

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

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

par

Julie Doyon

Comparaison de la composition des roches métasédimentaires archéennes dans
six bassins de la Province du Supérieur : une étude géochimique et statistique

Avril 2004



Mise en garde/Advice

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

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

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

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

RÉSUMÉ

L'étude pétrologique, géochimique et statistique a été utilisée conjointement afin de comparer la composition de six ceintures de roches métasédimentaires archéennes. Parmi ces six ceintures il y a quatre grands bassins métasédimentaires : Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico de même que deux petits bassins situés à l'intérieur de ceintures de roches vertes : Beardmore-Geraldton et Bordeleau.

Le principal objectif de cette étude est la comparaison de la composition des quatre grands bassins métasédimentaires. Afin de réaliser cet objectif, une série d'objectifs spécifiques devront être atteint. Ainsi, il faut établir la composition moyenne des métasédiments de chaque bassin. La présence des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau, dont les compositions sont clairement différentes des grands bassins, sert à valider le test statistique subséquent sur la similitude et les différences de composition des grands bassins.

Tous ces bassins métasédimentaires sont dominés par des métasédiments turbiditiques : métagrauwackes et métapélites. La minéralogie des métagrauwackes se compose principalement de biotite, de quartz, de plagioclase et de minéraux accessoires comme le zircon et le rutile. Il y a aussi quelques niveaux riches en grenats. Alors que les métapélites contiennent de la muscovite, de la cordiérite, de l'andalousite et de la staurotide. Les textures généralement observées dans ces lithologies sont les textures granoblastiques, porphyroblastiques et schisteuses.

Globalement, la géochimie des éléments majeurs montre un enrichissement en Fe_2O_3 , en MgO , en Al_2O_3 , en K_2O et en TiO_2 des roches métapélitiques. Ces oxydes sont contrôlés par la distribution des phyllosilicates. L'observation des diagrammes des éléments des terres rares a déterminer que la source de ces métasédiments pour ces éléments est en majeure partie contrôlée par les roches mafiques. Par contre, une grande quantité de matériel felsique, en particulier les volcaniques felsiques a participée à la composition des sédiments des six bassins.

La détermination de la composition moyenne, l'analyse de la variance, la méthode de Tukey et les diagrammes en boîtes ont permis de déterminer que les roches métasédimentaires de trois bassins diffèrent : Beardmore-Geraldton, Bordeleau et Pontiac.

Par conséquent, les caractéristiques similaires des bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico suggèrent que ces bassins ne sont qu'un seul et même bassin linéaire. Alors que les trois bassins qui présentent des caractéristiques géochimiques différentes n'auraient pas le même environnement tectonique ni la même source.

REMERCIEMENTS

Ce mémoire a pu voir le jour que grâce à l'apport et à l'appui d'un grand nombre de personnes. Je voudrais particulièrement remercier mon superviseur le D^r E.W. Sawyer. Nos nombreuses discussions ont été une source constante d'enrichissement et sans son soutien, sa disponibilité et sa générosité je n'aurais pu mener ce mémoire à terme.

Je remercie aussi pour leur précieuse collaboration la D^re Sarah-Jane Barnes et le D^r Pierre Cousineau. Leurs commentaires et leurs suggestions ont contribués à l'amélioration de ma recherche.

Je remercie également le D^r Abdelali Moukhsil du Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec pour m'avoir permis de participer à la cartographie du bassin de Nemiscau. Je remercie le D^r P.W. Fralick pour ses données de Quetico et de Beardmore-Geraldton et je remercie le D^r Alain Rouleau pour son aide à la compréhension du logiciel de statistique et pour l'interprétation des données numériques.

Finalement, je remercie ma famille et mes amis pour leurs constants encouragements.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
REMERCIEMENTS	iv
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES ANNEXES	xiv
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 CADRE GÉOLOGIQUE	3
1.1 Beardmore-Geraldton	3
1.2 Bordeleau	5
1.3 Nemiscau	8
1.4 Opinaca	10
1.5 Pontiac	11
1.6 Quetico	13
CHAPITRE 2 PÉTROGRAPHIE	18
2.1 Terminologie employée	19
2.2 Description macroscopique	20
2.2.1 Description macroscopique des bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico	20
2.2.2 Description macroscopique du bassin de Pontiac	24
2.2.3 Description macroscopique du bassin de Beardmore-Geraldton	25
2.2.4 Description macroscopique du bassin de Bordeleau	26
2.3 Pétrographie générale des bassins à l'étude	26
2.3.1 Pétrographie des bassins de Quetico, de Nemiscau et d'Opinaca	26
2.3.2 Cas particulier	33
2.4 Synthèse	34

CHAPITRE 3 GÉOCHIMIE	36
3.1 Méthode analytique	38
3.2 Index chimique d'altération (CIA)	40
3.3 Les oxydes majeurs	43
3.3.1 Présence d'argile	43
3.3.2 Plagioclases	51
3.3.3 Minéraux résistants à l'altération	55
3.3.4 Synthèse	58
3.4 Les éléments des terres rares	58
3.4.1 Détermination de la nature de la source	63
CHAPITRE 4 STATISTIQUES	69
4.1 Composition moyenne des six bassins	72
4.2 Statistiques de l'index chimique d'altération (CIA)	74
4.2.1 Beardmore-Geraldton et Bordeleau	74
4.2.2 Beardmore-Geraldton, Bordeleau, Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico	74
4.2.3 Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico	74
4.3 Statistique pour les composantes chimiques majeures	78
4.3.1 Beardmore-Geraldton et Bordeleau	78
4.3.2 Beardmore-Geraldton, Bordeleau, Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico	83
4.3.3 Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico	91
4.4 Statistique pour les métaux de transitions	97
4.4.1 Beardmore-Geraldton et Bordeleau	97
4.4.2 Beardmore-Geraldton, Bordeleau, Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico	100
4.4.3 Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico	104
4.5 Statistique pour les éléments traces incompatibles	108
4.5.1 Beardmore-Geraldton et Bordeleau	108
4.5.2 Beardmore-Geraldton, Bordeleau, Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico	113
4.5.3 Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico	116
4.6 Statistique pour les éléments des terres rares	124
4.6.1 Bordeleau, Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico	124
4.6.2 Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico	127

CHAPITRE 5 DISCUSSION	134
5.1 Beardmore-Geraldton	134
5.2 Bordeleau	135
5.3 Nemiscau, Opinaca et Quetico	136
5.4 Pontiac	138
5.5 Synthèse	139
5.6 Critique des modèles existants	140
5.6.1 Modèle du prisme accrétionnaire	140
5.6.2 Modèle du bassin arrière-arc	142
5.6.3 Modèle d'un seul et même bassin pour Quetico et Pontiac	143
5.6.4 Modèle de prisme accrétionnaire pour le bassin de Pontiac	143
CONCLUSION	146
BIBLIOGRAPHIE	149
ANNEXES	158

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Résultats de l'étude pétrographique des bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico	27
Tableau 4.1	Composition géochimique moyenne des six bassins	73
Tableau 4.2	Résultats de l'ANOVA de l'index chimique d'altération (CIA) des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	75
Tableau 4.3a	Méthode de Tukey de l'index chimique d'altération (CIA) pour les bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	76
Tableau 4.4	Résultats de l'ANOVA des oxydes majeurs de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau	79
Tableau 4.5a	Méthode de Tukey des oxydes majeurs pour les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau	80
Tableau 4.6	Résultats de l'ANOVA des oxydes majeurs de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	85
Tableau 4.7a	Méthode de Tukey des oxydes majeurs pour les bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	86
Tableau 4.8	Résultats de l'ANOVA des oxydes majeurs des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	92
Tableau 4.9a	Méthode de Tukey des oxydes majeurs pour les bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	93

Tableau 4.10	Résultats de l'ANOVA des métaux de transition des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau	98
Tableau 4.11a	Méthode de Tukey des métaux de transition pour les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau	98
Tableau 4.12	Résultats de l'ANOVA des métaux de transition des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	101
Tableau 4.13a	Méthode de Tukey des métaux de transitions pour les bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	102
Tableau 4.14	Résultats de l'ANOVA des métaux de transition des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	105
Tableau 4.15a	Méthode de Tukey des métaux de transition pour les bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	106
Tableau 4.16	Résultats de l'ANOVA des éléments traces incompatibles des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau	109
Tableau 4.17a	Méthode de Tukey des éléments traces incompatibles pour les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau	110
Tableau 4.18	Résultats de l'ANOVA des éléments traces incompatibles des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	114
Tableau 4.19a	Méthode de Tukey des éléments traces incompatibles pour les bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	115
Tableau 4.20	Résultats de l'ANOVA des éléments traces incompatibles des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	119
Tableau 4.21a	Méthode de Tukey des éléments traces incompatibles pour les bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	121

Tableau 4.22	Résultats de l'ANOVA des éléments des terres rares des bassins de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	125
Tableau 4.23a	Méthode de Tukey des éléments des terres rares pour les bassins de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	126
Tableau 4.24	Résultats de l'ANOVA des éléments des terres rares des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	130
Tableau 4.25a	Méthode de Tukey des éléments des terres rares pour les bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	131

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Carte géologique simplifiée de la Province du Supérieur	4
Figure 1.2	Carte géologique simplifiée du bassin de Beardmore-Geraldton	6
Figure 1.3	Carte géologique simplifiée de la Formation de Bordeleau	7
Figure 1.4	Carte géologique simplifiée des bassins de Nemiscau et d'Opinaca	9
Figure 1.5	Carte géologique de la sous-province de Pontiac	12
Figure 1.6	Modèle tectonique simplifié de l'évolution de la Zone Volcanique Sud (ZVS) et du bassin de Pontiac	14
Figure 1.7	Localisation du bassin de Quetico	15
Figure 1.8	Schéma du développement du bassin de Quetico entre deux arcs accrétés	17
Figure 2.1	Changement de composition des lits.	21
Figure 2.2	Photos des métasédiments de Pontiac	22-23
Figure 2.3	Photo de lames minces de métasédiments du bassin de Bordeleau	28
Figure 2.4	Photos de lames minces de métasédiments du bassin de Nemiscau	29
Figure 2.5	Photos de lames minces de métasédiments du bassin d'Opinaca	30
Figure 2.6	Photos de lames minces de métasédiments du bassin de Pontiac	31
Figure 2.7	Photos de lames minces de métasédiments du bassin de Quetico	32
Figure 3.1	Diagramme de l'index chimique d'altération (CIA) versus SiO ₂	42
Figure 3.2	Diagrammes Harker de Fe ₂ O ₃ et de MgO versus SiO ₂	44
Figure 3.3	Diagrammes Harker de Al ₂ O ₃ versus SiO ₂ et du K ₂ O versus SiO ₂	47

Figure 3.4	Diagramme Harker du TiO_2 versus SiO_2	49
Figure 3.5	Diagrammes Harker de Al_2O_3 versus Fe_2O_3 et de K_2O versus Al_2O_3	52
Figure 3.6	Diagrammes Harker de CaO versus SiO_2 et de Na_2O versus SiO_{2s}	53
Figure 3.7	Diagramme Harker du Sr versus CaO	56
Figure 3.8	Diagramme Harker du P_2O_5 versus SiO_2	57
Figure 3.9	Diagrammes des éléments des terres rares des bassins de Nemiscau et d'Opinaca	60
Figure 3.10	Diagrammes des éléments des terres rares des bassins de Quetico et de Pontiac	61
Figure 3.11	Diagramme des éléments des terres rares du bassin de Bordeleau	62
Figure 3.12	Diagrammes Harker du Zr versus SiO_2 et du Y versus TiO_2	64
Figure 3.13	Diagrammes Harker du Ni versus Rb et du Cr versus le Rb	65
Figure 3.14	Diagramme du La versus le Th	67
Figure 4.1	Diagrammes en boîte de l'index chimique d'altération (CIA) des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	77
Figure 4.2	Diagrammes en boîte des oxydes majeurs des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau	81-82
Figure 4.3	Diagrammes en boîte des oxydes majeurs des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	87-88
Figure 4.4	Diagrammes en boîte des oxydes majeurs des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	94-95
Figure 4.5	Diagrammes en boîte du Cr des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau	99
Figure 4.6	Diagrammes en boîte des métaux de transition des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	103
Figure 4.7	Diagrammes en boîte des métaux de transition des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	107
Figure 4.8	Diagrammes en boîte des éléments traces incompatibles des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau	111-112
Figure 4.9	Diagrammes en boîte des éléments traces incompatibles des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	117-118
Figure 4.10	Diagrammes en boîte des éléments traces incompatibles des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	122-123

Figure 4.11 Diagrammes en boîte des éléments des terres rares des bassins de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	128-129
Figure 4.12 Diagrammes en boîte des éléments des terres rares des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico	132-133
Figure 5.1 Phase finale de l'évolution de la Province du Supérieur	144

LISTE DES ANNEXES

Annexe I	Composition moyenne de l'illite et de la smectite	155
Annexe II	Données géochimiques des six bassins	156
Annexe III	Résultats des calculs des standards de déviation	198
Annexe IV	Comparaison multiple des différences de moyennes du CIA, des oxydes majeurs, des métaux de transition, des éléments traces incompatibles et des éléments des terres rares par la méthode de Tukey pour les six bassins	200

INTRODUCTION

La Province du Supérieur se compose de bassins métasédimentaires majeurs qui peuvent se diviser en quatre parties, du nord vers le sud : 1) English River, 2) Nemiscau, Opinaca et Ashuanipi 3) Quetico et 4) Pontiac.

La linéarité des ceintures métasédimentaires de Quetico et d'English River peut porter à croire que les bassins de Nemiscau et d'Opinaca sont l'extension de l'une de ces deux grandes ceintures. D'ailleurs, Card (1990) propose que l'extension du côté est du bassin d'English River pourrait être les bassins de Nemiscau et d'Opinaca. Cependant, il est aussi possible que les bassins de Nemiscau et d'Opinaca soient l'extension du bassin de Quetico.

Le présent travail se veut une étude géochimique et statistique qui permettra de déterminer s'il existe des variations de la composition géochimique entre les divers grands bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico. Le principal objectif à atteindre est de comparer leur géochimie afin de voir s'il est possible que ce soit un seul et même bassin. Le bassin d'English River n'est pas à l'étude en raison de l'absence de données géochimiques alors que le bassin d'Ashuanipi n'est pas à l'étude parce qu'il est au faciès des granulites.

Dans le volet de la géochimie, les éléments majeurs et les éléments traces seront utilisés afin d'observer les différences et les ressemblances. L'utilisation des éléments majeurs permet de caractériser les effets de la météorisation dans le but de documenter l'évolution géologique (Sawyer et Korneliussen, 1989). Alors que les éléments traces sont utilisés parce qu'ils possèdent des caractéristiques qui leur permettent d'être un meilleur reflet de la nature de la source et l'environnement tectonique du bassin (Bathia, 1985; Bathia et Crook, 1986). Des patrons de terres rares seront aussi utilisés car des études effectuées en Australie et en Afrique ont montrées que les éléments des terres rares sont :1) plus résistants au fractionnement par la météorisation et le métamorphisme que les autres éléments traces, 2) utiles pour identifier la source majeure des sédiments car elle reflète la distribution des éléments de terres rares dans la croûte continentale exposée (Nance et Taylor, 1976 et 1977; McLennan et Taylor, 1980; Taylor et McLennan, 1981).

Le volet statistique, permettra de vérifier si les bassins sont significativement différents. Pour ce, la présence de deux petits bassins qui se retrouvent à l'intérieur de ceintures de roches vertes, Beardmore-Geraldton et Bordeleau, est importante. En effet, Feng et Kerrich, (1990) ont observés que les petits bassins à l'intérieur de la sous-province Abitibi ont une composition géochimique différente des autres bassins. Ils reflètent des provenances et des environnements tectoniques distincts. Ils serviront principalement comme élément critique essentiel de la validité du test statistique.

CHAPITRE 1

CADRE GÉOLOGIQUE

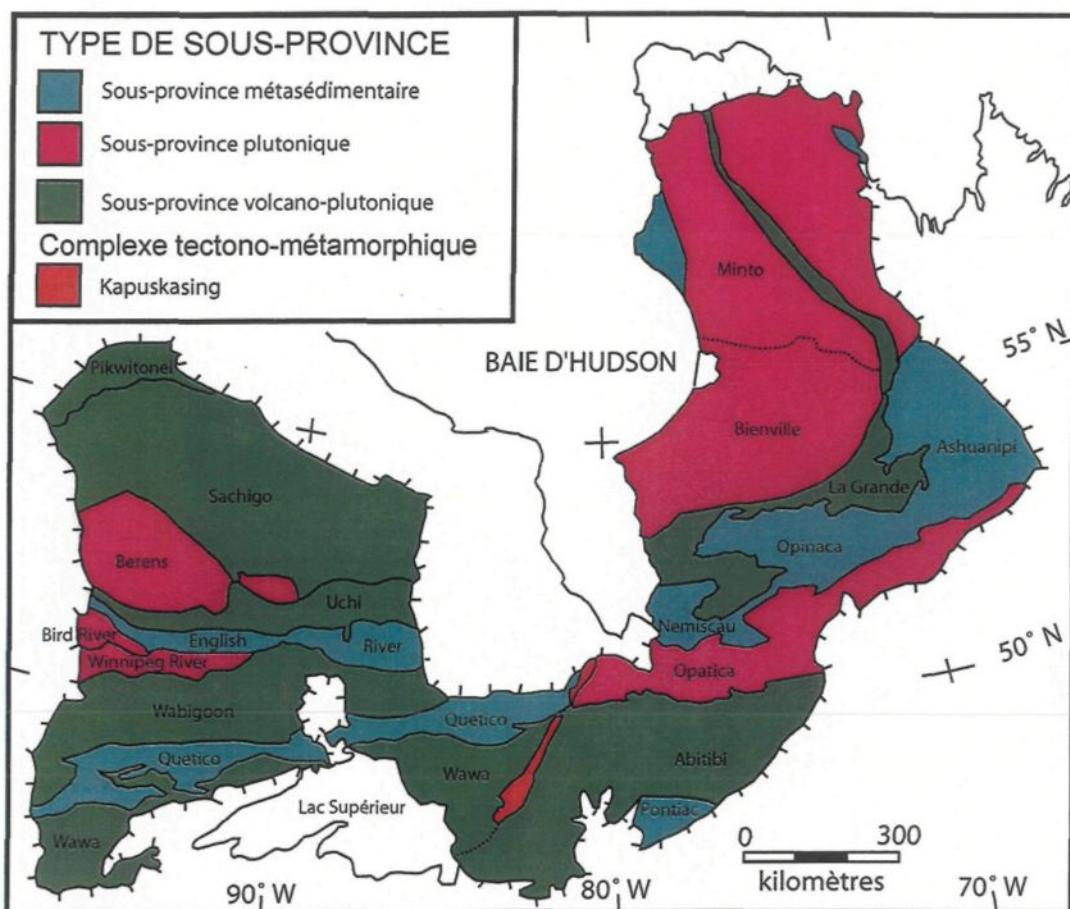
La Province du Supérieur s'étend sur plus de 2 millions de km² et forme le centre du Bouclier Canadien. Il s'agit du plus grand craton Archéen, et les âges qui y sont déterminés sont généralement supérieurs à 2500 Ma (Card et Ciesielski, 1986). Elle est constituée de deux grandes parties (figure 1.1). Le domaine situé au nord est dominé par des roches plutoniques âgées entre 3,0 à 2,69 Ga (Percival *et al.*, soumis). Alors que la partie au sud est une série de ceintures volcano-plutoniques entrecoupées de ceintures métasédimentaires linéaires qui traversent d'un côté à l'autre le Bouclier Canadien.

Dans ce chapitre, la localisation et la géologie de quatre grandes ceintures et de deux petites ceintures métasédimentaires archéennes sont caractérisées. Les six ceintures en question sont : Beardmore-Geraldton, Bordeleau, Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico

1.1 Beardmore-Geraldton

La ceinture de Beardmore-Geraldton, de direction est-ouest, s'étend sur une distance de plus de 100 km.

Figure 1.1 Cadre géologique simplifié de la Province du Supérieur
(modifiée de Percival, 1989)



C'est la zone de transition entre la ceinture volcano-plutonique de Wabigoon, au nord et le bassin métasédimentaire de Quetico, au sud (figure 1.2).

Principalement composé de métagrès correspondant aux séquences de type Ta, Tab, et Tabc de Bouma (Fralick *et al.*, 1992), au faciès métamorphique du schiste vert (Fralick et Kronberg, 1997), le bassin de Beardmore-Geraldton est interprété comme un bassin avant-arc (Barrett et Fralick, 1989, Fralick et Kronberg, 1997).

La localisation, la composition et la granulométrie montrent que le terrain d'Onaman-Tashota, situé à la limite nord du bassin, pourrait être la source des sédiments de Beardmore-Geraldton (Devaney, 1987). Ainsi, la région source à une composition andésitique et calco-alcaline. Enfin, la ceinture de Beardmore-Geraldton serait d'un âge semblable au terrain d'Onaman-Tashota soit entre 2760 à 2700 Ma (Davis *et al.* 1982, 1988).

1.2 Bordeleau

Le bassin de Bordeleau se situe au sommet de la séquence du Groupe de Roy en transition avec le Groupe d'Opémisca (Dimroth *et al.*, 1983)(figure 1.3). Elle se situe au-dessus de la Formation de Blondeau et correspond à la fin du deuxième cycle volcanique (2730-2705 Ma), lequel a été marqué par une période de soulèvement et d'érosion (Dimroth *et al.*, 1984)

Figure 1.2 a) Localisation de la région à l'étude b) Localisation des sous-provinces de Wabigoon, de Quetico et de Wawa. La région à l'étude est à l'intérieur du rectangle et c) Géologie régionale de Beardmore-Geraldton, de la terrane Onaman Tashota (OTT) et de Quetico. BBDZ, Zone de Déformation de Barton Bay, NMB, CMB et SMB sont respectivement les ceintures de roches métasédimentaires du nord, du centre et du sud.
(modifiée de Devaney et Williams, 1989)

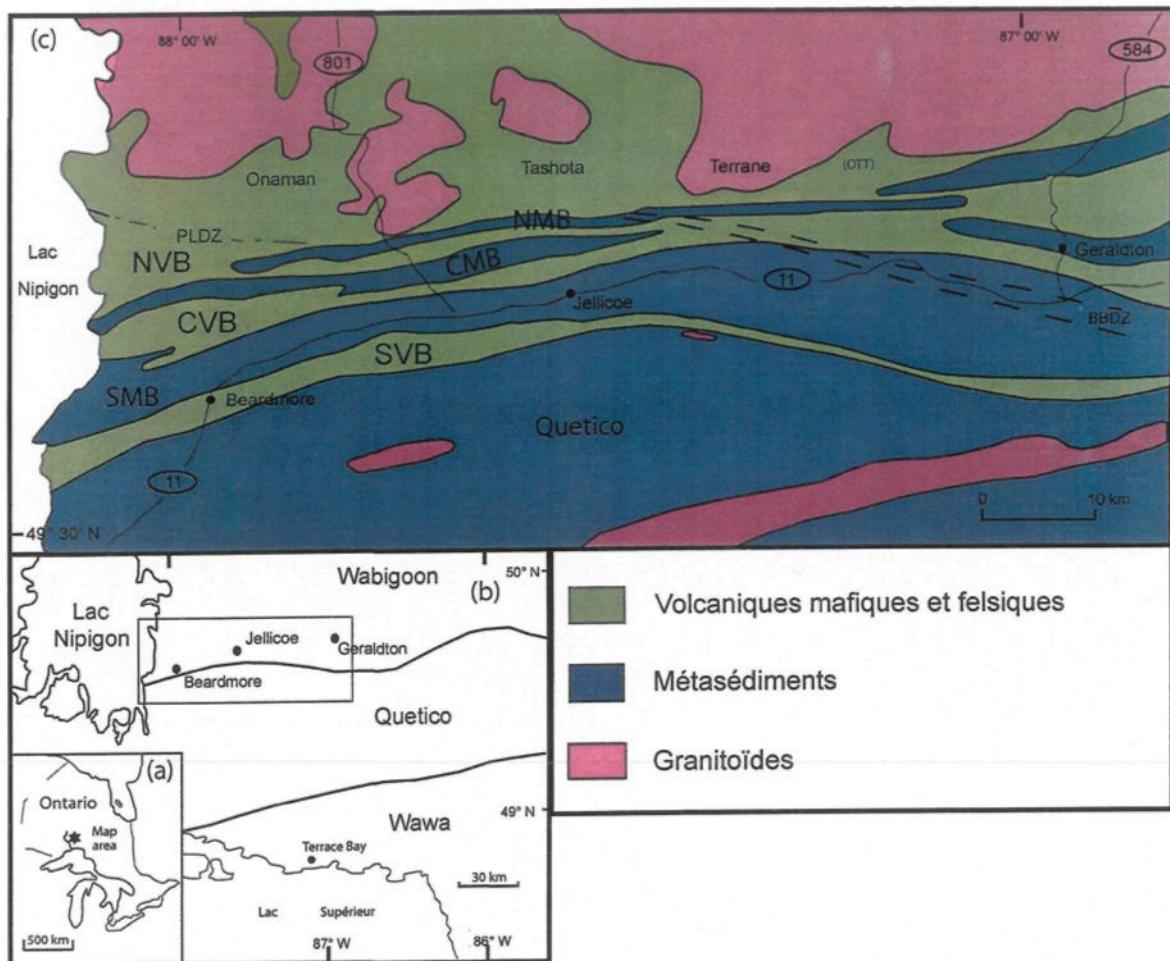


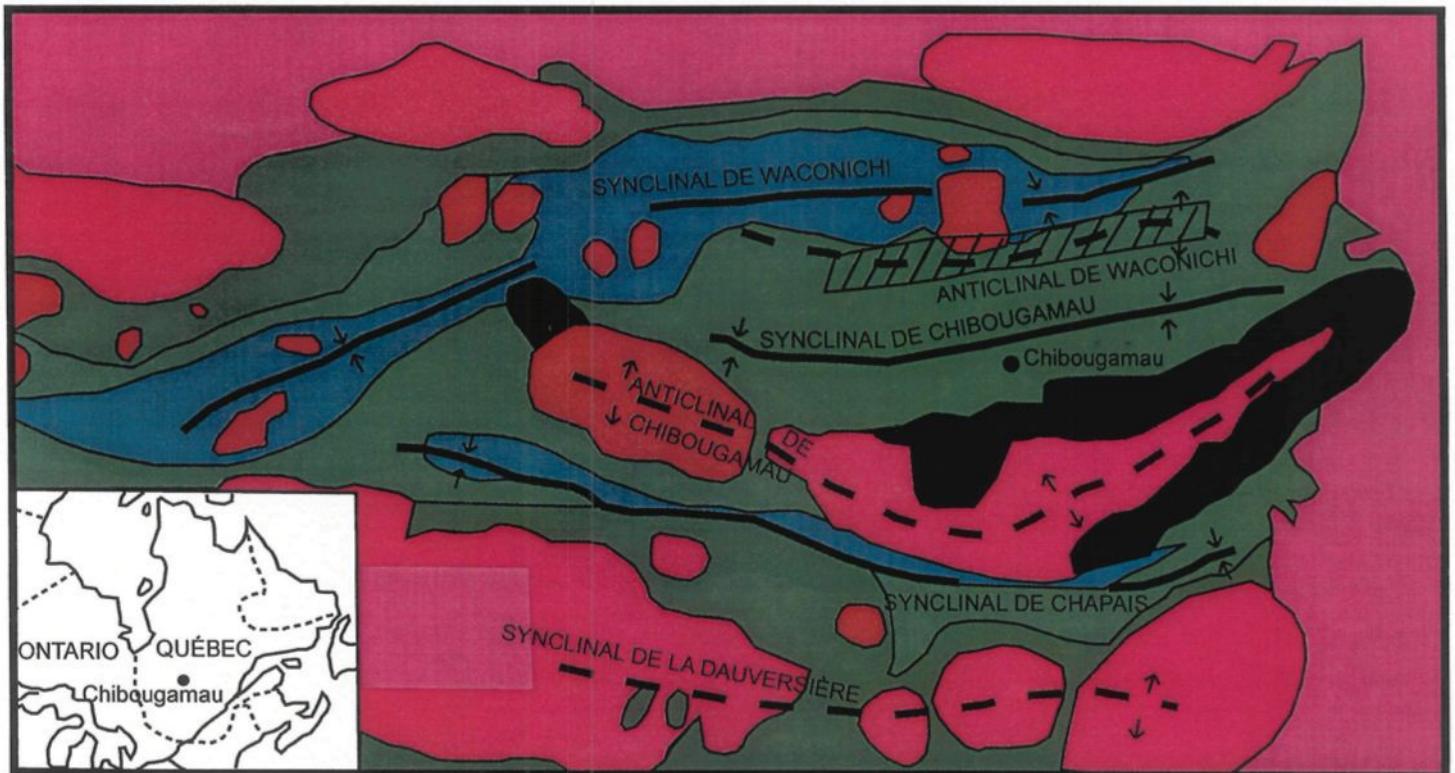
Figure 1.3 Localisation et géologie régionale du bassin de Bordeleau
(modifiée de Daigneault et Allard, 1990)

75°53' 00"

73° 44' 00"

50°15' 00"

49°20' 00"



Plutons tardifs
granodiorite, syénite

Plutons précoces

Gneiss tonalitique

Complexe
anorthositique

2 ième cycle de volcanisme
(mafique à felsique)

1 er cycle de volcanisme
(mafique à felsique)

Sédiments avec fragments
granitoïdes (Groupe d'Opémisca)

Sédiments de la Formation de
Bordeleau

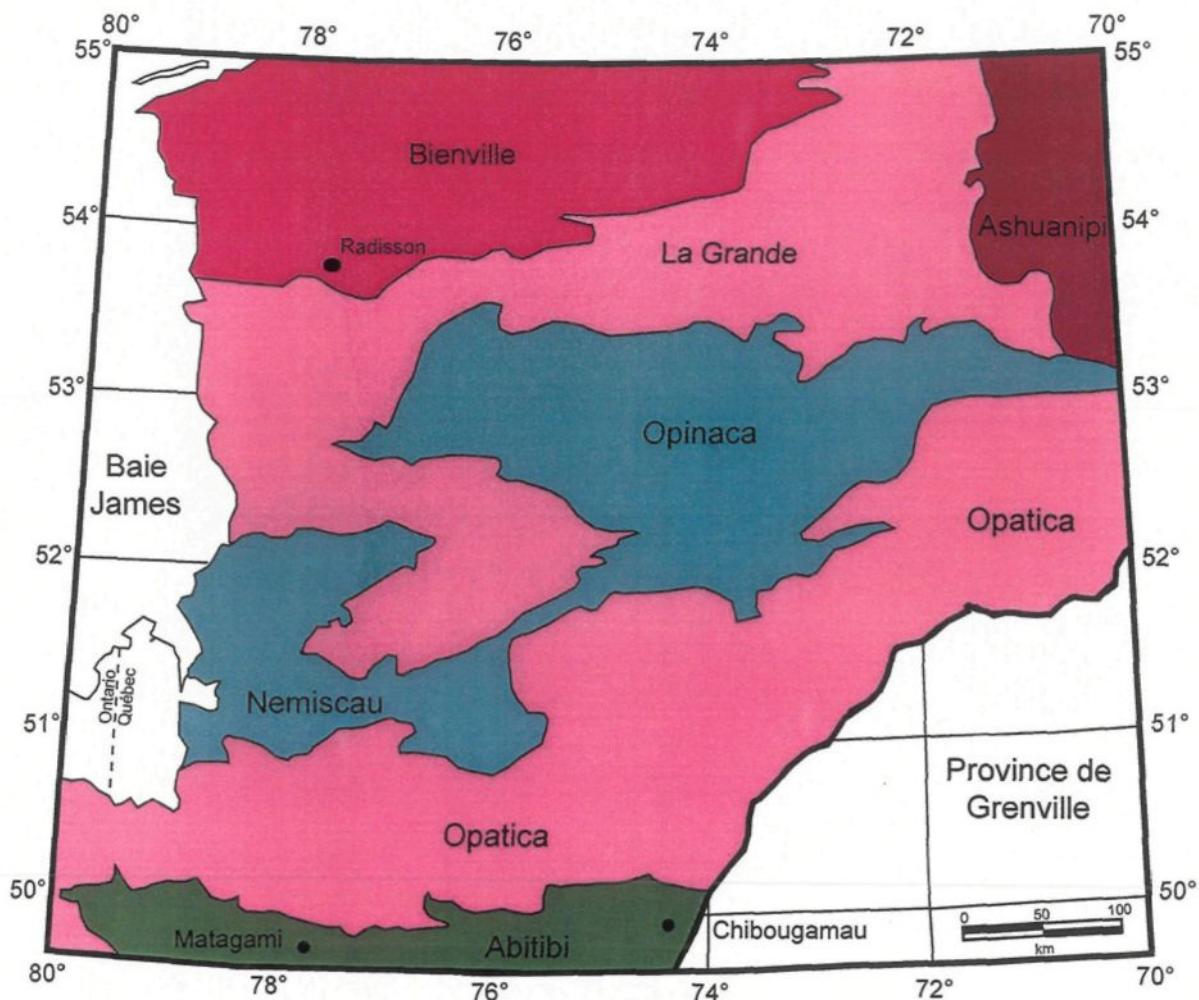
Figure 1.4 Carte géologique simplifiée montrant les sous-provinces de Nemiscau et d'Opinaca (modifiée de Moukhsil *et al.*, 2001)

Le bassin de Bordeleau, d'une puissance de plus de 1000 mètres d'épaisseur, consiste en des grès volcanogéniques et des argillites, déposés par des courants de turbidité (Dimroth *et al.*, 1985; Moisan, 1992).

La source des sédiments provient de l'érosion de roches pyroclastiques felsiques (Dimroth *et al.*, 1985). Le bassin de Bordeleau est considéré comme provenant d'un environnement de cône sous-marin (Dimroth *et al.*, 1985). Le manque de données disponibles rend difficile la spécification de la nature de ces turbidites.

1.3 Nemiscau

La sous-province de Nemiscau est située à l'est de la Baie James entre la sous-province Opatica au sud, et celle d'Opinaca et de La Grande, au Nord (figure 1.4). La limite nord de la sous-province suit les contacts de la bande volcanique de la rivière Eastmain inférieure. Les datations donnent un âge de formation du bassin, antérieur à 2672 ± 2 Ma (Broadback River granite, Davies *et al.*, 1995) et un âge maximum de 2668 Ma pour la déposition des sédiments (Moukshil et Legault, 2002)



- Sous-province gneissique-plutonique
- Sous-province plutonique
- Sous-province métasédimentaire
- Sous-province volcano-plutonique
- Ceinture de roches vertes

Les sédiments observés sont des métagrauwackes et de métapélites et l'environnement serait possiblement un bassin arrière-arc. La source des matériaux des métasédiment serait possiblement un arc continental (Moukhsil *et al.*, 2003).

1.4 Opinaca

La sous-province d'Opinaca est une sous-province métasédimentaire située au centre de la Province du Supérieur entre les sous-provinces volcano-plutoniques d'Opatica et de La Grande (figure 1.4) (Card et Ciesielski, 1986). Elle s'étend entre les rivières Eastmain et La Grande.

Les datations donnent un âge de formation minimum de cette sous-province qui se situe entre 2700 et 2648 Ma. Un zircon détritique provenant d'un conglomérat donne un âge U-Pb imprécis de 2648 ± 50 Ma (Goutier *et al.*, 2001). L'âge le plus vieux pour le dépôt des métasédiments, 2700 Ma, est contraint par plusieurs âges obtenus de plutons déformés et de roches volcaniques en bordure de la sous-province Opinaca (Moukshil *et al.*, 2003) et par l'âge U/Pb de cristallisation de 2674 ± 12 sur un pluton recouvrant les sédiments. Enfin, les roches métasédimentaires dans la sous-province de Nemiscau continuent dans la sous-province Opinaca et ont un âge minimum de dépôt de 2672 ± 2 Ma, âge d'une intrusion de granite dans les métasédiments de Nemiscau (Davies *et al.*, 1995).

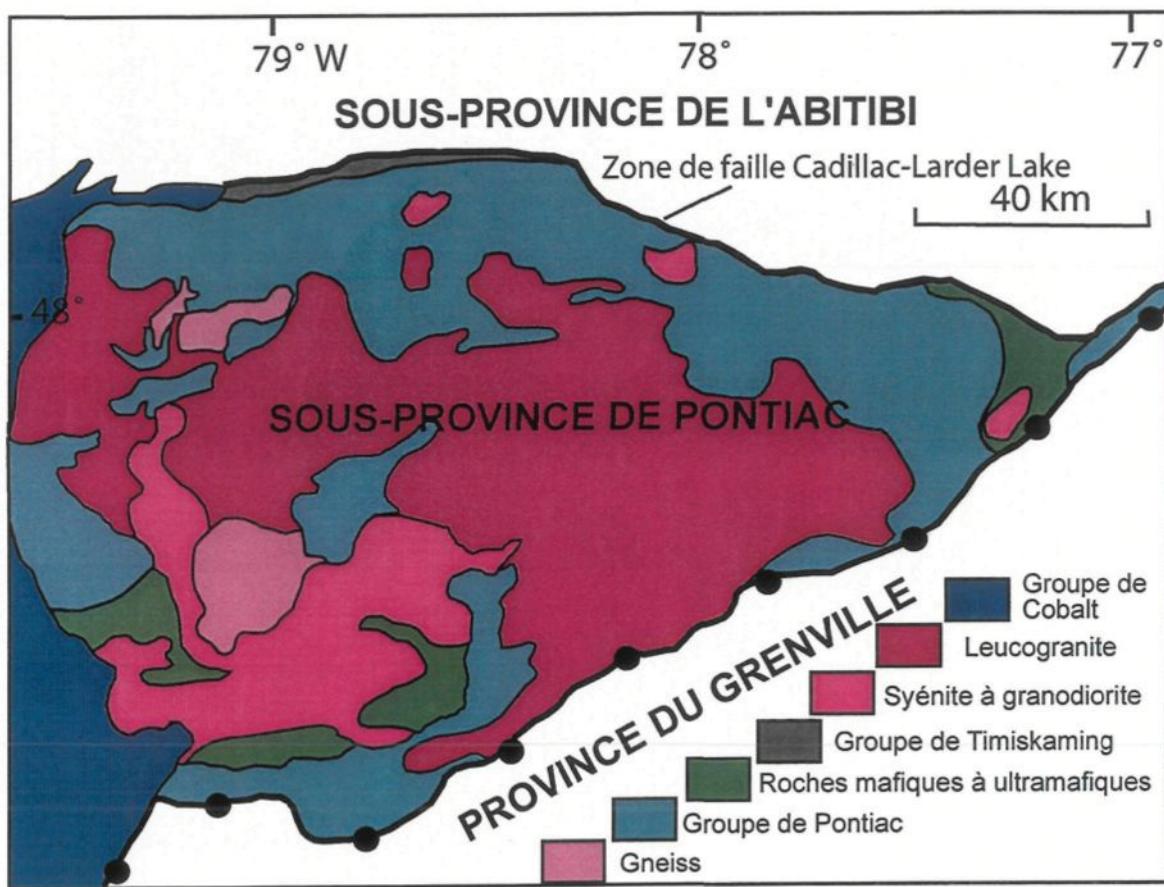
La sous-province d'Opinaca est constituée des mêmes types de roches métasédimentaires que la sous-province de Nemiscau soit des métagrauwackes et des métapélites. Moukshil *et al.* (2003) suggèrent que le bassin d'Opinaca soit la continuation du bassin de Nemiscau. Ils établissent que ces bassins sont connectés et que le dépôt de matériel s'est effectué à la même période.

1.5 Pontiac

Au sud et à l'est, la sous-province de Pontiac est limitée par la Province du Grenville, au nord elle est limitée par la sous-province volcano-plutonique d'Abitibi (figure 1.5). Les datations de zircons détritiques montrent que Pontiac a un âge de dépôt de 2685 ± 3 Ma (Davis, 2002).

Le Groupe de Pontiac est dominé par des turbidites, lithiques (grauwackes) (Dimroth *et al.*, 1982 ; Lajoie et Ludden, 1984). Cette unité métasédimentaire à une puissance d'environ 1000 mètres d'épaisseur. Des structures sédimentaires incluant des laminationss entrecroisées, des granoclassemens et d'autres structures ont été préservées localement (Benn *et al.*, 1994). Les données chimiques indiquent que la source des sédiments possède les caractéristiques des roches alcalines de type Timiskamingue (Ujike, 1984).

Figure 1.5 Carte géologique de la sous-province de Pontiac
(modifiée de Hocq, 1990)



Dimroth *et al.* (1983), proposent que la sous-province de Pontiac représente le prisme accrétionnaire avant-arc d'un arc magmatique (zone volcanique sud de la sous-province Abitibi), pénétré par des plutons syntectoniques au cours d'une collision avec un bloc provenant du sud. Alors que Kerrich et Feng (1992) proposent un modèle alternatif dans lequel la sous-province de Pontiac serait un bloc d'une croûte exotique (microcontinent) qui aurait percuté et produit un sous-charriage avec la zone volcanique sud (figure 1.6).

1.6 Quetico

La sous-province de Quetico d'une longueur de plus de 1200 km (Percival et Williams, 1989), est située dans la partie ouest de la Province du Supérieur (figure 1.7). Le processus de dépôt a eu lieu durant et après la formation des sous-provinces de Wawa, Wabigoon et Abitibi, c'est-à-dire entre 3009 ± 4 et 2658 ± 3 Ma.

La plupart des roches métasédimentaires sont des grès et des pélites, (Sawyer, 1986; Percival 1989; Williams 1989). Localement, il y a préservation de structures sédimentaires primaires telles que le granoclassement et les structures en chenaux.

Figure 1.6 Modèle tectonique simplifié de l'évolution de la Zone Volcanique Sud (ZVS) d'Abitibi et de la sous-province de Pontiac. (a) Étape 1 : subduction océanique et volcanisme d'un arc et/ou arrière-arc. (b) Étape 2 : plutonisme (dans la ZVS d'Abitibi de granite de type S et de granitoïde alcalin et calc-alcalin), métamorphisme initial, tectonique d'accrétion, magmatisme alcalin et minéralisation en or. (c) Étape 3 : collision arc (continent)-continent (ancien arc?), second métamorphisme. (d) Étape 4 : soulèvement différentiel exposant entièrement la sous-province Pontiac et le bloc de haut grade Lacorne à l'intérieur de la ZVS d'Abitibi (modifiée de Feng et Kerrich, 1992).

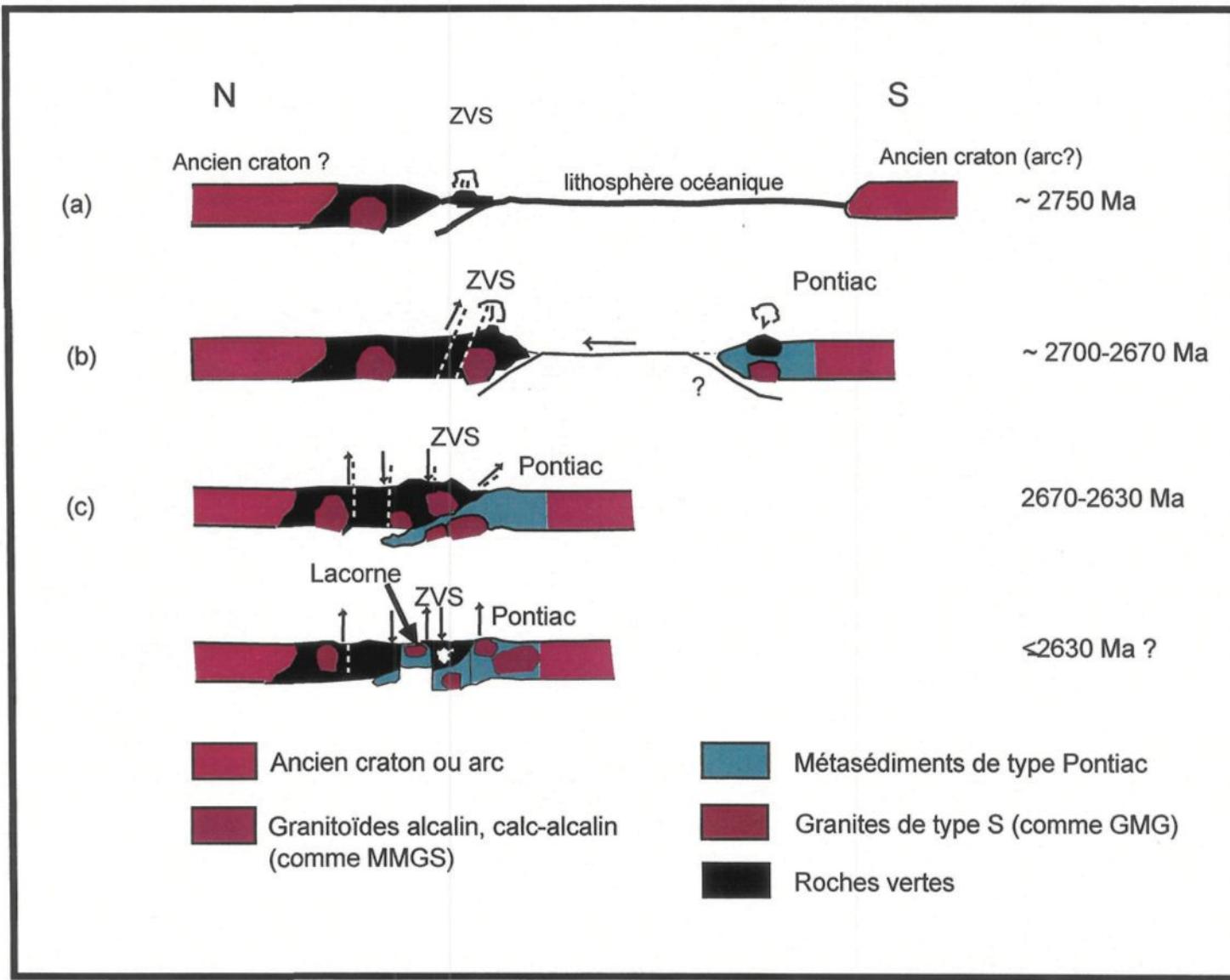
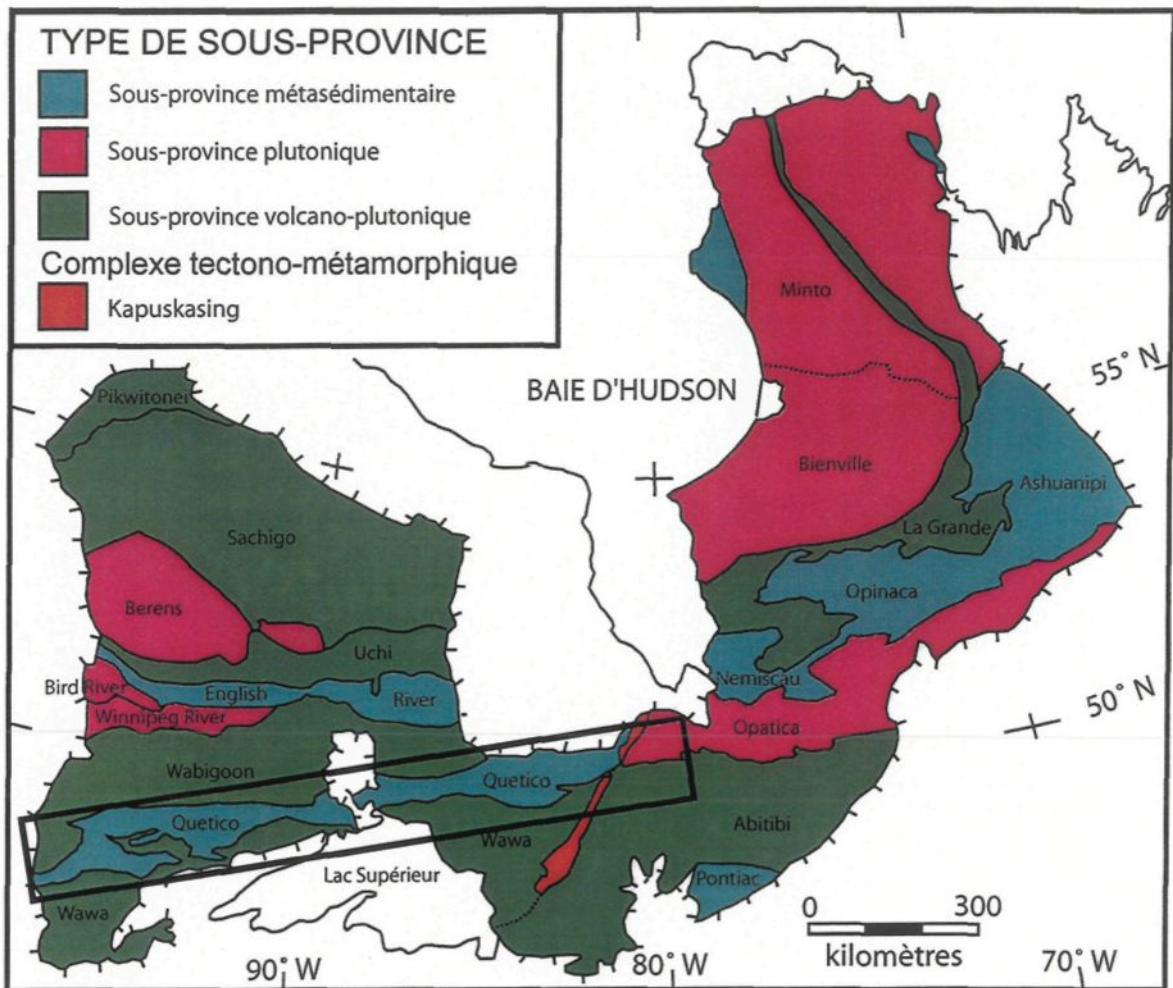


Figure 1.7 Localisation de la sous-province de Quetico. La région à l'étude est à l'intérieur du rectangle noir (modifiée de Percival, 1989).

