0.01	0.01	0.1	0	0.01	0.16	0.2	0	0	0.02	0.2	0.24	0	0	0	0	0

APPENDIX F-viii: Calculated mineral chemistry, crystallization model for Rouyn-Pelletier subgroup tholeiitic basalt with Noranda subgroup LREE-enriched andesite contaminant oxides in wt%, Traces & REE in ppm

STEP #	1: Ol in			2: Cpx & Plag in			3: Opx, Plag & Mt in			4: Ilm in			5: Opx out							
	Ol	Cpx	Plag	Ol	Cpx	Plag	Ol	Cpx	Plag	Ol	Cpx	Plag	Ol	Cpx	Plag	Mt	Ilmen	Mt	Ilmen	
SiO2	39.64	39.28	51.17	47.41	38.19	50.94	65.53	50.04	0.27	37.89	50.25	65.61	50.57	0.27	0.51	37.72	49.95	50.79	0.27	0.51
TiO2	0	0	0.22	0	0	0.45	0	0	0	0	0.54	0	0	0	0	0	0.54	0	0	50.27
Al2O3	0	0	5.58	33.8	0	4.87	0.09	32.03	0.21	0	5.66	0.1	31.67	0.21	0	0	6.01	31.52	0.21	0
Fe2O3	17.87	20.02	6.23	0	26.35	8.88	0.23	0	102.94	27.95	9.36	0.24	0	102.94	51.31	28.99	9.74	0	102.94	51.31
MnO	0.22	0.26	0	0	0.43	0	0.48	0	0	0.49	0	0.51	0	0	1.45	0.52	0	0	0	1.45
MgO	44.04	42.45	14.7	0	37.68	14.28	28.54	0	0	36.45	13.72	27.34	0	0	0.46	35.65	13.44	0	0	0.46
CaO	0	0	22.48	16.82	0	21.24	5.1	14.73	0	0	21.16	6.12	14.31	0	0.71	0	21.06	14.15	0	0.71
Na2O	0	0	0.24	1.95	0	0.23	0.03	3.17	0	0	0.24	0.03	3.42	0	0	0	0.24	3.52	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOI	0.02	0.05	0.05	0.05	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Total	101.79	102.06	100.67	100.03	103	101.24	100.35	100.32	103.77	103.19	101.34	100.36	100.38	103.83	105.12	103.33	101.43	100.43	103.87	105.16
Sr	1.02	1.06	9.32	186.3	1.13	9.92	0.93	198.4	0	1.19	10.38	1.03	207.5	0	0	1.22	10.64	212.8	0	0
Y	0.24	0.25	6.9	0.14	0.4	11.15	7.99	0.22	0	0.44	12.27	8.79	0.25	0	0	0.46	12.88	0.26	0	0
Zr	0.15	0.16	6.61	0.03	0.33	14.05	4.26	0.06	0	0.38	16.02	4.86	0.07	0	0	0.4	16.95	0.08	0	0
Nb	0	0	0.05	0.01	0.01	0.11	0.01	0.03	0	0.01	0.13	0.01	0.04	0	0	0.01	0.14	0.04	0	0
Ta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Th	0	0	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0	0.01	0.01	0.01	0.07	0	0	0.01	0.01	0.08	0	0
La	0	0	0.09	0.14	0	0.24	0.01	0.36	0	0.28	0.01	0.41	0.41	0	0	0.29	0.44	0.44	0	0
Ce	0.02	0.02	0.85	0.31	0.05	2.08	0.04	0.76	0	0.05	2.4	0.05	0.88	0	0	0.06	2.54	0.93	0	0
Nd	0.04	0.04	1.06	0.11	0.08	2.23	0.12	0.23	0	0.09	2.54	0.13	0.26	0	0	0.1	2.68	0.28	0	0
Sm	0.01	0.01	0.76	0.02	0.02	1.35	0.15	0.04	0	0.02	1.5	0.17	0.05	0	0	0.02	1.58	0.05	0	0
Eu	0	0	0.31	0.29	0.01	0.46	0.02	0.42	0	0.01	0.5	0.02	0.45	0	0	0.01	0.51	0.47	0	0
Tb	0	0	0.17	0.01	0	0.3	0.08	0.02	0	0.033	0.09	0.02	0.02	0	0	0.035	0.02	0.02	0	0
Yb	0.05	0.05	0.72	0.01	0.08	1.16	0.83	0.01	0	0.09	1.27	0.91	0.01	0	0	0.09	1.33	0.01	0	0
Lu	0.01	0.01	0.1	0	0.01	0.17	0.2	0	0	0.02	0.19	0.22	0	0	0	0.02	0.19	0.01	0	0

APPENDIX F-ix: Calculated mineral chemistry, crystallization of Rouyn-Pelletier subgroup tholeiitic basalt contaminated with Noranda subgroup rhyolite Oxides in wt%, Traces & REE in ppm