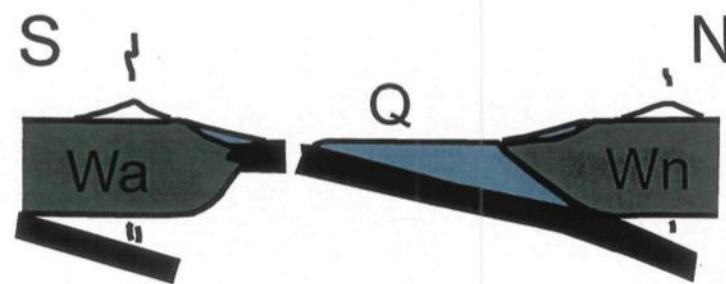


Langford et Morin (1976) proposent que Quetico a été créée par des îles en arcs et un complexe accrétionnaire de roches métasédimentaires qui sont entrés en collision avec une masse cratonique ancienne. D'autres auteurs ont suggéré que la sous-province de Quetico serait un bassin ensialique (Wickham et Oxburgh, 1985) ou bien un bassin arrière-arc ou intra-arc (Percival, 1989). Toutefois, des études basées sur la structure, la stratigraphie et la sédimentologie supportent un modèle collisionnel (figure 1.8). Ainsi, Quetico constituerait une fosse turbiditique accrétée sur l'avant-arc de Wabigoon au cours d'une subduction, dextre oblique de direction nord, qui se termine par la collision de l'arc volcanique de Wawa (Williams, 1986, 1987, 1990; Devaney et Williams, 1989; Percival, 1989; Percival et Williams, 1989).

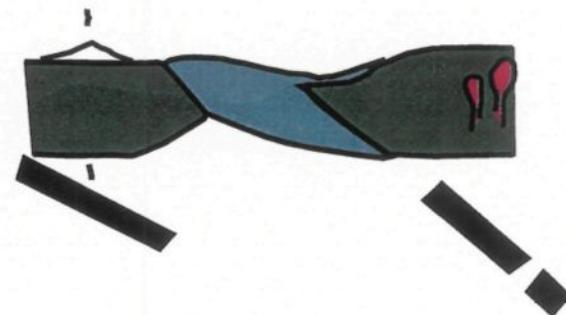
Figure 1.8

Schéma du développement du prisme de Quetico entre deux arcs accrésés. a) Volcanisme actif calco-alcalin dans les arcs de Wabigoon (Wn) et Wawa (Wa) résultant de la subduction oblique NW d'une croûte océanique. Les sédiments turbiditiques sont mis en place dans une fosse océanique et il y a accrétion à la marge sud de Wabigoon. b) Collision de l'arc Wawa avec le prisme accrétionnaire Quetico. c) Déformation transpressive dans Wawa et Quetico, épaisseissement de la croûte et plutonisme tardif dans Wabigoon. d) Plutonisme majeur et métamorphisme dans Quetico. Noir = croûte océanique (modifiée de Percival et Williams, 1989)

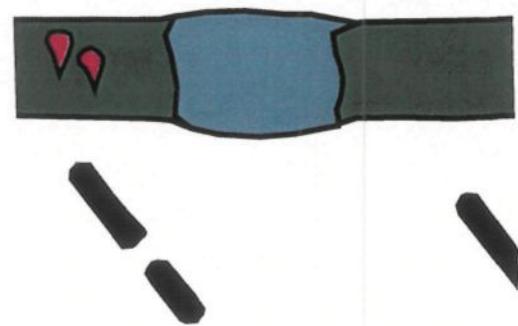
a 2.75-2.70 Ga



b 2.70-2.695 Ga



c 2.689-2.684 Ga



d 2.67-2.65 Ga



CHAPITRE 2

PÉTROGRAPHIE

Dans le but de produire une étude minéralogique et texturale représentant les bassins à l'étude, un échantillonnage des bassins de Pontiac (38 lames minces) et de Nemiscau (20 lames minces, une gracieuseté du Ministère des Ressources naturelles du Québec) a été effectué par l'auteure de ce mémoire. En plus, quelques lames minces représentatives des bassins d'Opinaca (huit lames minces du Ministère des Ressources naturelles du Québec) et de Bordeleau (huit lames minces, une gracieuseté de M. Cousineau) et environ 80 lames minces provenant de Quetico (de la collection de M. Sawyer) s'ajoutent au décompte. Les bassins sédimentaires échantillonnés et observés en lame mince sont tous au faciès du schiste vert à amphibolite inférieur. Les roches sédimentaires, dont les faciès métamorphiques étaient plus élevés (amphibolite supérieur et granulite), ont été rejetées de cette étude.

Ce présent chapitre contient quatre grandes parties. Les deux premières parties sont des descriptions macroscopiques et microscopiques des métapélites et des métagrauwackes observés, la troisième partie traite des cas particuliers et enfin, la dernière partie est une synthèse des observations.

2.1 Terminologie employée

Tout d'abord, puisque tous les affleurements visités et les échantillons recueillis sont métamorphisés, le préfixe « méta » sera utilisé dans cette étude. Les empilements sédimentaires sont constitués par une alternance de sédiments à grain plus grossier et de sédiments à grain plus fin. Pour les besoins de ce travail, cette alternance est considérée comme une succession de lits de métагauwacke et de lits de métapélite, respectivement.

Les lits de métagrauwacke et les lits de métapélite représentent initialement le matériel altéré dérivé de l'érosion des continents qui n'a pas subit une altération intense..

Il est important de noter que le terme métagrauwacke utilisé dans ce mémoire est celui généralement employé dans les travaux antérieurs pour désigner les sédiments de la taille granulométrique des grès présents dans ces bassins. C'est-à-dire, un matériel à granulométrie grossière qui se forme lorsque les détritus sédimentaires altérés sont transportés par des courants de turbidité (Boggs, 2001,). Les métagrauwackes sont constitué d'une moins grande quantité de matériel altérés que les métapélites. Donc ces roches sont les plus représentatives de la composition des roches sources. Il est composé de quartz, de feldspath et de minéraux ferromagnésiens, principalement de la biotite. Les métagrauwackes sont plus fréquents à la base des empilements

sédimentaires des bassins étudiés. Ils peuvent montrer un granoclassement normal

Le terme métapélites désigne des sédiments riches initialement en argile détritique. Ils se déposent généralement par suspension lente (Boggs, 2000). Ces argiles détritiques proviennent principalement de la météorisation importante de roches sources. Après le métamorphisme, les métapélites contiennent de la muscovite et/ou des minéraux aluminosilicatés comme : la sillimanite, l'andalousite, la kyanite, la staurotide ou la cordiérite.

2.2 Description macroscopique

2.2.1 Description macroscopique des bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico

Les métasédiments sont composés d'un plus grand nombre de lits de métagrauwackes que de lits métapélitiques pour une épaisseur totale de quelques milliers de mètres. Ainsi, les observations de terrain montrent qu'il y a environ 80% ou plus de lits de métagrauwackes et 20% ou moins de lits métapélitiques. Les niveaux de métasédiments ont une épaisseur moyenne qui varie de dix à cinquante centimètres. Certains affleurements montrent le contact d'un lit de métagrauwacke et d'un lit de métapélites (figure 2.1). Les bassins de Nemiscau et d'Opinaca montrent plus de fusion partielle dans les lits métapélitiques (la minéralogie s'y prête plus) car ces deux bassins sont un peu plus métamorphisés que Quetico (Guernina et Sawyer, 2003). Les métasédiments qui se retrouvent sur la plupart des affleurements sont plissés.

Figure 2.1 Changement de composition des lits. a) Lit de métapélite (au centre) entre deux lits de métagrauwacke. Bassin de Quetico, affleurement P17. b) Lits de métapélite (les plus fusionnés) et lits de métagrauwacke. Bassin de Nemiscau, affleurement JD-35.

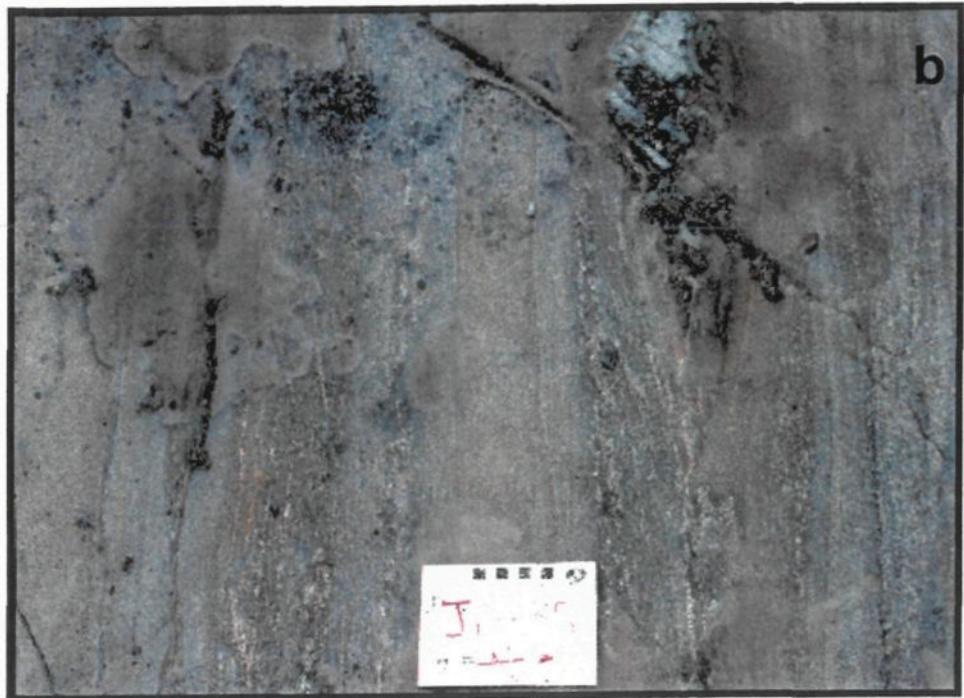
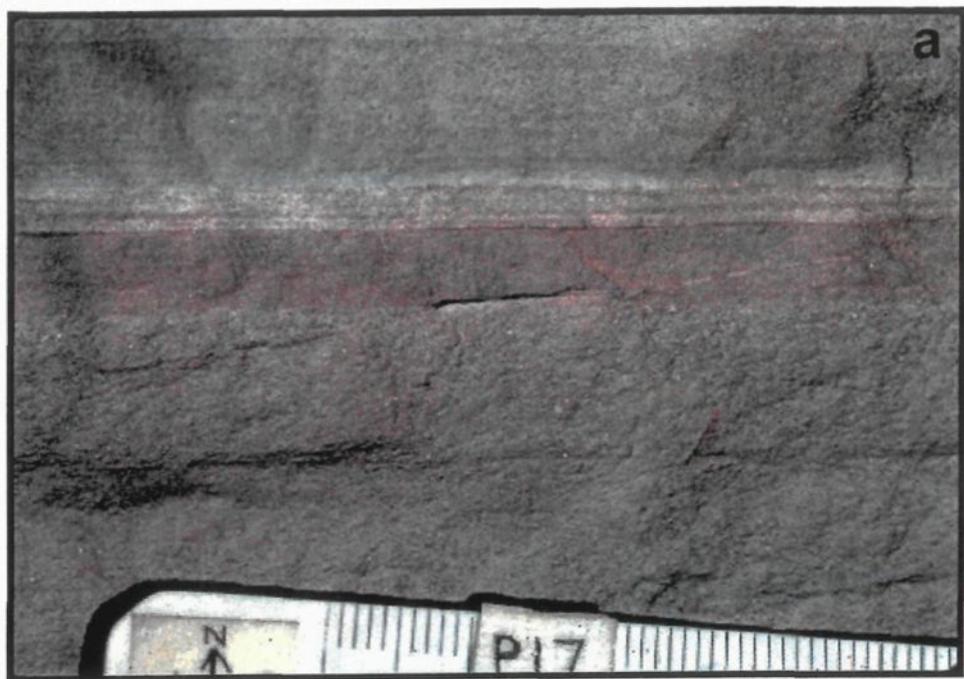
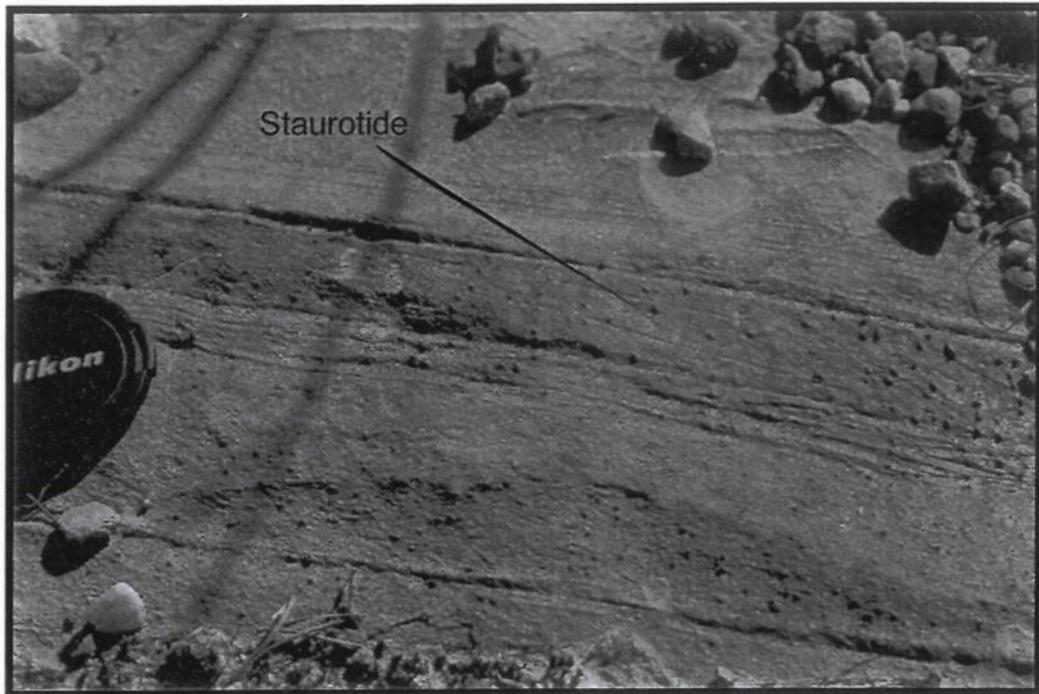


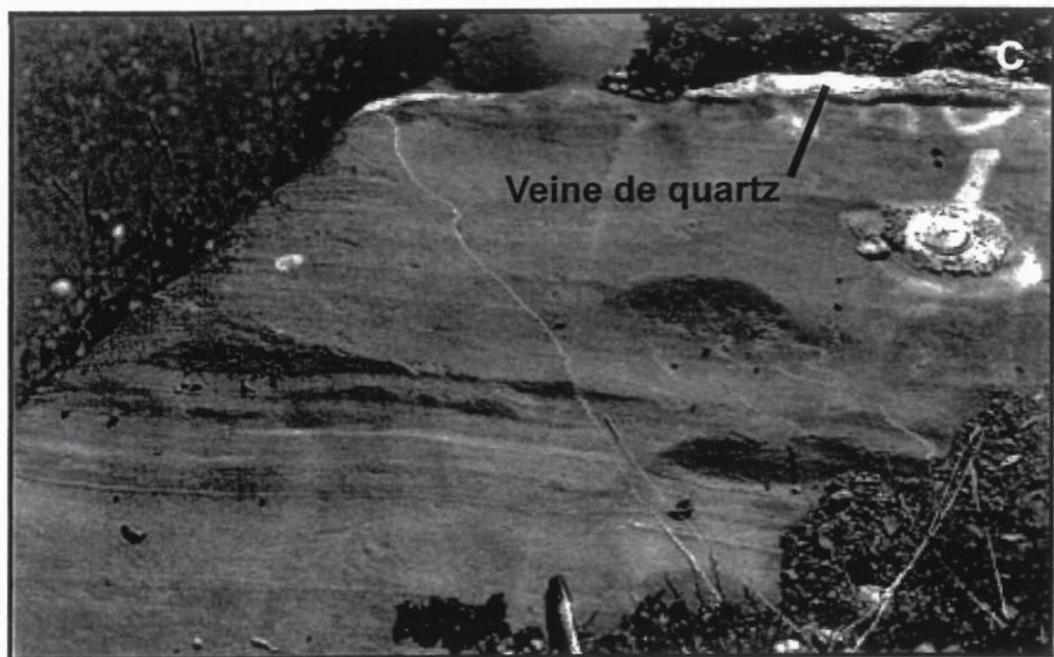
Figure 2.2 Métasédiments de Pontiac. a) Lit métapélitique contenant de la staurotide. Affleurement JD-20. b) Dyke mafique boudiné suivant le litage des métasédiments. Affleurement JD-04. c) Contact du lit de métapélite et d'un lit de métagrauwacke et d'une veine de quartz suivant le litage. Affleurement JD-04.

a)



b)





Chaque bassin sédimentaire contient des roches mafiques qui forment des bandes/couches d'une épaisseur d'environ 1 mètre à quelques centaines de mètres (figure 2.2 b). Ces roches mafiques sont plus communes à la bordure des bassins métasédimentaires particulièrement au sud. Dans Quetico, où le degré de métamorphisme et de déformation est moindre, des incorporations de laves mafiques sont observées mais leurs contacts sont déformés. Parfois, on peut voir de minces dykes mafiques qui indiquent des intrusions de magma mafique dans les roches métasédimentaires.

Dans la partie sud de Nemiscau, les sédiments situés près des unités mafiques sont un peu plus enrichis en fer. Cet enrichissement s'observe par la présence d'une plus grande quantité de grenat et de magnétite et de quelques bandes riches en silice avec un faible développement de formations de fer. Ce qui peut indiquer la présence de circulation de fluides hydrothermaux associés à la formation de laves mafiques. Cependant, pour le bassin de Quetico, il y a absence de ces roches siliceuses et riches en fer.

2.2.2 Description macroscopique du bassin de Pontiac

Les affleurements visités lors de l'échantillonnage du bassin de Pontiac présentaient une proportion de 80% et plus de métagrauwackes et de 20% et moins de métapélites. Certains lits de métapélites contiennent des aluminosilicates (figure 2.2 a) tout comme ceux observés dans les bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico. Les observations de terrain rapportent que les séquences de Pontiac montrent du nord vers le sud, une augmentation de

l'épaisseur des strates, de la taille des grains ainsi que du rapport métagrauwacke/métapélite. De plus, de nombreux dykes ou assemblages de roches mafiques/ultramafiques et des veines de quartz parcourrent les affleurements et suivent généralement le litage (figure 2.2 b et c). Les roches métasédimentaires présentent des structures sédimentaires comme des laminations entrecroisées, des empreintes de charge et des structures en flamme (Camiré *et al.*, 1993). Il faut mentionner que la distribution des séquences et les structures sédimentaires ne sont pas très bien connues par manque de travaux effectués dans ce bassin.

2.2.3 Description macroscopique du bassin de Beardmore-Geraldton

Les affleurements de Beardmore-Geraldton sont composés de lits, de taille moyenne (20-100 cm), turbiditiques de la séquence de Bouma Ta, Tab ou Tabc. Il y a des empilements turbiditiques finement stratifiées à des lits très épais. Les lits turbiditiques mafiques sont, en moyenne, plus épais que les lits des séquences felsiques. Les formations de fer sont présentes dans le bassin avant-arc et elles sont associées aux lits finement stratifiés. L'absence de formation de fer au sud de la ceinture métasédimentaire indique que l'environnement sédimentaire n'était pas le même (Fralick *et al.*, 1992). La déformation tectonique des métasédiments a produit des plis isoclinaux (Barrett *et al.*, 1989).

2.2.4 Description macroscopique du bassin de Bordeleau

Les métagrauwackes de Bordeleau sont caractérisés par des lits massifs. Ils sont généralement moyens à grossiers. Les lits de turbidites ne sont pas très épais, ils ont en moyenne dix centimètres d'épaisseur (Jutras, 1983). Le rapport grès/shale des lits estimés qualitativement sur le terrain par Moisan (1992) est de 2 :1.

2.3 Pétrographie générale des bassins à l'étude

La distinction pétrographique entre les métagrauwackes et les métapélites est faite pour les bassins de Quetico, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Bordeleau. La distinction n'a pas été réalisée pour le bassin de Beardmore-Geraldton en raison de l'absence de lames minces associées aux analyses géochimiques. Les métagrauwackes de Bordeleau ont été décrit pétrographiquement par Jutras (1983), Moisan (1992), Caty (1977) et Dimroth *et al.* (1983). Alors que les métasédiments de Pontiac ont été décrits brièvement par Lajoie et Ludden (1984) et Camiré *et al.* (1993). Enfin, ceux de Quetico ont fait l'objet d'une description par Williams *et al.* (1992), Percival (1989) et Sawyer (1986).

2.3.1 Pétrographie des bassins de Quetico, Nemiscau et Opinaca

Le tableau 2.1 représente les minéraux et les caractéristiques des métapélites et des métagrauwackes observés en lames minces. Les figures 2.3 a, 2.4 a, 2.5 a, 2.6 a et 2.7 a représentent les métapélites typiques de chaque bassin. Alors que les figures 2.3 b, 2.4 b, 2.5 b, 2.6 b et 2.7 b sont des

Tableau 2.1 Pétrographie des bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico

	Métapélite	Caractéristiques	Métagrauwacke	Caractéristiques
Quartz	25-35%	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Polygonale ➤ Points triple ➤ Migration de bordure 	35-50%	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Polygonale ➤ Migration de Bordure
Plagioclase	5-35%		10-40%	
Biotite	10-30%	Alignement préférentiel	15-20%	
Aluminosilicate	< 12%	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sillimanite, cordiérite, staurotide ➤ Sillimanite remplace biotite 	Ne s'applique pas	
Grenat	~ 3%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poeciloblastique 	~3%	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Poeciloblastique ➤ Inclusion de quartz et/ou biotite
Minéraux accessoires	Trace	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Épidote, pyrite, carbonate 	Trace	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apatite, rutile
Autres	Trace à 3% ~ 5%	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Muscovite, bordure de la biotite ➤ Chlorite en altération de la biotite 	~2%	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Chlorite en altération de la biotite

Figure 2.3 Métasédiments typiques du bassin de Bordeleau. Quartz anguleux à sub-arrondis avec une matrice fortement séricitisée. Échantillon AM-13-5. Lumière polarisée, 2.5X. Longueur de la photo, 5,2 mm.

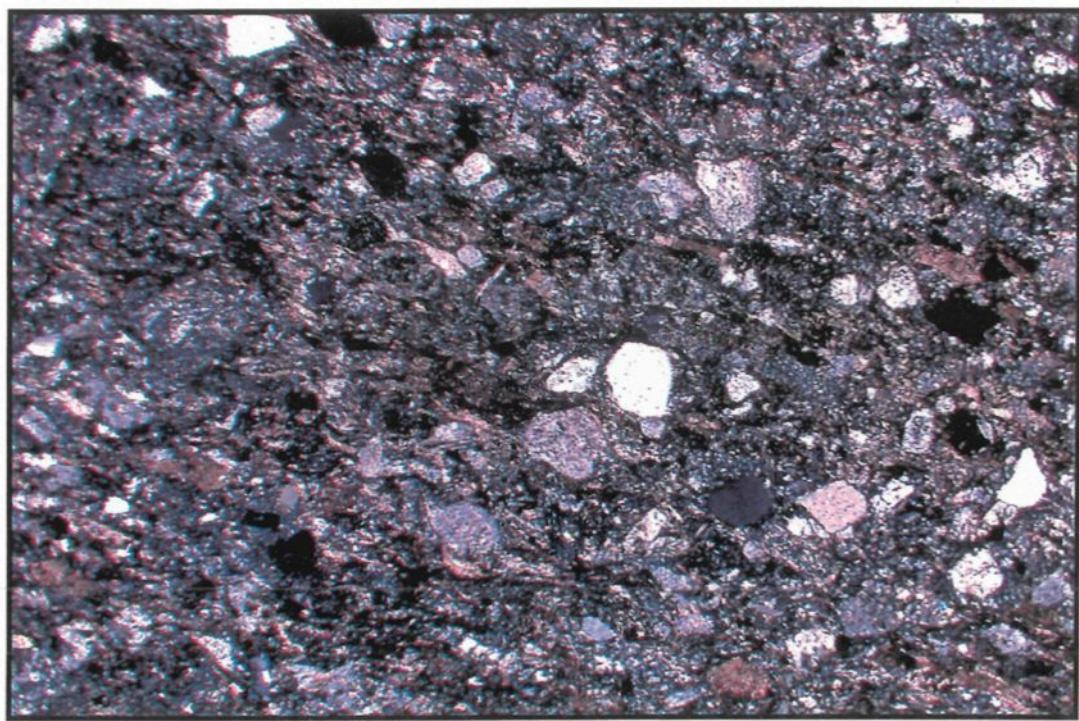
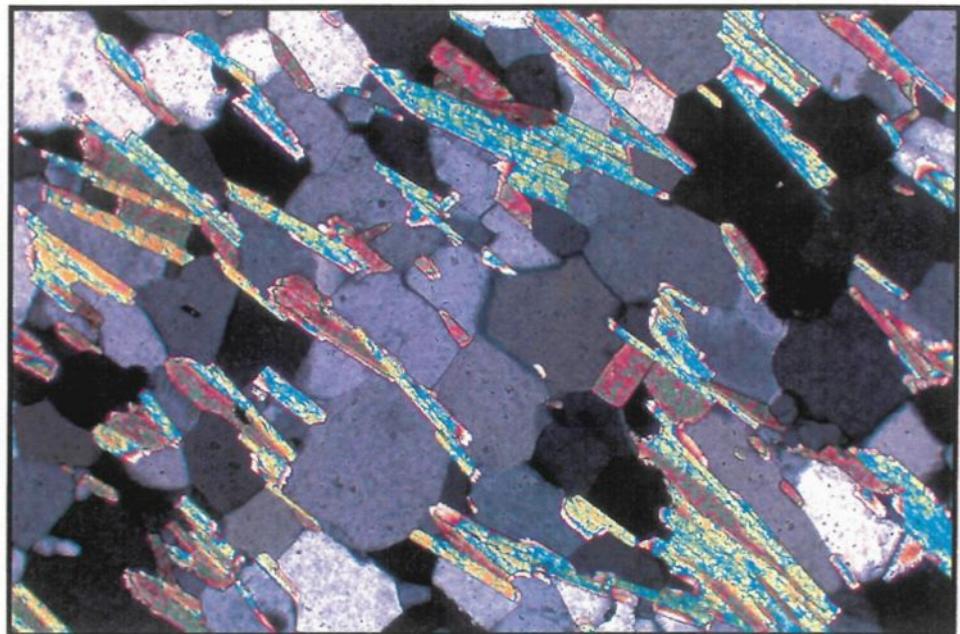


Figure 2.4

Métasédiments typiques du bassin de Nemiscau. a) Métapélite. Présence de muscovite (en bleu), de biotite, de quartz et de plagioclase. Échantillon JD-3190. B) Métagrauwacke. Il est possible d'observer des bordures droites et des migrations de bordures pour les quartz. Échantillon JD-38. Lumière polarisée pour les 2 photos, 2.5X. Longueur des photos, 5.2 mm.

a)



b)

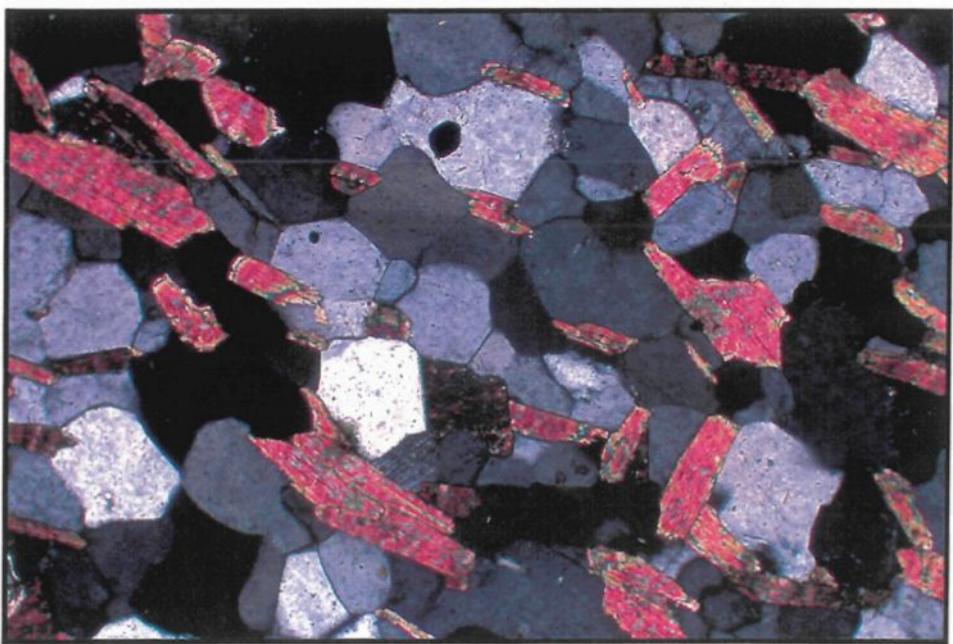
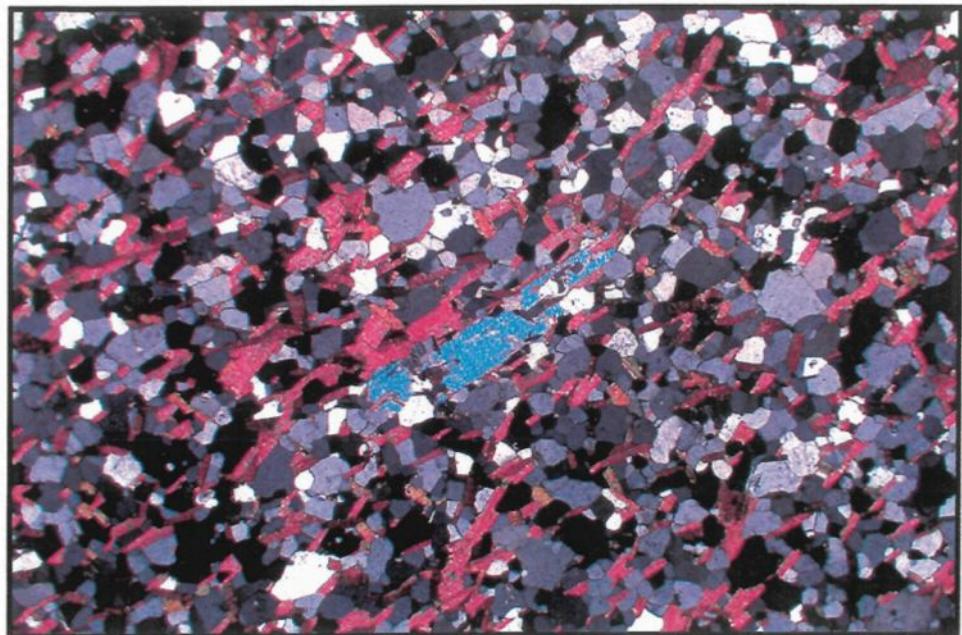


Figure 2.5 Métasédiments du bassin d'Opinaca. a) Métapélite. Au centre c'est de la muscovite. Les grains de quartz sont de forme polygonale et il y a de nombreux points triples. Échantillon AM-1128-a. b) Métagrauwacke. Porphyres de biotite, de quartz de forme polygonal et avec des points triples. Les 2 photos sont en lumière polarisée, 2.5X. Longueur des photos, 5.2 mm.

a)

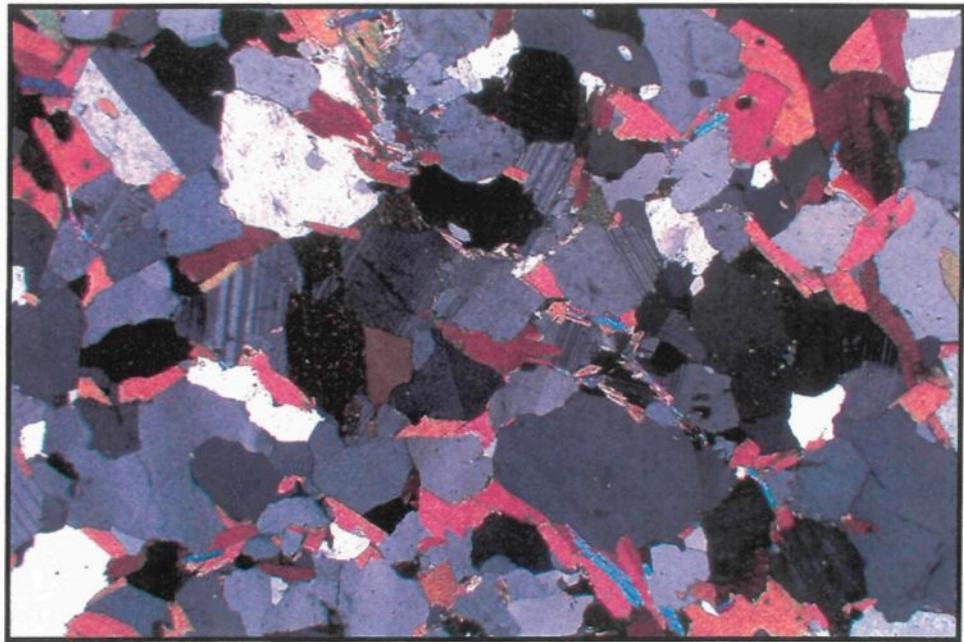


b)



Figure 2.6 Métasédiments typiques du bassin de Pontiac. a) Métapélite. Présence de muscovite, de biotite, de quartz et de plagioclase. Le quartz présente des formes polygonales et des points triples. Noter l'alignement préférentiel des micas. Échantillon JD-07. B) Metagrauwacke. Présence de biotite, de quartz et de plagioclase. Le quartz présente des bordures droites et des points triples. Noter l'alignement préférentiel des biotites qui est moins développé que dans les métapélites. Échantillon JD-34. Lumière polarisée pour les 2 photos, 10X. Longueur des photos, 1.15 mm.

a)



b)

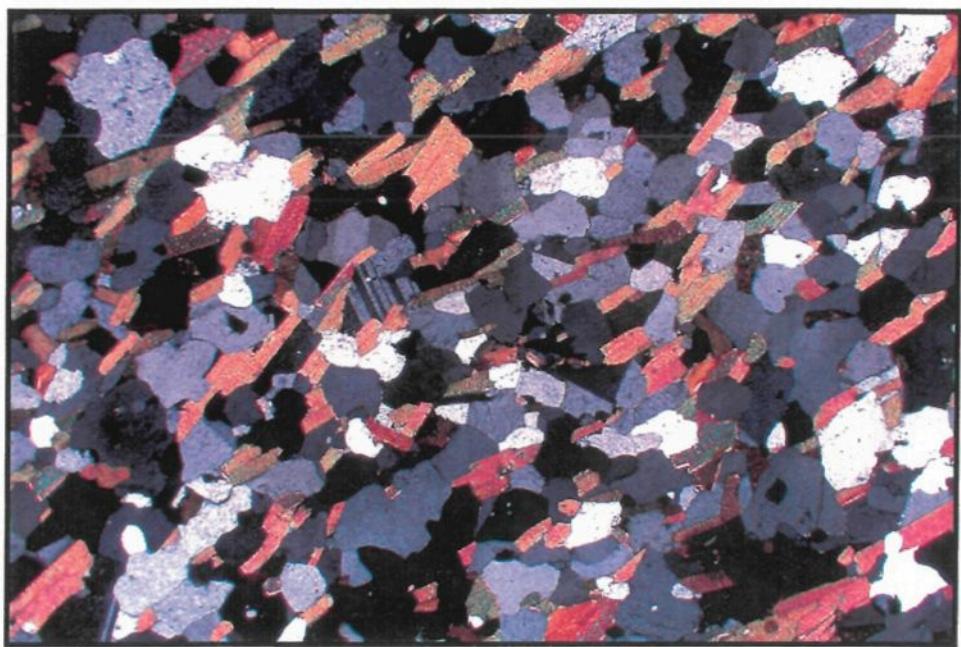
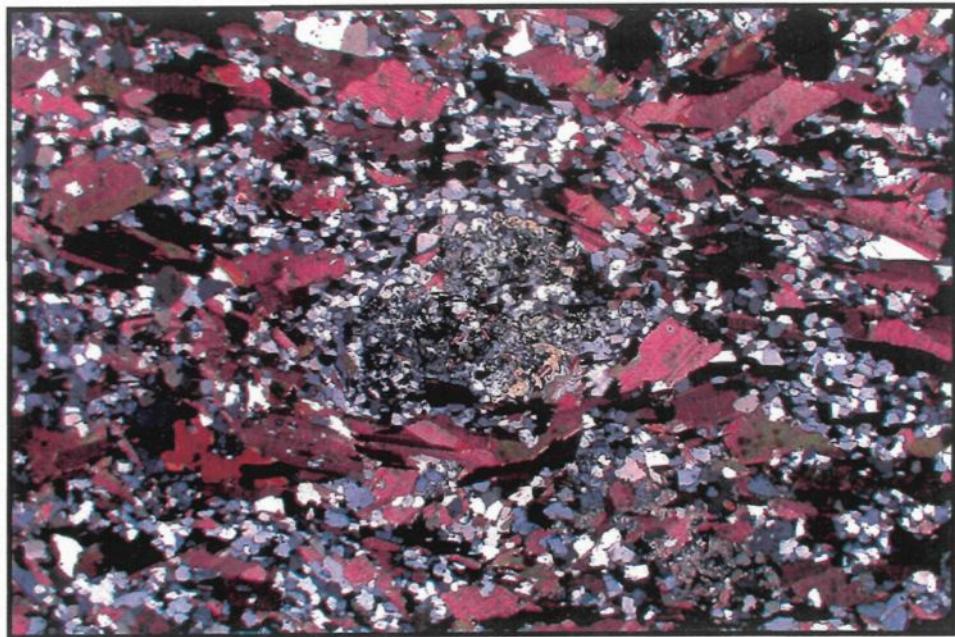


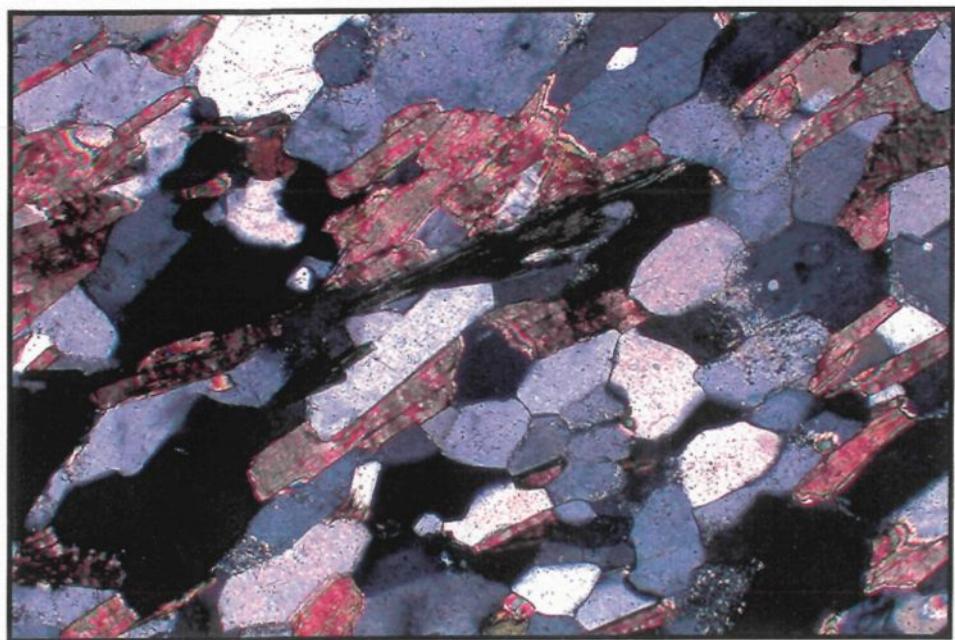
Figure 2.7

Métasédiments typiques du bassin de Quetico. a) Métapélite. Au centre c'est de la staurotide (minéral jaune). Échantillon ES-82, lumière polarisée, 2.5X. Longueur de la photo, 5.2 mm. b) Metagrauwacke. Composé de biotite, de quartz, de plagioclases qui débutent une altération en micas blancs, et au centre de la chlorite. Échantillon ES-126. Lumière polarisée, 10X. Longueur de la photo, 1,15 mm.

a)



b)



exemples représentatifs de métagrauwackes dans chaque bassin. La granulométrie des roches métapélitiques est plus forte que pour les métagrauwackes, à l'exception de Quetico. La raison est que les métapélites réagissent plus intensément au métamorphisme que les métagrauwackes.

2.3.2 Cas particulier

Un cas particulier est le bassin de Bordeleau. Les métagrauwackes qui la composent contiennent du quartz en une proportion qui varie de trace à 13% et des plagioclases de 20 à 42% (Moisan, 1992). Les quartz sont subarrondis à arrondis, tandis que les plagioclases sont subidiomorphes (figure 2.3). Ils ont aussi une matrice de séricites et/ou de chlorites provenant de l'altération des plagioclases (figure 2.3). Cette matrice constitue jusqu'à 80% de la roche et elle contient quelques minéraux accessoires tels le sphène, l'apatite, le zircon (en inclusion dans la biotite) et de la pyrite. Ces grès sont aussi constitués d'un peu de ciment de carbonates interstitiels atteignant exceptionnellement 14% (Moisan, 1992).

Le second cas particulier est le bassin de Pontiac. Il contient un peu plus de biotite que les autres bassins et ce autant dans les lits métapélitiques que dans les lits de métagrauwackes. Ce pourcentage est de l'ordre de 2 à 3 % plus élevé.

2.4 Synthèse

Au niveau pétrographique, la distinction entre les métagrauwackes et les métapélites a été faite à l'aide de la paragenèse minéralogique. Le métagrauwacke est constitué de quartz-plagioclase-biotite \pm grenat et de minéraux accessoires comme le zircon et le rutile. La métapélite se compose de quartz-plagioclase-biotite-aluminosilicate (sillimanite, staurotide, andalousite, cordiérite) \pm grenat et de muscovite.

Les textures métamorphiques des métagrauwackes sont : 1) des quartz et des plagioclases de forme polygonale, 2) un alignement préférentiel des micas 3) la rétrogradation, c'est-à-dire le remplacement de certains minéraux par d'autres comme la biotite qui est remplacée par la chlorite. Pour les métapélites, les textures métamorphiques les plus observées sont les bordures droites des quartz et des plagioclases de forme tabulaire causées par la croissance des grains pendant le métamorphisme prograde dans une matrice riche en mica.

L'assemblage minéralogique indique que les roches de Nemiscau sont du faciès amphibolite et quelques affleurements, qui n'ont pas été échantillonnés, montrent un faciès granulitique. Les mêmes faciès existent pour Opinaca mais il y a plus de rétrogradation dans les roches à haut grade métamorphique. Alors que pour Quetico, les roches sont du faciès schiste vert à amphibolite moyen. L'assemblage minéralogique et les observations de terrain, montrent que le gradient métamorphique augmente vers le centre pour les trois bassins.

Par contre, pour le bassin de Pontiac, le grade métamorphique augmente de schiste vert au nord à amphibolite au sud (Benn *et al.*, 1994). Pour Beardmore-Geraldton, comme mentionné dans la partie 1.1 du chapitre 1, le grade métamorphique augmente du faciès des schistes verts au nord vers le faciès des amphibolites au sud. Tandis que Bordeleau est au faciès des schistes verts.

Le rapport de métagrauwackes/métapélites est similaire pour tous les bassins. Les métapélites présentent une plus grande quantité de niveaux riches en grenat que les métagrauwackes. Les pourcentages de quartz (20%) et de biotite (20%) dans les métagrauwackes des bassins à l'étude sont similaires. Il en est de même pour les métapélites, ce qui suggère une uniformité dans la composition des détritus sédimentaires initiaux dans ces bassins sédimentaires.

CHAPITRE 3

GÉOCHIMIE

Les échantillons décrits antérieurement dans la partie pétrographie du chapitre deux seront utilisés afin de mettre en évidence leurs différences, leurs similitudes et leurs particularités sur la base de leur chimie : éléments majeurs et éléments traces. De plus, (1) la composition de la provenance (source) (2) le degré de météorisation au cours de l'érosion (3) les modifications à la composition lors du transport des détritus (4) les modifications de la composition post-dépôt (diagenèse et métamorphisme) seront ensuite déterminés à l'aide de la géochimie.

Les échantillons utilisés pour la géochimie sont représentatifs des lithologies ciblées : métapélite et métagrauwacke. Afin d'éviter les variations de la composition géochimique dû aux processus de dépôt, l'échantillonnage s'est effectué sur des métasédiments qui ont un même style de dépôt soit par des courants de turbidités. Les roches fusionnées ont été exclues de l'échantillonnage car la composition chimique ne représente plus celle d'origine. En effet, il y a toujours possibilité que la partie fusionnée soit une partie mobile et que cette partie ait migrée dans un autre endroit. Le résultat serait une roche enrichie en oxydes

et/ou éléments comme FeO, MgO, Cr, Sc, Cu mais appauvrie en éléments lithophiles (LILE).

Pour les besoins de cette étude, les métapélites sont définies par la présence de muscovite et/ou d'aluminosilicates, observées en lame mince, qui correspondent à un pourcentage poids de silice de moins de 64% poids. En ce qui concerne les métagrauwackes, ils sont enrichis en matériel quartzo-feldspathique, ce qui concorde à un pourcentage poids de plus de 64% poids.

Pour des raisons de faible présence de lames minces, la distinction entre métapélite et métagrauwacke du bassin de Bordeleau n'a pas été effectuée pétrographiquement. Ainsi, pour les besoins de ce mémoire, il faut considérer que les échantillons du bassin de Bordeleau situés à gauche de la limite métapélite-métagrauwacke sont des métapélites et qu'à droite se sont des métagrauwackes.

Les diagrammes utilisés dans ce volet de la géochimie servent à déterminer les composantes sédimentaires qui étaient présentes avant le métamorphisme. Chaque diagrammes contient des pôles représentant les diverses sources possibles dans la Province du Supérieur. Il y a quatre pôles; 1) volcanique mafique, 2) volcanique felsique, 3) tonalite-trondjhémite-granodiorite (TTG) et 4) komatiite. Afin d'éviter toute erreur provenant des laboratoires, les données de ces quatre pôles proviennent de Baby-Belleterre (Sawyer et Barnes, 1994 ;

Barnes *et al.*, 1993) puisque ces analyses faite à l'UQAC contiennent des données constantes

L'évaluation de la composition originale de la source sera effectué avec la composition des métagrauwackes. La raison est que cette évaluation demande des roches qui contiennent peu de matériel altéré.

Sur les diagrammes des éléments majeurs, il est possible d'observer un chevauchement des échantillons de métapélite et de métagrauwacke. Pour discriminer adéquatement et chimiquement une métapélite d'un métagrauwacke, il faut utiliser un diagramme à trois composantes donc à trois dimensions. Puisque dans ce mémoire, la discrimination des métapélites et des métagrauwackes a été faite en lame mince, les diagrammes utilisés ont deux composantes donc deux dimensions. Ainsi, le chevauchement observé est dû à l'absence de la troisième dimension.

3.1 Méthode analytique

Sur un total de 221 échantillons, 90 échantillons de métasédiments ont été analysés à l'Université du Québec à Chicoutimi. Entre 1,5 et 5 kg de chaque échantillon ont été concassés avec un broyeur à mâchoires et environ 200-250g ont été réduits en poudre par le broyeur « shatterbox » en céramique à oxyde d'aluminium.

L'analyse des éléments majeurs des 90 échantillons (Pontiac et Quetico), à l'exception du Na₂O, a été faite avec des disques de verre fusionnés et les éléments traces Ba, Nb, Ni, Sr, V, Y et Zr sur poudres comprimées, à l'aide de la méthode par Fluorescence-X (XRF) à la Commission géologique de l'Ontario (Ontario Geological Survey (OGS)). L'analyse des éléments des terres rares et des éléments majeurs Na, Fe ainsi que quelques autres éléments traces (Ta, Th, U, Co, Cr, Hf, Cs, Sc et Ni) a été effectuée par activation neutronique à l'UQAC après une irradiation dans le réacteur SLOWPOKE II appartenant à l'École Polytechnique de Montréal. L'article de Bédard et Barnes (1990) donne les détails des méthodes analytiques et d'erreurs. La liste des analyses géochimiques des échantillons est donnée aux tableaux 3.1 à 3.6 de l'annexe II. Les données utilisées dans le texte et les graphiques sont sous forme anhydre car les échantillons sont au faciès métamorphique du schiste vert à amphibolite.

Les échantillons des bassins de Nemiscau et d'Opinaca proviennent d'analyses réalisées par le Ministère des Ressources naturelles du Québec effectuées au laboratoire du Centre de recherche minérale (CRM/COREM) de Québec. Les analyses du bassin de Beardmore-Geraldton proviennent de l'article de Fralick et Kronberg (1997). Aussi, les analyses de 25 échantillons de la sous-province de Pontiac proviennent de l'article de Camiré *et al.* (1993). Il y a 38 échantillons additionnels de ce bassin qui ont été analysés à l'UQAC dont quelques-uns proviennent des mêmes affleurements et lithologies. Les analyses géochimiques

de Camiré *et al.* (1993) et celles de l'UQAC, pour les mêmes affleurements, n'ont pas mis en évidence de grandes différences. Les analyses sont donc de qualité uniforme. Pour le bassin de Quetico, 30 analyses proviennent de l'article de Sawyer (1986) et 10 autres analyses sont une gracieuseté de M. Fralick.

Les résultats obtenus du calcul des standards de déviation pour les analyses XRF et INAA des standards du bassin de Pontiac (EQ 256) (tableau 3.7 et 3.8) et du bassin de Nemiscau (EL 51) (tableau 3.9 et 3.10) sont à l'annexe III. Les résultats des analyses géochimiques des bassins de Pontiac et de Nemiscau se retrouvent à l'intérieur du standard de déviation. Par conséquent, les analyses géochimiques des autres bassins ne montrent pas de grandes différences avec celle de Pontiac et de Nemiscau, donc ces analyses sont fiables. Ainsi, s'il y a des différences qui sont observées entre les bassins elles seront dû à des processus géologiques et non pas aux laboratoires.

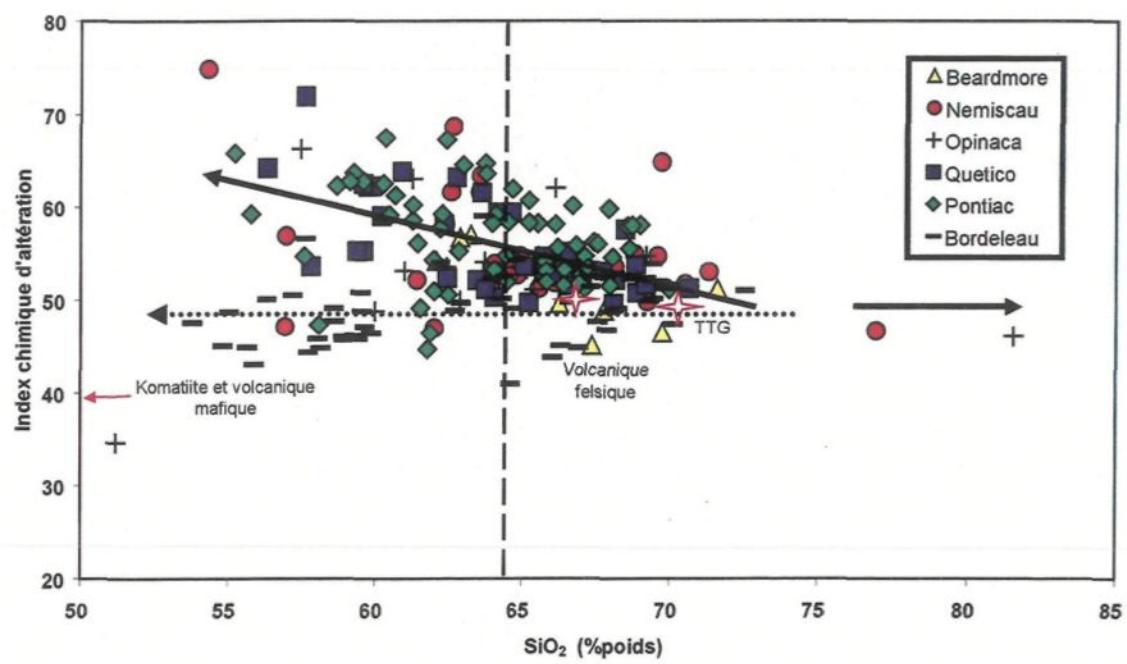
3.2 Index chimique d'altération (CIA)

Le diagramme de l'index chimique d'altération permet de déterminer le degré de météorisation des métasédiments au cours de la météorisation chimique de la croûte supérieure par dégradation des feldspaths et la formation de minéraux argileux (Nesbitt et Young, 1982).

Le diagramme 3.1 montre les résultats du calcul de l'index chimique de l'altération pour les six bassins versus la silice. La tendance générale est que l'index d'altération augmente dans les roches métapélitiques. Cet index atteint près de 75 pour les métapélites (roches enrichies en argile c'est-à-dire le matériel résiduel de météorisation). La plupart des valeurs (pour SiO_2 60-70%) se retrouvent entre l'index 50 et 58, des valeurs semblables à celles retrouvées dans la croûte archéenne au nord-ouest de l'Ontario (Nesbitt et Young, 1982). Les valeurs de 50 représentent le matériel frais, riche en albite, en anorthite et en feldspath potassique non-altéré et les valeurs situées entre 45 et 55 représentent les granites et granodiorites (Nesbitt et Young, 1982). Par conséquent, les valeurs de l'index obtenues pour les six bassins indiquent qu'ils sont constitués en grande partie de matériel felsique et qu'ils contiennent peu de matériel argileux. Il est important de noter que les pôles de la composition de la source possèdent des index inférieurs à ceux des échantillons des six bassins. La raison est que la composition géochimique de ces pôles proviennent de roches fraîches contenant très peu de matériel altéré.

Ce diagramme semble indiquer que le bassin de Pontiac possède les index les plus élevés. Ainsi, le matériel qui le compose est plus altéré comparativement aux autres bassins. L'étude statistique au chapitre 4 permettra de vérifier cette hypothèse. Alors que le bassin de Bordeleau est celui qui possède des index les

Figure 3.1 Diagramme de l'index chimique d'altération (CIA) versus la silice déterminant le degré de météorisation des métasédiments. Les flèches rouges et les étoiles représentent l'emplacement de la composition des roches volcaniques felsiques, mafiques, ultramafiques et TTG. La flèche noire à trait plein représente l'augmentation du CIA dans les lits métapélitiques. La flèche noire pointillée représente une moyenne (purement visuelle) du CIA de Bordeleau qui est clairement différent des autres bassins. La ligne verticale pointillée représente la limite métapélite-métagrauwacke.



variation entre métapélite et métagrauwacke). Il est donc probable que ce bassin possède une moins grande quantité de matériel altéré.

3.3 Les oxydes majeurs

L'analyse géochimique des éléments majeurs a été effectuée à l'aide de diagrammes Harker. La silice, qui varie de 55% à 71 % poids pour la plupart des échantillons, a été utilisée comme référence de même que pour illustrer la variabilité du contenu en quartz.

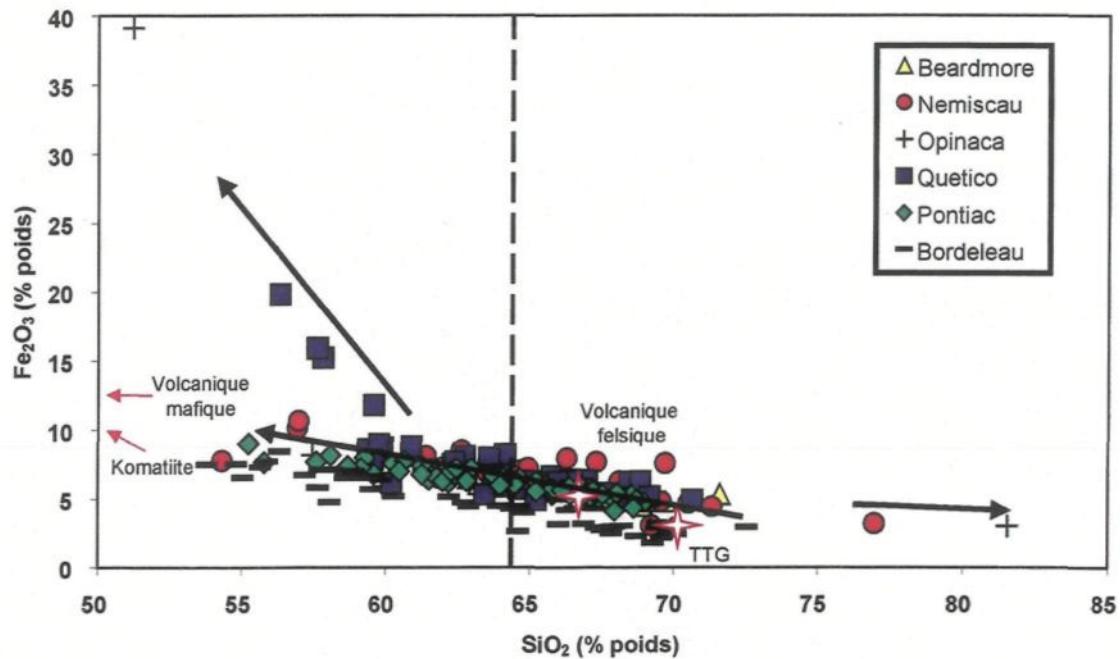
3.3.1 Présence d'argile

Les diagrammes dont l'abscisse sont les oxydes ferromagnésiens et l'ordonnée est la silice sont utilisés car ils caractérisent la présence de minéraux ferromagnésiens après le métamorphisme et donc d'argile au départ.

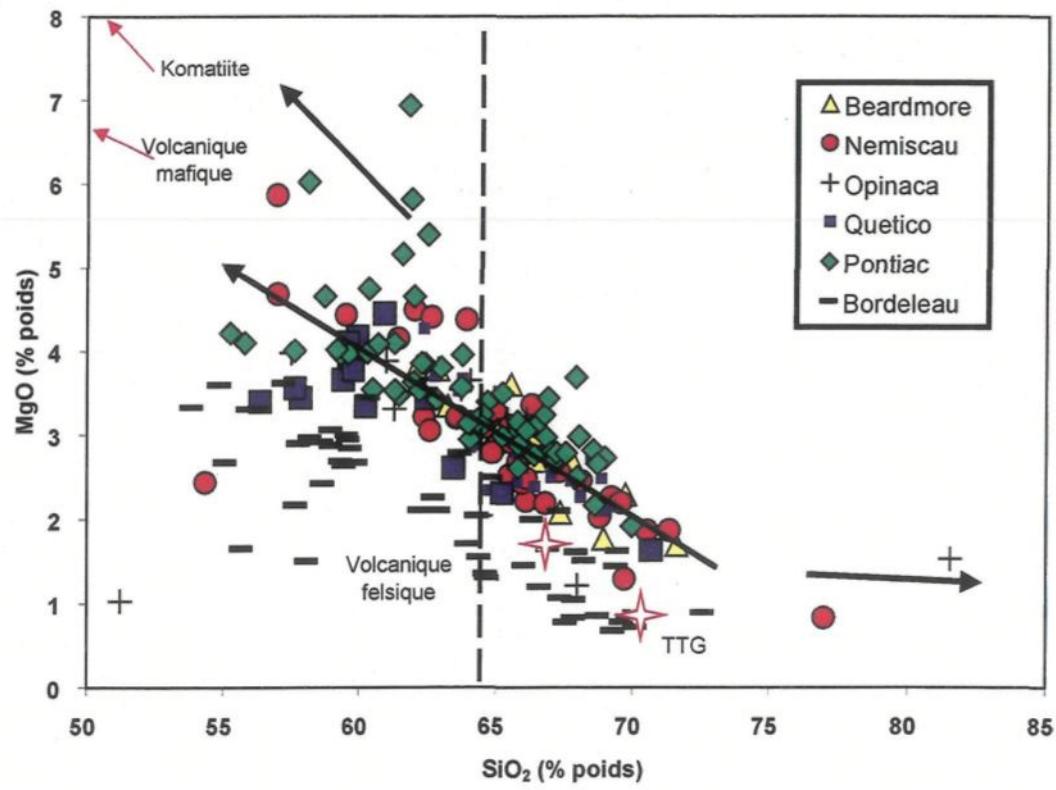
Les diagrammes de Fe_2O_3 (figure 3.2 a) et de MgO (figure 3.2 b) montrent que la plupart des échantillons varient inversement avec la silice de 50% à 85 % poids. Ainsi, il y a augmentation de minéraux riches en fer et en magnésium dans les métapélites. Un échantillon de Nemiscau et un d'Opinaca montre un enrichissement en SiO_2 ($> 75\%$ de SiO_2) dans les diagrammes 3.2 a et 3.2 b. Ces deux mêmes échantillons contiennent un plus grand volume en quartz. Cette affirmation est appuyé par l'observation des lames minces.

Figure 3.2 Diagrammes Harker de Fe_2O_3 et de MgO versus SiO_2 , illustrant les effets de la présence de matériel mafique et d'argile dans la composition des métasédiments. Les flèches rouges et les étoiles représentent l'emplacement de la composition des roches volcaniques felsiques, mafiques, ultramafiques et des TTG. Les flèches noires représentent l'augmentation du contenu en fer, magnésium et silice. La ligne en pointillée verticale représente la limite métapélite-métagrauwacke.

a)



b)



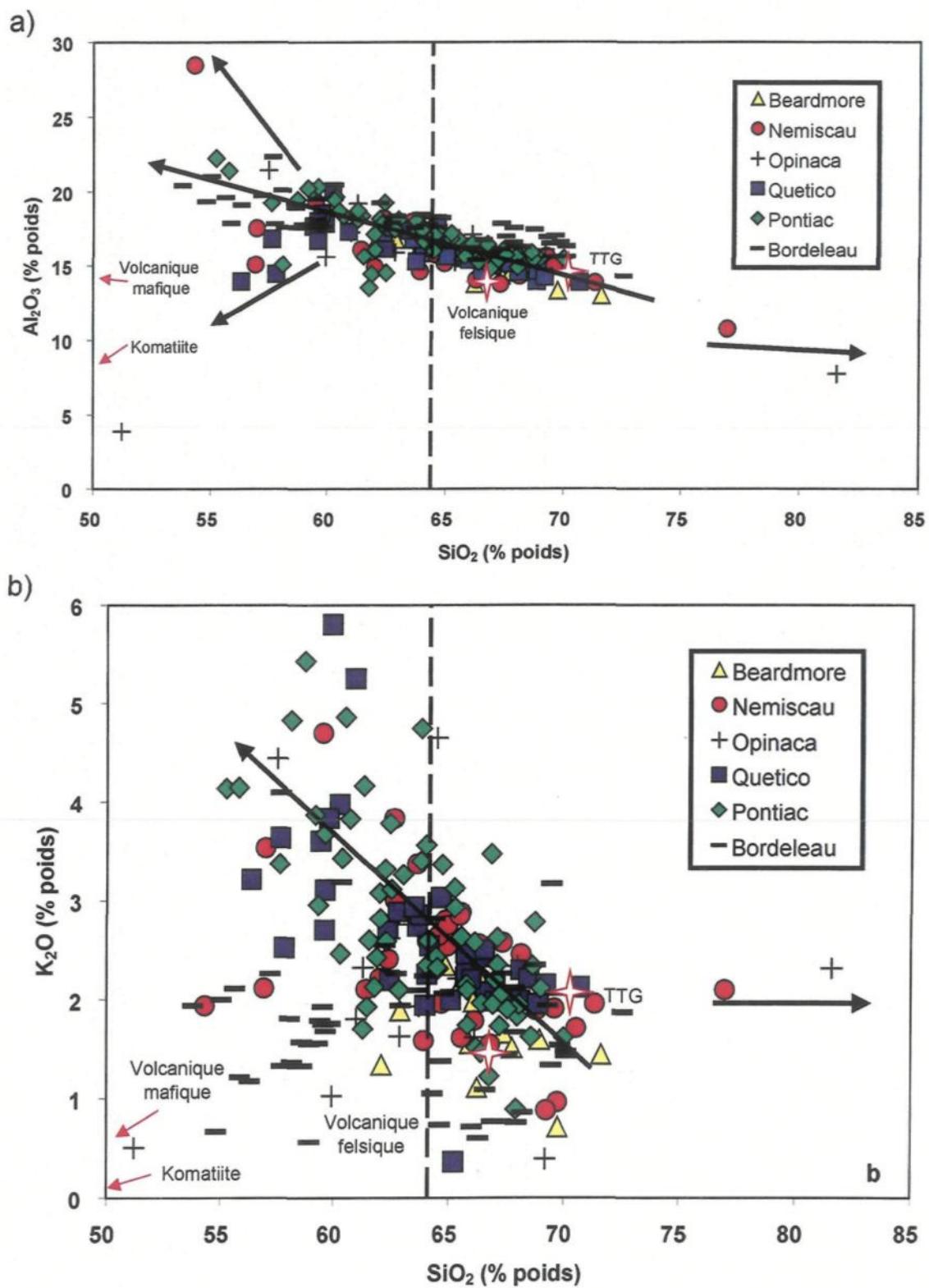
Quelques échantillons provenant de Quetico et d'Opinaca possèdent une concentration plus élevée en fer (~ 40 % ou plus pour une valeur de SiO_2 de moins de 60 % poids; figure 3.2 a). Le diagramme de MgO (figure 3.2 b) expose ces mêmes échantillons mais avec un appauvrissement en magnésium (~ 3.5 % et moins pour une valeur de SiO_2 inférieure à 60 % poids). Ces valeurs élevées en fer et faible en magnésium s'expliqueraient par une source riche en composante chimique des formations de fer.

Dans ce même diagramme de MgO (figure 3.2 b), quelques échantillons provenant de Nemiscau, de Pontiac et d'Opinaca possèdent un pourcentage plus élevé en magnésium (~ 5 % et plus pour une valeur de SiO_2 de moins de 65 % poids). La présence de composantes chimiques riches en MgO , provenant de roches ultramafiques présentes à proximité de ces bassins tel que dans la sous-province Abitibi, peut l'expliquer (Barnes *et al.*, 1983). D'ailleurs, les échantillons de Pontiac qui suivent cette tendance proviennent d'un affleurement qui contient une bande de roches ultramafiques et un conglomérat avec des cailloux de roches mafiques. Les échantillons ont été ramassés à une distance d'environ 1 mètre de ces types de roches. Pour les diagrammes de la figure 3.2 a et 3.2 b, le bassin de Bordeleau diffère des autres bassins par son appauvrissement en ces deux éléments majeurs, mais la tendance est parallèle à celle générée par les échantillons des autres bassins.

Le diagramme de la figure 3.3 a montre que le contenu en Al_2O_3 varie inversement avec la silice de 50% à 85 % poids, donc il y a une plus grande proportion de minéraux riches en aluminium dans les métapélites. La majorité des échantillons se situe entre 15% et 25% poids d' Al_2O_3 . Quelques échantillons de Quetico, de Nemiscau, de Pontiac et d'Opinaca, sont appauvris en aluminium (~ 16 % et moins d' Al_2O_3 pour une valeur de SiO_2 inférieure à 60 % poids). Ces échantillons correspondent à ceux enrichis en fer et appauvris en magnésium des figures 3.2 a et 3.2 b.

D'autres échantillons qui sont enrichis en aluminium ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 24$ % poids) suggèrent la présence de minéraux argileux très alumineux dans la roche d'origine. Ces échantillons enrichis en Al_2O_3 à la figure 3.3 a suggèrent la présence d'un minéral ou de minéraux très alumineux comme la kaolinite dans les sédiments initiaux (Deer *et al.*, 1962). Enfin, deux échantillons riches en SiO_2 et un peu plus appauvris en Al_2O_3 sont aussi observés aux figures 3.2 a et 3.2 b. Ces deux échantillons contiennent un plus grand volume de quartz. Sur le diagramme 3.3 a, le bassin de Bordeleau et le bassin de Pontiac diffèrent des autres bassins car ils semblent être enrichis en aluminium pour les métagrauwackes et les métapélites. L'étude statistique sera utile pour préciser cette observation. Donc ces deux bassins ont une plus grande proportion de minéraux alumineux.

Figure 3.3 Diagrammes Harker a) d' Al_2O_3 versus SiO_2 et b) K_2O versus SiO_2 . Ces deux diagrammes permettent de voir un enrichissement en aluminium et en potassium dans les métapélites et un enrichissement en silice pour deux échantillons (flèches noires). Les flèches rouges et les étoiles représentent l'emplacement de la composition des roches volcaniques felsiques, mafiques, ultramafiques et TTG. La ligne verticale en pointillée représente la limite métapélite-métagrauwacke.

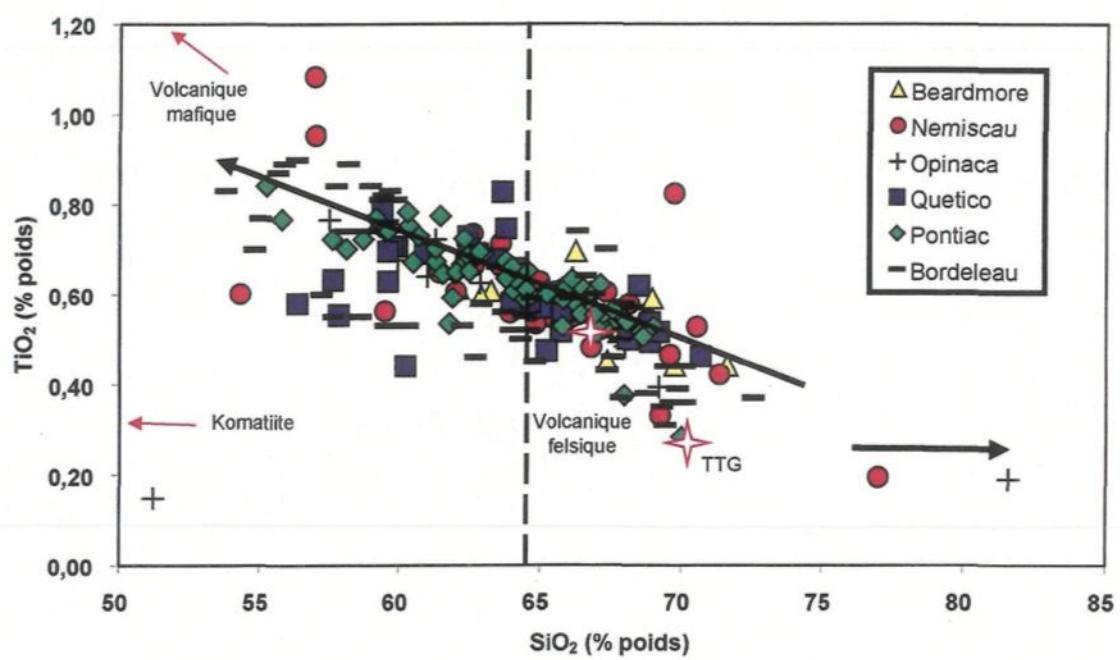


Le K₂O, qui est une composante associée aussi aux micas blancs et aux feldspaths alcalins indique une corrélation négative avec la silice pour les six bassins (figure 3.3 b). Cette pente indique qu'il y a un gain de K₂O dans les minéraux résiduels d'altération et que cet oxyde est vraiment adsorbé par les minéraux argileux. Par conséquent, la partie enrichie en argile (métapélite) abonde en micas blancs après le métamorphisme, comparativement à la partie la moins altérée (métagrauwacke) qui est pauvre en micas blancs. Le diagramme 3.3 b montre aussi que le bassin de Bordeleau est moins riche en K₂O que les autres bassins.

L'oxyde de titane (TiO₂) est normalement considéré comme un élément/oxyde immobile durant l'altération, mais il peut arriver qu'une petite quantité soit mobile. Ce TiO₂ mobile peut être adsorbé par les minéraux argileux comme la vermiculite et la smectite (Deer *et al.*, (1962) p.230 et p.250). Le diagramme de TiO₂ vs SiO₂ montre une forte pente négative pour les six bassins (figure 3.4).

Dans le cas où le titane reste dans les minéraux lourds et résistants à l'altération comme la titanite, le rutile et l'ilménite, une augmentation de ces minéraux lourds dans la partie à granulométrie grossière peut être anticipé en raison de la densité. Cependant, on ne retrouve pas cette relation entre TiO₂ et la granulométrie en raison de l'adsorption du TiO₂ sur les micas donc, les micas sont le principal réservoir de TiO₂. Ce résultat, similaire à celui du K₂O est relié à un

Figure 3.4 Diagramme Harker du titane versus la silice. Ce diagramme détermine le minéral qui contrôle la distribution du titane. Les flèches noires représentent l'augmentation du titane dans les lits métapélitiques et de l'enrichissement en silice de deux échantillons. Les flèches rouges et les étoiles représentent l'emplacement de la composition des roches volcaniques felsiques, mafiques, ultramafiques et des TTG. La ligne verticale en pointillée représente la limite métapélite-métagrauwacke.



contenu important de minéraux argileux dans les lits métapélitiques. La figure 3.4 montre aussi que quelques sédiments du bassin de Bordeleau sont appauvris en TiO_2 dans les lits métapélitiques en comparaison avec les autres bassins. La raison est qu'il y a une faible quantité d'argile et une plus grande quantité de plagioclase dans la partie à granulométrie fine. Cette observation sera vérifiée dans le volet statistique

Ainsi, l'enrichissement en Fe_2O_3 , MgO , Al_2O_3 , K_2O et TiO_2 (figures 3.2 à 3.4) indique la présence d'argile et d'un plus grand nombre de minéraux ferromagnésiens tels que le grenat et la biotite dans les lits métapélitiques après le métamorphisme. L'enrichissement en Fe_2O_3 et l'appauvrissement en MgO (figure 3.1 a et 3.1 b) est dû à la présence de composantes chimiques de sédiments provenant de formations de fer présentes dans ces deux bassins (Deer *et al.*, (1962), page 72).

Les diagrammes précédents ont permis d'illustrer la présence de minéraux argileux et ferromagnésiens dans les roches métapélitiques. Cependant, ils ne spécifient pas quel est le principal minéral argileux qui contrôle la distribution d' Al_2O_3 , de Fe_2O_3 et de K_2O . Pour ce faire, les prochains diagrammes utilisent les oxydes majeurs qui caractérisent les minéraux argileux (illite et smectite) soit l' Al_2O_3 , le Fe_2O_3 et le K_2O . La composition moyenne de l'illite et de la smectite est

représentée par des étoiles sur les diagrammes 3.5 a et b et leurs compositions géochimiques proviennent de Deer *et al.* (1962), et sont présentées à l'annexe 1.

Pour le diagramme Al_2O_3 versus Fe_2O_3 (figure 3.5 a) et le diagramme K_2O vs Al_2O_3 (figure 3.5 b) les échantillons des six bassins se distribuent autour des pôles de la smectite et de l'illite. Les échantillons provenant du bassin de Bordeleau sont différents des autres parce qu'ils sont enrichis en aluminium et appauvris en fer. La phase la plus probable serait le feldspath, mais la question à se poser est : est-ce que ce sont des feldspaths potassiques ou des plagioclases. Les diagrammes de la partie 3.3 permettront de déterminer la composition des plagioclases. Enfin, des échantillons de Quetico et de Nemiscau sont enrichis en Fe_2O_3 . Ils correspondent aux échantillons des formations de fer de la figure 3.2 a.

Deux échantillons, un de Quetico et un de Nemiscau sont appauvris en Al_2O_3 , Fe_2O_3 et K_2O (figures 3.5 a et 3.5 b). Ces deux échantillons correspondent à ceux des figures 3.2 a, 3.2 b et 3.3 a qui sont riches en SiO_2 .

3.3.2 Plagioclases

La composante CaO , exhibe une corrélation positive avec la silice pour tous les bassins à l'exception du bassin de Bordeleau et de quelques échantillons de Nemiscau qui ont une corrélation négative (figure 3.6 a). La pente positive de ce diagramme suggère une perte de CaO dans la solution d'altération et aussi que cet

Figure 3.5 Diagrammes Harker de a) Al_2O_3 versus Fe_2O_3 et de b) K_2O versus Al_2O_3 . Ces deux diagrammes déterminent le minéral argileux qui contrôle la distribution de l'aluminium, du fer et du potassium dans les métasédiments. Les flèches rouges et les étoiles blanches représentent l'emplacement de la composition des roches volcaniques felsiques, mafiques, ultramafiques et des TTG. La flèche noire en a) représente l'augmentation du contenu en fer. L'étoile de couleur rose représente la composition moyenne de la smectite et l'étoile de couleur turquoise représente celle de l'illite.

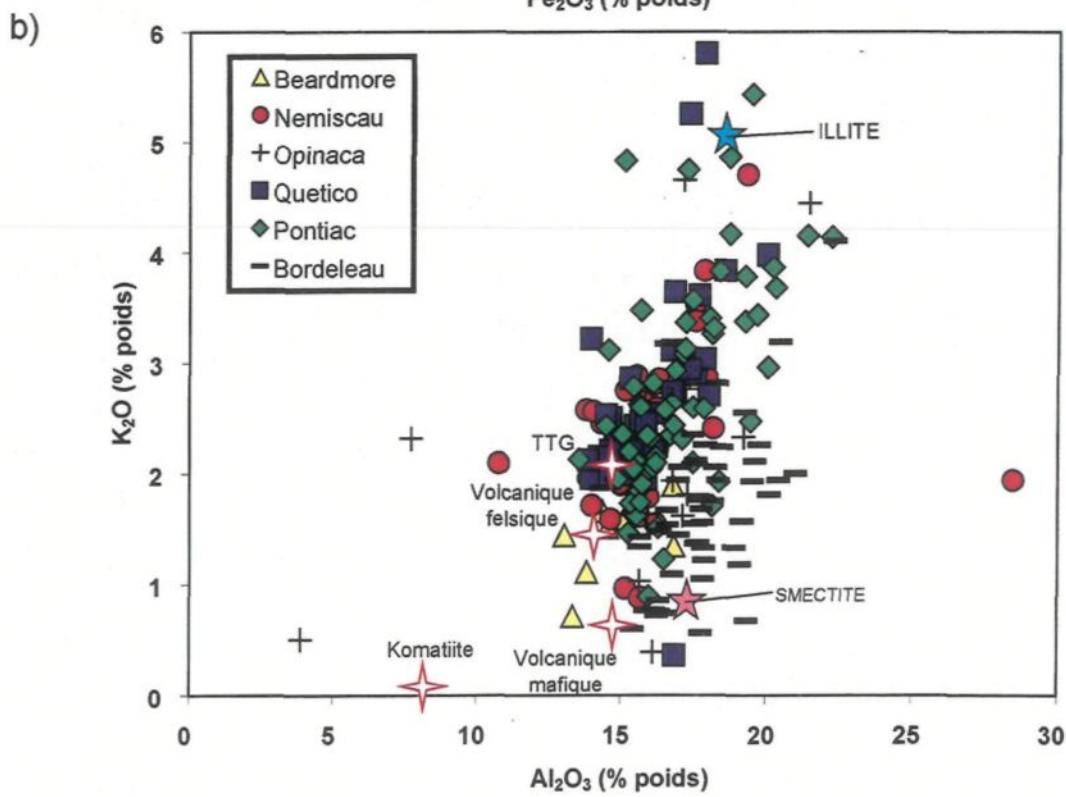
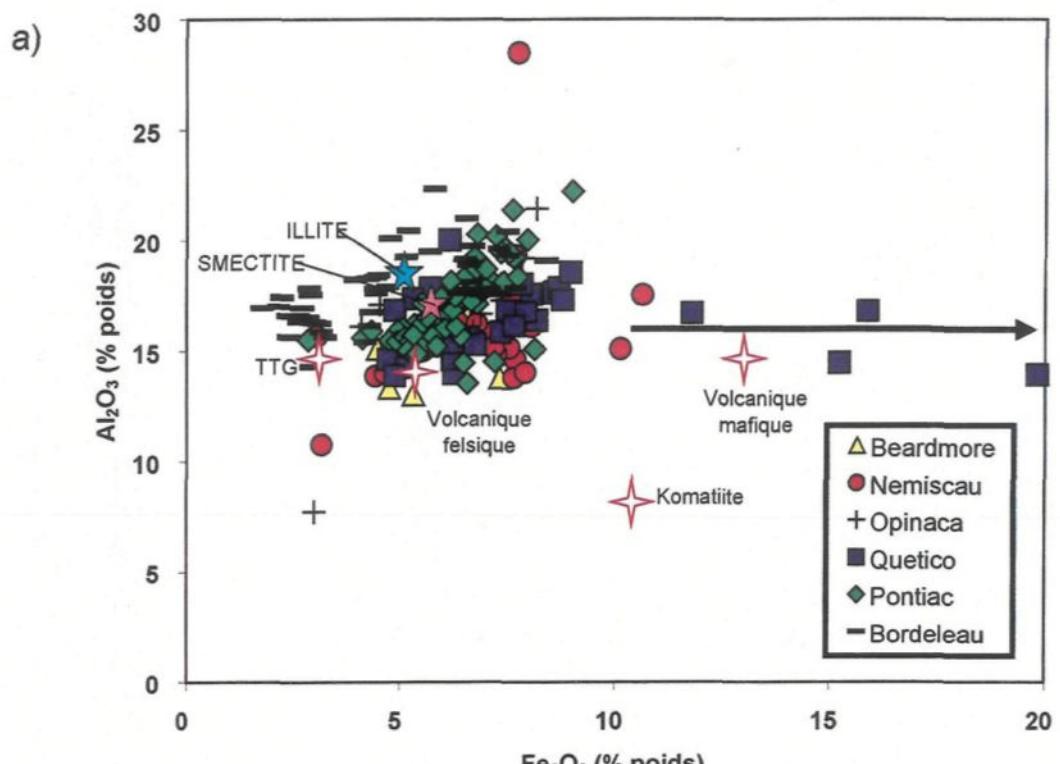
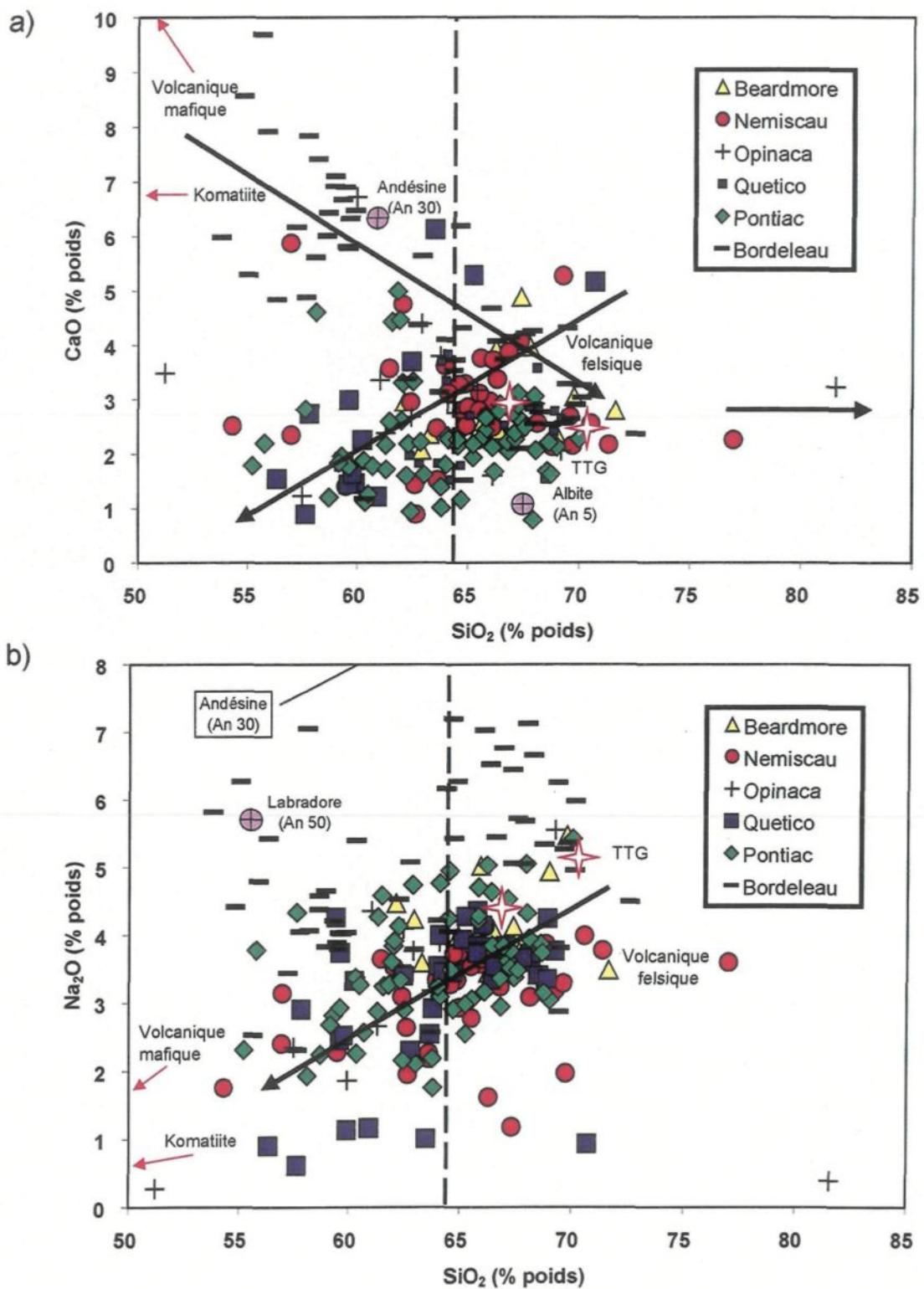


Figure 3.6

Diagrammes Harker : a) CaO versus SiO₂ et de b) Na₂O versus SiO₂. Ces deux diagrammes illustrent la présence de plagioclase dans les métasédiments. Les flèches rouges et les étoiles représentent l'emplacement de la composition des roches volcanique felsiques, mafiques et des roches ultramafiques et des TTG. La flèche noire représente en a) l'augmentation du CaO dans les lits de métagrauwackes et de la diminution du CaO dans les métagrauwackes pour le bassin de Bordeleau. En b) la flèche noire représente la diminution du Na₂O dans les lits métapélitiques et de l'enrichissement en silice pour deux échantillons. Les cercles de couleur lilas avec une croix au centre représente la composition des plagioclases susceptibles de correspondre à ceux des échantillons. La ligne pointillée verticale représente la limite métapélite-métagrauwacke.



oxyde n'est pas retenu par les minéraux argileux dans les sédiments détritiques de départ. C'est pourquoi lors du classement des grains par taille, dans le processus de déposition par un courant de turbidité, la partie enrichie en argile (métapélite) est appauvrie en CaO donc en plagioclases. Par contre, la partie la moins altérée par la météorisation à la source (métagrauwacke) est riche en plagioclases détritiques et en CaO.

En ce qui concerne le contenu en CaO plus élevé du bassin de Bordeleau deux hypothèses s'imposent : 1) Bordeleau contient des plagioclases détritiques de compositions différentes dans le matériel à granulométrie fine comparativement aux autres bassins ou bien, 2) il y a une autre phase riche en CaO autre que les plagioclases qui existe. La présence des pôles de compositions des plagioclases démontre que Bordeleau possède des plagioclases de composition différentes (An_{30}) des autres bassins (An_5). Cette composition reflète un apport de matériel felsique différent. La composition de ces plagioclase proviennent d'une composition idéal calculée par stoechiométrie. Ainsi, la première hypothèse est la plus probable. La pente négative est l'effet de la présence d'une plus grande quantité de quartz.

Pour ce qui est du diagramme de Na_2O vs SiO_2 (figure 3.6 b), il confirme que les bassins de Beardmore-Geraldton, de Quetico, de Nemiscau, d'Opinaca et de Pontiac contiennent approximativement la même concentration de sodium. Donc un apport en plagioclase similaire et de composition similaire. Cependant le

bassin de Bordeleau est enrichit en Na_2O ce qui montre que la composition des plagioclases détritiques est différente.

Ensuite, les métasédiments arborent un rapport constant de Sr/CaO qui suggère que la provenance des plagioclases des six bassins est uniforme comme le démontre le diagramme Sr vs CaO (figure 3.7 a). De plus, ce rapport constant de Sr/CaO indique un apport de plagioclase similaire pour les six bassins. Par contre, il indique que la composition des plagioclases ignés est différente pour le bassin de Bordeleau puisque celui-ci a un contenu plus élevé en strontium.

Par conséquent, les éléments CaO , Na_2O et le Sr sont contrôlés par les plagioclases détritiques de grandes tailles. D'ailleurs, les études de Nesbitt *et al.* (1980) sur l'altération des roches ont montré que pendant l'altération des feldspaths en argile, le Na_2O et le CaO sont perdus mais le K_2O est adsorbé dans les micas.

3.3.3 Minéraux résistants à l'altération

La figure 3.8 montre un léger enrichissement des métapélites en P_2O_5 ce qui suggère que les minéraux associés à cet oxyde tels que l'apatite et la monazite se retrouvent présents en plus grande quantité (car ils sont plus résistants à l'altération) dans la fraction des sédiments à granulométrie fine. Le bassin de Bordeleau est encore une fois différent des autres. En effet, elle a un

Figure 3.7

Diagramme Harker du strontium versus le calcium. Ce diagramme détermine si la composition des plagioclases est la même pour tous les bassins. Les étoiles représentent l'emplacement de la composition des roches volcaniques felsiques et mafiques, des roches ultramafiques et des TTG. La flèche noire représente la diminution du strontium avec la diminution du calcium.