SAMPLE LEGEND	1: Ol in			2: Cpx & Plag in			3: Opx & Mt in			4: Ilm in					
	Ol	Cpx	Plag	Ol	Cpx	Plag	Ol	Cpx	Plag	Ol	Cpx	Plag	Mt	Ilm	
SiO2	39.64	39.28	51.17	47.41	38.25	50.1	65.06	49.5	0.27	38.02	49.31	65.04	49.91	0.27	0.51
TiO2	0	0	0.22	0	0	0.38	0	0	0	0	0.44	0	0	0	50.27
Al2O3	0	0	5.58	33.8	0	6.38	0.1	32.39	0.21	0	7.42	0.11	32.1	0.21	0
Fe2O3	17.87	20.02	6.23	0	25.99	8.49	0.22	0	102.94	27.31	8.85	0.23	0	102.94	51.31
MnO	0.22	0.26	0	0	0.37	0	0.4	0	0	0.41	0	0.42	0	0	1.45
MgO	44.04	42.45	14.7	0	37.99	13.7	27.81	0	0	37	13.07	26.75	0	0	0.46
CaO	0	0	22.48	16.82	0	21.55	6.38	15.15	0	0	21.55	7.43	14.85	0	0.71
Na2O	0	0	0.24	1.95	0	0.24	0.03	2.93	0	0	0.24	0.03	3.12	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOI	0.02	0.05	0.05	0.05	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
TOTAL	101.79	102.06	100.67	100.03	102.89	101.13	100.29	100.26	103.71	103.07	101.21	100.34	100.31	103.75	105.04
Sr	1.02	1.06	9.32	186.3	1.05	9.16	0.91	183.2	0	1.07	9.35	0.93	187	0	0
Y	0.24	0.25	6.9	0.14	0.4	11.07	7.94	0.22	0	0.43	11.98	8.59	0.24	0	0
Zr	0.15	0.16	6.61	0.03	0.37	15.81	4.8	0.07	0	0.42	17.81	5.41	0.08	0	0
Nb	0	0	0.05	0.01	0.01	0.12	0.01	0.03	0	0.01	0.13	0.01	0.04	0	0
Th	0	0	0	0.02	0.01	0.01	0.01	0.06	0	0.01	0.01	0.01	0.07	0	0
La	0	0	0.09	0.14	0	0.24	0.01	0.36	0	0	0.28	0.01	0.41	0	0
Ce	0.02	0.02	0.85	0.31	0.05	2.07	0.04	0.75	0	0.05	2.34	0.05	0.85	0	0
Nd	0.04	0.04	1.06	0.11	0.08	2.2	0.11	0.23	0	0.09	2.44	0.13	0.25	0	0
Sm	0.01	0.01	0.76	0.02	0.02	1.41	0.16	0.04	0	0.02	1.55	0.18	0.05	0	0
Eu	0	0	0.31	0.29	0	0.44	0.02	0.4	0	0.01	0.47	0.02	0.43	0	0
Tb	0	0	0.17	0.01	0	0.3	0.08	0.02	0	0	0.33	0.09	0.02	0	0
Yb	0.05	0.05	0.72	0.01	0.09	1.24	0.89	0.01	0	0.09	1.35	0.97	0.01	0	0
Lu	0.01	0.01	0.1	0	0.02	0.19	0.22	0	0	0.02	0.2	0.25	0	0	0

APPENDIX G

Binary Mixing Models between Tholeiites and a Rhyolite of the Noranda sub-group, Parameters and Results (BINMIX)

- G-i: Mixing of a rhyolite with the starting composition tholeiitic andesite from the crystallization modelling.
- G-ii: Mixing of a rhyolite with the most primitive tholeiitic basalt in the Noranda sub-group.

Appendix G-i: Parameters and results of the binary mixing model between the tholeiitic andesite used as the starting composition for the crystallization models and a rhyolite of the Noranda sub-group (BINMIX: D. Francis, McGill University, Montréal, Canada) (Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