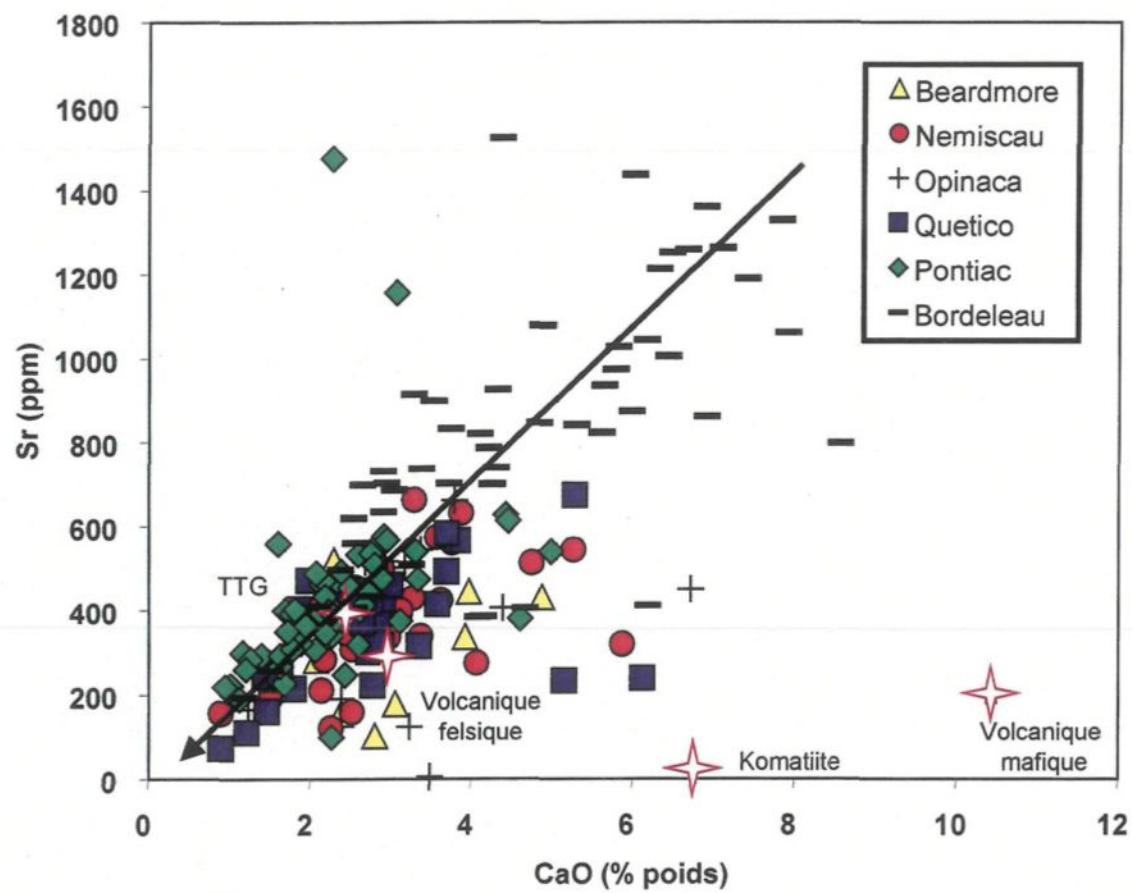
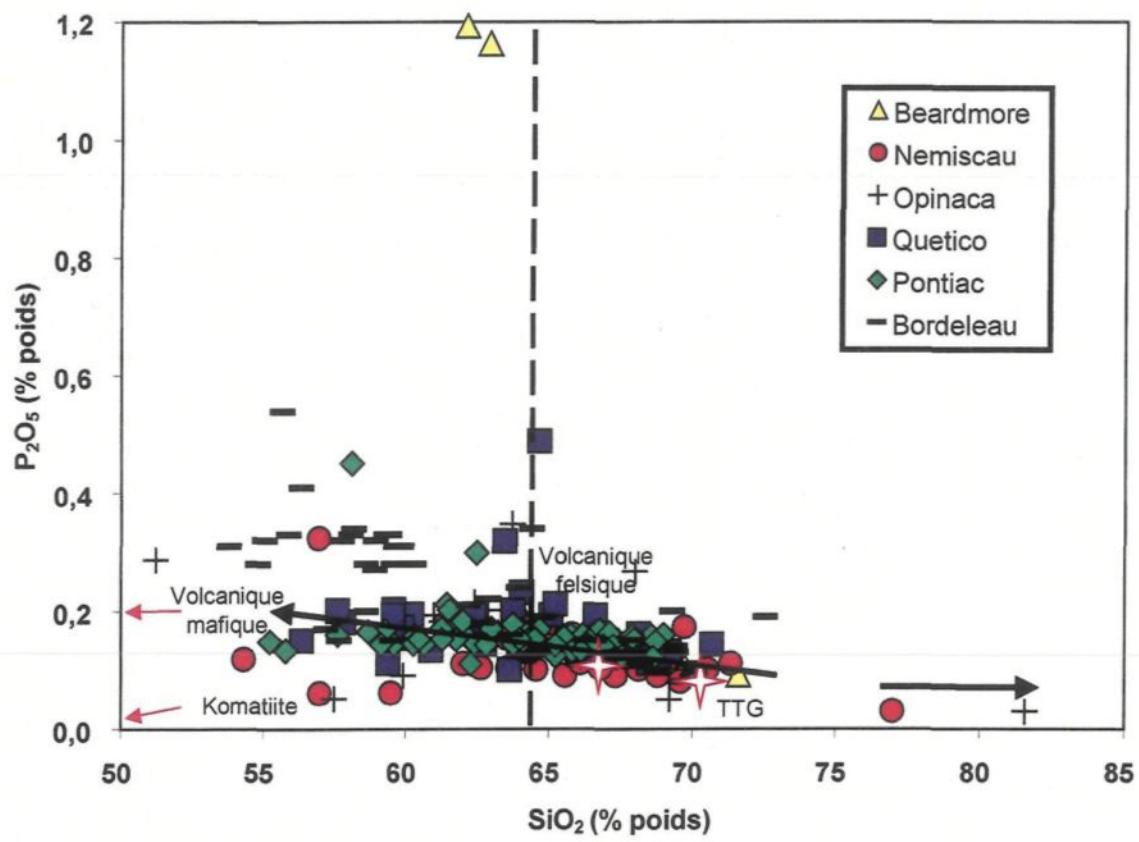


Figure 3.8 Diagramme Harker du P_2O_5 versus SiO_2 . Ce diagramme détermine dans quels lits se retrouve les minéraux résistants à l'altération. Les flèches rouges et les étoiles représentent l'emplacement de la composition des roches volcaniques felsiques, mafiques, des roches ultramafiques et des TTG. Les flèches noires représentent l'augmentation du phosphore dans les métapélites et l'enrichissement en silice de deux échantillons. La ligne verticale en pointillée représente la limite métapélite-métagrauwacke.



enrichissement en P_2O_5 plus important, ce qui suggère une source plus riche en P_2O_5 , ou bien un dépôt de sédiments près de la source donc une faible perte d'apatite lors de l'érosion et du transport.

3.3.4 Synthèse

Suite à l'observation des différents diagrammes, l'enrichissement similaire en Fe_2O_3 , MgO , Al_2O_3 , K_2O et TiO_2 des roches métapélitiques suggère que ces oxydes sont contrôlés par la distribution du même type de minéral : les argiles. De plus, les diagrammes ont montrés que les bassins de Bordeleau et de Pontiac ont une composition géochimique différente des autres bassins.

3.4 Les éléments des terres rares

La plupart des éléments des terres rares et les autres éléments à haut potentiel ionique sont utilisés pour déterminer la source des métasédiments et la provenance des sédiments clastiques en raison de leur faible mobilité, leur petite taille et leur forte charge électronique de 3^+ ou 4^+ . En plus, une portion substantielle de ces éléments se retrouve dans les minéraux résistant à l'érosion comme les zircons. Ces éléments sont transportés dans les roches sédimentaires clastiques durant l'altération et le transport et ils reflètent la signature du matériel parent (McLennan *et al.*, 1980).

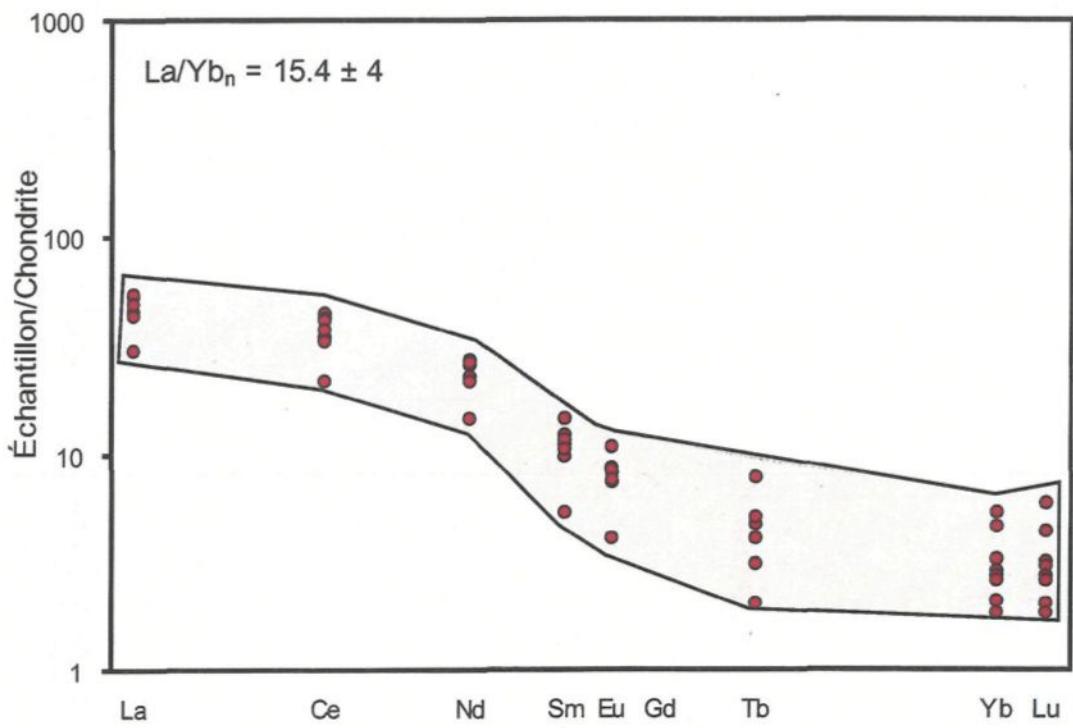
Les diagrammes des éléments des terres rares (ETR), sont illustrés aux figures 3.9, 3.10 et 3.11 pour chaque bassin. Malheureusement, le bassin de Beardmore-Geraldton ne sera pas à l'étude dans cette partie en raison de l'absence de données de ETR disponibles.

Les bassins de Quetico, de Nemiscau, de Pontiac et d'Opinaca montrent des patrons très similaires (figures 3.9 et 3.10). Chacun de ces bassins a un enrichissement en éléments des terres rares légères avec respectivement un rapport $La_N/Yb_N = 14,6 \pm 6$ pour Quetico, $La_N/Yb_N = 15,4 \pm 4$ pour Nemiscau, $La_N/Yb_N = 14,2 \pm 5$ pour Pontiac, $La_N/Yb_N = 15,4 \pm 5$ pour Opinaca et un appauvrissement en éléments de terres rares lourdes. Par contre, le patron de ETR lourdes des bassins de Nemiscau et d'Opinaca illustre une plus grande variation comparativement au bassin de Quetico. Ce constat peut s'expliquer par un métamorphisme un peu plus élevé dans ces deux bassins (Guernina et Sawyer, 2003). Plus en détail, la portion La-Eu présente un patron courbe (convexe). Entre Eu et Yb, les patrons sont droits avec une légère diminution vers Yb.

En général, il n'y a pas d'anomalie (positive ou négative) en Eu très évidente. Pour les cinq bassins des figures 3.9, 3.10 et 3.11, l'échantillon « typique » a une valeur de La de l'ordre de 60X chondrites. Le patron de ETR du bassin de Bordeleau est enrichi en éléments des terres rares légères et appauvri en éléments des terres rares lourdes par rapport aux autres bassins avec un rapport

Figure 3.9 Diagrammes des éléments des terres rares des bassins de
a) Nemiscau et b) d'Opinaca. Normalisé aux chondrites.

a)



b)

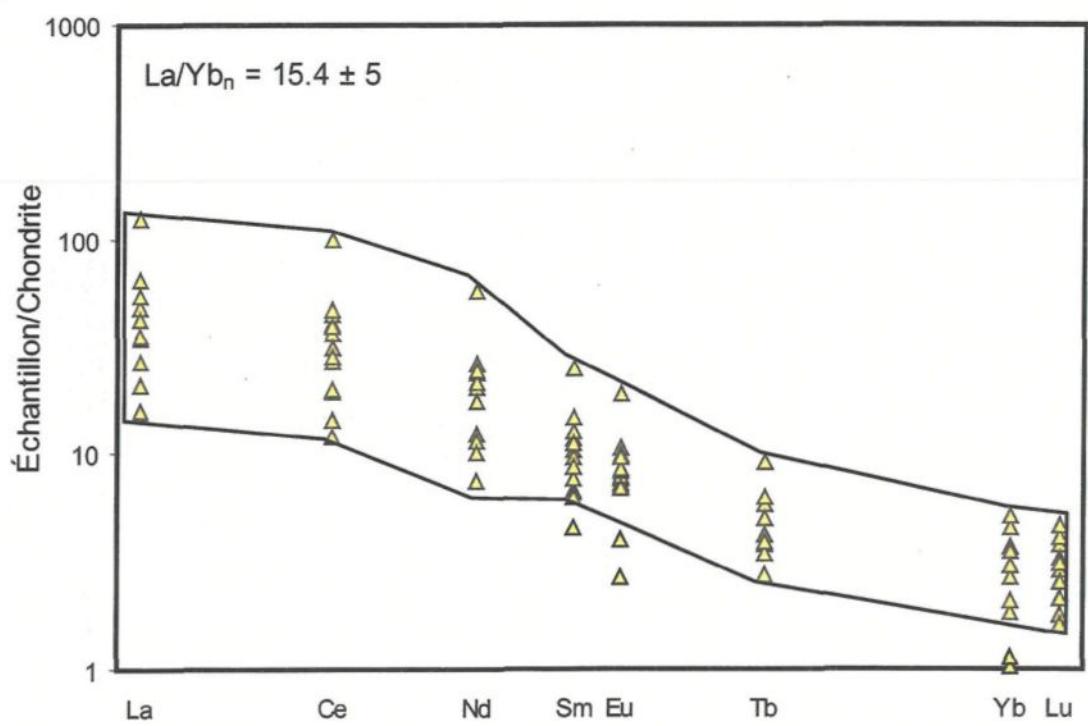


Figure 3.10 Diagrammes des éléments des terres rares des bassins de a) Quetico et b) de Pontiac. Normalisé aux chondrites.

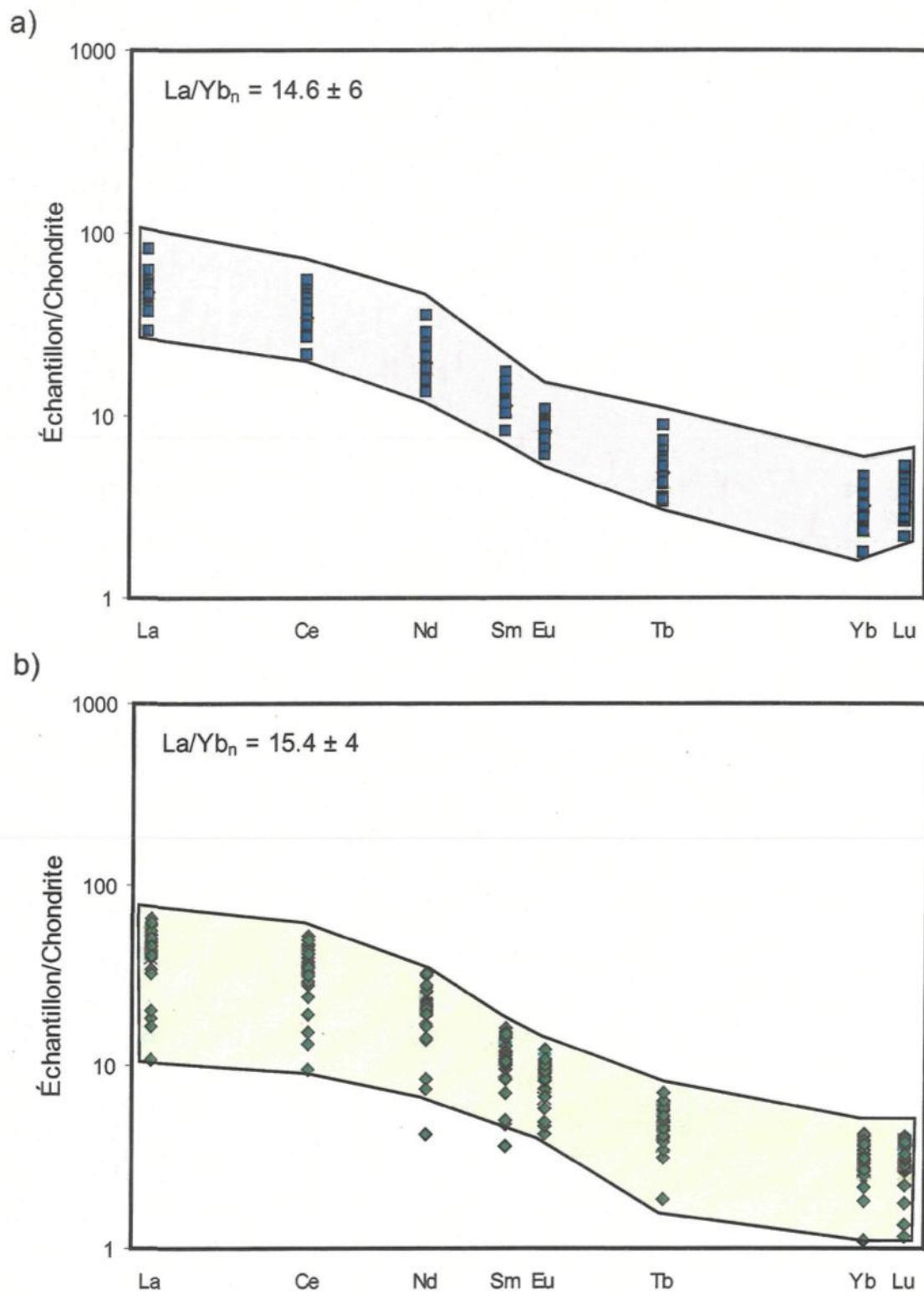
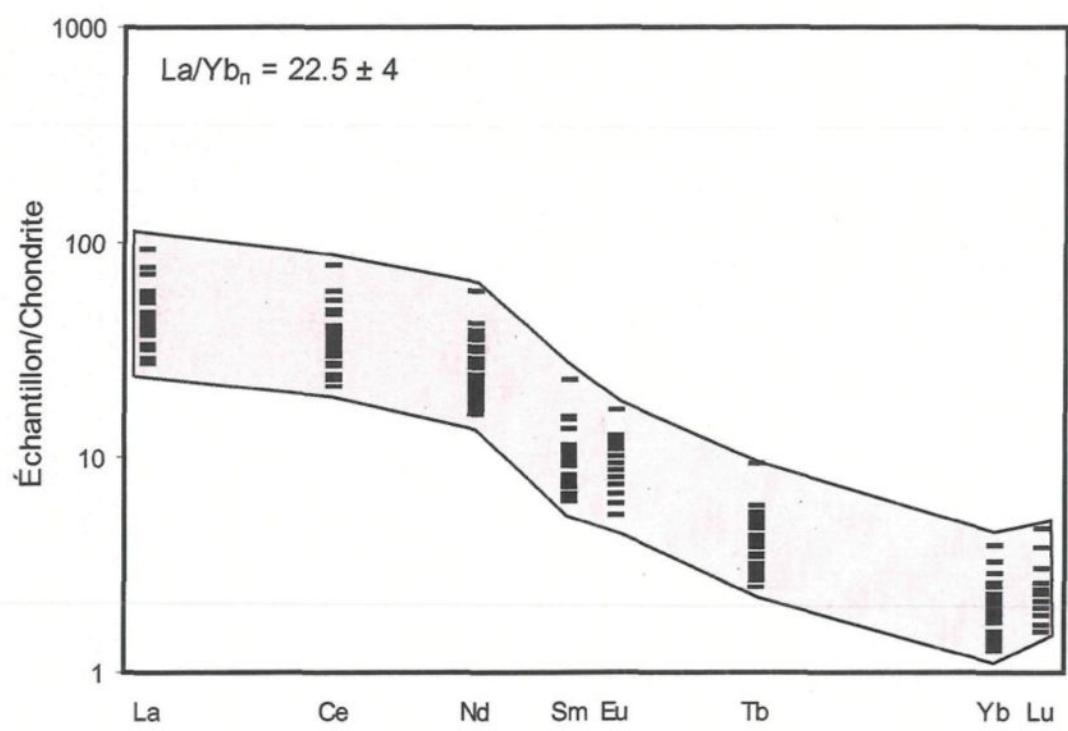


Figure 3.11 Diagramme des éléments des terres rares du bassin de Bordeleau.
Normalisé aux chondrites.



de $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 22,5 \pm 4$ (figure 3.12). Enfin, il y a une tendance à avoir une anomalie négative en Eu dans ces roches car la source serait dérivée d'un magma fractionné (Rollinson, H., 1993).

3.4.1 Détermination de la nature de la source

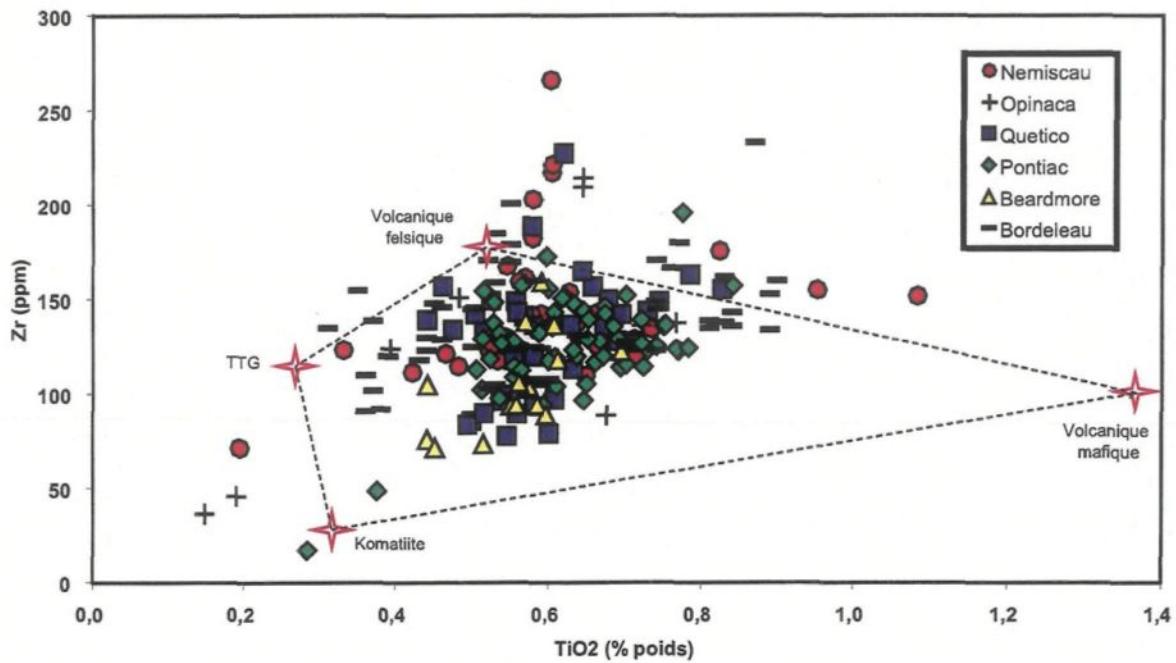
La détermination de la source sera effectuée à l'aide de diagrammes Harker construits afin d'avoir un élément des terres rares ou un oxyde constituant les roches mafiques (TiO_2 , Ni, Cr, Sc, Sr, Y) sur un axe et un élément des terres rares représentant les roches felsiques (Rb, Cs, Th, U, Zr) sur l'autre axe.

Sur la figure 3.12 a (Zr vs TiO_2), les sédiments des six bassins restent à l'intérieur de l'espace compositionnel défini par les komatiites, les roches volcaniques mafiques, les roches volcaniques felsiques et les TTG. Les figures 3.12 b (Y vs TiO_2) montrent que l'yttrium (Y), le titane (Ti) sont des éléments contrôlés par une source mafique qui a été diluée par une source felsique.

Les figures 3.13 a et b sont utilisée ici pour deux raisons : 1) ils déterminent la nature de la source et 2) ils montrent la présence d'argile. Tout d'abord, les figures 3.13 a et b montrent que le bassin de Bordeleau se situe à proximité du pôle de composition de la source des roches volcaniques felsiques et des TTG. La majorité des échantillons du bassin de Pontiac et quelques-uns des bassins de Nemiscau et d'Opinaca de la figure 3.13 b sont enrichis en chrome (Cr) et nickel

Figure 3.12 Diagrammes Harker en a) Zr vs TiO_2 et en b) du Y vs TiO_2 . Ces deux diagrammes déterminent la composition de la source. Les étoiles représentent l'emplacement des sources possibles.

a)



b)

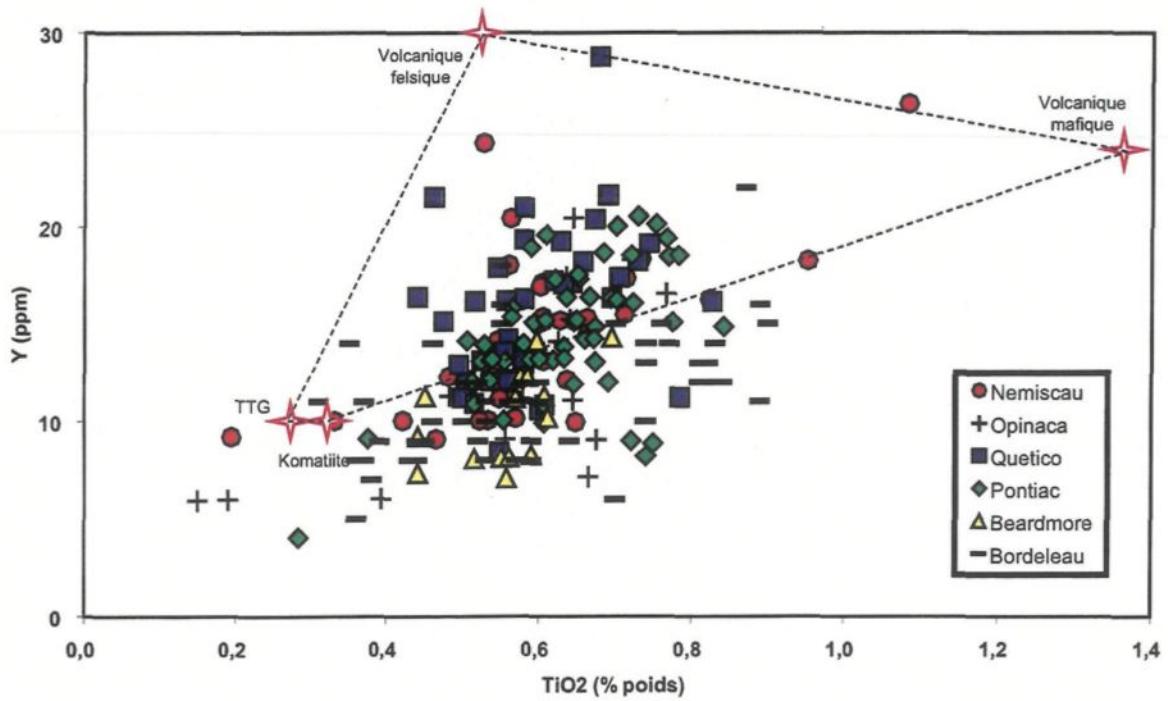
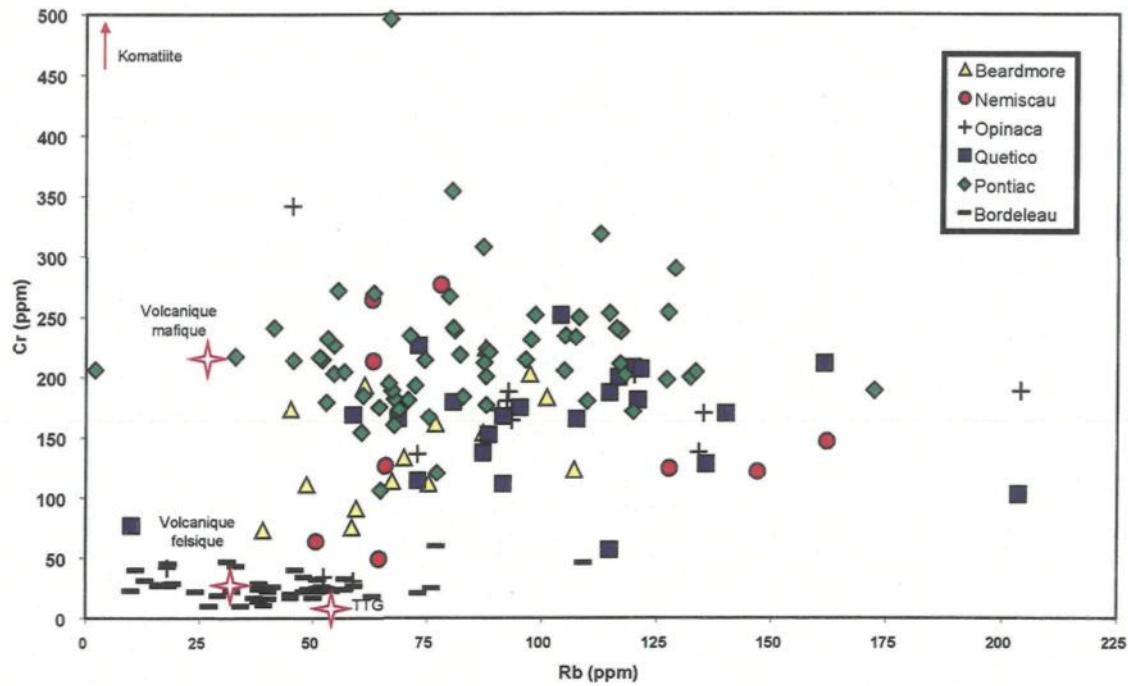
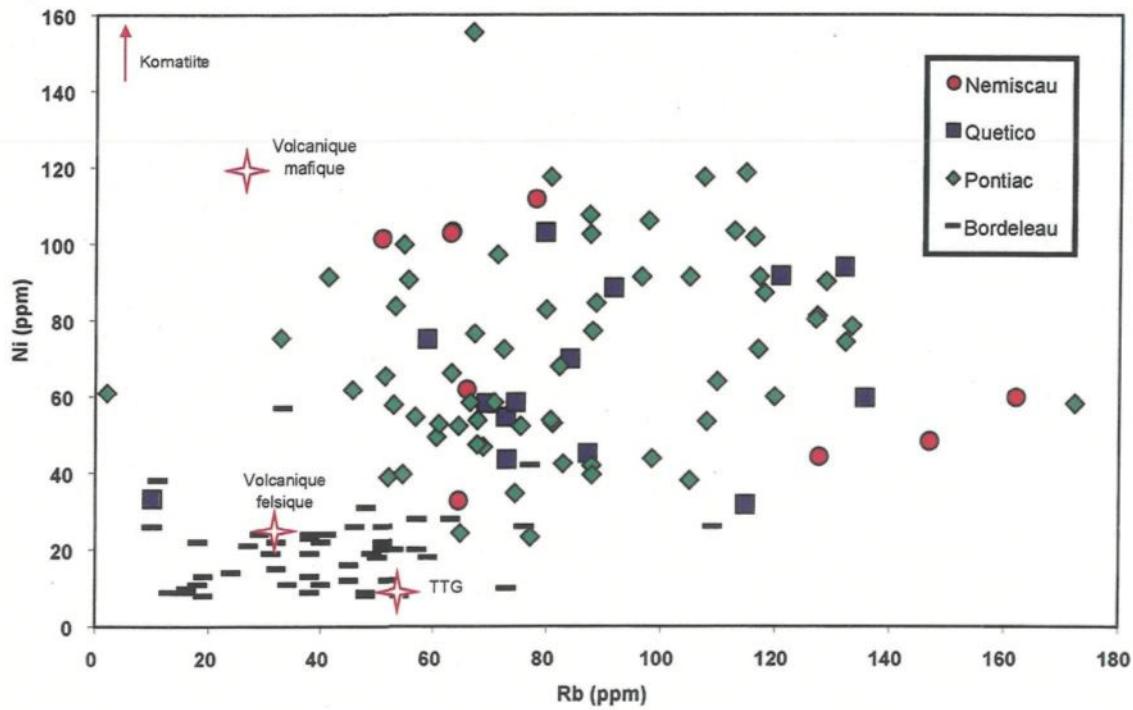


Figure 3.13 Diagrammes Harker a) Cr vs Rb et b) Ni vs Rb. Ces deux diagrammes déterminent la composition de la source et la présence d'argile. Les étoiles représentent l'emplacement des diverses compositions possibles de la source.

a)



b)

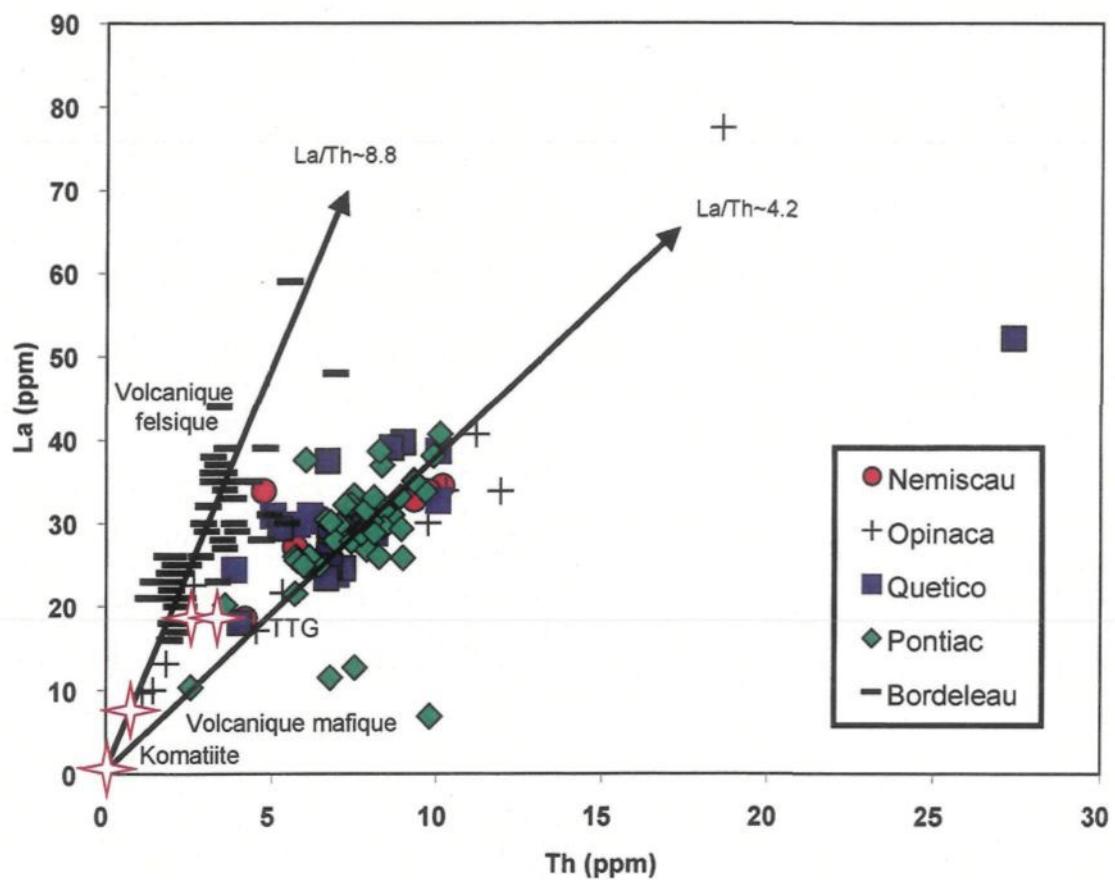


(Ni) comparativement aux autres bassins. Enfin, quelques échantillons du bassin Pontiac des figures 3.13 a et b montrent un enrichissement en Ni(< 118 ppm) et Cr (<300 ppm). Cet enrichissement suggère la présence d'une plus grande quantité de composantes sédimentaires dérivées de roches komatiitiques dans ces bassins et en particulier dans le bassin de Pontiac, comme cela a déjà été illustré avec le diagramme de MgO vs SiO₂ (figure 3.2 b).

Ensuite, ces deux diagrammes (figure 3.13 a et b) montrent également que tous les bassins à l'exception de Bordeleau sont enrichi en Rb. Le rubidium est mobile donc, les couches riches en argile en sont enrichies. Ainsi, les figures montrent que les échantillons du bassin de Bordeleau sont différents des autres bassins puisqu'ils sont pauvres en Rb. Probablement en raison du feldspath qui est moins altéré et qu'il y a une quantité moindre d'argile. Tous les autres bassins sont enrichie en Rb relativement à leur source possible. C'est probablement due à la présence de matériel altéré donc à la présence d'argile.

Pour le diagramme de La versus Th (figure 3.14), il y a deux tendances possibles. Une première tendance qui concerne le bassin de Bordeleau est appauvrie en thorium (Th) avec un ratio élevé de La/Th ~ 8.8. Les autres bassins suivent une deuxième tendance qui est enrichie en thorium avec un ratio plus faible de La/Th ~ 4,2. La présence de deux tendances serait expliquée par deux environnements tectoniques différents (Bathia et Taylor, 1981) et par le fait que le

Figure 3.14 Diagramme Harker du La versus Th. Ce diagramme détermine la présence de plusieurs environnements tectoniques et la source des sédiments initiaux. Les flèches noires représentent l'augmentation du La avec l'augmentation du Th.



bassin de Bordeleau contient plus de matériel volcaniques felsiques (Moisan 1992) et moins de TTG que les autres bassins.

Suite à l'observation de ces diagrammes, il est possible d'affirmer que la composition des sédiments dans ces bassins est contrôlée principalement par la présence de roches mafiques à la source. Par contre, une très grande quantité de matériel felsique, en particulier des tonalites-trondjhémites-granodiorites (TTG), a participé à la composition des sédiments de ces bassins. Cette grande contribution de matériel felsique est, effectivement, plausible puisque la Province du Supérieur possède une plus grande quantité de roches felsiques que de roches mafiques avec un rapport de 4:1 (Goodwin, 1981). Enfin, la plupart des diagrammes montrent que le bassin de Bordeleau possède une composition géochimique différente des autres bassins. Alors que le bassin Beardmore-Geraldton possède quelques différences mais ressemble tout de même aux quatre autres bassins. Enfin, ces diagrammes montrent qu'il y a eu une plus grande contribution de roches ultramafiques aux sédiments du bassin de Pontiac.

CHAPITRE 4

STATISTIQUES

Les chapitres précédents ont démontrés que les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau sont différents des quatre grands bassins. Ainsi, ces deux petits bassins serviront principalement comme un élément critique essentiel de la validité du test statistique. Le but de ce chapitre est de vérifier statistiquement les similitudes et les différences observées dans les diagrammes de géochimie du chapitre 3 et de vérifier si les quatre bassins sont similaires.

Le logiciel Excel est utilisé pour le calcul de la composition moyenne des bassins. Alors que le logiciel SYSTAT® est employé pour l'analyse de la variance et les diagrammes en boîtes.

Le calcul et le tableau résultant de l'analyse de la variance sont standards ainsi que les équations utilisées par le logiciel de statistique qui se retrouvent dans la plupart des volumes de statistique (partie 6.2 du volume de Till (1974); Baillargeon, 1990)

L'analyse de la variance (ANOVA) est une approche qui permet de caractériser la façon avec laquelle les valeurs des composantes chimiques observées se répartissent en grandeur autour de la moyenne (variance). Elle tient compte de toutes les données et c'est la meilleure caractéristique de dispersion et de comparaison.

De plus, elle détermine si les valeurs des composantes chimiques ou des éléments ont une différence significative entre chaque bassin. Son utilisation suppose que sur chaque échantillon de roche, (1) il y a un échantillon statistiquement aléatoire, (2) que les populations mères ont une distribution normale et (3) qu'elles ont une variance égale.

Afin de faire une bonne étude, il faut débuter par une analyse de la variance avec le test de Fisher. Ce test établit s'il y a une homogénéité des variances. Il permet de voir la variabilité des composantes chimiques et des éléments à l'intérieur des bassins et entre les bassins.

L'analyse de la variance sert seulement à indiquer si les valeurs d'un des six bassins diffèrent significativement. Ainsi, une composante chimique ou un élément est considéré significativement différent lorsque ses valeurs sont inférieures au niveau de confiance de 95%, c'est-à-dire une probabilité qui affiche une valeur inférieure à 0,05. Cependant, l'ANOVA ne permet pas de déterminer quel bassin est différent des autres, car il n'indique pas précisément le ou les bassins qui diffèrent. Pour examiner les différences entre les bassins,

l'utilisation d'une ANOVA à comparaison multiple est nécessaire. C'est la méthode de Tukey qui est utilisée pour identifier les différences significatives des valeurs moyennes entre deux bassins car c'est une méthode sensible aux différences des valeurs des variances.

Les tableaux de l'analyse de la variance à comparaison multiple (méthode de Tukey) comportent deux matrices. La première matrice, celle utilisée dans ce travail, est une comparaison des moyennes par paire de bassins. Alors que la deuxième matrice (annexe IV) permet de voir si la différence des moyennes est significative.

Les diagrammes en boîtes permettent d'appuyer et d'observer les résultats obtenus avec la composition moyenne, l'analyse de la variance et la méthode de Tukey. Ils permettent de visualiser rapidement, à l'aide d'une boîte, certaines caractéristiques de dispersion et une tendance centrale. Ce type de diagramme permet de présenter, sur un même graphique construit à l'échelle, les quartiles qui représentent 25% des valeurs, la position de la médiane et de l'étendue de la série. La ligne à l'intérieur des boîtes représente la médiane des valeurs de la composante chimique ou de l'élément en question. Le bas et le haut de la boîte représentent le 25^e et 75^e percentiles (premier et le troisième quartile). Les barrières représentent l'étendue de la série de valeurs. Les valeurs qui se retrouvent à l'extérieur mais tout de même près des barrières sont représentées par des astérisques. Tandis que les valeurs très éloignées des barrières sont représentées par des cercles vides. En plus de la

visualisation de certaines caractéristiques de la série de données, le diagramme en boîte permet de mettre en évidence, si tel est le cas, les valeurs suspectes ou encore de comparer plusieurs séries de données associées à un même caractère (Baillargeon, 1990).

Dans le but d'alléger le texte et de permettre une meilleure compréhension de ce chapitre, l'étude statistique s'effectue d'abord avec les deux petits bassins. Ensuite, les six bassins situés à l'intérieur des ceintures de roches vertes viendront valider le test. Enfin, l'étude statistique se termine avec les quatre grands bassins.

4.1 Composition moyenne des six bassins

Le tableau 4.1 affiche les valeurs moyennes des six bassins à l'étude. Ce tableau fait ressortir trois bassins différents. Un de ces bassins est Beardmore-Geraldton. Il possède une plus grande quantité de SiO_2 et de P_2O_5 . Un autre bassin est celui de Bordeleau qui possède un contenu supérieur en Al_2O_3 , CaO , Na_2O et en P_2O_5 (qui est légèrement inférieur à Beardmore-Geraldton pour cette composante chimique). Les bassins de Quetico, de Nemiscau et d'Opinaca possèdent les valeurs les plus élevées en Fe_2O_3 . Enfin, le dernier bassin qui montre le plus de différence est le bassin de Pontiac. Celui-ci possède les valeurs les plus élevées en TiO_2 , en MgO et en K_2O . En plus, il détient la seconde valeur enrichie en Al_2O_3 .

Tableau 4.1 Composition moyenne des six bassins à l'étude

Bassins	SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO	CaO	Na₂O	K₂O	P₂O₅	n
Beardmore	66,34	0,56	15,39	5,67	0,09	2,87	2,91	4,14	1,76	0,28	15
Bordeleau	62,99	0,60	17,83	4,83	0,07	2,04	4,76	4,93	1,71	0,21	52
Nemiscau	65,09	0,60	16,10	6,62	0,09	2,98	2,95	3,07	2,38	0,13	36
Opinaca	63,91	0,56	15,45	8,20	0,07	3,21	3,12	3,14	2,16	0,17	15
Pontiac	64,01	0,62	16,94	6,13	0,07	3,51	2,29	3,56	2,70	0,16	63
Quetico	64,23	0,60	16,00	7,43	0,09	3,04	2,65	3,14	2,64	0,17	40

L'étude statistique qui suit permettra de vérifier si la composition moyenne de chaque bassin est statistiquement semblable.

4.2 Statistiques de l'index d'altération chimique (CIA)

4.2.1 Beardmore-Geraldton et Bordeleau

L'ANOVA montre qu'il y a des différences entre les deux bassins (tableau 4.2). La figure 4.1 b désigne que le bassin de Bordeleau détient des valeurs inférieures en CIA.

4.2.2 Beardmore-Geraldton, Bordeleau, Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico

L'ANOVA des six bassins révèle qu'il y a des bassins qui ont des valeurs de CIA différentes (tableau 4.2). La méthode de Tukey présente le bassin de Bordeleau et de Pontiac comme deux bassins différents des autres (tableau 4.3 c). La figure 4.1 c atteste les résultats et démontre que Pontiac possède des valeurs supérieures alors que Bordeleau détient des valeurs inférieures. Par conséquent, le bassin de Pontiac possède une plus grande quantité de matériel altéré alors que le bassin de Bordeleau en possède moins.

4.2.3 Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico

L'ANOVA indique que le CIA a des valeurs semblables (tableau 4.2). Par contre, l'observation de la figure 4.1 a permet de voir que le bassin de Pontiac a tout de même les valeurs les plus élevées.

Tableau 4.2 Résultats de l'analyse de la variance du CIA pour tous les bassins

Bassin	Valeurs	SC	d.l.	MC	ratio-F	p
Q,N,O,P (154)	Entre les bassins	193.272	3	64.424	2.116	0.101
	À l'intérieur des bassins	4566.855	150	30.446		
B-G et B (67)	Entre les bassins	117.320	1	117.320	8.473	0.005
	À l'intérieur des bassins	900.016	65	13.846		
6 bassins (221)	Entre les bassins	1938.794	5	387.759	15.250	0.000
	À l'intérieur des bassins	5466.871	215	25.427		

Tableau 4.3 a Comparaison multiple du CIA par la méthode de Tukey pour tous les bassins

Matrice des probabilités de la comparaison par paire de bassin

a)

CIA	Nemiscau	Opinaca	Pontiac	Quetico
Nemiscau	1.000			
Opinaca	0,52	1.000		
Pontiac	0,554	0,074	1.000	
Quetico	0,989000	0,361	0,753	1.000

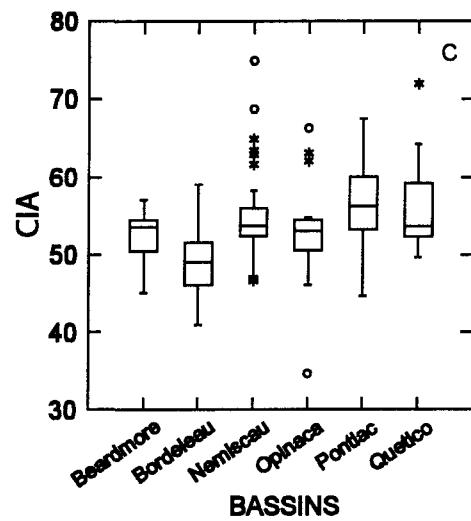
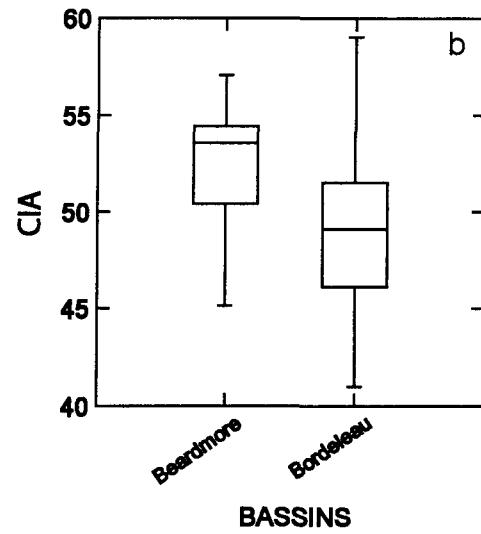
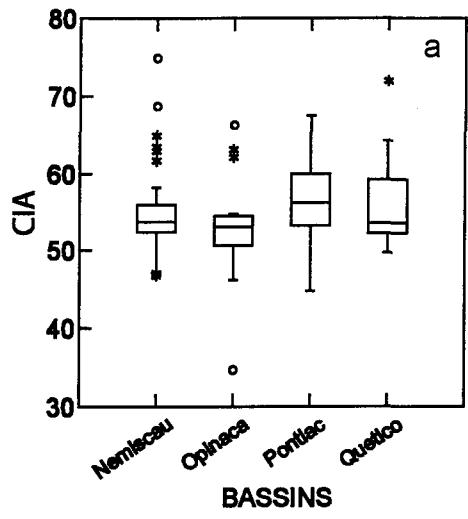
b)

CIA	Beardmore	Bordeleau
Beardmore	1.000	
Bordeleau	0,005	1.000

c)

CIA	Beardmore	Bordeleau	Nemiscau	Opinaca	Pontiac	Quetico
Beardmore	1.000					
Bordeleau	0,263	1.000				
Nemiscau	0,403	0,000	1.000			
Opinaca	0,999	0,105	0,667	1.000		
Pontiac	0,026	0,000	0,704	0,087	1.000	
Quetico	0,241	0,000	0,999	0,476	0,887	1.000

Figure 4.1 Diagrammes en boîtes de l'index chimique d'altération (CIA) des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico.



4.3 Statistiques des composantes chimiques majeures

4.3.1 Beardmore-Geraldton et Bordeleau

Suite aux résultats des analyses de la variance effectuées sur les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau, il est possible d'affirmer que ces deux bassins ont un contenu similaire en TiO_2 , en Fe_2O_3 , en K_2O et en P_2O_5 (tableau 4.4). Toutefois, l'ANOVA montre que Beardmore-Geraldton et Bordeleau possèdent un contenu différent en SiO_2 , en Al_2O_3 , en MnO , en MgO , en CaO et en Na_2O (tableau 4.4). La méthode de Tukey (tableau 4.5) n'est d'aucune utilité lorsqu'il y a comparaison entre deux bassins puisqu'elle n'indique pas lequel est différent mais bien que les deux sont différents. Donc, l'utilisation des diagrammes en boîte permet de voir pour quelles raisons un bassin est différent de l'autre.

La figure 4.2 a désigne que le bassin de Bordeleau possède des valeurs en SiO_2 inférieures au bassin de Beardmore-Geraldton. En plus, elle montre une plus grande variabilité dans les valeurs de Bordeleau. Par conséquent, le bassin de Bordeleau contient moins de quartz que Beardmore-Geraldton.

Toutefois, le bassin de Bordeleau possède des valeurs supérieures en Al_2O_3 , en CaO et en Na_2O (figures 4.2 c, g et h) ce qui suggère plus de plagioclase.

Tableau 4.4 Résultats de l'analyse de la variance des oxydes majeurs pour les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau

Oxyde majeur	Valeurs	SC	d.l.	MC	ratio-F	p
SiO ₂	Entre les bassins	123.858	1	123.858	5.747	0.019
	À l'intérieur des bassins	1400.958	65	21.553		
TiO ₂	Entre les bassins	0.026	1	0.026	1.066	0.306
	À l'intérieur des bassins	1.571	65	0.024		
Al ₂ O ₃	Entre les bassins	67.640	1	67.640	29.643	0.000
	À l'intérieur des bassins	148.318	65	2.282		
Fe ₂ O ₃	Entre les bassins	8.422	1	8.422	2.854	0.096
	À l'intérieur des bassins	191.783	65	2.951		
MnO	Entre les bassins	0.004	1	0.004	8.193	0.006
	À l'intérieur des bassins	0.033	65	0.001		
MgO	Entre les bassins	7.851	1	7.851	10.822	0.002
	À l'intérieur des bassins	47.159	65	0.726		
CaO	Entre les bassins	37.836	1	37.836	12.399	0.001
	À l'intérieur des bassins	198.355	65	3.052		
Na ₂ O	Entre les bassins	7.867	1	7.867	6.091	0.016
	À l'intérieur des bassins	83.951	65	1.292		
K ₂ O	Entre les bassins	0.055	1	0.055	0.119	0.731
	À l'intérieur des bassins	29.820	65	0.459		
P ₂ O ₅	Entre les bassins	0.047	1	0.047	1.277	0.263
	À l'intérieur des bassins	2.402	65	0.037		

Nombre d'analyse = 67

Sc = Somme des Carrés

d.l. = degré de liberté

MC= Moyenne des Carrés

p=probabilité

Tableau 4.5 a Comparaison multiple des oxydes majeurs avec la méthode de Tukey pour les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau

Matrice des probabilités de la comparaison par paire de bassin

a) SiO_2

	B-G	B
B-G	1.000	
B	0.019	1.000

g) CaO

	B-G	B
B-G	1.000	
B	0.001	1.000

b) TiO_2

	B-G	B
B-G	1.000	
B	0.306	1.000

h) Na_2O

	B-G	B
B-G	1.000	
B	0.016	1.000

c) Al_2O_3

	B-G	B
B-G	1.000	
B	0.000	1.000

i) K_2O

	B-G	B
B-G	1.000	
B	0.731	1.000

d) Fe_2O_3

	B-G	B
B-G	1.000	
B	0.096	1.000

j) P_2O_5

	B-G	B
B-G	1.000	
B	0.263	1.000

e) MnO

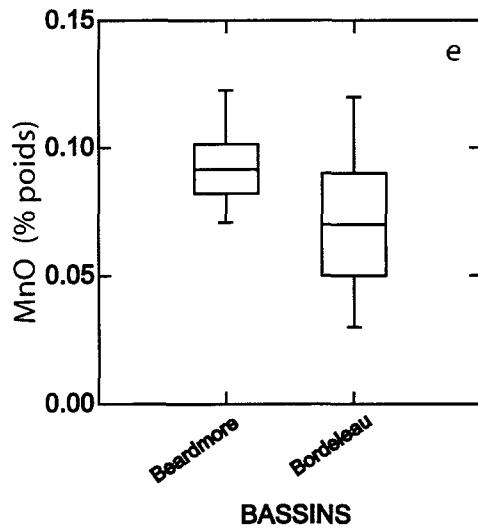
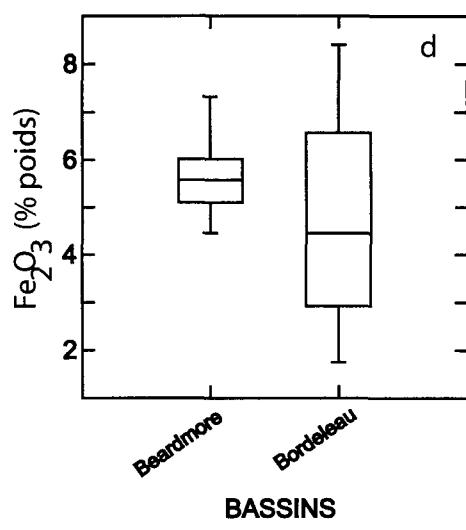
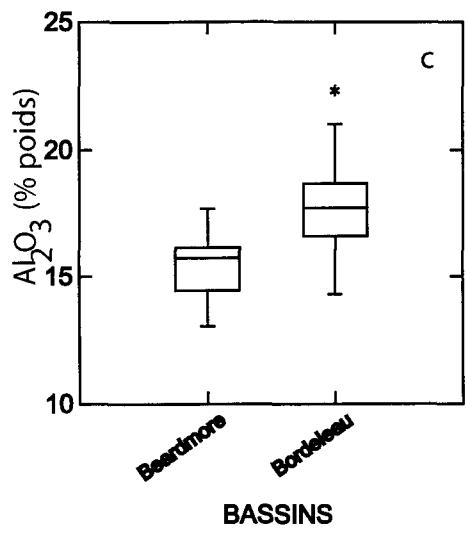
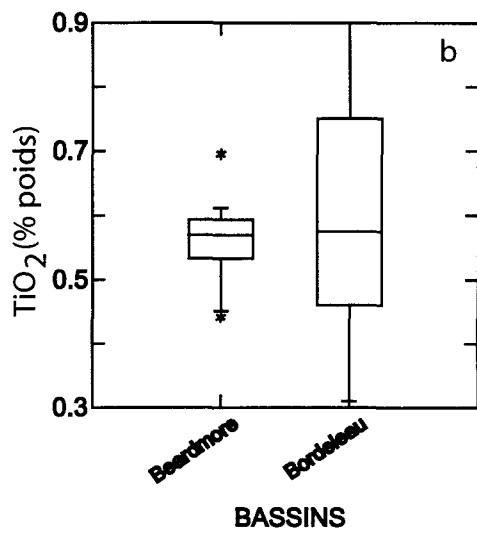
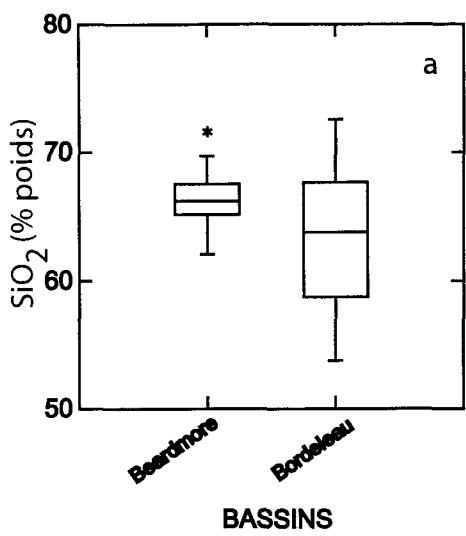
	B-G	B
B-G	1.000	
B	0.006	1.000

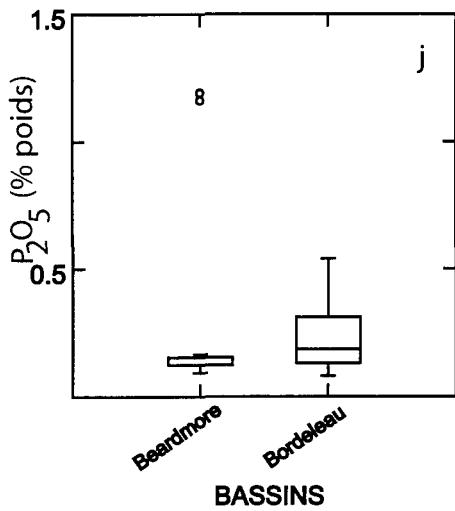
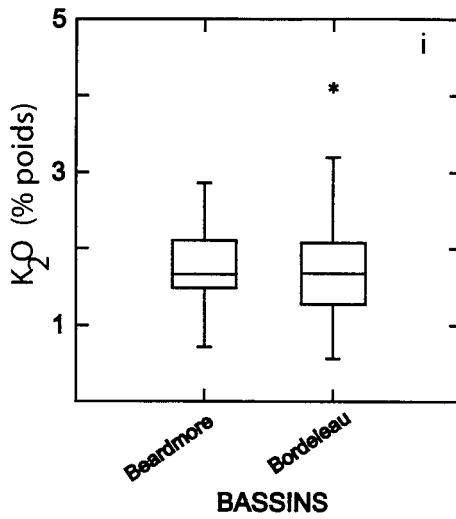
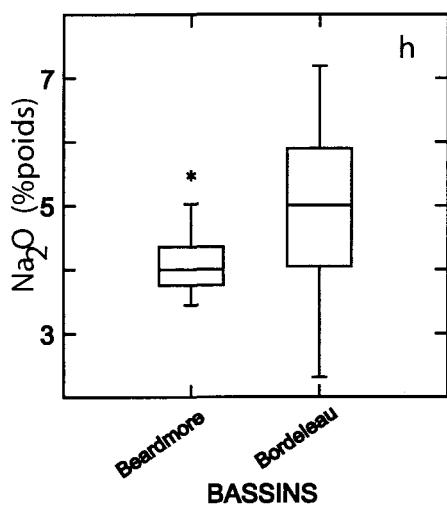
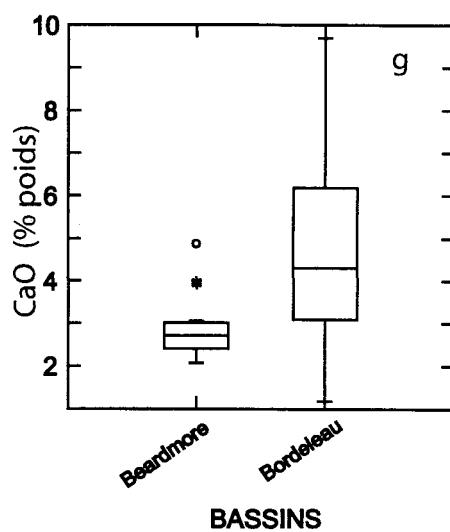
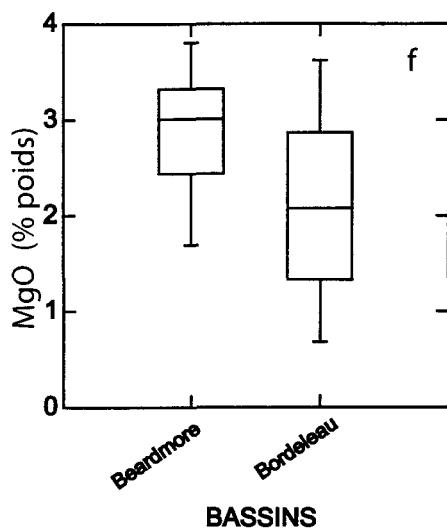
B-G = Beardmore-Geraldton
B = Bordeleau

f) MgO

	B-G	B
B-G	1.000	
B	0.002	1.000

Figure 4.2 Diagrammes en boîtes des composantes chimiques majeures des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau.





En ce qui concerne le bassin de Beardmore-Geraldton, il possède des valeurs supérieures à Bordeleau pour les composantes chimiques majeures de MnO et de MgO (figures 4.2 e, f). D'ailleurs, le tableau 4.1 le démontre.

Par conséquent, il est possible de dire que les bassins de Bordeleau et de Beardmore-Geraldton sont différents entre eux pour les composantes chimiques majeures. La partie qui suit permettra de vérifier statistiquement si ces deux petits bassins sont réellement différents, en composantes chimiques majeures des quatre grands bassins.

4.3.2 Beardmore-Geraldton, Bordeleau, Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico

Suite à l'observation des ANOVA, il y a seulement deux composantes chimiques majeures qui ont des probabilités supérieures à 0.05. Ainsi le tableau 4.6 montre que les variances des six bassins pour le SiO₂ et le TiO₂ n'ont pas une grande variabilité (tableau 4.6). Il y a donc, peu de chance qu'il y ait un bassin qui possède des valeurs différentes. D'ailleurs, les figures 4.3 a, b montrent bien que les médianes en SiO₂ et en TiO₂ se situent respectivement, au même pourcentage poids pour les six bassins.

Toutefois, cette étude statistique montre qu'il existe de grandes différences entre les six bassins pour les autres composantes chimiques majeures. La méthode de Tukey permet de découvrir le ou les bassins différents.

Le tableau 4.7 c montre que le bassin de Bordeleau a un contenu similaire en Al_2O_3 au bassin de Pontiac mais différent de tous les autres bassins. La méthode de Tukey utilisée sur le Fe_2O_3 (tableau 4.7 d) montre que Bordeleau est similaire aux bassins de Nemiscau et de Pontiac mais différente d'Opinaca et de Quetico. Alors que le bassin de Beardmore-Geraldton a des valeurs comparables à celles des cinq autres bassins. Le tableau 4.7 e montre que le bassin de Bordeleau détient un contenu en MnO similaire aux bassins d'Opinaca et de Pontiac. De plus, le bassin de Beardmore-Geraldton est différent du bassin de Pontiac.

Les tableaux 4.7 f et 4.7 g montrent que le bassin de Bordeleau est différent en contenu de MgO et de CaO de tous les autres bassins. La méthode de Tukey pour le Na_2O montre que Bordeleau possède des valeurs différentes des autres bassins (tableau 4.7 h). Pour le K_2O (tableau 4.7 i), le bassin de Bordeleau est similaire au bassin d'Opinaca. Alors que le bassin de Beardmore-Geraldton est semblable aux bassins de Nemiscau et d'Opinaca (tableau 4.7 i). Le tableau 4.7 j montre que le bassin de Beardmore-Geraldton a des valeurs en P_2O_5 différentes des bassins de Nemiscau, de Pontiac et de Quetico. Alors que le bassin de Bordeleau est différent en contenu de P_2O_5 du bassin de Nemiscau.

Tableau 4.6 Résultats de l'analyse de la variance des oxydes majeurs pour les bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Oxyde majeur	Valeurs	SC	d.l	MC	ratio-F	p
SiO ₂	Entre les bassins	173.932	5	34.786	1.936	0.089
	À l'intérieur des bassins	3861.585	215	17.960		
TiO ₂	Entre les bassins	0.090	5	0.018	1.042	0.393
	À l'intérieur des bassins	3.737	215	0.017		
Al ₂ O ₃	Entre les bassins	149.677	5	29.935	6.948	0.000
	À l'intérieur des bassins	926.245	215	4.308		
Fe ₂ O ₃	Entre les bassins	226.251	5	45.250	5.419	0.000
	À l'intérieur des bassins	1795.149	215	8.349		
MnO	Entre les bassins	0.022	5	0.004	7.724	0.000
	À l'intérieur des bassins	0.120	215	0.001		
MgO	Entre les bassins	63.362	5	12.672	13.917	0.000
	À l'intérieur des bassins	195.771	215	0.911		
CaO	Entre les bassins	192.246	5	38.449	24.176	0.000
	À l'intérieur des bassins	341.938	215	1.590		
Na ₂ O	Entre les bassins	113.244	5	22.649	21.470	0.000
	À l'intérieur des bassins	226.805	215	1.055		
K ₂ O	Entre les bassins	37.465	5	7.493	9.871	0.000
	À l'intérieur des bassins	163.211	215	0.759		
P ₂ O ₅	Entre les bassins	0.325	5	0.065	4.817	0.000
	À l'intérieur des bassins	2.901	215	0.013		

Nombre d'analyse = 221

Tableau 4.7 a Comparaison multiple des oxydes majeurs avec la méthode de Tukey pour les bassiins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

a	SiO ₂	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	1,000					
	B	0.077	1,000				
	N	0.930	0.206	1,000			
	O	0.620	0.977	0.946	1,000		
	P	0.396	0.792	0.830	0.999	1,000	
	Q	0.572	0.735	0.952	0.999	0.999	1,000

b	TiO ₂	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	1,000					
	B	0.853	1,000				
	N	0.907	0.999	1,000			
	O	1,000	0.868	0.918	1,000		
	P	0.483	0.949	0.941	0.505	1,000	
	Q	0.868	1,000	0.999	0.882	0.962	1,000

c	Al ₂ O ₃	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	1,000					
	B	0.000	1,000				
	N	0.876	0.001	1,000			
	O	0.999	0.001	0.913	1,000		
	P	0.098	0.191	0.381	0.126	1,000	
	Q	0.927	0.000	0.999	0.953	0.221	1,000

d	Fe ₂ O ₃	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	1,000					
	B	0.921	1,000				
	N	0.894	0.051	1,000			
	O	0.157	0.001	0.478	1,000		
	P	0.993	0.155	0.966	0.126	1,000	
	Q	0.335	0.000	0.824	0.952	0.224	1,000

e	MnO	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	1,000					
	B	0.079	1,000				
	N	0.999	0.001	1,000			
	O	0.099	0.994	0.012	1,000		
	P	0.045	0.998	0.000	0.998	1,000	
	Q	1,000	0.004	0.999	0.027	0.001	1,000

f	MgO	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	1,000					
	B	0.039	1,000				
	N	0.999	0.001	1,000			
	O	0.918	0.000	0.967	1,000		
	P	0.175	0.000	0.082	0.891	1,000	
	Q	0.990	0.000	0.999	0.992	0.151	1,000

g	CaO	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	1,000					
	B	0.000	1,000				
	N	0.999	0.000	1,000			
	O	0.998	0.000	0.998	1,000		
	P	0.526	0.000	0.124	0.200	1,000	
	Q	0.984	0.000	0.908	0.824	0.720	1,000

h	Na ₂ O	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	1,000					
	B	0.090	1,000				
	N	0.009	0.000	1,000			
	O	0.083	0.000	0.999	1,000		
	P	0.360	0.000	0.192	0.714	1,000	
	Q	0.016	0.000	0.999	1,000	0.322	1,000

i	K ₂ O	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	1,000					
	B	0.999	1,000				
	N	0.188	0.005	1,000			
	O	0.803	0.483	0.966	1,000		
	P	0.002	0.000	0.489	0.263	1,000	
	Q	0.011	0.000	0.788	0.463	0.999	1,000

j	P ₂ O ₅	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	1,000					
	B	0.453	1,000				
	N	0.000	0.010	1,000			
	O	0.133	0.811	0.850	1,000		
	P	0.005	0.103	0.850	0.998	1,000	
	Q	0.026	0.423	0.695	0.999	0.997	1,000

B-G = Beardmore-Geraldton

B = Bordeleau

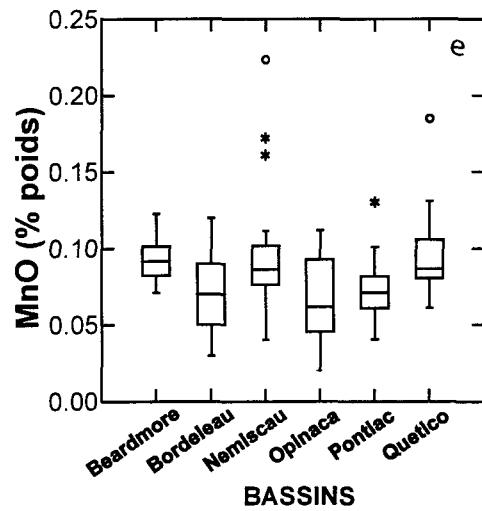
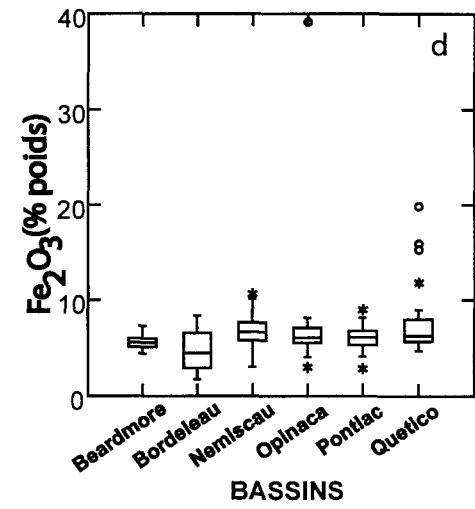
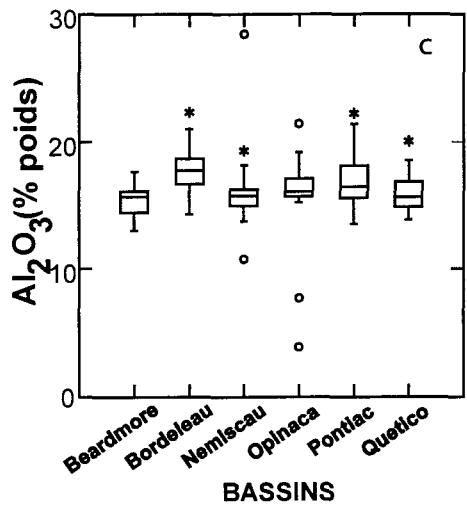
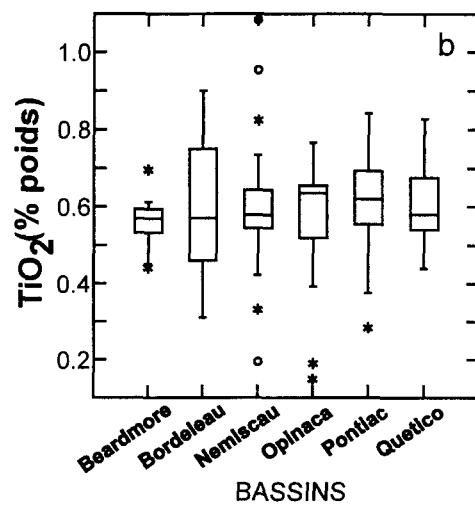
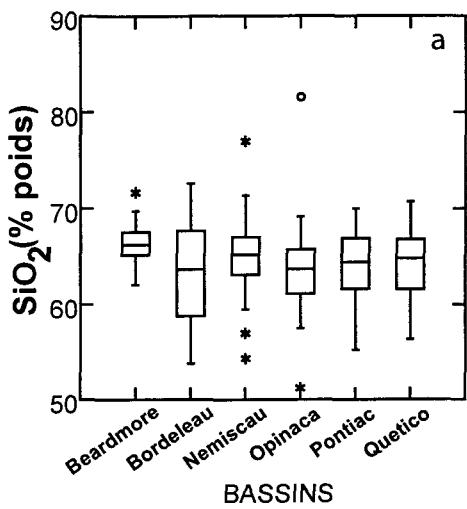
N = Nemiscau

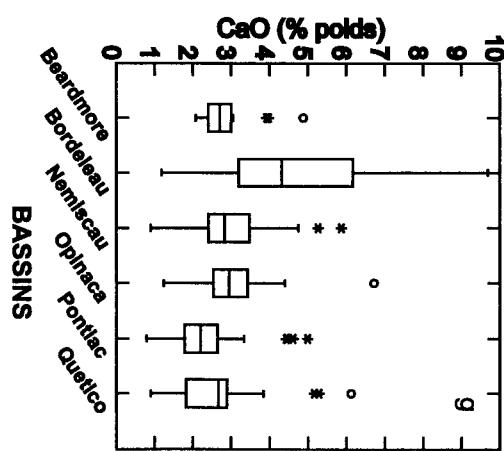
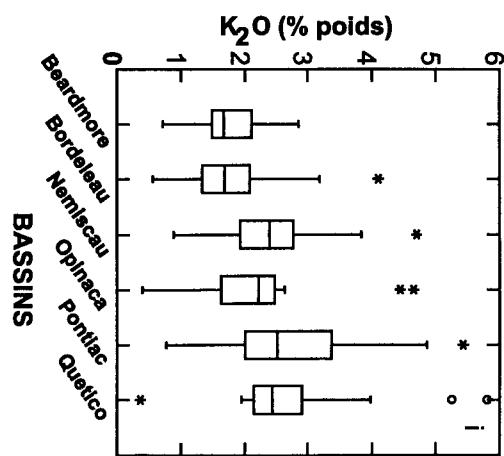
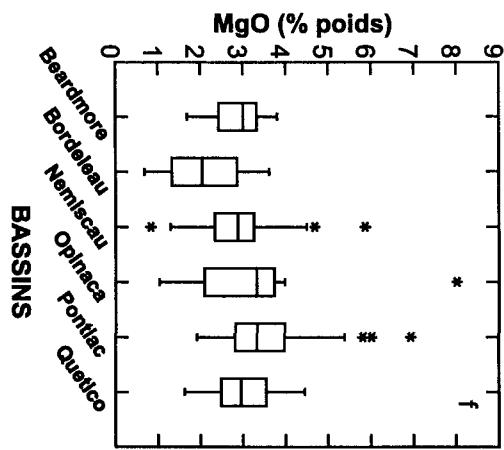
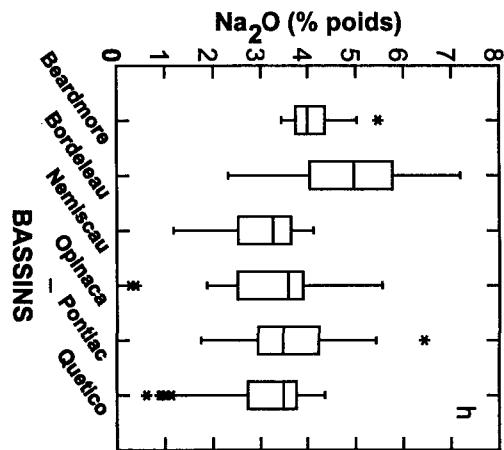
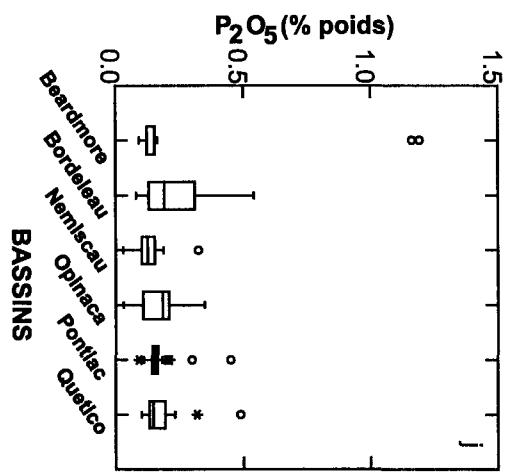
O = Opinaca

P = Pontiac

Q = Quetico

Figure 4.3 Diagrammes en boîtes des composantes chimiques majeures des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico.





Afin de déterminer ce en quoi le contenu en oxyde majeur est différent, les diagrammes en boîtes sont utilisés. Ainsi, pour l' Al_2O_3 le bassin de Bordeleau et le bassin de Pontiac ont des valeurs supérieures comparativement aux autres bassins (figure 4.3 c), comme spécifié au chapitre 3. Alors que le bassin de Beardmore-Geraldton a une proportion d' Al_2O_3 semblable aux quatre grands bassins.

La figure 4.3 d montre que Bordeleau possède une plus grande étendue et une valeur médiane inférieure en Fe_2O_3 à celles des autres bassins. La figure 4.3 e explique que la différence en MnO provient du bassin de Bordeleau qui contient des valeurs similaires aux bassins d'Opinaca et de Pontiac. Alors que la différence entre Beardmore-Geraldton et Pontiac s'explique par le fait que Beardmore-Geraldton possède des valeurs plus élevées. Les figures 4.3 f, g et h montrent que le bassin de Bordeleau a une valeur médiane et une étendue de valeurs inférieure en MgO et supérieur en CaO et Na_2O à celles des autres bassins. Alors que la figure 4.3 i montre que le bassin de Bordeleau a des valeurs inférieures en K_2O et similaire à Beardmore-Geraldton comparativement aux autres bassins. Enfin la figure 4.3 j, montre que le bassin de Bordeleau possède la valeur médiane en P_2O_5 la plus élevée des six bassins. Alors que Nemiscau a la valeur médiane la moins élevée des six bassins.

En résumé, les six bassins contiennent une quantité similaire de SiO_2 et de TiO_2 . Cependant, pour le reste des composantes chimiques majeures, les

bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau en sont constituées en proportions différentes.

Ainsi, le bassin de Beardmore-Geraldton contient des valeurs similaires aux autres bassins en Al_2O_3 , Fe_2O_3 , des valeurs plus élevées en MnO , MgO , Na_2O_2 et des valeurs moins élevées en K_2O . Par conséquent, ce bassin contient une plus grande quantité de plagioclase et une faible quantité de micas blanc et de biotite.

Le bassin de Bordeleau est celui qui comporte le plus de différences. En effet, il a un contenu en Na_2O , Al_2O_3 , en CaO et en P_2O_5 plus élevé mais contient moins de MgO , de Fe_2O_3 et de K_2O que les autres bassins. Les valeurs élevées en Na_2O , en Al_2O_3 et en CaO de même que les faibles valeurs en K_2O suggèrent la présence de plagioclase. Alors que les valeurs peu élevées en Fe_2O_3 et en MgO sont le résultat d'une dilution produite par la présence d'une grande quantité de plagioclase. Enfin, les valeurs élevées en P_2O_5 proposent une grande quantité de minéraux résistants à l'érosion. Par conséquent, le bassin de Bordeleau aurait eu un dépôt proximal car les minéraux résistants à l'altération ont subi moins d'érosion et moins de transport donc ils sont présents en plus grande quantité. Comme mentionné au chapitre 3

Suite à l'étude statistique des composantes chimiques majeures des six bassins, il ressort que les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau

sont statistiquement différents des quatre grands bassins. Puisque ce test statistique a prouvé sa validité en démontrant que les deux petits bassins sont différents des grands bassins, la prochaine partie porte uniquement sur l'étude statistique des quatre grands bassins. Afin, de déterminer s'il sont statistiquement de composition géochimique semblable.

4.3.3 Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico

L'étude statistique montre que les quatre bassins sont statistiquement semblables pour les composantes chimiques majeures SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 , Na_2O et K_2O (tableau 4.8, tableau 4.9 a, b, d, h, i et les figures 4.4 a, b, d, h, i). Toutefois, quelques bassins affichent des différences pour les autres composantes chimiques majeures.

Ainsi, l'ANOVA (tableau 4.8) affiche pour l' Al_2O_3 , le MnO , le MgO , le CaO et le P_2O_5 une probabilité sous la limite de 0.05. Par conséquent, il y a au moins un bassin qui possède des valeurs différentes en pourcentage poids de ces oxydes majeurs.

Dans un premier lieu, afin de déterminer le ou les bassins qui diffèrent, la comparaison multiple par la méthode de Tukey a été utilisée. Le tableau 4.9 permet donc, d'observer que pour la composante chimique MgO (tableau 4.9 f) le bassin de Pontiac ne possède pas de valeurs comparables au bassin de Nemiscau.

Tableau 4.8 Résultats de l'analyse de la variance des oxydes majeurs pour les bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Oxyde majeur	Valeurs	SC	d.l.	MC	ratio-F	p
SiO ₂	Entre les bassins	31.882	3	10.627	0.646	0.587
	À l'intérieur des bassins	2468.338	150	16.456		
TiO ₂	Entre les bassins	0.054	3	0.018	1.255	0.292
	À l'intérieur des bassins	2.170	150	0.014		
Al ₂ O ₃	Entre les bassins	41.761	3	13.920	2.677	0.049
	À l'intérieur des bassins	780.116	150	5.201		
Fe ₂ O ₃	Entre les bassins	72.014	3	24.005	2.250	0.084
	À l'intérieur des bassins	1600.171	150	10.668		
MnO	Entre les bassins	0.016	3	0.005	9.325	0.000
	À l'intérieur des bassins	0.086	150	0.001		
MgO	Entre les bassins	9.342	3	3.114	3.186	0.025
	À l'intérieur des bassins	146.601	150	0.977		
CaO	Entre les bassins	14.317	3	4.772	4.756	0.003
	À l'intérieur des bassins	150.500	150	1.003		
Na ₂ O	Entre les bassins	6.182	3	2.061	2.262	0.084
	À l'intérieur des bassins	136.659	150	0.911		
K ₂ O	Entre les bassins	5.597	3	1.866	2.145	0.097
	À l'intérieur des bassins	130.471	150	0.870		
P ₂ O ₅	Entre les bassins	0.035	3	0.012	3.463	0.018
	À l'intérieur des bassins	0.506	150	0.003		

Nombre d'analyse = 154

Tableau 4.9 a Comparaison multiple des oxydes majeurs par la méthode de Tukey des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico
Matrice des probabilité de la comparaison par paire de bassin

a) SiO_2

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.780	1.000		
P	0.547	0.999	1.000	
Q	0.797	0.993	0.988	1.000

g) CaO

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.946	1.000		
P	0.010	0.022	1.000	
Q	0.566	0.412	0.294	1.000

b) TiO_2

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.692	1.000		
P	0.774	0.242	1.000	
Q	0.999	0.625	0.829	1.000

h) Na_2O

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.994	1.000		
P	0.112	0.524	1.000	
Q	0.988	1.000	0.208	1.000

c) Al_2O_3

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.793	1.000		
P	0.282	0.102	1.000	
Q	0.998	0.858	0.168	1.000

g) K_2O

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.874	1.000		
P	0.273	0.148	1.000	
Q	0.621	0.332	0.962	1.000

d) Fe_2O_3

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.393	1.000		
P	0.910	0.132	1.000	
Q	0.699	0.865	0.219	1.000

h) P_2O_5

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.089	1.000		
P	0.082	0.863	1.000	
Q	0.019	0.998	0.833	1.000

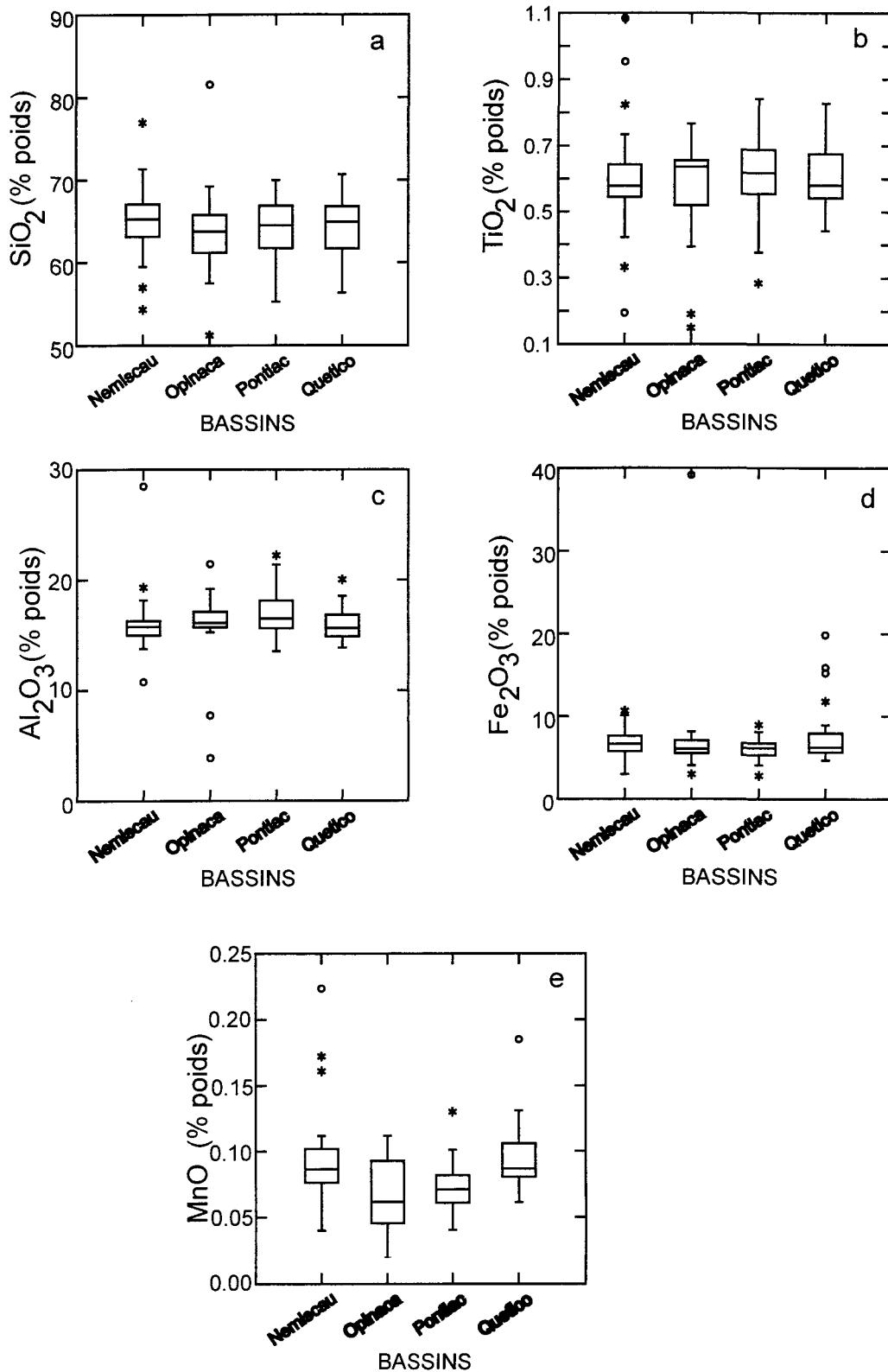
e) MnO

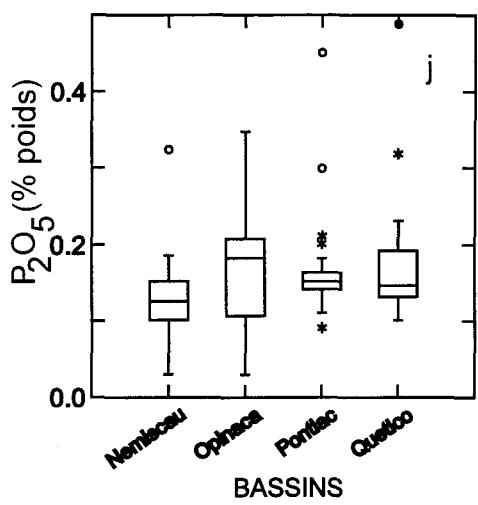
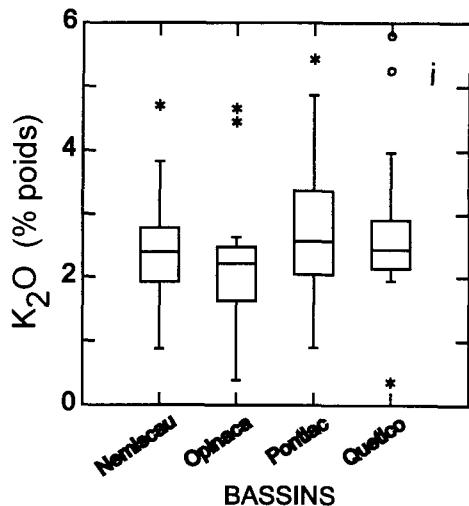
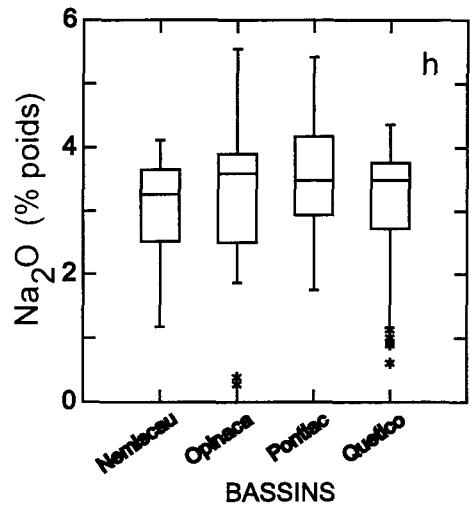
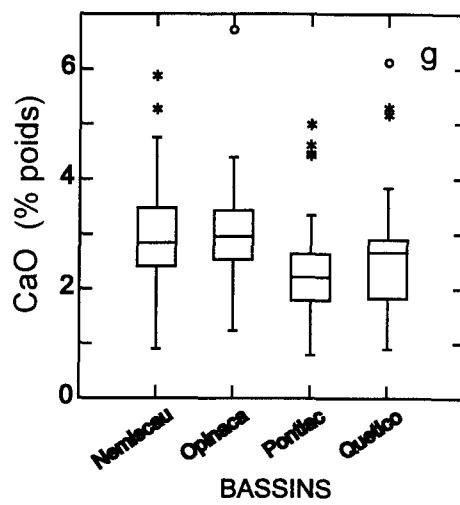
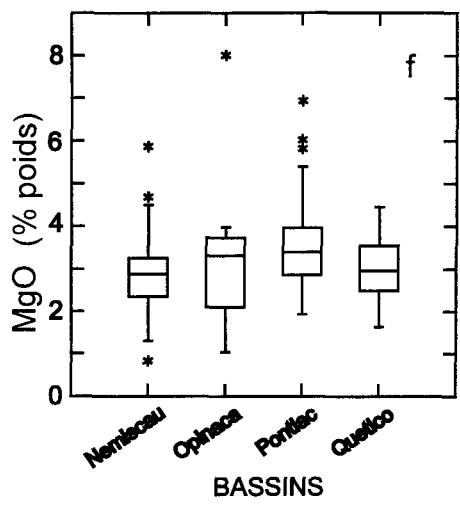
	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.006	1.000		
P	0.000	0.968	1.000	
Q	0.978	0.014	0.001	1.000

f) MgO

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.865	1.000		
P	0.037	0.680	1.000	
Q	0.992	0.941	0.070	1.000

Figure 4.4 Diagrammes en boîtes des composantes chimiques majeures des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico.





Pour le CaO (tableau 4.9 g) les valeurs du bassin de Nemiscau sont comparables au bassin d'Opinaca. De plus, cette méthode montre que le bassin de Pontiac et de Quetico ont des valeurs en CaO similaires (tableau 4.9 g). Finalement, pour la composante chimique majeure P_2O_5 (tableau 4.9 h), la comparaison multiple montre que Nemiscau est différent de Quetico

La méthode de Tukey permet, certes, de voir les bassins qui diffèrent mais elle ne permet pas d'observer s'ils sont différents par un enrichissement ou un appauvrissement en composantes chimiques Al_2O_3 et MnO . C'est donc, à l'aide des diagrammes en boîtes qu'il est possible de constater que c'est le bassin de Pontiac qui possède une étendue de valeurs en Al_2O_3 légèrement supérieures aux autres bassins (figure 4.4 c). Alors que pour le MnO (figure 4.4 e), le bassin de Nemiscau est similaire à Quetico et le bassin d'Opinaca est similaire à Pontiac. La figure 4.4 e désigne aussi que Nemiscau et Quetico ont des valeurs médianes supérieures aux bassins d'Opinaca et de Pontiac. La figure 4.4 f montre que le bassin de Pontiac possède des valeurs en MgO supérieures aux autres bassins. La figure 4.4 g montre que Nemiscau et Opinaca possèdent des valeurs en CaO supérieures. Enfin, la figure 4.4 j, montre que le bassin de Nemiscau a une valeur médiane inférieure aux autres bassins.

Par conséquent, pour le bassin de Pontiac, la combinaison des valeurs élevées en Al_2O_3 , en MgO et en K_2O signifie la présence de matériel

mafique/ultramafique, de feldspath détritique et d'argile et d'une plus grande quantité de biotite. Comme il a été spécifié au chapitre 3.

Cette étude statistique démontre que, pour les composantes chimiques majeures, les bassins de Nemiscau, Opinaca et de Quetico sont statistiquement semblables. À l'exception du bassin de Nemiscau qui possède des valeurs élevées en CaO, Na₂O et des valeurs inférieures en P₂O₅. Ce qui suggère la présence d'une plus grande quantité de plagioclase et/ou de carbonate et d'une faible quantité de minéraux résistants à l'altération.

4.4 Statistiques des métaux de transitions

Cette étude comporte les métaux de transition suivants : Sc, Cr et Ni.

4.4.1 Beardmore-Geraldton et Bordeleau

L'étude statistique des métaux de transition pour les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau comporte qu'un seul métal, le Cr. La raison est que les autres métaux n'ont pas fait l'objet d'une analyse géochimique.

L'ANOVA du Cr montre que l'un des bassins a un contenu différent (tableau 4.10). La méthode de Tukey indique bel et bien qu'un des bassins est différent mais elle ne spécifie pas lequel (tableau 4.11 a). Le diagramme en boîtes (figure 4.5 a) désigne que le bassin de Bordeleau détient des valeurs en Cr fortement inférieures. Par conséquent, il contient très peu de matériel ultramafique.

Tableau 4.10 Résultats de l'analyse de la variance des métaux de transitions pour les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau

Élément	Bassins	SC	d.l.	MC	ratio-F	p
Cr (67)	Entre les bassins	1.555E+05	1	1.555E+05	281.973	0.000
	À l'intérieur des bassins	3.584E+04	65	551.459		

Tableau 4.11 a Comparaison multiple des métaux de transitions par la méthode de Tukey pour les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau

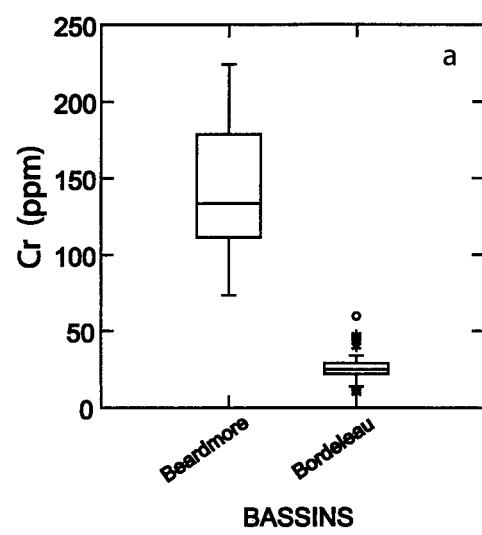
Matrice des probabilités de la comparaison par paire de bassin

a)

	Cr	B-G	B
Cr			
B-G			
B			

	Cr	B-G	B
Cr			
B-G	1.000		
B	0.000	1.000	

Figure 4.5 Diagramme en boîtes du Cr des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau.



Ainsi, tout comme le test statistique de la partie 4.3.1, ces deux bassins sont différents l'un de l'autre. Afin de valider le test statistique des métaux de transition, il faut savoir si ces petits bassins sont différents des quatre grands bassins. C'est le rôle de la prochaine partie.