SAMPLE LEGEND	Percent of Rhyolite magma mixed with the Tholeiite										1320A Rhyolite
	0159A Tholeiite	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	
SiO ₂	49.72	52.24	54.75	57.27	59.77	62.3	64.82	67.32	69.85	72.35	74.88
TiO ₂	1.13	1.06	0.98	0.91	0.83	0.76	0.69	0.61	0.54	0.46	0.39
Al ₂ O ₃	15.52	15.22	14.92	14.62	14.32	14.02	13.71	13.41	13.11	12.81	12.51
Fe ₂ O ₃	13.9	12.87	11.84	10.82	9.79	8.76	7.73	6.7	5.68	4.65	3.62
MnO	0.25	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.05
MgO	6.5	5.91	5.33	4.74	4.15	3.57	2.98	2.39	1.8	1.22	0.63
CaO	9.44	8.76	8.08	7.4	6.72	6.03	5.35	4.67	3.99	3.31	2.63
Na ₂ O	3.24	3.34	3.45	3.55	3.65	3.76	3.86	3.96	4.06	4.17	4.27
K ₂ O	0.13	0.21	0.29	0.37	0.45	0.53	0.61	0.69	0.77	0.85	0.93
P ₂ O ₅	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.1	0.09	0.08
Total	100.01	100.01	100.01	100.02	99.99	100.01	100	99.97	99.99	99.98	99.99
Ni	42	38	34	30	26	22	18	14	10	6	2
Sr	153	145.8	138.6	131.4	124.2	117	109.8	102.6	95.4	88.2	81
Y	25	25.9	26.8	27.7	28.6	29.5	30.4	31.3	32.2	33.1	34
Zr	73	91.7	110.4	129.1	147.8	166.5	185.2	203.9	222.6	241.3	260
Nb	5.5	6.15	6.8	7.45	8.1	8.75	9.4	10.05	10.7	11.35	12
Th	0.43	0.63	0.82	1.02	1.22	1.42	1.61	1.81	2.01	2.2	2.4
La	6.2	7.38	8.56	9.74	10.92	12.1	13.28	14.46	15.64	16.82	18
Ce	14	16.8	19.6	22.4	25.2	28	30.8	33.6	36.4	39.2	42
Nd	11	12.3	13.6	14.9	16.2	17.5	18.8	20.1	21.4	22.7	24
Sm	2.7	3.03	3.36	3.69	4.02	4.35	4.68	5.01	5.34	5.67	6
Eu	1	1.03	1.06	1.09	1.12	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27	1.3
Tb	0.71	0.75	0.79	0.83	0.87	0.9	0.94	0.98	1.02	1.06	1.1
Yb	2.5	2.69	2.88	3.07	3.26	3.45	3.64	3.83	4.02	4.21	4.4
Lu	0.4	0.43	0.46	0.5	0.53	0.56	0.59	0.62	0.66	0.69	0.72

Appendix G-ii: Parameters and results of the binary mixing model between the most primitive tholeiitic andesite and a rhyolite of the Noranda sub-group (BINMIX: D. Francis, McGill University, Montréal, Canada)
(Oxides in wt%, Traces & REE in ppm)

SAMPLE	1030D Tholeiite	Percent of Rhyolite magma mixed with the Tholeiite										1320A Rhyolite
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%		
SiO ₂	48.99	51.58	54.17	56.76	59.35	61.93	64.52	67.11	69.7	72.29	74.88	
TiO ₂	0.89	0.84	0.79	0.74	0.69	0.64	0.59	0.54	0.49	0.44	0.39	
Al ₂ O ₃	15.51	15.21	14.91	14.61	14.31	14.01	13.71	13.41	13.11	12.81	12.51	
Fe ₂ O ₃	11.13	10.38	9.63	8.88	8.13	7.38	6.62	5.87	5.12	4.37	3.62	
MnO	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.11	0.1	0.09	0.08	0.06	0.05	
MgO	8.96	8.13	7.29	6.46	5.63	4.79	3.96	3.13	2.3	1.46	0.63	
CaO	11.33	10.46	9.59	8.72	7.85	6.98	6.11	5.24	4.37	3.5	2.63	
Na ₂ O	1.86	2.1	2.34	2.58	2.82	3.07	3.31	3.55	3.79	4.03	4.27	
K ₂ O	1.07	1.06	1.04	1.03	1.01	1	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	
P ₂ O ₅	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
Total	99.99	100	99.98	99.99	99.99	99.98	99.99	99.99	100	99.98	99.99	
Ni	150	135.2	120.4	105.6	90.8	76	61.2	46.4	31.6	16.8	2	
Sr	139	133.2	127.4	121.6	115.8	110	104.2	98.4	92.6	86.8	81	
Y	16	17.8	19.6	21.4	23.2	25	26.8	28.6	30.4	32.2	34	
Zr	44	65.6	87.2	108.8	130.4	152	173.6	195.2	216.8	238.4	260	
Nb	2.7	3.63	4.56	5.49	6.42	7.35	8.28	9.21	10.14	11.07	12	
Th	0	0.24	0.48	0.72	0.96	1.2	1.44	1.68	1.92	2.16	2.4	
La	2.4	3.96	5.52	7.08	8.64	10.2	11.76	13.32	14.88	16.44	18	
Ce	6.3	9.87	13.44	17.01	20.58	24.15	27.72	31.29	34.86	38.43	42	
Nd	3.7	5.73	7.76	9.79	11.82	13.85	15.88	17.91	19.94	21.97	24	
Sm	1.5	1.95	2.4	2.85	3.3	3.75	4.2	4.65	5.1	5.55	6	
Eu	0.6	0.67	0.74	0.81	0.88	0.95	1.02	1.09	1.16	1.23	1.3	
Tb	0.42	0.49	0.56	0.62	0.69	0.76	0.83	0.9	0.96	1.03	1.1	
Yb	1.7	1.97	2.24	2.51	2.78	3.05	3.32	3.59	3.86	4.13	4.4	
Lu	0.24	0.29	0.34	0.38	0.43	0.48	0.53	0.58	0.62	0.67	0.72	