4.4.2 Beardmore-Geraldton, Bordeleau Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico

L'ANOVA des métaux de transition (tableau 4.12) pour les six bassins montre que pour les trois métaux analysés, les bassins ont un contenu différent. La comparaison multiple permet d'établir que, pour le Sc et le Ni, le bassin dissemblable est Bordeleau (tableau 4.13 a, c). Alors que pour le Cr (tableau 4.13 b), la méthode de Tukey désigne le bassin de Bordeleau ainsi que le bassin de Pontiac comme différents des autres.

Les diagrammes en boîtes des métaux de transition prouvent que les valeurs en Cr, Ni, et Sc (figures 4.6 a, b et c) de Bordeleau sont nettement inférieures à celles des autres bassins.

Comme le Sc est associé aux argiles, il s'avère donc que le bassin de Bordeleau en contient une faible quantité. Le Ni et le Cr sont associés aux roches ultramafiques, il est donc possible de dire que le bassin de Pontiac est constitué d'une plus grande composante sédimentaire en roches ultramafiques. Par contre, le bassin de Bordeleau contient très peu de roche ultramafique dans sa composition.

Tableau 4.12 Résultats de l'analyse de la variance des métaux de transitions des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Élément	Valeur	SC	d.l.	MC	ratio-F	p
Sc (145)	Entre les bassins	2263.226	4	565.806	34.099	0.000
	À l'intérieur des bassins	2323.035	140	16.593		
Cr (176)	Entre les bassins	1.090E+06	5	2.179E+05	88.060	0.000
	À l'intérieur des bassins	4.207E+05	170	2474.911		
Ni (145)	Entre les bassins	8.161E+04	3	2.720E+04	60.073	0.000
	À l'intérieur des bassins	6.385E+04	141	452.811		

les valeurs entre () représente le nombre d'analyse utilisées

Tableau 4.13 a Comparaison multiple des métaux de transitions par la méthode Tukey des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico
 Matrice des probabilités de la comparaison par paire de bassin

a)

Sc	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.001	1.000			
O	0.000	0.991	1.000		
P	0.000	0.279	0.022	1.000	
Q	0.000	0.353	0.051	1.000	1.000

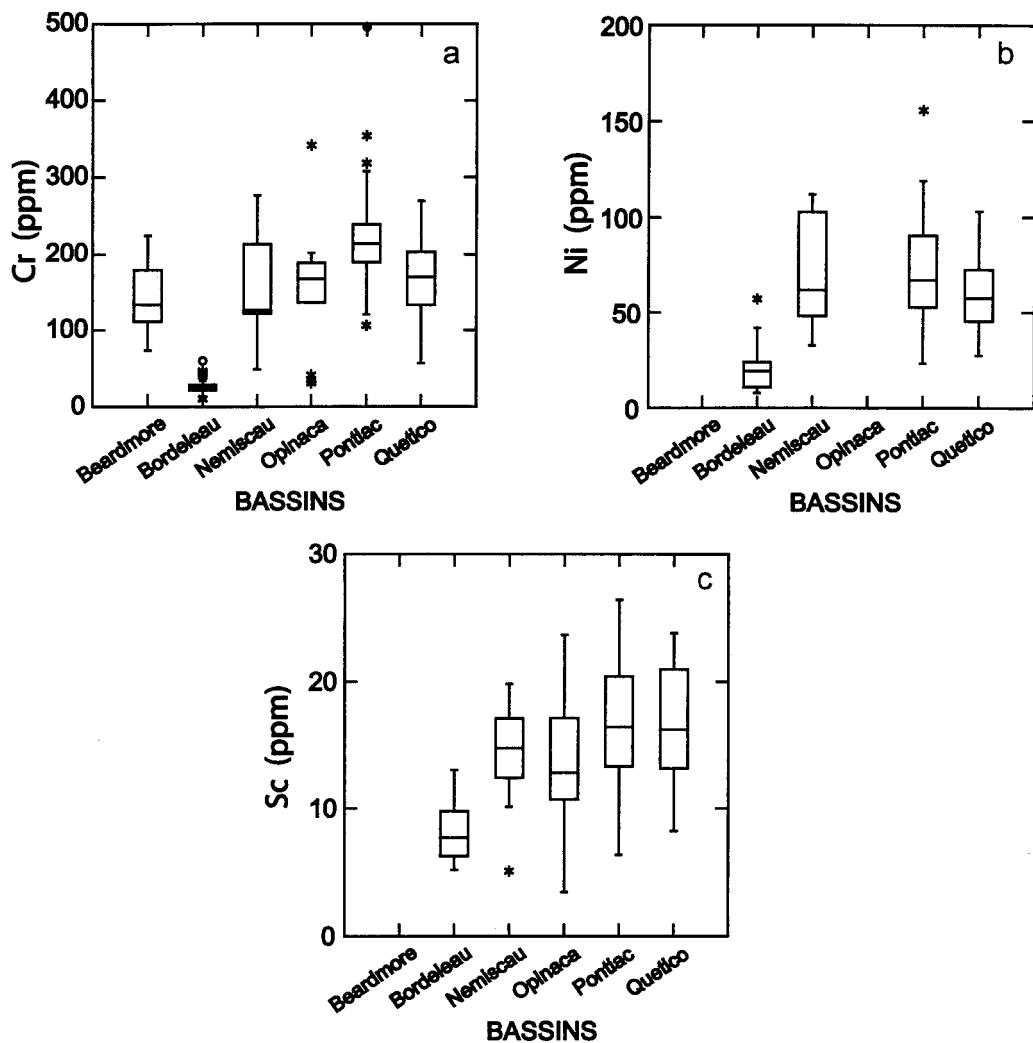
b)

Cr	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	1.000					
B-G	0.000	1.000				
N	0.992	0.000	1.000			
O	0.993	0.000	0.999	1.000		
P	0.000	0.000	0.003	0.000	1.000	
Q	0.633	0.000	0.985	0.947	0.000	1.000

c)

Ni	B	N	P	Q
B	1.000			
N	0.000	1.000		
P	0.000	0.983	1.000	
Q	0.000	0.359	0.150	1.000

Figure 4.6 Diagrammes en boîtes des métaux de transitions des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico.



Ce test statistique avec les six bassins confirme que le bassin de Bordeleau est statistiquement différent en contenu de métaux de transition, donc, que ce test statistique est valide. Il est donc possible de poursuivre le test statistique afin de savoir si les quatre grands bassins ont un contenu en métaux de transition statistiquement semblable.

4.4.3 Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico

Parmi les métaux de transitions, le Ni a été analysé dans seulement trois bassins : Nemiscau, Pontiac et Quetico. L'ANOVA des métaux de transition indique que seul le nickel (Ni) est présent en contenu égal à l'intérieur des trois grands bassins (tableau 4.14). La figure 4.7 c appuie ces résultats

Pour le Sc et le Cr, l'ANOVA a montré qu'il y a un bassin différent (tableau 4.14). Pour le Cr, c'est le bassin de Pontiac qui est différent (tableau 4.15 b). Pour le Sc, la méthode de Tukey n'indique pas clairement le bassin qui diffère (tableau 4.15 a). Alors, il faut s'en remettre à la figure 4.7 a. Cette figure montre que c'est le bassin d'Opinaca qui est différent par des valeurs inférieures en Sc. Alors que la figure 4.7 b, montre que le bassin de Pontiac possède des valeurs en Cr supérieures à celles des autres bassins.

Suite à cette étude statistique, il ressort que le bassin de Pontiac différent des autres bassins par un enrichissement en Ni et en Cr, deux composantes

Tableau 4.14 Résultats de l'analyse de la variance des métaux de transitions des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Élément	Valeur	SC	d.l.	MC	ratio-F	p
Sc (93)	Entre les bassins	205.703	3	68.568	2.955	0.037
	À l'intérieur des bassins	2065.469	89	23.208		
Cr (109)	Entre les bassins	9.757E+04	3	3.252E+04	8.872	0.000
	À l'intérieur des bassins	3.849E+05	105	3665.618		
Ni(95)	Entre les bassins	2291.632	2	1145.816	1.774	0.175
	À l'intérieur des bassins	5.941E+04	92	645.734		

Tableau 4.15 a Comparaison multiple des métaux de transitions par la méthode de Tukey pour les bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Matrice des probabilités de la comparaison par paire de bassin

a) Sc

	Nemiscau	Opinaca	Pontiac	Quetico
Nemiscau	1.000			
Opinaca	0.980	1.000		
Pontiac	0.346	0.061	1.000	
Quetico	0.411	0.106	1.000	1.000

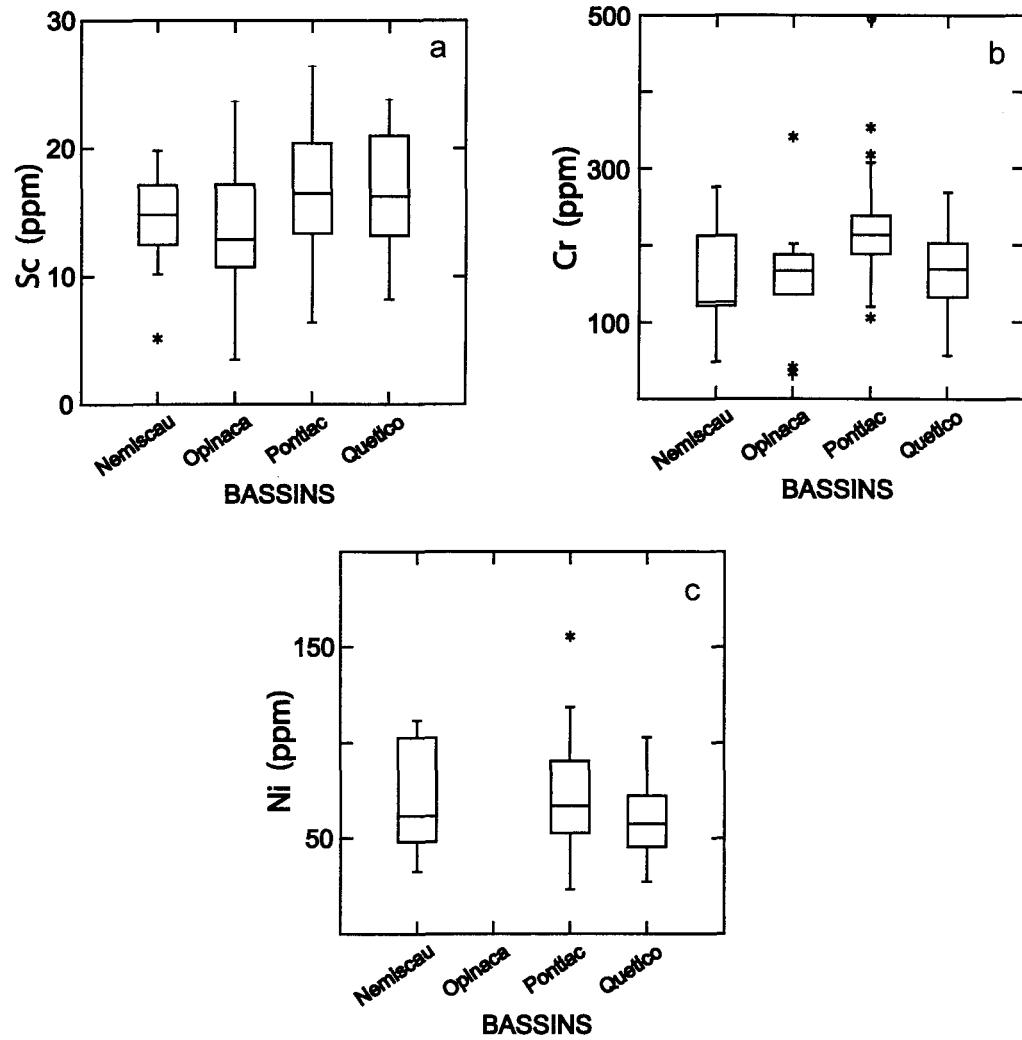
b) Cr

	Nemiscau	Opinaca	Pontiac	Quetico
Nemiscau	1.000			
Opinaca	0.999	1.000		
Pontiac	0.015	0.001	1.000	
Quetico	0.945	0.882	0.003	1.000

c) Ni

	Nemiscau	Pontiac	Quetico
Nemiscau	1.000		
Pontiac	0.949	1.000	
Quetico	0.362	0.186	1.000

Figure 4.7 Diagrammes en boîtes des métaux de transitions des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico.



associées aux roches mafiques/ultramafiques. Par conséquent, il est possible de dire que Pontiac est constitué d'une plus grande composante sédimentaire provenant de roches ultramafiques. Enfin, le bassin d'Opinaca est enrichi en Sc, un élément associé aux argiles. Il s'avère donc que ce bassin en contient une plus grande quantité.

En résumé, c'est encore le bassin de Pontiac qui est le plus différent parmi les quatre grands bassins.

4.5 Statistiques des éléments traces incompatibles

4.5.1 Beardmore-Geraldton et Bordeleau

L'étude statistique des éléments traces pour les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau indique que ces deux bassins ont un contenu semblable en Y, en Zr, en Nb et en Ba (tableau 4.16). Par contre, pour certains éléments traces il y a un des bassins qui diffère. La méthode de Tukey (tableau 4.17) n'est pas très utile ici car il est difficile de déterminer le bassin dissemblable. Toutefois, les diagrammes en boîtes permettent la détermination du bassin différent.

Pour l'élément Sr et Zr, les figures 4.8 b et d indiquent que le bassin de Bordeleau possède un contenu plus élevé que le bassin de Beardmore-Geraldton. Alors que pour le Rb, un élément adsorbé par les argiles, c'est le bassin de Beardmore-Geraldton qui possède des valeurs élevées comparativement au bassin de Bordeleau (figure 4.8 a).

Tableau 4.16 Résultats de l'analyse de la variance des éléments traces incompatibles pour les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau

Élément	Valeur	SC	d.l.	MC	ratio-F	p
Rb (67)	Entre les bassins	1.112E+04	1	1.112E+04	29.788	0.000
	À l'intérieur des bassins	2.426E+04	65	373.342		
Sr (67)	Entre les bassins	2.684E+06	1	2.685E+06	28.858	0.000
	À l'intérieur des bassins	6.047E+06	65	9.304E+04		
Y (67)	Entre les bassins	17.713	1	17.713	1.935	0.169
	À l'intérieur des bassins	595.056	65	9.155		
Zr (67)	Entre les bassins	1.276E+04	1	1.277E+04	16.262	0.000
	À l'intérieur des bassins	5.102E+04	65	784.932		
Nb (53)	Entre les bassins	0.013	1	0.013	0.010	0.920
	À l'intérieur des bassins	64.147	51	1.258		
Ba (67)	Entre les bassins	1.542E+04	1	1.542E+04	0.159	0.692
	À l'intérieur des bassins	6.311E+06	65	9.709E+04		
Rb/Sr (67)	Entre les bassins	0.359	1	0.359	58.686	0.000
	À l'intérieur des bassins	0.397	65	0.006		

Tableau 4.17 a Comparaison multiple des éléments traces incompatibles par la méthode de Tukey des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau

Matrice des probabilités de la comparaison par paire de bassin

a	Rb	B-G	B
B-G	1.000		
B-G	0.000	1.000	

b	Sr	B-G	B
B-G	1.000		
B	0.000	1.000	

c	Y	B-G	B
B-G	1.000		
B	0.169	1.000	

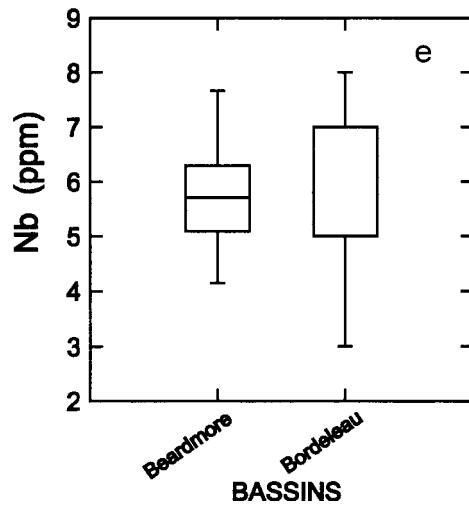
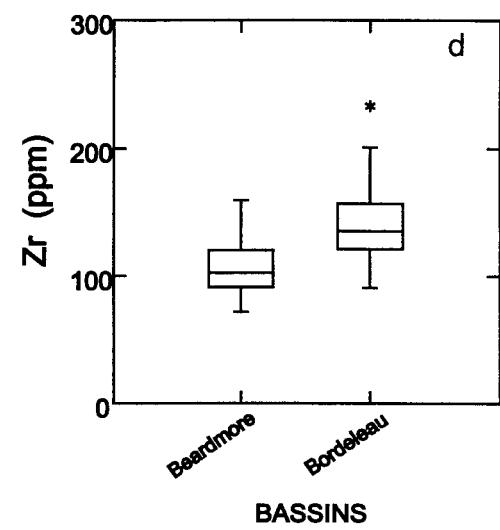
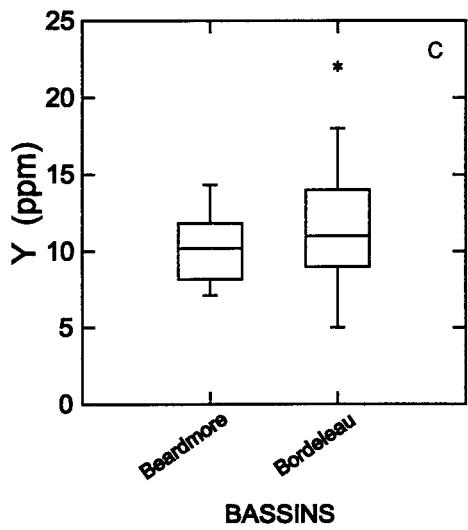
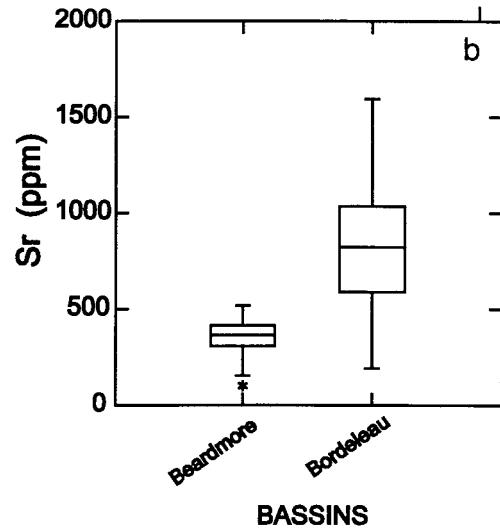
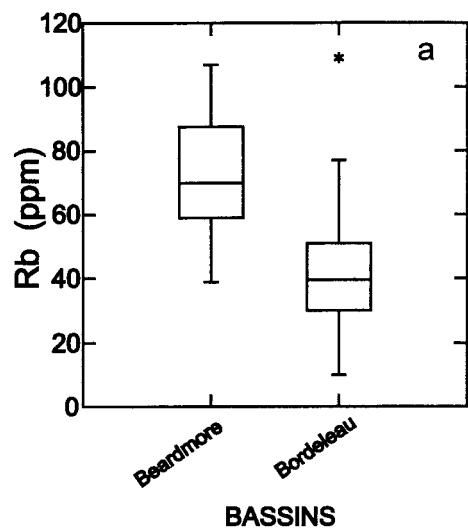
d	Zr	B-G	B
B-G	1.000		
B	0.000	1.000	

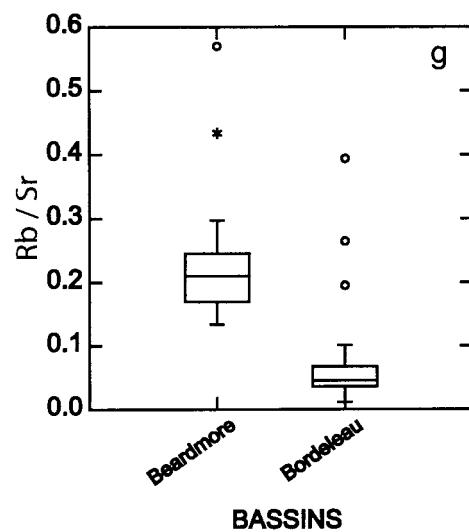
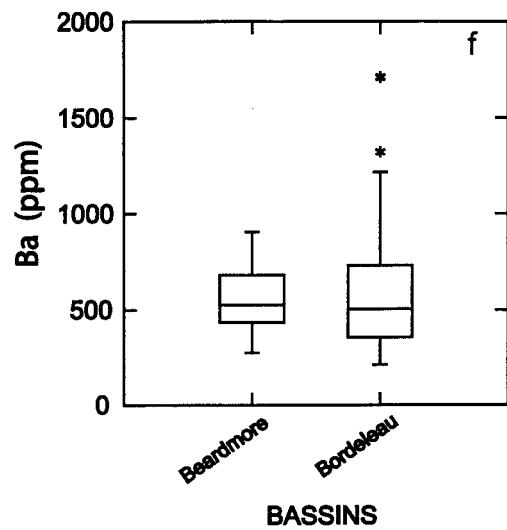
e	Nb	B-G	B
B-G	1.000		
B	0.919	1.000	

f	Ba	B-G	B
B-G	1.000		
B	0.692	1.000	

g	Rb/Sr	B-G	B
B-G	1.000		
B	0.000	1.000	

Figure 4.8 Diagrammes en boîtes des éléments traces incompatibles des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau.





L'étude statistique du ratio Rb/Sr, un ratio déterminant la quantité de plagioclase, montre que le bassin de Bordeleau est différent en raison de ses faibles valeurs (tableau 4.19 g et figure 4.8 g). Elles s'expliquent par de petites valeurs en Rb et des valeurs élevées en Sr.

Cette étude statistique des éléments traces incompatibles montre qu'il y a une différence entre les bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau. Afin de déterminer la validité de ce test, la prochaine partie contient les six bassins.

4.5.2 Beardmore-Geraldton, Bordeleau, Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico

Cette étude statistique (tableau 4.18) démontre que les six bassins n'ont pas un contenu semblable en éléments traces. Toutefois pour un petit nombre d'éléments, les six bassins ont un contenu similaire. Ces éléments sont le Zr et le Hf (tableau 4.18).

Les deux bassins qui suscitent l'intérêt de la méthode de Tukey sont Bordeleau et Beardmore-Geraldton. Dans le cas où ces deux bassins sont différents des quatre autres bassins le test statistique sera validé alors que les quatre autres bassins seront traités plus en détail dans la partie suivante. La méthode de Tukey indique que le bassin de Bordeleau diffère en contenu de Rb, en Sr, en Y, en Cs, en Th, en U et en Rb/Sr (tableau 4.19 a, b, c, f, j, k, l). Le bassin de Beardmore-Geraldton est différent en contenu de Rb (tableau 4.19 a).

Tableau 4.18 Résultats de l'analyse de la variance des éléments traces incompatibles des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Élément	Valeurs	SC	d.l.	MC	ratio-F	p
Rb (210)	Entre les bassins	1.953E+05	5	3.905E+04	8.620	0.000
	À l'intérieur des bassins	9.243E+05	204	4530.665		
Sr (220)	Entre les bassins	7.739E+06	5	1.548E+06	32.541	0.000
	À l'intérieur des bassins	1.018E+07	214	4.756E+04		
Y (219)	Entre les bassins	723.706	5	144.741	11.074	0.000
	À l'intérieur des bassins	2784.021	213	13.071		
Zr (220)	Entre les bassins	2.013E+04	5	4026.632	0.881	0.495
	À l'intérieur des bassins	9.785E+05	214	4572.625		
Nb (175)	Entre les bassins	183.160	5	36.632	10.963	0.000
	À l'intérieur des bassins	564.699	169	3.341		
Cs (134)	Entre les bassins	720.927	4	180.232	18.088	0.000
	À l'intérieur des bassins	1285.373	129	9.964		
Ba (192)	Entre les bassins	2.964E+06	5	5.928E+05	7.208	0.000
	À l'intérieur des bassins	1.530E+07	186	8.225E+04		
Hf (139)	Entre les bassins	2.016	4	0.504	0.720	0.580
	À l'intérieur des bassins	93.823	134	0.700		
Ta (169)	Entre les bassins	140.385	4	35.096	19.026	0.000
	À l'intérieur des bassins	302.521	164	1.845		
Th (164)	Entre les bassins	1041.216	4	260.304	33.743	0.000
	À l'intérieur des bassins	1226.584	159	7.714		
U (139)	Entre les bassins	82.118	4	20.530	18.902	0.000
	À l'intérieur des bassins	145.539	134	1.086		
Rb/Sr (210)	Entre les bassins	4.801	5	0.960	11.899	0.000
	À l'intérieur des bassins	16.460	204	0.081		

Tableau 4.19 a Comparaison multiple des éléments traces incompatibles par la méthode de Tukey des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Matrice des probabilités de la comparaison par paire de bassin

a) Rb

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	1.000					
B	0.621	1.000				
N	0.327	0.000	1.000			
O	0.044	0.000	0.722	1.000		
P	0.991	0.010	0.261	0.026	1.000	
Q	0.639	0.001	0.994	0.466	0.719	1.000

g) Ba

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	1.000					
B	0.998	1.000				
N	0.999	1.000	1.000			
O	0.991	0.858	0.951	1.000		
P	0.007	0.000	0.170	0.001	1.000	
Q	0.987	0.999	0.999	0.757	0.001	1.000

b) Sr

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	1.000					
B	0.000	1.000				
N	0.992	0.000	1.000			
O	0.997	0.000	1.000	1.000		
P	0.785	0.000	0.942	0.980	1.000	
Q	0.999	0.000	0.988	0.998	0.552	1.000

h) Hf

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.998	1.000			
O	0.999	0.999	1.000		
P	0.785	0.899	0.976	1.000	
Q	0.670	0.818	0.929	0.995	1.000

c) Y

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	1.000					
B	0.854	1.000				
N	0.002	0.002	1.000			
O	0.791	0.998	0.210	1.000		
P	0.001	0.000	0.999	0.182	1.000	
Q	0.000	0.000	0.482	0.004	0.277	1.000

i) Ta

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.000	1.000			
O	0.875	0.000	1.000		
P	0.148	0.000	0.989	1.000	
Q	0.939	0.000	0.998	0.827	1.000

d) Zr

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	1.000					
B	0.551	1.000				
N	0.461	0.999	1.000			
O	0.940	0.995	0.981	1.000		
P	0.432	0.999	0.999	0.984	1.000	
Q	0.830	0.992	0.965	0.999	0.965	1.000

j) Th

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.000	1.000			
O	0.000	0.004	1.000		
P	0.000	0.002	0.915	1.000	
Q	0.000	0.038	0.825	0.995	1.000

e) Nb

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	1.000					
B	1.000	1.000				
N	0.000	0.000	1.000			
O	0.999	0.996	0.001	1.000		
P	0.994	0.955	0.000	1.000	1.000	
Q	0.931	0.848	0.012	0.993	0.985	1.000

k) U

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.122	1.000			
O	0.088	1.000	1.000		
P	0.000	0.866	0.850	1.000	
Q	0.000	0.070	0.054	0.050	1.000

f) Cs

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.020	1.000			
O	0.000	0.879	1.000		
P	0.000	0.999	0.843	1.000	
Q	0.000	0.253	0.902	0.040	1.000

l) Rb/Sr

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	1.000					
B	0.283	1.000				
N	0.802	0.000	1.000			
O	0.009	0.000	0.063	1.000		
P	0.999	0.028	0.299	0.000	1.000	
Q	0.328	0.000	0.914	0.402	0.025	1.000

Afin de savoir les différences qui existent, les diagrammes en boîtes sont utiles. Ainsi, la figure 4.9 a, i, j, et k établisse que le bassin de Bordeleau a des valeurs en Rb, Th, U et Rb/Sr inférieures aux autres. La figure 4.9 b affiche que le bassin de Bordeleau a un contenu élevé en Sr. La figure 4.9 c établisse que Beardmore-Geraldton et Bordeleau ont un contenu moins élevée en Y mais tout de même semblable à celui du bassin d'Opinaca. Les figures 4.9 e et h démontrent que le bassin de Nemiscau possède des valeurs en Nb et Ta supérieures aux autres bassins. Alors que la figure 4.9 f montre que le bassin de Pontiac possède les valeurs les plus élevées en Ba.

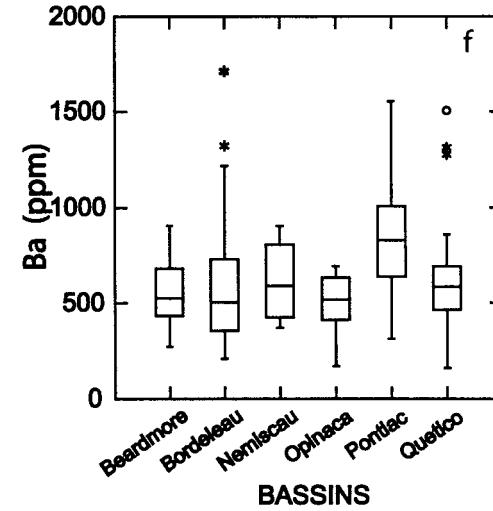
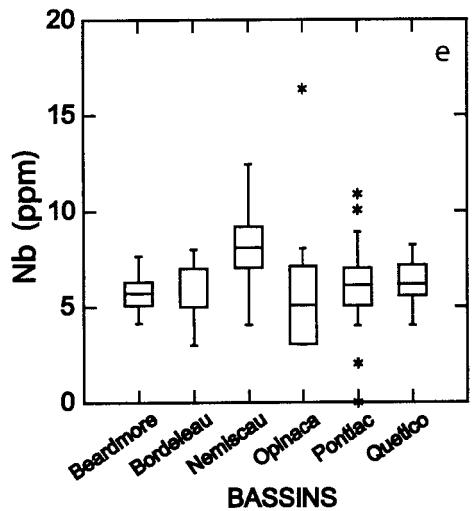
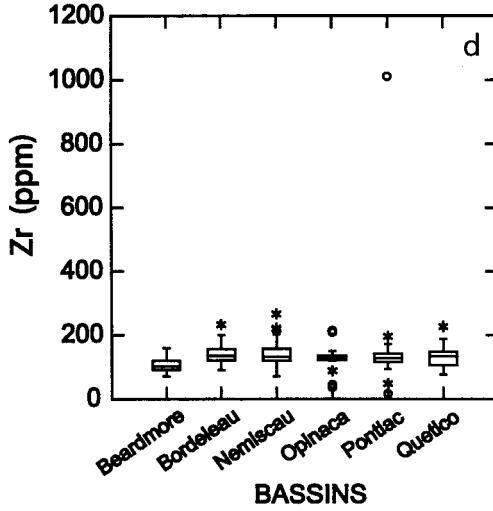
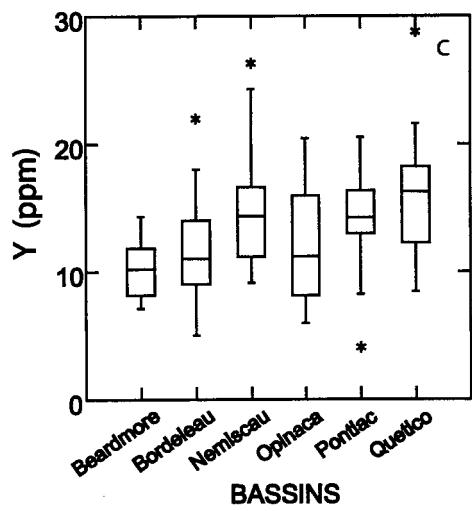
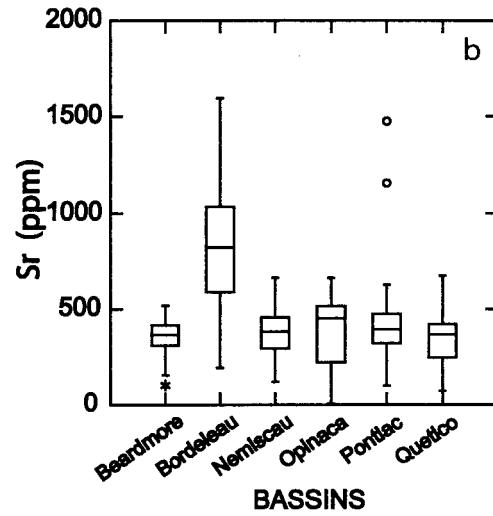
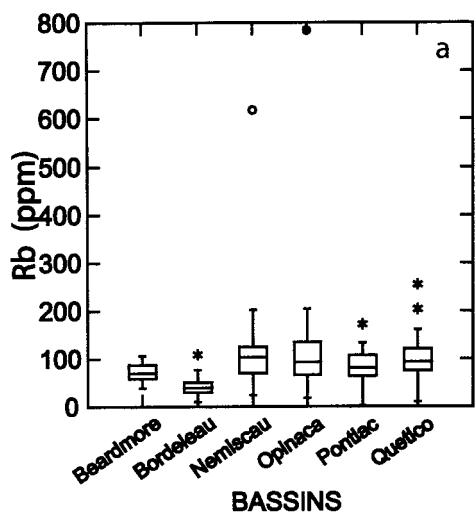
En résumé, le bassin de Bordeleau avec des valeurs élevées en Sr vient appuyer la partie 4.2.2 comme quoi ce bassin possède une grande quantité de plagioclase.

Par conséquent, les résultats de ce test statistique ont démontré que les petits bassins sont statistiquement différents des autres bassins. Donc, le test est valide.

4.5.3 Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico

L'étude statistique des éléments traces pour les quatre grands bassins (tableau 4.20) indique que le Rb, le Sr, le Zr, le Cs, le Hf et l'U sont présents dans une même proportion.

Figure 4.9 Diagrammes en boîtes des éléments traces incompatibles des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico.



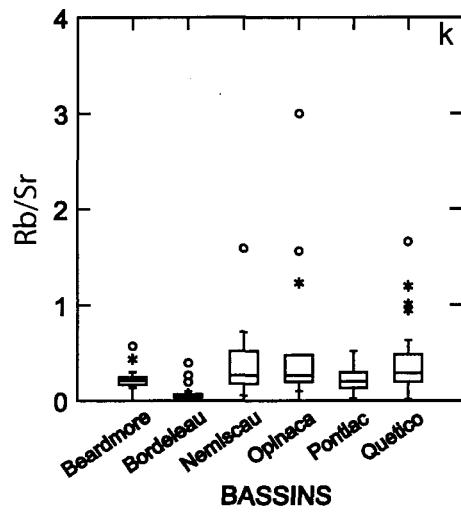
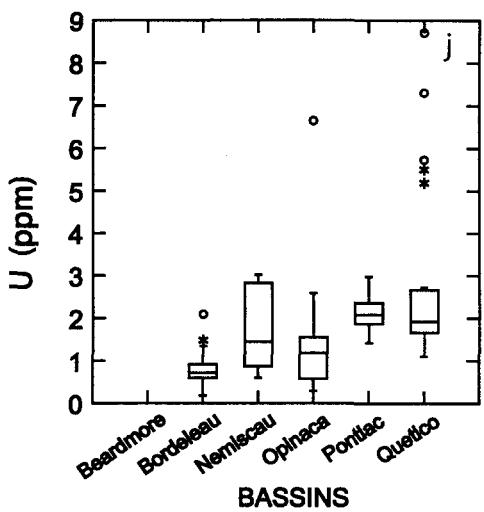
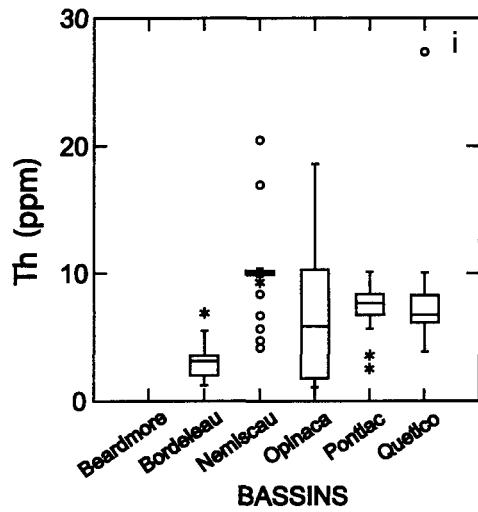
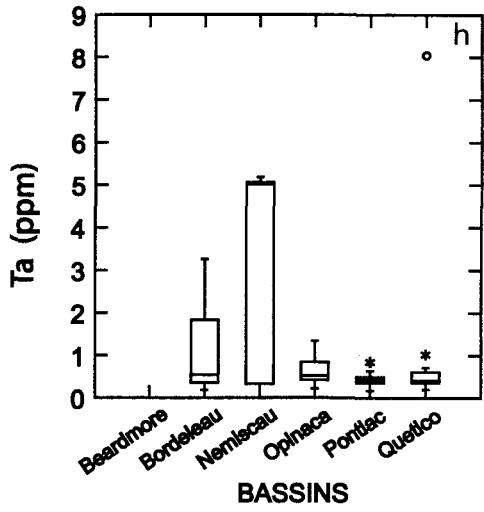
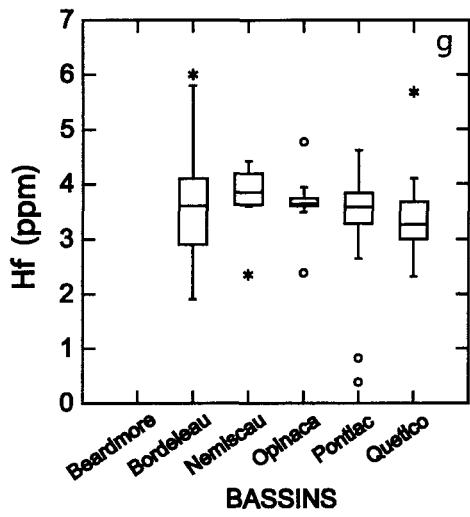


Tableau 4.20 Résultats de l'analyse de la variance des éléments traces incompatibles des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Élément	Valeur	SC	d.l.	MC	ratio-F	p
Rb (143)	Entre les bassins	5.165E+04	3	1.722E+04	2.659	0.051
	À l'intérieur des bassins	8.999E+05	139	6474.737		
Sr(153)	Entre les bassins	1.393E+05	3	4.643E+04	1.675	0.175
	À l'intérieur des bassins	4.131E+06	149	2.772E+04		
Y(152)	Entre les bassins	180.336	3	60.112	4.064	0.008
	À l'intérieur des bassins	2188.964	148	14.790		
Zr(153)	Entre les bassins	5405.419	3	1801.806	0.289	0.833
	À l'intérieur des bassins	9.275E+05	149	6224.975		
Nb(122)	Entre les bassins	141.679	3	47.226	11.133	0.000
	À l'intérieur des bassins	500.551	118	4.242		
Cs(82)	Entre les bassins	89.478	3	29.826	1.840	0.147
	À l'intérieur des bassins	1264.348	78	16.210		
Ba(125)	Entre les bassins	2.232E+06	3	7.442E+05	10.019	0.000
	À l'intérieur des bassins	8.987E+06	121	7.427E+04		
Hf(87)	Entre les bassins	1.067	3	0.356	0.733	0.535
	À l'intérieur des bassins	40.230	83	0.485		
Ta(117)	Entre les bassins	138.539	3	46.180	19.812	0.000
	À l'intérieur des bassins	263.392	113	2.331		
Th (112)	Entre les bassins	139.673	3	46.558	4.343	0.006
	À l'intérieur des bassins	1157.808	108	10.720		
U (87)	Entre les bassins	13.548995	3	4.516332	2.665660	0.053104
	À l'intérieur des bassins	140.623907	83	1.694264		
Rb/Sr (143)	Entre les bassins	1.950060	3	0.650020	5.624926	0.001143
	À l'intérieur des bassins	16.062928	139	0.115561		

Par contre, pour certains des éléments traces, il existe des différences. C'est le cas pour le Y. La méthode de Tukey indique que le bassin d'Opinaca diffère de Quetico (tableau 4.21 c). Le contenu en Nb varie lui aussi d'un bassin à l'autre. Ainsi, le tableau 4.21 e montre que c'est le bassin de Nemiscau qui diffère en Nb. L'étude statistique du Ba montre au tableau 4.21 g que c'est le bassin de Pontiac qui diffère. La méthode de Tukey appliquée aux éléments traces Ta et Th indique que c'est le bassin de Nemiscau qui a un contenu différent (tableau 4.21 i et 4.21 j). Finalement, la méthode de Tukey du ratio Rb/Sr désigne que les bassins différents sont Opinaca et Pontiac (tableau 4.21 l).

La figure 4.10 c désigne que le bassin d'Opinaca possède des valeurs en Y inférieure à celles des autres bassins. La figure 4.10 e montre que Nemiscau possède des valeurs en Nb supérieures aux autres bassins. Pour la figure 4.10 f c'est le bassin de Pontiac qui possède des valeurs en Ba supérieures à celles des autres bassins. Les figures 4.10 h, et i soutiennent que c'est le bassin de Nemiscau qui diffère parce qu'il contient plus de Ta et plus de Th que les autres bassins. Enfin, la figure 4.10 k affirme que le bassin d'Opinaca possède le ratio Rb/Sr le plus élevé alors que le bassin de Pontiac détient les plus petites valeurs.

En résumé, le bassin de Nemiscau est enrichi en Nb, en Ta et en Th. Donc, le bassin de Nemiscau possède une plus grande quantité de minéraux de la phase accessoire, possiblement le rutile et la monazite. Alors que le

Tableau 4.21 a Comparaison multiple des éléments traces incompatibles par la méthode de Tukey des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Matrice des probabilités de la comparaison par paire de bassin

a) Rb

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.641	1.000		
P	0.274	0.050	1.000	
Q	0.967	0.434	0.638	1.000

h) Hf

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.989	1.000		
P	0.707	0.892	1.000	
Q	0.568	0.770	0.966	1.000

b) Sr

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.999	1.000		
P	0.625	0.785	1.000	
Q	0.839	0.940	0.127	1.000

i) Ta

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.000	1.000		
P	0.000	0.973	1.000	
Q	0.000	0.992	0.781	1.000

c) Y

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.145	1.000		
P	0.999	0.126	1.000	
Q	0.341	0.003	0.191	1.000

j) Th

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.019	1.000		
P	0.012	0.888	1.000	
Q	0.084	0.804	0.987	1.000

d) Zr

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.930	1.000		
P	0.999	0.938	1.000	
Q	0.898	0.999	0.898	1.000

k) U

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	1.000	1.000		
P	0.862	0.849	1.000	
Q	0.168	0.143	0.136	1.000

e) Nb

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.002	1.000		
P	0.000	0.999	1.000	
Q	0.021	0.958	0.934	1.000

l) Rb/Sr

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.095	1.000		
P	0.305	0.001	1.000	
Q	0.832	0.386	0.049	1.000

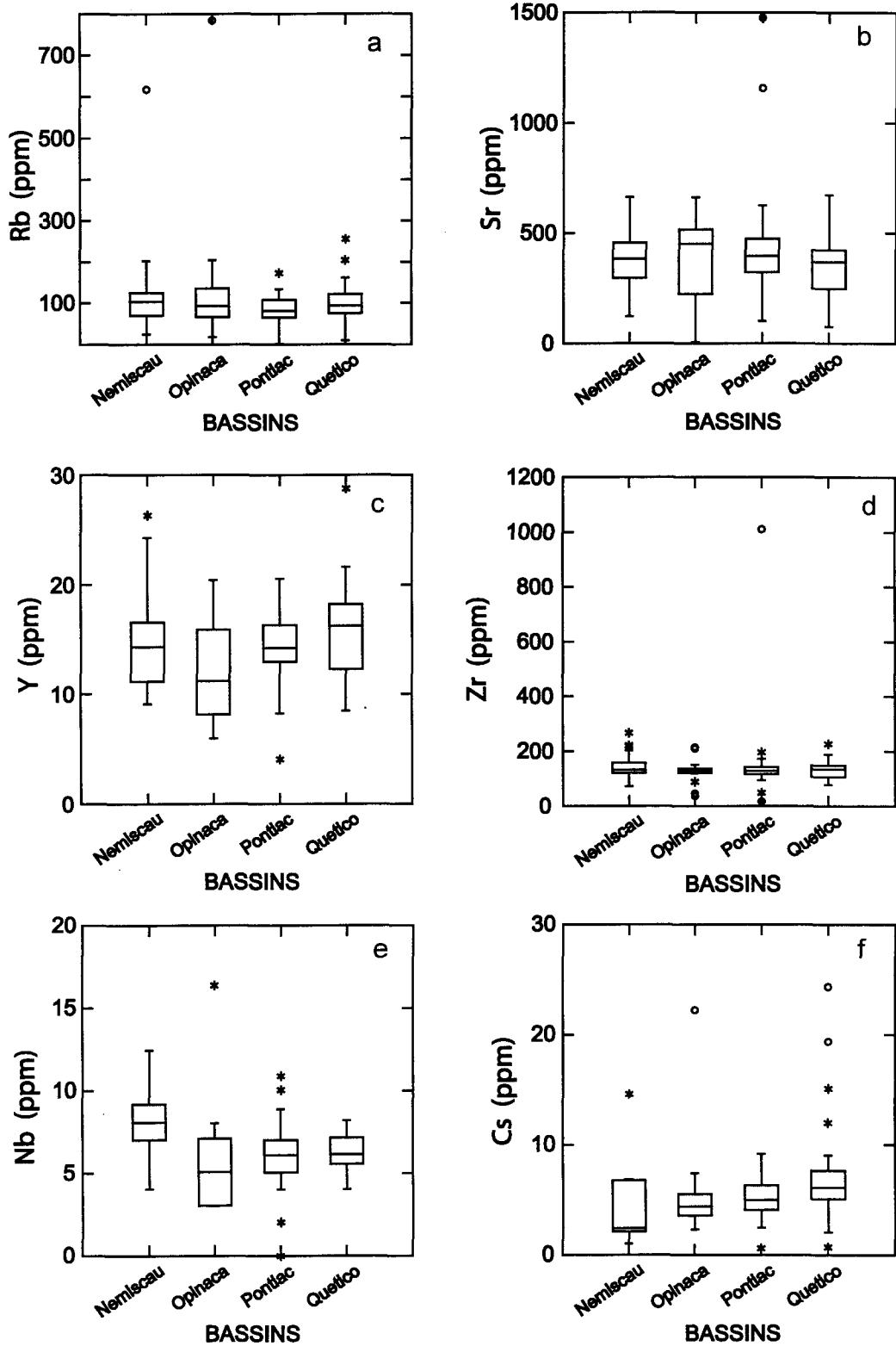
f) Cs

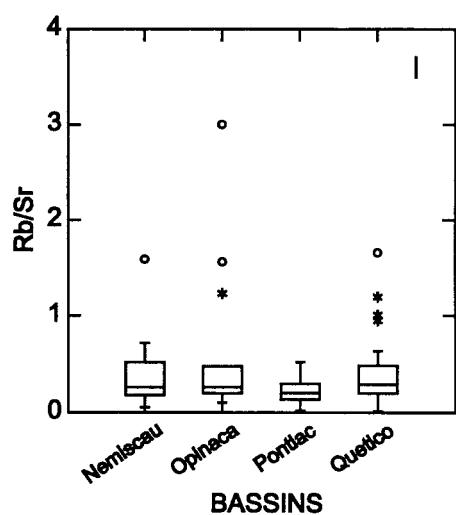
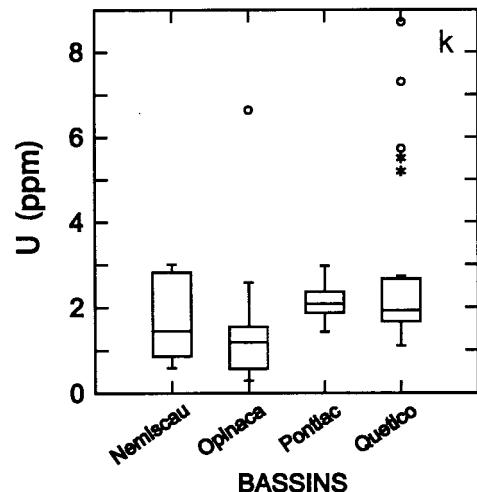
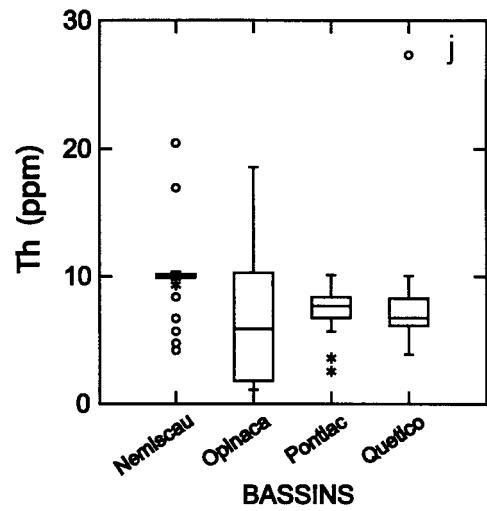
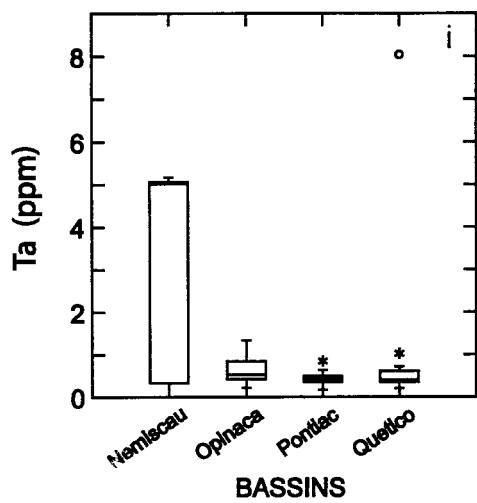
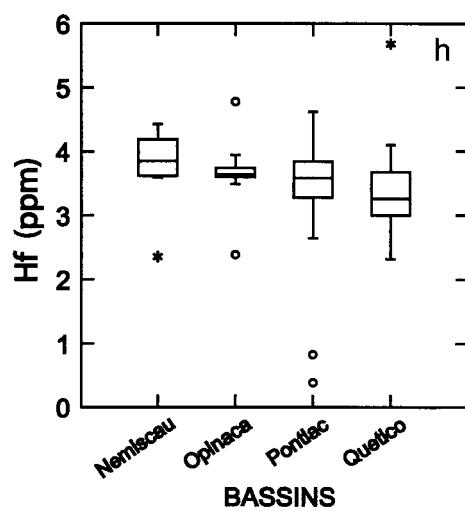
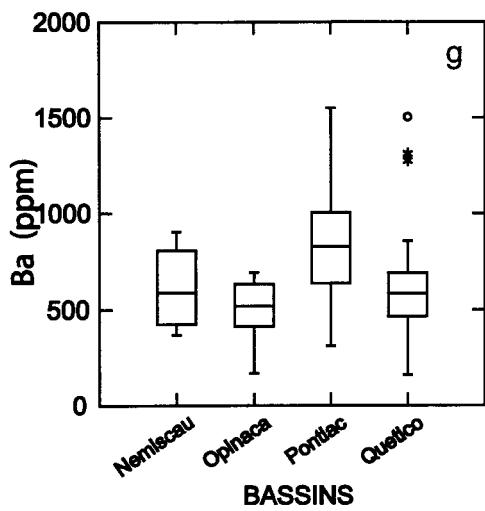
	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.880	1.000		
P	0.999	0.852	1.000	
Q	0.391	0.899	0.131	1.000

g) Ba

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.789	1.000		
P	0.062	0.000	1.000	
Q	0.999	0.486	0.000	1.000

Figure 4.10 Diagrammes en boîtes des éléments traces incompatibles des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico.





bassin d'Opinaca est appauvrie en Y et possède un ratio élevé en Rb/Sr. Ce bassin contient donc une plus grande quantité de mica et de feldspath potassique mais une plus faible contribution en matériel felsique. Enfin, le bassin de Pontiac est enrichi en Ba et il possède une faible valeur pour le ratio Rb/Sr. Ainsi, il possède une grande quantité d'argile, de micas blancs et de feldspath potassique.

4.6 Statistiques des éléments des terres rares

Pour les éléments des terres rares, seule la comparaison entre les quatre bassins et entre les six bassins sera effectuée. Les éléments des terres rares n'ont pas été analysés géochimiquement pour le bassin de Beardmore-Geraldton.

4.6.1 Bordeleau, Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico

Seul un petit nombre d'éléments des terres rares ne sont pas présents dans une même quantité dans les cinq bassins (tableau 4.22). En effet, l'étude statistique de ces éléments montre que le bassin de Bordeleau détient un contenu différent en Nd (tableau 4.23 c) que les bassins d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico. Ce contenu différent en Nd peut être causé par la calibration de la résolution de l'appareil. Le bassin de Bordeleau possède une quantité différente de Yb (tableau 4.23 g). Finalement, l'élément des terres rares Lu s'avère être en quantité variable dans les cinq bassins (tableau 4.23 h). En effet, le bassin de Bordeleau est différent des bassins de Nemiscau, de Pontiac et de Quetico mais il est semblable au bassin d'Opinaca.

Tableau 4.22 Résultats de l'analyse de la variance des éléments des terres rares des bassins de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Éléments	Bassins	SC	d.l.	MC	ratio-F	p
La (148)	Entre les bassins	21.093	4	5.273	0.060	0.993
	À l'intérieur des bassins	1.242E+04	143	86.898		
Ce (163)	Entre les bassins	2759.504	4	689.876	2.097	0.083
	À l'intérieur des bassins	5.197E+04	158	328.958		
Nd (147)	Entre les bassins	2734.254	4	683.563	7.795	0.000
	À l'intérieur des bassins	1.245E+04	142	87.683		
Sm (147)	Entre les bassins	6.106	4	1.526	0.908	0.460
	À l'intérieur des bassins	238.502	142	1.679		
Eu (147)	Entre les bassins	0.877	4	0.219	1.933	0.108
	À l'intérieur des bassins	16.107	142	0.113		
Tb (143)	Entre les bassins	0.117	4	0.029	1.463	0.216
	À l'intérieur des bassins	2.782	138	0.020		
Yb (147)	Entre les bassins	8.559	4	2.139	19.815	0.000
	À l'intérieur des bassins	15.333	142	0.107		
Lu (147)	Entre les bassins	0.158	4	0.039	13.161	0.000
	À l'intérieur des bassins	0.428	142	0.003		

Tableau 4.23 a Comparaison multiple des éléments des terres rares par la méthode de Tukey des bassins de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Matrice des probabilités de la comparaison par paire de bassin

a) **La**

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.999	1.000			
O	0.998	0.996	1.000		
P	0.998	0.997	0.999	1.000	
Q	1.000	0.999	0.998	0.998	1.000

e) **Eu**

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.122	1.000			
O	0.757	0.864	1.000		
P	0.910	0.365	0.971	1.000	
Q	0.342	0.913	0.998	0.788	1.000

b) **Ce**

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.988	1.000			
O	0.856	0.995	1.000		
P	0.041	0.762	0.953	1.000	
Q	0.973	1.000	0.990	0.519	1.000

f) **Tb**

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.999	1.000			
O	0.812	0.885	1.000		
P	0.421	0.793	0.999	1.000	
Q	0.287	0.617	0.999	0.982	1.000

c) **Nd**

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.081	1.000			
O	0.005	0.969	1.000		
P	0.000	0.992	0.996	1.000	
Q	0.000	0.989	0.999	0.999	1.000

g) **Yb**

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.000	1.000			
O	0.008	0.884	1.000		
P	0.000	1.000	0.763	1.000	
Q	0.000	0.611	0.080	0.256	1.000

d) **Sm**

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.989	1.000			
O	0.968	0.999	1.000		
P	0.999	0.976	0.942	1.000	
Q	0.607	0.606	0.494	0.717	1.000

h) **Lu**

	B	N	O	P	Q
B	1.000				
N	0.034	1.000			
O	0.999	0.191	1.000		
P	0.000	0.999	0.060	1.000	
Q	0.000	0.260	0.000	0.024	1.000

La figure 4.11 c atteste que le bassin de Bordeleau diffère par un contenu élevé en Nd. Alors que la figure 4.11 g révèle que Bordeleau est différent car il contient une plus faible quantité de Yb que les autres bassins. Enfin, la figure 4.11 h présente le bassin de Bordeleau avec un contenu en Lu inférieur aux autres bassins mais semblable au bassin d'Opinaca.

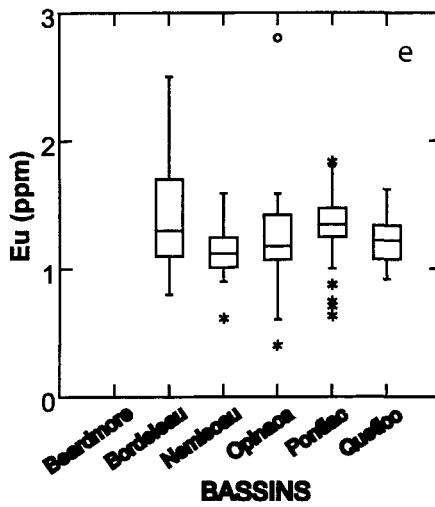
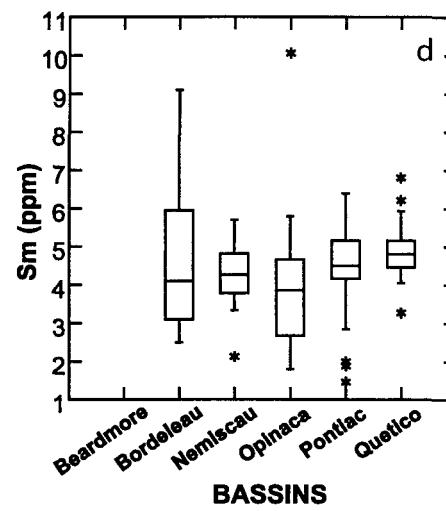
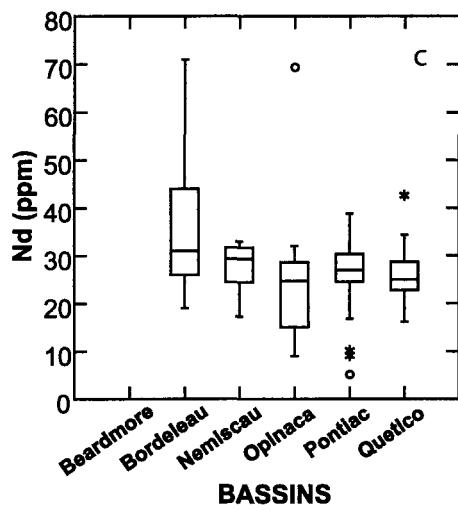
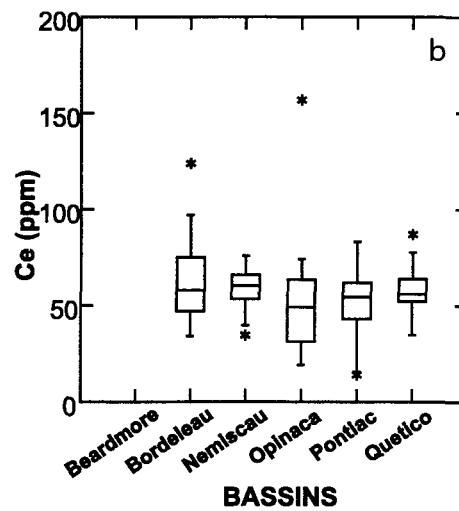
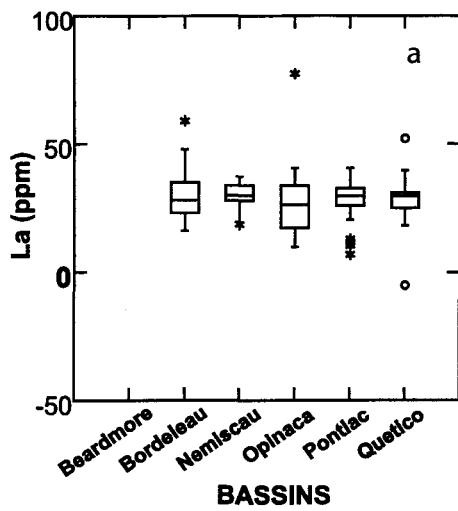
Suite à cette étude statistique, il est possible d'affirmer que Bordeleau n'est pas constitué du même matériel sédimentaire que les autres bassins. Il est enrichi en minéraux alumineux, en plagioclase et en minéraux de la phase accessoire autre que la monazite. Par contre, il est appauvri en composante ultramafique, en mica blanc ou feldspaths potassiques, et en argile.

4.6.2 Nemiscau, Opinaca, Pontiac et Quetico

L'étude statistique des éléments des terres rares indique, par des probabilités de l'ANOVA supérieures à 0,05, que les quatre bassins possèdent un contenu semblable en La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb et Yb (tableau 4.24).

Par contre, l'élément Lu possède une ANOVA qui indique qu'il y a un bassin différent (tableau 4.24). La méthode de Tukey désigne le bassin de Quetico différent des bassins d'Opinaca et de Pontiac (tableau 4.24 h). La figure 4.12 h révèle, en effet, que le bassin de Quetico détient des valeurs en Lu au-dessus de celles des autres bassins. Cependant, cette différence des valeurs de Lu peut être instrumentale puisque ces analyses ont été faites par un appareil possédant une moins bonne résolution en 1982.

Figure 4.11 Diagrammes en boîtes des éléments des terres rares des bassins de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico.



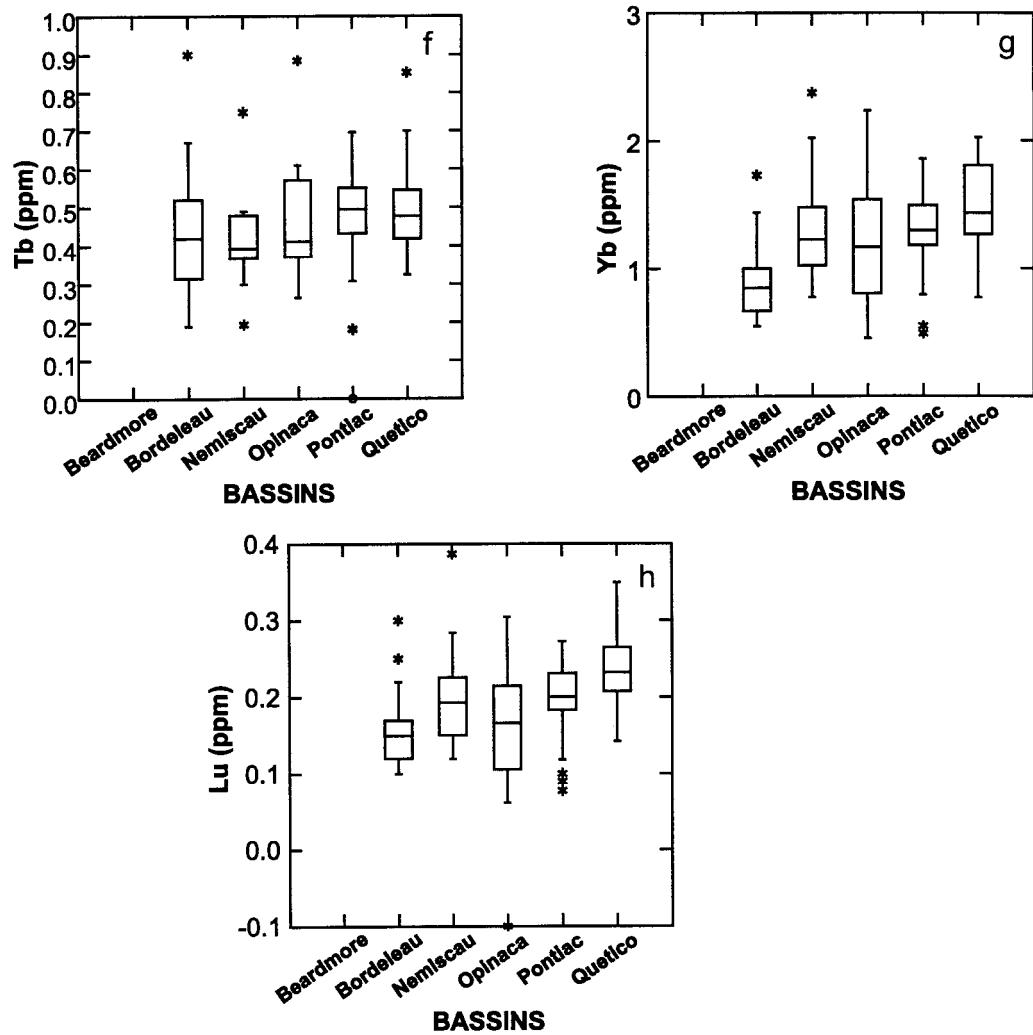


Tableau 4.24 Résultats de l'analyse de la variance des éléments des terres rares pour les bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Élément	Bassins	SC	d.l.	MC	ratio-F	p
La (91)	Entre les bassins	78.157	3	26.052	0.308	0.819
	À l'intérieur des bassins	7368.790	87	84.699		
Ce (107)	Entre les bassins	996.645	3	332.215	1.023	0.386
	À l'intérieur des bassins	3.3450E+04	103	324.748		
Nd (91)	Entre les bassins	67.892	3	22.631	0.352	0.788
	À l'intérieur des bassins	5592.358	87	64.279		
Sm (91)	Entre les bassins	5.474	3	1.825	1.299	0.279
	À l'intérieur des bassins	122.108	87	1.404		
Eu (91)	Entre les bassins	0.253	3	0.084	0.892	0.448
	À l'intérieur des bassins	8.220	87	0.094		
Tb (86)	Entre les bassins	0.034	3	0.011	0.584	0.627
	À l'intérieur des bassins	1.610	82	0.019		
Yb (91)	Entre les bassins	0.754	3	0.251	1.891	0.137
	À l'intérieur des bassins	11.560	87	0.133		
Lu (90)	Entre les bassins	0.040	3	0.013	4.425	0.006
	À l'intérieur des bassins	0.260	86	0.003		

Tableau 4.25 a Comparaison multiple des éléments des terres rares par la méthode de Tukey pour les bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

Matrice des probabilités de la comparaison par paire de bassin

a) La

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.975	1.000		
p	0.981	0.999	1.000	
Q	0.998	0.881	0.831	1.000

e) Eu

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.950	1.000		
p	0.613	0.885	1.000	
Q	0.986	0.992	0.565	1.000

b) Ce

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.986	1.000		
p	0.753	0.892	1.000	
Q	1.000	0.967	0.403	1.000

f) Tb

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.819	1.000		
p	0.599	0.999	1.000	
Q	0.589	0.995	0.999	1.000

c) Nd

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.750	1.000		
p	0.841	0.975	1.000	
Q	0.827	0.992	0.999	1.000

g) Yb

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.658	1.000		
p	0.984	0.623	1.000	
Q	0.909	0.107	0.367	1.000

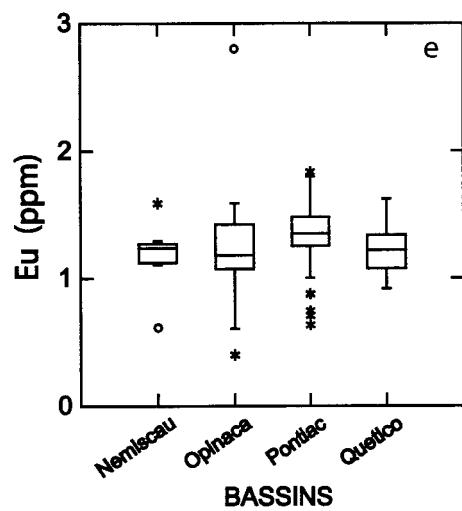
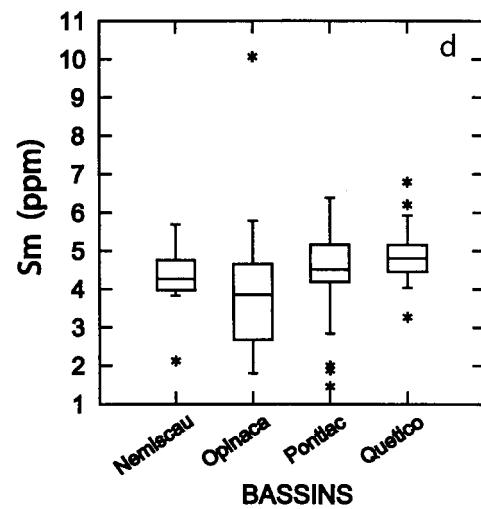
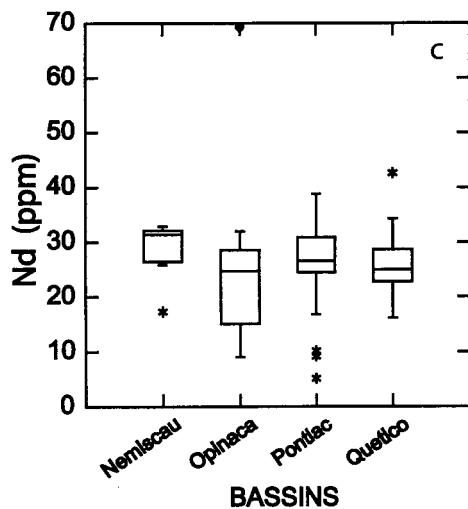
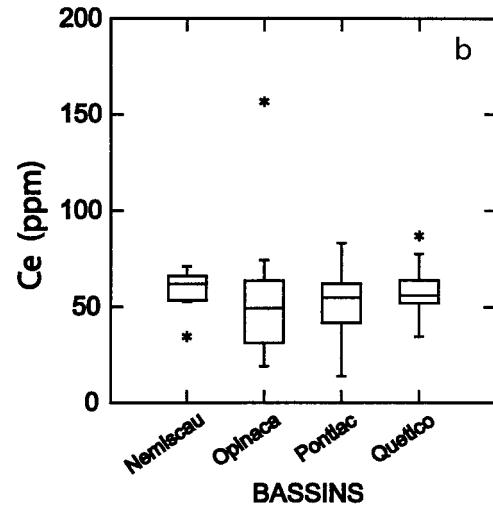
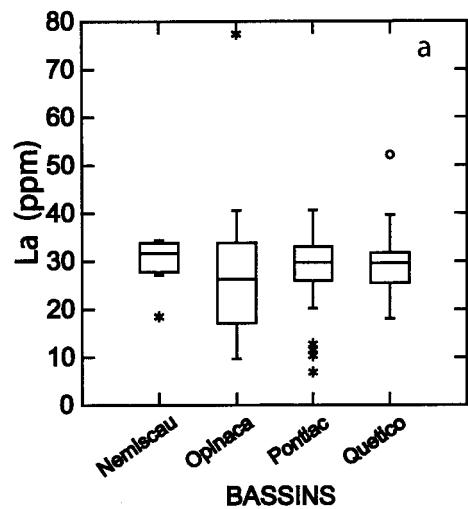
d) Sm

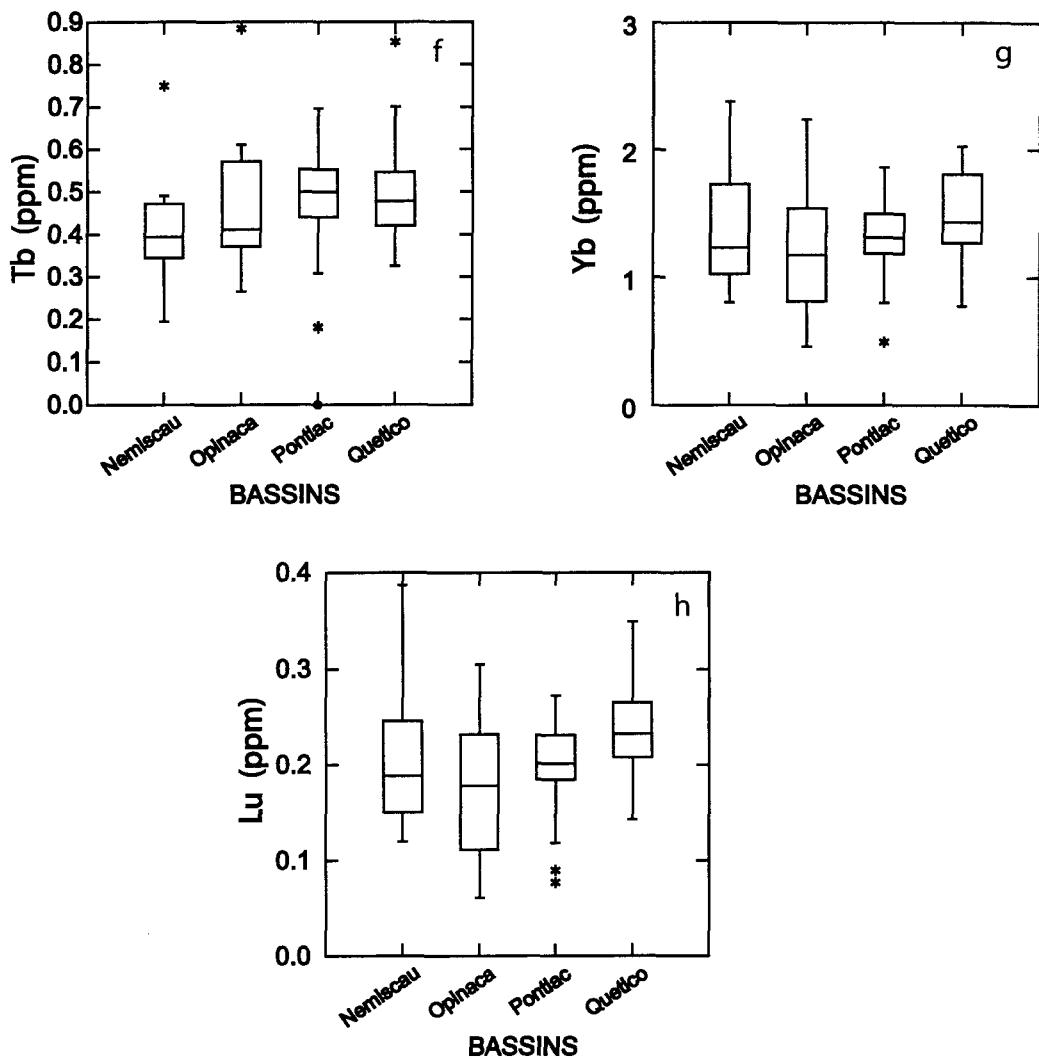
	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.999	1.000		
p	0.931	0.805	1.000	
Q	0.531	0.302	0.579	1.000

h) Lu

	N	O	P	Q
N	1.000			
O	0.561	1.000		
p	0.992	0.443	1.000	
Q	0.468	0.006	0.031	1.000

Figure 4.12 Diagrammes en boîtes des éléments des terres rares des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico.





CHAPITRE 5

DISCUSSION

5.1 Beardmore-Geraldton

Le volet géochimie a permis d'observer que le bassin de Beardmore-Geraldton semblait posséder une composition géochimique différente du bassin de Bordeleau mais aussi des ressemblance avec les quatre autres bassins. Afin de déterminer s'il existe vraiment des différences, la statistique a été utilisé. Cette étude statistique indique que le bassin de Beardmore-Geraldton est différent du bassin de Bordeleau par une contribution plus importante d'éléments associés à de matériel ultramafique, une quantité plus élevée de SiO_2 (quartz) et des éléments qui sont présents dans les argiles comme le Fe_2O_3 , Al_2O_3 , le K_2O et le TiO_2 . La différence remarquée du bassin de Beardmore-Geraldton d'avec le bassin de Bordeleau serait possiblement dûe à la différence de la nature de la source.

Le bassin de Beardmore-Geraldton montre une similitude géochimique avec les grands bassins métasédimentaires de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico. Ainsi, la quantité de minéraux alumineux (Al_2O_3), de minéraux ferromagnésiens

(Fe_2O_3 , MgO) et de micas blancs (K_2O) est similaire à Nemiscau, à Opinaca et à Quetico.

La seule différence géochimique observée pour le bassin de Beardmore-Geraldton est une plus grande quantité de Na_2O dans les lits métapélitiques et de métagrauwackes comparativement à Quetico et à Nemiscau. Cette composante chimique majeure est associée aux plagioclases (Nesbitt *et al.*, 1980). Pour que Beardmore-Geraldton soit enrichi en plagioclase deux possibilités s'interposent : 1) il doit y avoir eu une accumulation rapide de sédiments, donc, être à proximité d'une même source commune à tous ces bassins ou, 2) que la source soit plus riche en Na_2O . Comme la source de Beardmore-Geraldton est situé au nord (Fralick et Kronberg, 1997) il est donc possible que la première hypothèse soit vraisemblable.

5.2 Bordeleau

Contrairement au bassin de Beardmore-Geraldton, celui de Bordeleau comporte de nombreuses différences avec les cinq autres bassins, tant au niveau pétrologique que géochimique et statistique.

L'enrichissement en Al_2O_3 , en CaO , en Na_2O , en Sr , le faible rapport Rb/Sr et l'appauvrissement en K_2O serait dû à la présence de plagioclases et à la présence d'un ciment de carbonate. L'enrichissement en plagioclase comparativement aux

autres bassins serait causé par la source qui, d'après les diagrammes du chapitre 3, est constituée d'un plus grand apport en matériel felsique spécifiquement en roches volcaniques felsique et de TTG. Suite au calcul de l'index d'altération chimique, il en ressort que le bassin de Bordeleau est celui contenant la moins grande quantité de matériel altéré. Donc, la présence de plagioclase et une quantité moindre de matériel altéré appuie que la source des sédiments est proximale.

Enfin, le bassin de Bordeleau est appauvrie en Cr, Ta, Y et en U, Th. Ces quantités moindres indiquent que le bassin ne contient pas beaucoup de matériel ultramafique et possèderait une source felsique.

5.3 Nemiscau, Opinaca et Quetico

Le volet géochimique a démontré que ces trois bassins semblent géochimiquement similaire. Par contre, le volet statistique a permis d'observer certaines différences.

Ainsi, au point de vue de la composition moyenne, les bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico ne montrent qu'une seule différence par rapport aux autres bassins, ils sont tous les trois enrichis en Fe_2O_3 .

L'enrichissement en CaO et en Na₂O du bassin de Nemiscau et d'Opinaca suggère la présence d'une plus grande proportion de plagioclase. Ce qui peut être due à un plus grand apport de matériel felsique pour ces bassins ou bien une source proximale. La présence de carbonate s'observerait seulement si le CaO est indépendant du Na₂O. Cependant, l'enrichissement en CaO peut être dû à la présence de minéraux authigènes qui se développeraient lors de la diagenèse à partir d'une solution externe, tels des zéolites riches en CaO comme la chabazite, la scolectite, la laumontite et la heulandite.

L'appauprissement en P₂O₅ suggère une faible quantité de minéraux résistants à l'altération tels que l'apatite et la monazite. Ce plus petit volume de minéraux résistant à l'altération s'expliquerait par une source distale ou bien une source pauvre en P₂O₅.

Par contre, le bassin de Nemiscau a un contenu élevé en Ta (rutile) et Th (monazite). Ces deux éléments indiquent la présence de minéraux de la phase accessoire qui sont généralement présents en grande quantité dans les roches felsiques comme les TTG. Ainsi, le bassin de Nemiscau possèderait une plus grande proportion de matériel felsique. Enfin, pour les autres éléments il n'y a pas de différence remarquable.

D'après les diagrammes utilisés pour déterminer la nature de la source, il semble que ces trois bassins aient une composition similaire, donc une source semblable sinon la même. Cependant, l'apport en différent matériel varie faiblement d'un bassin à l'autre.

Les patrons des éléments des terres rares (ETR) de Nemiscau et d'Opinaca montrent une plus grande variabilité que ceux de Quetico. Ce qui s'explique par un métamorphisme plus élevé dans ces deux bassins (Guernina et Sawyer, 2003).

5.4 Pontiac

À la lumière des chapitres antérieurs, le bassin de Pontiac est l'un des grands bassins qui diffère le plus des autres. Les volets géochimique et statistique ont démontrés que Pontiac est enrichie en TiO_2 , en MgO , en K_2O , en Al_2O_3 , en Cr et Ni que les autres bassins. Ce bassin possède donc une grande composante ultramafique dans sa composition et un plus grand volume de minéraux alumineux comparativement aux autres bassins.

Les diagrammes du chapitre 3 provenant de la détermination de la nature de la source s'accordent avec les résultats obtenus par Lajoie et Ludden (1984) et Camiré *et al.* (1993). À savoir que le bassin de Pontiac contient une proportion de matériel ultramafique. Ce qui diffère des autres bassins qui en contiennent pas.

L'enrichissement en aluminium, en magnésium et en potassium des lits métapélitiques et de métagrauwackes reflètent la variation initiale de l'abondance en argile. Après le métamorphisme, la biotite, la muscovite de même que des aluminosilicates (dans les métapélites) et des minéraux riches en magnésium (chlorite±montmorillonite) sont présents (Camiré *et al.*, 1993)

Enfin, l'index chimique d'altération montre que le bassin de Pontiac est celui qui contient la plus grande quantité de matériel altéré. Il est donc possible de dire que le bassin de Pontiac ne possède pas une source similaire aux cinq autres bassins étudiés.

5.5 Synthèse

Suite à l'étude géochimique et statistique il est apparu que les petits bassins situés à l'intérieur de ceintures de roches vertes, Beardmore-Geraldton et le bassin de Bordeleau, montrent une constitution géochimique propre à eux. Il existe, donc, une différence de composition géochimique entre les petits bassins qui sont à l'intérieur des ceintures de roches vertes. D'ailleurs, ces résultats appuient ceux de l'étude de Feng et Kerrich (1990). La présence de ces deux petits bassins a démontré adéquatement que le test statistique est susceptible aux différences. Donc les résultats du test statistique pour les grands bassins sont valides.

Suite à l'étude effectuée sur quatre grands bassins, il en ressort que la composition géochimique du bassin de Pontiac ne ressemble aucunement à celle des autres grands bassins étudiés. Alors que les bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico montrent de grandes ressemblances entre eux. D'une manière subjective, les bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico seraient le produit d'une même source. Bref, les bassins de Nemiscau et d'Opinaca pourraient être l'extension est du bassin de Quetico.

5.6 Critique des modèles existants

Les résultats de l'étude pétrologique, géochimique et statistique ont démontrés que certains bassins ont des ressemblances alors que d'autres sont différents. Comme plusieurs modèles existent pour expliquer la formation des bassins métasédimentaires, il est intéressant de comparer les résultats obtenus avec ces modèles. Puisqu'il existe une grande panoplie de modèles, seul les plus acceptés seront comparés.

5.6.1 Modèle du prisme accrétionnaire

Les études antérieures portant sur le bassin de Quetico basées sur des observations de terrain, sur sa disposition dans le Bouclier Canadien et ses caractéristiques sédimentaires appuient un modèle de prisme accrétionnaire (Card, 1990, Williams, 1990 ; Percival, 1989, Percival et Williams, 1989; Devaney et Williams, 1989 ; Williams, 1986). De plus, les études géochimiques de Fralick

(1997) montrent que le bassin de Beardmore-Geraldton est le bassin avant-arc de Quetico. Cette étude expliquerait donc le fait que Beardmore-Geraldton possède des similarités géochimiques avec Quetico. Les bassins de Beardmore-Geraldton et de Quetico auraient eu une source semblable.

Puisque le bassin de Quetico est similaire aux bassins de Nemiscau et d'Opinaca, et que Quetico est considéré par plusieurs comme un prisme accrétionnaire il est donc possible que ces trois bassins soient un seul et même prisme accrétionnaire.

Par contre, les patrons des ETR du chapitre 3 montrent que le degré de métamorphisme augmente de Quetico vers Opinaca (Guernina et Sawyer, 2003). Au point de vue métamorphique, il est difficile d'affirmer que ces trois bassins soient en fait qu'un seul et même bassin. Cependant, Guernina et Sawyer (2003) de même que Percival (1989) expliquent que le degré de métamorphisme qui augmente vers l'est est en réponse au soulèvement de la croûte et à une forte érosion. Par conséquent, il est vraisemblable de penser que les bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico puissent être un seul et même bassin mais qu'ils aient subi quelques variations sur leur métamorphisme, leur déformation et leur érosion.

5.6.2 Modèle de bassin arrière-arc

Les modèles proposés par Moukhsil et al. (2003) et Percival (1989) soutiennent que les bassins de Nemiscau et d'Opinaca seraient possiblement des bassins arrière-arc en raison de la présence de sédiments, de basaltes tholéitiques de dorsale océanique (N-MORB), de roches tholéitiques faibles en potassium et des plutons synvolcaniques et syntectoniques. La distribution de toutes ces roches concorde avec la définition d'un bassin arrière-arc (Perfit et Davidson, 2000). D'ailleurs, Langford et Morin (1976) suggèrent que le bassin de Quetico soit un bassin arrière-arc.

Par conséquent, la remarquable ressemblance géochimique des bassins de Nemiscau et d'Opinaca avec celui de Quetico et l'association des roches similaires, nommées plus haut, amène à penser que ces trois bassins soient un seul et même bassin arrière-arc.

En contre partie, la littérature et les observations de terrain indiquent que ces bassins sont constitués de plis complexes impliquant une déformation en compression (Williams, 1990 ; Percival, 1989; Devaney et Williams, 1989). Alors qu'un bassin arrière-arc implique une déformation en extension (Percival, 1989). C'est pourquoi ce modèle ne peut être considéré comme plausible. De plus, dans le cas où ce modèle s'avère véridique, ce bassin arrière-arc serait présent sur une longueur de plus de 2000 km, ce qui est très long.

5.6.3 Modèle d'un seul et même bassin pour Quetico et Pontiac

Ce modèle, proposé par Kimura et al. (1993) et Hoffman (1989), propose que Pontiac et Quetico seraient un seul et même bassin qui passerait sous les sous-provinces Abitibi-Wawa (figure 5.1). Ce qui implique que Quetico devrait avoir la même composition géochimique que Pontiac et qu'il y aurait eu une zone de subduction de plus de 400 km. Cependant, l'étude géochimique et statistique effectuée a montré que Pontiac est différent de Quetico. Son enrichissement en Al_2O_3 , MgO , Cr et Ni suggère que Pontiac ne possède pas une même proportion de matériel mafique/ultramafique.

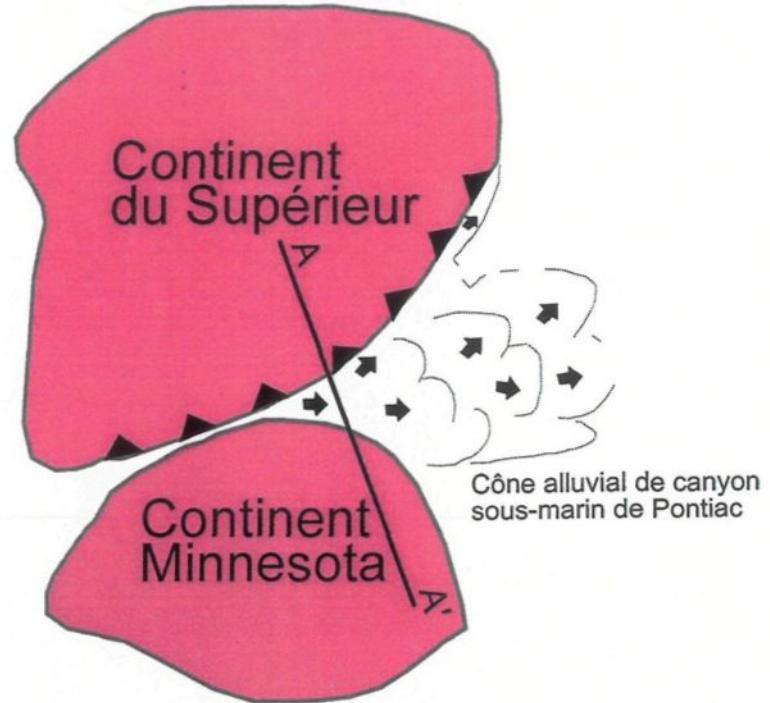
Enfin, il serait intéressant de comparer la géochimie de la sous-province d'English River. D'après le modèle, cette sous-province ferait partie d'un même système sédimentaire, donc elle aurait une géochimie similaire.

5.6.4 Modèle de prisme accrétionnaire pour le bassin de Pontiac

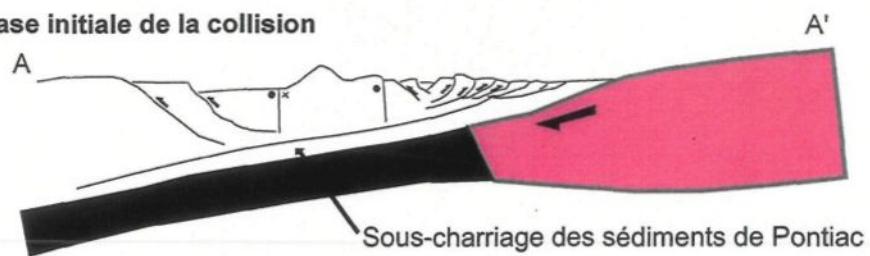
Ce modèle propose que Pontiac est le prisme accrétionnaire de la sous-province Abitibi (Card, 1990). Donc, la source des métasédiments serait la sous-province Abitibi, ce qui est possible puisqu'elle possède des roches ultramafiques et que Pontiac en est enrichi. De plus, le degré métamorphisme augmentant vers le centre du bassin s'expliquerait par les intrusions de plutons et par la collision de la Province du Grenville au sud.

Figure 5.1

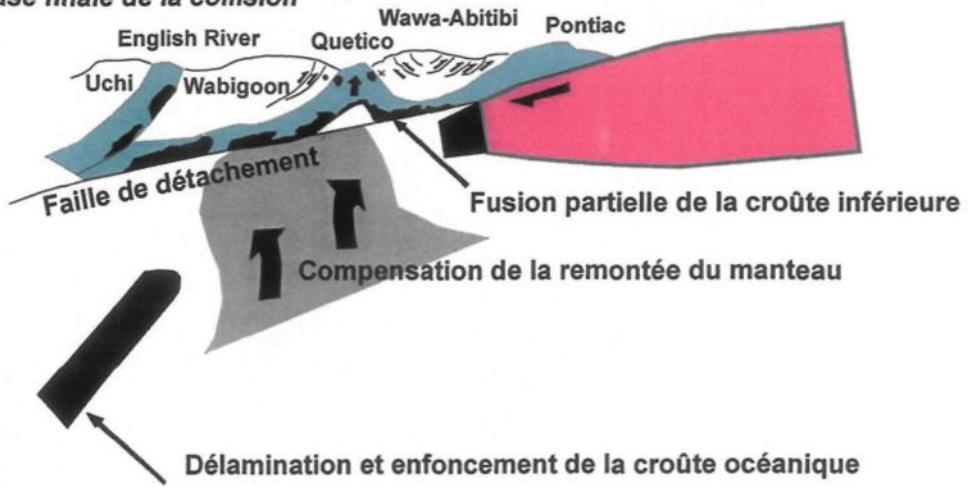
Phase finale dans l'évolution de la Province du Supérieur basée sur l'interprétation que Pontiac est la dernière phase synorogénique d'un cône de déjection de turbidite associée à un orogène progradant. Basé sur les observations à l'ouest du Supérieur et d'après les suggestions de Hoffman (1989), le continent Minnesota est vu comme un continent potentiel qui entre en collision. Le scénario devient plus complexe car l'âge dans la province du Grenville au sud de Pontiac indique une collision plus jeune que celle dans la région du Minnesota. Les sédiments de Pontiac, de Quetico et potentiellement d'English River feraient partie du même système sédimentaire. Modifiée d'après Kimura et al. (1993)



Phase initiale de la collision



Phase finale de la collision



Cependant, quelques problèmes apparaissent. La source du bassin de Pontiac est le produit du mélange de trois types de roches : 1) tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), 2) basalte et 3) komatitite (chapitre 4). Des études faites par Camiré *et al.* (1993) montrent que le bassin de Pontiac est constitué d'environ 65% de roches felsiques (TTG) alors que la sous-province Abitibi ne contient qu'environ 10% de ces roches. Par conséquent, la source de Pontiac ne peut être la sous-province Abitibi. En plus, d'après cette même étude, la sous-province Abitibi ne peut produire une aussi grande quantité de sédiment. La source aurait donc été située à l'est ou au sud. Par contre, le bassin de Pontiac possède un complexe tonalitique (TTG) qui aurait pu contribuer de source au dépôt (Sawyer et Barnes, 1994).

Suite aux résultats obtenus, et à la critique des modèles existants, il apparaît rapidement qu'aucun des modèles n'est plausible en totalité. En fait, il semble que chaque modèle comporte une partie qui semble probable et la partie qui reste ne concorde pas avec les résultats obtenus de cette étude. Par conséquent, il n'y a aucun modèle véridique mais chacun des modèles comporte une part de la vérité.

CONCLUSION

L'étude pétrologique, géochimique et statistique des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico a été effectuée dans le but de déterminer et de comparer la composition de ces métasédiments. Afin de réaliser ce but, des objectifs spécifiques ont été atteints. Tout d'abord, la composition moyenne des bassins a été établie, ensuite la détermination de la provenance, du mode de transport et de sédimentation a été faite et la fluctuation de la composition moyenne entre les bassins a été aussi observée. Enfin, suite aux résultats obtenus il y a eu une critique des modèles déjà existants à la lumière des données amassées dans ce travail.

La détermination de la composition moyenne des six bassins a permis d'observer que trois bassins se démarquent des autres. Tout d'abord, le bassin de Bordeleau est enrichi en aluminium, en calcium, en sodium et appauvrie en potassium, en chrome. Cette géochimie indique que ce bassin est riche en plagioclase et ne contient pas beaucoup de matériel ultramafique. Ensuite, le bassin de Pontiac est enrichi en titane, en magnésium et en potassium,

en aluminium, en chrome et en nickel. Par conséquent, ce bassin contient une grande proportion de matériel ultramafique et une grande quantité de minéraux alumineux. Enfin, les bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico sont quant à eux enrichis en Fe_2O_3 comparativement aux autres bassins, donc ils possèdent une plus grande quantité de minéraux mafiques.

L'étude géochimique statistique des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau a démontré que, tout comme Feng et Kerrich (1990) l'ont mentionné, il existe une différence entre les petits bassins à l'intérieur des ceintures de roches vertes. Cette différence a permis de valider les résultats des tests statistiques effectués sur les grands bassins.

La géochimie du bassin de Pontiac ne ressemble aucunement à celle des trois autres grands bassins, bien que pétrologiquement quelques aspects sont similaires. Par conséquent, le bassin de Pontiac ne peut se comparer à aucun autre bassin puisqu'il semble avoir une source de nature très différente.

De plus, il a été possible d'observer que les bassins de Nemiscau, d'Opinaca et de Quetico ont une géochimie semblable. C'est-à-dire que ces trois bassins peuvent être composés de sédiments provenant d'une même source. Ainsi, d'une manière subjective, il est dans le domaine du possible que ces trois bassins soient en fait un seul et même bassin qui aurait subit localement une histoire légèrement

différente. Cependant, l'étude statistique montre qu'il y a quelques différences mineures qui peuvent être expliquées aussi par l'apport d'une source qui est légèrement différente.

La pétrographie, les résultats des analyses géochimiques et statistiques ont démontré que la plupart des modèles acceptés présentement, contiennent tous une certaine quantité d'informations qui s'avèrent véridique. Cependant, aucun des modèles existant est plausible en totalité. Il reste donc beaucoup de recherche à faire afin de déterminer l'environnement tectonique et tous les domaines de la géologie doivent y contribuer.

Finalement, il serait intéressant d'inclure les données provenant de d'autres bassins métasédimentaires. Par exemple, les bassins d'English River et de la Formation de Chicobi de même que des données provenant de bassins plus récents afin d'observer si leur composition géochimique ressemble à celles des bassins de cette étude.

RÉFÉRENCES

- BAILLARGEON, G. 1990. Méthodes statistiques de l'ingénieur. Les éditions SMG, 3^e édition, 1 : 686.
- BARNES, S-J., COUTURE, J-F, SAWYER, E.W., et BOUCHAIB, C. 1993. Nickel-Copper Occurrences in the Belleterre-Angliers belt of the Pontiac Subprovince and the use of Cu-Pd ratios in interpreting platinum-group element distributions. *Economic geology*, **88** : 1402-1418.
- BARNES, S-J, GORTON, M.P., et NALDRETT, A.J. 1983. A comparative study of olivine and clinopyroxène spinifex flows from Alexo, Abitibi Greenstone belt, Ontario, Canada. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **83** : 293-308.
- BARRETT, T.J., et FRALICK, P.W. 1989. Turbidites and iron formations, Beardmore-Geraldton, Ontario : application of a combined ramp/fan model to Archean clastic and chemical sedimentation. *Sedimentology*, **36**: 221-234.
- BATHIA, M.R. 1985. Composition and classification of Paleozoic flysch mudrock of eastern Australia :implications in provenance and tectonic setting interpretation. *Sedimentary Geology*, **41** : 249-268.
- BATHIA, M.R., et CROOK, A.W. 1986. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **92** :181-193.
- BÉDARD L.P., et BARNES, S-J. 1990. Instrumental neutron activation analysis by collecting only one spectrum: results for international geochemical references samples. *Geostandards Newsletter*, **14**: 479-484.
- BENN, K., MILES, W., GHASSEMI, M., et GILLET, J. 1994. Crustal structure and kinematic framework of the northwestern Pontiac Subprovince, Quebec : an integrated structural and geophysical study. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **31**:271-281.
- BOGGS, S. 2000. Principles of sedimentology and stratigraphy. Troisième édition. Prentice-Hall : 726.

- CAMIRÉ, G.E., LAFLÈCHE, M.R., et LUDDEN, J.N. 1993. Archean metasedimentary rocks from the northwestern Pontiac subprovince of the Canadian Shield : chemical characterization, weathering and modelling of the source areas. *Precambrian Research*, **62** : 285-305.
- CARD, K.D. 1990. A review of the Superior Province of the Canadian Shield, a product of Archean accretion. *Precambrian Research*, **48** : 99-156.
- CARD, K.D., et CIESIELSKI, A. 1986. Subdivisions of the Superior Province of the Canadian Shield. *Geoscience Canada*, **13** : 5-13.
- CATY, J.L. 1977. Demi est du Canton de Richardson, Comté d'Abitibi-Est. Ministère des Richesses Naturelles. DPV-447 : 12.
- DAVIES, W.J., MACHADO, N., GARIÉPY, C., SAWYER, E.W., et BENN, K. 1995. U-Pb geochronology of the Opatica tonalite-gneiss belt and its relationship to the Abitibi greenstone belt, Superior Province, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **32** : 113-127.
- DAVIS, D.W. 2002. U-Pb geochronology of Archean metasedimentary rocks in the Pontiac and Abitibi subprovinces, Quebec, constraints on timing, provenance and regional tectonics. *Precambrian Research*, **115** : 97-117.
- DAVIS, D.W., SUTCLIFFE, R.H., et TROWELL, N.F. 1988. Geochronological constraints on the tectonic evolution of a late Archean greenstone belt, Wabigoon Subprovince, northwest Ontario, Canada. *Precambrian Research*, **39** : 171-191.
- DAVIS, D.W., BLACKBURN, C.E., et KROGH, T.E. 1982. Zircon U-Pb ages from the Wabigoon-Manitou Lakes region, Wabigoon Subprovince, northwest Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **19** : 254-266.
- DAIGNEAULT, R., et ALLARD, G.O. 1990. Le complexe du Lac Doré et son environnement géologique (région de Chibougamau-Sous-province de l'Abitibi). Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MM 89-03 : 275.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A., et ZUSSMAN, J. 1962. Rock-Forming minerals. Longmans éditeur.
- DEVANEY, J.R. 1987. Sedimentology and stratigraphy of the northern and central metasedimentary belts in the Beardmore-Geraldton area of northern Ontario. M. Sci. Thesis, Lakehead university, Thunder Bay, Ontario.

- DEVANEY, J.R., et WILLIAMS, H.R. 1989. Evolution of an Archean subprovince boundary : a sedimentological and structural study of part of the Wabigoon-Quetico boundary in northern Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **26**:1013-1026.
- DIMROTH, E., IMREH, L., ROCHELEAU, M., et GOULET, N. 1982. Evolution of the south-central part of the Archean Abitibi Belt, Quebec, Part 1 : Stratigraphy and paleogeographic model. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **16**:1315-1340.
- DIMROTH, E., MUELLER, W., ROCHELEAU, M., ARCHER, P., JUTRAS, P., PICHÉ, M., SIMONEAU, P., CARIGNAN, J., CHOWN, E.H., GUHA, J., GOULET, N., ALLARD, G.O., FRANCONI, A., et GOBEIL, A. 1983. Stratigraphie et évolution du bassin de transition entre les Groupes de Roy et d'Opémisca, région de Chibougamau-Chapais. Stratigraphie des ensembles volcano-sédimentaires Archéens de l'Abitibi : État des connaissances, Ministère de l'Énergie et des Ressources. DV 83-11 :21-33.
- DIMROTH, E., ROCHELEAU, M. et MUELLER, W. 1984. Paleography, Isostasy and crustal evolution of the Archean Abitibi belt : A comparison between the Rouyn-Noranda and Chibougamau-Chapais areas. Chibougamau Stratigraphy and Mineralization. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume **34**:73-91.
- DIMROTH, E., ROCHELEAU, M., MUELLER, W., ARCHER, P., BRISSON, H., FORTIN, G., JUTRAS, M., LEFEBVRE, C., PICHÉ, M., PILOTE, P., et SIMONEAU, P. 1985. Paleogeographic and paleotectonic response to magmatic processes : a case history from the Archean sequence in the Chibougamau area, Quebec. *Geologische Rundschau*, **75**:11-32.
- FENG, R., et KERRICH, R. 1992. Geochemical evolution of granitoids from the Archean Abitibi southern volcanic zone and the Pontiac subprovince, Superior Province, Canada: Implications for tectonic history and source regions. *Chemical Geology*, **98** : 23-70.
- FENG, R., et KERRICH, R. 1990. Geochemistry of fine-grained clastic sediments in the Archean Abitibi greenstone belt, Canada : Implications for provenance and tectonic setting. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **54** :1061-1081.
- FRALICK, P.W., et KRONBERG, B.I. 1997. Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources. *Sedimentary Geology*, **113**:11-124.
- FRALICK, P.W., WU, J., et WILLIAMS, H.R. 1992. Trench and slope basin deposits in an Archean metasedimentary belt, Superior Province, Canadian Shield. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **29** : 2551-2557.

- GOUTIER, J., DION, C., et OUELLET, M-C. 2001. Géologie de la région de la colline Bezier (32G/12) et du lac de la Montagne du Pin (32G/13). Ministère des Ressources naturelles du Québec. RG-2001-13.
- GOODWIN, A.M., 1981. Archean plates and greenstone belts. In : Kroner, A. (Ed.), Precambrian Plate Tectonics. Elsevier, Amsterdam:105-135.
- GUERNINA, S., et SAWYER, E.W. 2003. Large-scale melt depletion in granulite terranes : an example from the Archean Ashuanipi Subprovince of Quebec. *Journal of Metamorphic Geology*, **21** : 181-201.
- HOCQ, M. 1990. Carte lithotectonique des sous-provinces de l'Abitibi et du Pontiac. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. DV 89-04.
- HOFFMAN, P.F. 1989. Precambrian geology and tectonics history of North America. In : A.W. Bally and A.R. Palmer (Éditeur), The Geology of North America, An overview. *Geological Society of America*, vol. A : 447-512.
- JUTRAS, M. 1983. Environnement de déposition de la Formation de Bordeleau dans la demi-sud du Canton de Richardson. Projet de fin d'études, UQAC :99.
- KIMURA, G., LUDDEN, J.N., DESROCHER, J.P., et HORI, R., 1993. A model for ocean-crust accretion for the Superior Province, Canada. *Lithos*, **30** : 337-355.
- LAJOIE, J., et LUDDEN, J. 1984. Petrology of the Archean Pontiac and Kewagama sediments and implications for the stratigraphy of the southern Abitibi belt. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **21**:1305-1314.
- LANGFORD, F.F., et MORIN, J.A. 1976. The development of the Superior province of northwestern Ontario by merging island arcs. *American Journal of Sciences*, **276**:1023-1034.
- MCLENNAN, S.M., NANCE, W.B., et TAYLOR, S.R. 1980. Rare earth element thorium correlation in sedimentary rocks, and the composition of the continental crust. *Geochemical et Cosmochimica Acta*, **44** : 1833-1839.
- MCLENNAN, S.M., et TAYLOR, S.R. 1980. Th and U in sedimentary rocks : crustal evolution and sedimentary recycling. *Nature (London)*, **285** : 621-624.
- MOISAN, A. 1992. Pétrochimie des grès de la Formation de Bordeleau, Chibougamau, Québec. Mémoire de Maîtrise, UQAC :121.

- MOUKHSIL, A., LEGAULT, M., BOILY, M., DOYON, J., SAWYER, E.W., et DAVIS, D.W. 2003. Synthèse géologique et métallogénique de la ceinture de roches vertes de la Moyenne et de la Basse-Eastmain. Ministère des Ressources naturelles du Québec. ET-2002-06.
- MOUKHSIL, A., et LEGAULT, M. 2002. Géologie de la région de la Basse-Eastmain occidentale (33D/01, 33D/02, 33D07, 33D/08). Ministère des Ressources naturelles du Québec. RG-2002-09.
- MOUKHSIL, A., VOICU, G., DION, C., DAVID, J., DAVIS, D.W., et PARENT, M. 2001. Géologie de la région de la Basse-Eastmain centrale (33C/03, 33C/04, 33C/05 et 33C/06). Ministère des Ressources naturelles du Québec, RG 2001-08.
- NANCE, W.B., et TAYLOR, S.R. 1977. Rare earth element pattern and crustal evolution II. Archean sedimentary rocks from Kalgoorlie, Australia. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, **41** : 225-231.
- NANCE, W.B., et TAYLOR, S.R. 1976. Rare earth element patterns and crustal evolution. I. Australian post-Archean sedimentary rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **40** : 1539-1551.
- NESBITT, H.W., et YOUNG, G.M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, **299** : 715-717
- NESBITT, H.M., MARKOVICS, G., et PRICE, R.C. 1980. Chemical process affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **44** : 1659-1666.
- PERCIVAL, J.A., STERN, R.A, et RAYNER, N. soumis. Archen adakites from the Ashuanipi complex, eastern Superior Province, Canada : geochemistry, geochronology and tectonic significance. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, sous presse.
- PERCIVAL, J.A. 1989. A regional perspective of the Quetico metasedimentary belt, Superior Province, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **26**; 677-693.
- PERCIVAL, J., et WILLIAMS H.R. 1989. Late archean Quetico accretionary complex, Superior province, Canada. *Geology*, **17**:23-25.
- PERFIT, M.R., et DAVIDSON, J.P. 2000. Plate tectonics and volcanism. *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press : 1417.

- SAWYER, E.W., et BARNES, S-J. 1994. Thrusting, magmatic intraplating, and metamorphic core complex development in the Archean Belleterre-Angliers Greenstone Belt, Superior Province, Quebec, Canada. *Precambrian Research*, **68** : 183-200.
- SAWYER, E.W., et KORNELIUSSEN, A. 1989. The geochemistry of Lower Proterozoic siliciclastic turbidites from the Rombak Window : implications for the paleogeography and tectonic setting. *Norges Geologiske Undersokelse*, **415** : 23-38.
- SAWYER, E.W. 1986. The influence of source rock type, chemical weathering and sorting on the geochemistry of clastic sediments from the Quetico metasedimentary belt, Superior Province, Canada. *Chemical Geology*, **55**:77-95.
- TAYLOR, S.R., et MCLENNAN, S.M. 1981. The rare earth element evidence in Precambrian sedimentary rocks : Implications for crustal evolution. *Precambrian Plate Tectonics*, par A. Kröner (éditeur), chapitre **21** : 527-548.
- TILL, R. 1974. Statistical methods for the earth scientist : An introduction. John Wiley and Sons, New York-Toronto :149.
- UJIKE, O. 1984. Chemical composition of Archean Pontiac metasediments, southwestern Abitibi Belt, Superior Province. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **21**:727-731.
- WICKHAM, S.M., et OXBURGH, E.R. 1985. Continental rifts as a setting for regional metamorphism. *Nature* (London), **318** : 33-333.
- WILLIAMS, H.R. 1986. Structural studies in the Beardmore-Geraldton Belt, northern Ontario : in Geoscience Research program Summary of Research 1985-1986, Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper 30 : 138-146.
- WILLIAMS, H.R. 1987. Structural studies in the Beardmore-Geraldton Belt and in the Quetico and Wawa subprovinces; in Summary of Field Work and Other Activities 1987, Ontario, Geological Survey, Miscellaneous paper 137 : 90-92.
- WILLIAMS, H.R. 1989. Geological studies in the Wabigoon, Quetico and Abitibi-Wawa subprovinces, Superior Province of Ontario, with emphasis on the structural development of the Beardmore-Geraldton Belt; Ontario Geological Survey, Open File Report 5724:189 p.
- WILLIAMS, H.R. 1990. Subprovince accretion tectonics in the south-central Superior Province. *Canadian Journal of the Earth Sciences*, **27** : 570-581.

Annexe I

Composition moyenne de l'illite*

SiO ₂	56.91
TiO ₂	0.81
Al ₂ O ₃	18.50
Fe ₂ O ₃	4.99
FeO	0.26
MnO	-----
MgO	2.07
CaO	1.59
Na ₂ O	0.43
K ₂ O	5.10
P ₂ O ₅	-----
H ₂ O ⁺	5.98
H ₂ O ⁻	2.86
Total	99.50

Composition moyenne de la smectite*

SiO ₂	51.52
TiO ₂	0.48
Al ₂ O ₃	17.15
Fe ₂ O ₃	5.65
FeO	0.32
MnO	-----
MgO	2.80
CaO	1.72
Na ₂ O	0.15
K ₂ O	0.85
H ₂ O ⁺	8.55
H ₂ O ⁻	11.22
Total	100.41

* D'après Deer et al. (1962)

Annexe II

Tableau 3.1 Données géochimiques du bassin de Beardmore-Geraldton*

#Échant. %	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO₂	71.61	68.94	69.73	66.46	66.06	67.36	63.25	65.53
TiO₂	0.44	0.59	0.44	0.58	0.58	0.45	0.61	0.55
Al₂O₃	13.03	15.11	13.34	15.72	15.59	14.35	17.69	16.00
Fe₂O₃	5.30	4.46	4.75	5.75	5.93	4.87	6.04	5.54
MnO	0.09	0.08	0.11	0.08	0.09	0.10	0.08	0.09
MgO	1.69	1.77	2.29	2.70	3.08	2.08	3.35	3.61
CaO	2.80	2.38	3.06	2.43	2.86	4.88	2.37	2.49
Na₂O	3.49	4.94	5.47	4.09	3.66	4.13	3.60	3.87
K₂O	1.45	1.59	0.71	2.03	1.98	1.66	2.86	2.17
P₂O₅	0.09	0.12	0.11	0.15	0.15	0.11	0.16	0.15
LOI	1.93	3.00	5.23	2.08	2.00	1.93	2.39	1.85
ppm								
Cr	76	114	74	134	154	91	123	224
Co	22	30	21	30	18	22	27	24
V	88	104	74	103	103	72	99	99
Cu	28	41	14	50	56	25	33	10
Pb	72	90	77	101	82	88	103	102
Zn	55	42	47	71	75	62	80	61
Mo	1.0	1.8	0.1	2.7	0.1	2.4	0.1	3.1
Se	308	321	305	370	380	328	411	387
ppm								
Rb	58	67	39	70	87	59	107	88
Ba	451	445	273	729	677	574	905	683
Sr	103	155	179	380	359	431	360	418
Nb	5	4	4	6	6	5	7	6
Zr	76	159	105	103	94	72	137	94
Y	9	8	7	12	12	11	11	8

Annexe II

Tableau 3.1 (Suite) Données géochimiques du bassin de Beardmore-Geraldton*

#Échant.	9	10	11	12	13	14	15
%							
SiO₂	64.85	65.90	66.38	62.89	66.24	62.09	67.76
TiO₂	0.56	0.57	0.56	0.60	0.70	0.61	0.51
Al₂O₃	16.01	16.27	15.81	16.78	13.80	16.82	14.54
Fe₂O₃	6.00	5.57	5.54	6.49	7.32	6.61	4.90
MnO	0.08	0.08	0.07	0.10	0.12	0.10	0.09
MgO	3.29	2.58	3.01	3.78	3.22	3.80	2.72
CaO	2.71	2.29	2.44	2.07	3.93	2.96	3.97
Na₂O	4.00	5.02	3.84	4.24	3.44	4.48	3.86
K₂O	2.35	1.56	2.20	1.89	1.11	1.35	1.51
P₂O₅	0.15	0.15	0.15	1.16	0.12	1.19	0.14
LOI	1.08	1.70	1.62	2.31	1.39	2.54	1.08
ppm							
Cr	184	112	203	111	174	194	162
Co	21	20	21	24	43	20	23
V	102	92	101	81	133	102	83
Cu	36	15	20	33	58	48	34
Pb	99	112	101	73	88	102	89
Zn	62	49	62	49	85	56	55
Mo	0.1	0.9	0.7	0.3	0.4	1.7	2.0
Se	377	376	375	283	358	357	323
Rb	101	75	97	49	45	61	77
Ba	673	498	689	526	399	418	424
Sr	408	519	415	283	337	367	444
Nb	5.5	6.2	5.4	6.2	7.7	6.2	5.0
Zr	106	138	94	89	123	118	74
Y	8	11	7	14	14	10	8

* Source: Fralick et Kronberg (1997)

Annexe II

Tableau 3.2 Données géochimiques du bassin de Bordeleau*

#Échant.	AM-01	AM-02	AM-03	AM-04	AM-05
%					
SiO₂	67.94	66.89	66.29	64.80	60.29
TiO₂	0.58	0.60	0.74	0.45	0.53
Al₂O₃	16.31	15.87	15.40	18.23	20.45
Fe₂O₃	2.95	3.14	4.17	3.94	5.17
MnO	0.05	0.05	0.05	0.04	0.07
MgO	1.61	1.65	2.00	2.50	3.45
CaO	2.55	4.15	4.07	1.52	1.18
Na₂O	7.12	6.76	6.52	6.27	5.40
K₂O	0.76	0.77	0.60	2.06	3.19
P₂O₅	0.13	0.11	0.15	0.19	0.28
CO₂	0.80	1.17	1.95	0.47	0.28
S	0.06	0.08	0.40	0.02	0.01
ppm					
Cr	28	27	31	17	25
Ni	10	11	9	18	26
Sc	6	6	7	7	7
Zn	109	112	125	117	135
As	1	1	3	0	0
Se	5	7	6	5	6
Sb	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
Rb	16	18	13	50	76
Cs	1.0	1.0	1.0	2.0	3.0
Ba	226	246	210	704	1217
Sr	406	385	384	256	193
Nb	6	5	4	5	7
Hf	6.0	5.3	5.4	5.3	5.4
Zr	108	107	123	148	185
Y	11	11	10	9	8
Th	1.89	1.80	1.82	4.69	5.45
U	0.54	0.71	0.93	0.93	1.15
La	24.00	23.00	26.00	28.00	30.00
Ce	48.00	48.00	54.00	56.00	57.00
Nd	26.00	26.00	29.00	31.00	33.00
Sm	3.20	3.10	3.60	3.90	4.00
Eu	1.20	1.10	1.40	1.00	1.10
Tb	0.37	0.30	0.28	0.35	0.26
Yb	0.62	0.76	0.66	0.76	0.76
Lu	0.12	0.11	0.10	0.13	0.14

Annexe II

Tableau 3.2 (Suite)

#Échant.	AM-06	AM-07	AM-08	AM-09	AM-10
%					
SiO₂	67.29	68.21	64.61	66.01	68.72
TiO₂	0.70	0.57	0.52	0.59	0.38
Al₂O₃	16.13	16.28	16.59	16.24	17.45
Fe₂O₃	4.28	3.00	2.60	3.11	2.23
MnO	0.05	0.04	0.08	0.06	0.04
MgO	2.10	1.51	1.35	1.45	0.85
CaO	2.10	2.77	6.19	4.67	2.54
Na₂O	6.44	6.65	7.19	7.03	5.34
K₂O	0.77	0.86	0.74	0.72	2.35
P₂O₅	0.13	0.11	0.13	0.11	0.10
CO₂	0.55	1.04	3.39	2.55	0.57
S	0.36	0.10	0.09	0.22	0.08
ppm					
Cr	29	27	27	29	23
Ni	13	11	9	8	8
Sc	6	6	6	6	6
Zn	163	143	139	153	59
As	5	2	1	3	2
Se	7	6	7	8	12
Sb	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
Rb	19	18	16	19	54
Cs	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0
Ba	250	268	233	235	476
Sr	409	434	411	404	619
Nb	7	3	3	5	5
Hf	3.4	2.9	2.7	2.9	5.8
Zr	125	99	103	105	92
Y	6	8	9	8	7
Th	2.06	2.16	2.01	2.01	2.01
U	0.74	0.69	0.66	0.75	0.60
La	25.00	24.00	18.00	23.00	18.00
Ce	50.00	47.00	38.00	48.00	37.00
Nd	27.00	25.00	19.00	24.00	21.00
Sm	3.20	3.00	2.60	3.00	2.60
Eu	1.10	1.10	1.00	1.10	0.90
Tb	0.31	0.24	0.26	0.26	0.34
Yb	0.55	0.56	0.65	0.68	0.68
Lu	0.10	0.11	0.14	0.11	0.14

Annexe II

Tableau 3.2 (Suite)

#Échant.	AM-11	AM-12	AM-13	AM-14	AM-15
%					
SiO₂	69.60	67.86	67.34	67.85	62.21
TiO₂	0.36	0.37	0.43	0.50	0.53
Al₂O₃	17.03	17.56	17.85	16.58	19.26
Fe₂O₃	2.15	2.89	2.87	2.44	5.13
MnO	0.03	0.07	0.06	0.04	0.08
MgO	0.78	1.05	1.07	0.83	2.11
CaO	2.65	2.91	2.95	4.26	3.38
Na₂O	5.27	5.05	5.06	5.68	4.53
K₂O	2.06	2.12	2.26	1.67	2.55
P₂O₅	0.08	0.12	0.12	0.15	0.21
CO₂	0.21	0.16	0.09	1.18	0.17
S	0.05	0.05	0.05	0.03	0.04
ppm					
Cr	22	22	26	29	27
Ni	8	9	12	9	18
Sc	5	6	7	7	9
Zn	54	61	61	50	74
As	5	6	5	4	1
Se	10	8	9	10	6
Sb	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
Rb	48	48	52	38	59
Cs	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
Ba	437	465	513	357	598
Sr	698	731	703	700	737
Nb	6	5	5	5	7
Hf	2.4	3.8	3.9	4.7	4.9
Zr	91	102	118	125	159
Y	5	8	8	10	11
Th	1.94	2.34	2.31	2.02	3.95
U	0.56	0.60	0.55	0.58	1.29
La	18.00	20.00	21.00	26.00	29.00
Ce	36.00	42.00	43.00	52.00	58.00
Nd	20.00	22.00	24.00	29.00	32.00
Sm	2.50	2.90	2.90	4.10	4.30
Eu	1.00	1.00	1.00	1.20	1.40
Tb	0.19	0.39	0.30	0.49	0.42
Yb	0.55	0.61	0.75	0.95	0.89
Lu	0.12	0.13	0.13	0.16	0.14

Annexe II

Tableau 3.2 (Suite)

#Échant.	AM-16	AM-17	AM-18	AM-19	AM-20
%					
SiO ₂	59.86	59.41	58.93	59.64	59.29
TiO ₂	0.81	0.82	0.84	0.83	0.81
Al ₂ O ₃	17.62	17.66	17.58	17.76	17.79
Fe ₂ O ₃	6.35	6.49	6.88	6.51	6.54
MnO	0.09	0.07	0.08	0.08	0.11
MgO	2.68	2.64	2.88	2.85	2.69
CaO	6.47	6.90	7.10	6.32	6.67
Na ₂ O	4.04	3.89	3.83	4.02	4.21
K ₂ O	1.76	1.79	1.55	1.68	1.56
P ₂ O ₅	0.31	0.33	0.32	0.31	0.33
CO ₂	0.52	0.93	0.87	0.33	0.53
S	0.10	0.05	0.11	0.08	0.11
ppm					
Cr	25	26	26	25	24
Ni	20	24	24	20	20
Sc	9	10	10	9	9
Zn	250	252	109	109	101
As	1	1	1	1	1
Se	9	7	8	9	9
Sb	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
Rb	51	41	38	53	57
Cs	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0
Ba	354	304	327	418	436
Sr	1252	1360	1263	1213	1259
Nb	8	6	5	7	7
Hf	4.0	3.9	4.1	3.9	4.1
Zr	139	138	136	138	135
Y	12	13	12	12	13
Th	3.52	3.55	3.31	3.21	3.61
U	0.71	0.74	0.70	0.77	0.89
La	35.00	36.00	36.00	35.00	35.00
Ce	75.00	77.00	77.00	75.00	76.00
Nd	44.00	44.00	44.00	44.00	47.00
Sm	6.10	6.20	6.00	5.60	6.10
Eu	1.90	1.90	1.70	1.80	1.70
Tb	0.49	0.52	0.55	0.47	0.47
Yb	0.81	0.94	1.00	0.80	0.88
Lu	0.15	0.17	0.17	0.15	0.15

Annexe II

Tableau 3.2 (Suite)

#Échant.	AM-21	AM-22	AM-28	AM-29	AM-30
%					
SiO ₂	57.73	58.16	67.54	63.95	72.55
TiO ₂	0.84	0.89	0.46	0.52	0.37
Al ₂ O ₃	17.83	17.59	16.97	18.45	14.30
Fe ₂ O ₃	7.08	7.08	2.70	4.49	2.91
MnO	0.09	0.11	0.05	0.07	0.05
MgO	2.90	2.97	0.78	1.71	0.89
CaO	7.84	7.41	4.21	4.10	2.37
Na ₂ O	4.05	4.07	5.72	4.22	4.50
K ₂ O	1.33	1.37	1.45	2.24	1.87
P ₂ O ₅	0.32	0.34	0.12	0.24	0.19
CO ₂	0.38	0.31	0.72	0.18	0.27
S	0.07	0.03	0.07	0.09	0.04
ppm					
Cr	24	24	19	22	14
Ni	19	22	24	21	19
Sc	10	9	6	8	5
Zn	227	235	106	52	65
As	2	1	4	2	4
Se	7	5	2	2	1
Sb	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1
Rb	49	51	29	51	38
Cs	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0
Ba	347	429	469	774	574
Sr	1329	1190	786	820	496
Nb	8	6			5
Hf	4.1	3.9	2.7	4.5	3.1
Zr	143	134	129	171	139
Y	12	11	10	12	11
Th	3.43	3.37	1.85	3.52	3.57
U	1.04	0.73	0.55	1.34	0.90
La	35.00	35.00	21.00	28.00	27.00
Ce	75.00	76.00	42.00	62.00	59.00
Nd	44.00	45.00	24.00	37.00	31.00
Sm	6.20	6.10	3.00	4.50	3.70
Eu	1.90	1.70	1.10	1.30	1.10
Tb	0.55	0.42	0.31	0.45	0.39
Yb	0.84	0.84	0.66	0.90	0.73
Lu	0.15	0.15	0.12	0.16	0.13

Annexe II

Tableau 3.2 (Suite)

#Échant.	AM-31	AM-33	AM-34	AM-35	AM-36
%					
SiO₂	70.10	70.08	69.83	57.65	55.87
TiO₂	0.36	0.44	0.39	0.55	0.89
Al₂O₃	15.62	16.33	16.59	22.32	17.86
Fe₂O₃	2.38	2.63	2.37	5.79	7.69
MnO	0.05	0.05	0.05	0.08	0.11
MgO	0.72	0.89	0.84	2.17	3.31
CaO	3.26	3.04	2.91	4.88	7.92
Na₂O	5.98	4.96	5.37	2.31	4.79
K₂O	1.43	1.48	1.54	4.10	1.22
P₂O₅	0.09	0.10	0.11	0.15	0.33
CO₂	1.21	0.37	0.20	0.42	0.23
S	0.11	0.10	0.03	0.09	0.02
ppm					
Cr	24	26	22	46	43
Ni	13	24	11	26	57
Sc	5	5	5	12	12
Zn	112	34	21	74	104
As	4	2	5	9	1
Se	2	0	1	4	1
Sb	0.2	0.2	0.3	0.5	0.1
Rb	38	39	40	109	33
Cs	2.0	2.0	2.0	3.0	1.0
Ba	449	464	526	1321	518
Sr	509	686	634	1079	1061
Nb	5				7
Hf	2.3	2.4	2.3	4.7	3.4
Zr	110	123	120	201	153
Y	8	8	9	16	16
Th	2.19	2.10	2.00	6.90	3.21
U	0.64	0.61	0.57	2.09	0.66
La	17.00	20.00	21.00	48.00	36.00
Ce	36.0	42.0	43.0	94.0	79.0
Nd	20.0	23.0	23.0	50.0	53.0
Sm	2.50	2.70	2.90	5.90	6.70
Eu	0.90	1.00	1.00	1.60	2.10
Tb	0.29	0.27	0.30	0.53	0.67
Yb	0.59	0.61	0.61	1.27	1.11
Lu	0.11	0.10	0.10	0.22	0.18

Annexe II

Tableau 3.2 (Suite)

#Échant.	AM-37	AM-38	AM-39	AM-40	AM-41
%					
SiO₂	62.70	58.60	69.40	64.29	69.29
TiO₂	0.46	0.55	0.31	0.50	0.35
Al₂O₃	17.91	19.16	16.51	17.81	16.95
Fe₂O₃	4.70	6.50	2.83	4.43	1.75
MnO	0.08	0.11	0.05	0.07	0.03
MgO	2.26	2.92	1.44	2.05	0.68
CaO	4.37	6.01	3.28	3.53	2.56
Na₂O	5.08	4.38	2.87	6.16	6.25
K₂O	2.26	1.57	3.17	1.05	1.94
P₂O₅	0.18	0.20	0.14	0.12	0.20
CO₂	0.25	0.17	0.01	0.17	0.01
S	0.01	0.01	0.01		0.01
ppm					
Cr	40	47	21	45	11
Ni	26	19	10	22	
Sc	8	9	5	8	5
Zn	64	72	54	64	25
As	2	5	4	3	1
Se	1	2	3	2	2
Sb	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Rb	46	31	73	18	39
Cs	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0
Ba	1709	858	1713	726	1039
Sr	1524	1437	914	899	559
Nb		5	5	5	
Hf	3.0	4.0	3.2	3.4	3.5
Zr	146	170	135	145	155
Y	14	18	11	12	14
Th	2.85	4.35	4.94	3.03	3.86
U	1.06	1.15	1.48	0.59	0.84
La	26.00	35.00	31.00	29.00	30.00
Ce	56.0	73.0	65.0	59.0	70.0
Nd	31.0	44.0	35.0	31.0	40.0
Sm	4.10	5.40	3.90	3.80	4.70
Eu	1.30	1.50	0.90	1.10	1.50
Tb	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5
Yb	1.1	1.4	0.9	0.9	1.0
Lu	0.17	0.25	0.17	0.16	0.18

Annexe II

Tableau 3.2 (Suite)

#Échant.	AM-46	AM-47	AM-48	AM-49	AM-50
%					
SiO₂	64.67	66.59	55.64	58.62	59.50
TiO₂	0.59	0.64	0.87	0.74	0.53
Al₂O₃	17.64	16.76	19.60	18.89	19.51
Fe₂O₃	4.44	4.31	7.29	6.60	5.68
MnO	0.08	0.07	0.09	0.10	0.08
MgO	1.31	1.20	1.65	2.42	3.00
CaO	4.32	3.74	9.69	6.43	5.81
Na₂O	5.43	5.45	2.53	4.58	3.80
K₂O	1.38	1.09	2.11	1.33	1.93
P₂O₅	0.14	0.15	0.54	0.28	0.15
CO₂	1.14	0.40	0.44	0.30	1.95
S	0.08	0.71	0.45	0.15	0.02
ppm					
Cr	22	22	17	10	34
Ni	22	14	12	21	31
Sc	7	7	12	8	9
Zn	69	50	54	90	94
As	7	4	3	2	1
Se	1	1	3	3	1
Sb	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
Rb	32	24	45	27	48
Cs	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0
Ba	607	358	1110	745	564
Sr	926	832	1595	1005	1027
Nb			5	6	
Hf	2.6	2.6	5.5	3.1	1.9
Zr	124	131	233	149	105
Y	9	9	22	14	10
Th	2.26	2.47	5.52	3.07	1.26
U	0.60	0.63	1.30	0.74	0.18
La	24.00	25.00	59.00	32.00	21.00
Ce	47.0	49.0	124.0	68.0	42.0
Nd	28.0	29.0	71.0	42.0	28.0
Sm	3.10	3.30	9.10	5.10	3.30
Eu	1.10	1.10	2.50	1.70	1.20
Tb	0.30	0.32	0.90	0.52	0.34
Yb	0.61	0.61	1.73	0.91	0.67
Lu	0.11	0.10	0.30	0.16	0.12

Annexe II

Tableau 3.2 (Suite)

#Échant.	AM-51	AM-52	AM-54	AM-55	AM-56
%					
SiO₂	57.20	62.90	69.43	59.55	64.38
TiO₂	0.60	0.58	0.44	0.76	0.55
Al₂O₃	19.75	18.34	15.63	18.14	18.28
Fe₂O₃	6.69	4.41	3.23	6.65	4.24
MnO	0.09	0.06	0.05	0.11	0.08
MgO	3.62	2.11	1.62	2.95	1.55
CaO	6.17	5.64	4.31	5.78	3.72
Na₂O	3.44	3.79	3.81	4.03	4.05
K₂O	2.26	1.94	1.34	1.75	2.82
P₂O₅	0.17	0.22	0.13	0.28	0.34
CO₂	0.34	0.23	0.29	0.16	0.56
S	0.03	0.06	0.01	0.03	0.33
ppm					
Cr	33	32	24	26	18
Ni	28	26	15	23	28
Sc	11	9	7	11	9
Zn	107	61	47	94	78
As	1	1	1	1	1
Se	1	1	2	2	2
Sb	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Rb	57	51	32	38	63
Cs	3.0	2.0	2.0	1.0	2.0
Ba	683	585	496	615	927
Sr	1043	936	739	974	702
Nb			5	6	
Hf	2.0	3.9	2.9	3.6	4.1
Zr	108	160	130	167	179
Y	12	12	9	15	15
Th	1.42	3.85	3.37	3.58	4.81
U	0.54	0.82	0.99	0.83	1.11
La	23.00	33.00	23.00	34.00	39.00
Ce	47.0	74.0	50.0	74.0	89.0
Nd	31.0	39.0	27.0	42.0	51.0
Sm	4.00	4.40	3.20	5.40	6.00
Eu	1.30	1.40	1.00	1.70	1.60
Tb	0.49	0.42	0.32	0.51	0.54
Yb	0.90	1.01	0.67	1.00	1.15
Lu	0.14	0.16	0.12	0.18	0.20

Annexe II

Tableau 3.2 (Suite)

#Échant.	AM-57	AM-58	AM-59	AM-60	AM-61
%					
SiO₂	54.81	58.06	53.79	55.03	58.92
TiO₂	0.70	0.74	0.83	0.77	0.74
Al₂O₃	19.33	20.10	20.42	21.01	17.76
Fe₂O₃	7.49	4.74	7.48	6.53	7.01
MnO	0.12	0.06	0.10	0.09	0.11
MgO	3.60	1.50	3.33	2.68	3.06
CaO	8.57	5.61	5.98	5.30	6.91
Na₂O	4.42	7.05	5.81	6.27	4.65
K₂O	0.67	1.81	1.94	2.00	0.56
P₂O₅	0.28	0.33	0.31	0.32	0.27
CO₂	0.16	0.48	0.38	0.31	0.23
S	0.06	0.17	0.07	0.09	0.04
ppm					
Cr	40	17	16	20	23
Ni	38		22	16	26
Sc	12	10	11	10	11
Zn	92	41	97	91	102
As	1	1	1	1	1
Se	2	1		2	1
Sb	0.1	0.1	0.1		0.1
Rb	11	37	40	45	10
Cs	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Ba	442	733	725	763	317
Sr	798	823	873	841	861
Nb	7	5	6	5	
Hf	2.5	3.8	3.6	4.1	3.3
Zr	128	171	162	180	145
Y	15	14	14	14	13
Th	1.97	3.34	3.24	3.64	2.93
U	0.45	0.62	0.74	0.68	0.75
La	22.00	37.00	38.00	39.00	30.00
Ce	47.0	81.0	79.0	84.0	66.0
Nd	29.0	48.0	48.0	46.0	41.0
Sm	4.10	6.00	6.00	6.00	5.20
Eu	1.30	1.80	1.90	1.80	1.50
Tb	0.46	0.60	0.57	0.58	0.56
Yb	1.08	1.07	1.02	1.15	0.95
Lu	0.20	0.20	0.19	0.20	0.16

Annexe II

Tableau 3.2 (Suite)

#Échant.	AM-62	AM-63
%		
SiO₂	56.31	63.67
TiO₂	0.90	0.56
Al₂O₃	19.09	17.58
Fe₂O₃	8.40	7.32
MnO	0.11	0.11
MgO	3.32	2.79
CaO	4.84	3.14
Na₂O	5.43	2.57
K₂O	1.18	2.09
P₂O₅	0.41	0.16
CO₂	0.80	0.25
S	0.03	0.01
ppm		
Cr	10	60
Ni	11	42
Sc	10	13
Zn	99	80
As	1	1
Se	1	3
Sb	0.1	0.2
Rb	34	77
Cs	1.0	1.0
Ba	746	284
Sr	846	291
Nb	7	6
Hf	3.3	2.6
Zr	160	124
Y	15	11
Th	3.42	1.91
U	0.61	0.51
La	44.00	16.00
Ce	97.0	34.0
Nd	60.0	19.0
Sm	7.00	2.60
Eu	2.20	0.80
Tb	0.60	0.33
Yb	0.93	0.95
Lu	0.16	0.17

* Source: Moisan (1992)

Annexe II

Tableau 3.3 Données géochimiques du bassin de Nemiscau

# Échant.	EL307	EL315	EL317	EL318	EL322	EL323	EL324	EL412
%								
SiO ₂	56,94	64,91	64,83	65,80	64,68	61,42	63,92	76,98
TiO ₂	1,08	0,57	0,53	0,52	0,56	0,65	0,56	0,19
Al ₂ O ₃	15,09	16,31	16,15	15,84	15,81	16,11	14,63	10,77
Fe ₂ O ₃	10,13	6,33	6,01	5,97	7,03	8,06	7,68	3,16
MnO	0,17	0,08	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10	0,08
MgO	5,86	2,85	2,80	2,68	3,18	4,15	4,38	0,83
CaO	5,87	2,52	3,29	2,89	2,81	3,57	3,62	2,26
Na ₂ O	2,40	3,74	3,33	3,66	3,72	3,65	3,34	3,60
K ₂ O	2,12	2,54	2,81	2,40	1,96	2,10	1,59	2,10
P ₂ O ₅	0,32	0,15	0,17	0,16	0,14	0,18	0,19	0,03
LOI	1,89	1,71	0,91	0,95	0,47	0,53	0,34	2,45
ppm								
Cr	127	147	122	125	213	276	264	49
Ni	62	60	48	44	103	112	103	33
Co	25,02	20,66	18,82	18,29	24,43	28,13	25,04	12,07
Sc	19,83	14,79	12,46	12,59	17,13	16,74	17,36	5,13
V	155	98	95	88	108	125	101	54
Rb	66	162	147	128	63	78	63	64
Cs	14,6	6,5	6,8	6,7	2,1	2,4	2,2	2,0
Ba	371	806	904	648	589	830	444	425
Sr	320	308	663	498	432	574	424	121
Ta	0,5	0,6	0,7	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4
Nb	12	8	7	7	8	7	7	6
Hf	3,6	4,1	4,3	4,4	3,7	3,6	4,0	2,4
Zr	152	123	118	123	109	110	115	72
Y	26	11	10	10	18	10	12	9
Th	4,76	9,32	10,16	9,75	6,71	5,69	8,38	4,19
U	1,01	2,73	2,92	3,01	1,50	0,60	1,40	0,72
La	33,83	32,81	34,41	33,76	28,43	27,13	30,52	18,51
Ce	71,0	64,7	66,5	65,4	54,3	52,6	59,0	34,6
Nd	31,7	32,9	32,5	31,1	27,0	25,8	31,6	17,3
Sm	5,70	4,37	4,88	4,63	4,11	3,83	4,16	2,13
Eu	1,59	1,25	1,23	1,11	1,29	1,25	1,14	0,61
Tb	0,75	0,39	0,45	0,39	0,49	0,30	0,39	0,19
Yb	2,38	1,43	1,25	1,21	2,02	0,91	1,14	0,80
Lu	0,39	0,21	0,20	0,18	0,28	0,13	0,17	0,12

Annexe II

Tableau 3.3 (Suite)

Annexe II

Tableau 3.3 (Suite)

# Échant.	JD-45	JD-3128	JD-3190	JD-3201	JD-3271	JD-3295	JD-3156	JD-3299
%								
SiO₂	64,55	65,51	65,47	62,01	69,24	63,59	62,64	69,58
TiO₂	0,64	0,58	0,55	0,61	0,33	0,71	0,66	0,47
Al₂O₃	15,76	15,52	16,27	14,92	15,65	17,55	17,73	14,97
Fe₂O₃	6,58	6,25	5,78	7,24	3,03	7,60	8,49	4,76
MnO	0,09	0,11	0,07	0,11	0,04	0,07	0,10	0,06
MgO	3,09	3,11	2,53	4,50	2,26	3,22	4,41	2,19
CaO	3,27	3,11	2,81	4,75	5,27	1,52	0,89	2,69
Na₂O	3,27	2,78	3,54	3,53	3,18	2,26	1,95	3,29
K₂O	2,65	2,88	2,85	2,22	0,88	3,38	3,01	1,91
P₂O₅	0,10	0,15	0,14	0,11	0,12	0,10	0,10	0,08
ppm								
Rb	76	618	103	111	29	118	105	61
Cs	4,4		11,3					1,9
Ba	523		1015					484
Sr	308	388	367	512	544	197	156	238
Ga	20	18	19	18	20	24	26	17
Ta		5,1		5,0	5,0	5,2	5,2	0,5
Nb	5	4	7	8	8	11	12	5
Hf	3,2		4,6					3,3
Zr	126	183	172	100	123	129	125	120
Ti								
Y	12	12	13	13	10	15	15	11
Th	5,22	10,13	14,45	10,07	10,02	10,32	10,37	10,11
U	1,54		3,37					2,59
La	19,52		37,61					29,34
Ce	40,1		76,6					57,4
Pr	4,6		8,4					6,2
Nd	18,7		31,7					23,4
Sm	3,36		5,12					3,78
Eu	0,91		1,01					0,94
Gd	2,78		3,76					2,79
Tb	0,375							0,369
Dy	2,36		2,88					2,31
Ho	0,46							0,44
Er	1,42							1,27
Tm	0,21							0,19
Yb	1,283							1,207
Lu	0,21							0,19

Annexe II

Tableau 3.3 (Suite)

# Échant.	JD-33B	JD-35B	JD-38	JD-35A	JD-11	JD-13	JD-14A	JD-14B
%								
SiO₂	66,30	56,98	67,32	66,80	63,56	65,56	68,13	59,48
TiO₂	0,60	0,95	0,60	0,48	0,66	0,61	0,58	0,56
Al₂O₃	14,04	17,54	13,79	16,19	17,96	15,63	14,32	19,32
Fe₂O₃	7,91	10,65	7,65	5,50	6,87	5,92	6,23	7,68
MnO	0,10	0,10	0,16	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07
MgO	3,36	4,68	2,57	2,19	3,20	2,91	2,46	4,44
CaO	3,37	2,35	4,07	3,87	2,47	3,76	2,56	1,41
Na₂O	1,61	3,14	1,18	3,24	2,18	3,82	3,09	2,28
K₂O	2,56	3,54	2,58	1,55	2,86	1,61	2,46	4,70
P₂O₅	0,14	0,06	0,09	0,10	0,15	0,09	0,10	0,06
ppm								
Rb	111	126	151	53	88	44	81	202
Cs					5,9			
Ba					715			
Sr	338	458	275	631	247	561	353	281
Ga	17,42	24,33	16,10	16,39	22,45	19,16	17,26	23,51
Ta	5,1	5,1	5,0	5,1	0,5	5,0	5,1	5,1
Nb	9	11	8	9	9	10	9	12
Hf					3,40			
Zr	221	155	217	115	125	136	203	159
Ti								
Y	15	18	17	12	14	15	16	20
Th	10,25	10,14	10,06	10,24	8,03	10,08	10,14	20,44
U					2,01			
La					29,85			
Ce					62,9			
Pr					7,14			
Nd					28,0			
Sm					4,85			
Eu					1,13			
Gd					3,64			
Tb					0,481			
Dy					3,00			
Ho					0,57			
Er					1,66			
Tm					0,24			
Yb					1,562			
Lu					0,25			

Annexe II

Tableau 3.3 (Suite)

# Échant.	JD-17A	JD-17B	JD-25	JD-27
%				
SiO₂	64,06	64,95	66,10	54,32
TiO₂	0,58	0,63	0,55	0,60
Al₂O₃	16,22	15,18	15,94	28,47
Fe₂O₃	6,78	7,18	5,51	7,75
MnO	0,09	0,08	0,07	0,09
MgO	3,15	3,29	2,49	2,44
CaO	3,12	2,86	3,73	2,52
Na₂O	3,26	2,93	3,71	1,75
K₂O	2,60	2,75	1,79	1,94
P₂O₅	0,13	0,14	0,11	0,12
ppm				
Rb	100	114	74	100
Sr	400	384	575	159
Ga	19,26	19,22	20,31	14,41
Ta	5,1	5,0	5,1	4,2
Nb	9	10	9	8
Zr	142	154	128	266
Y	16	15	11	17
Th	10,13	10,11	10,14	16,95

Source: Ministère des Ressources naturelles du Québec

Annexe II

Tableau 3.4 Données géochimiques du bassin d'Opinaca

#Échant.	15884	15864	15868	15866	15886
%					
SiO₂	63,71	60,99	62,42	57,48	64,44
TiO₂	0,64	0,64	0,67	0,77	0,64
Al₂O₃	16,77	17,28	16,68	21,44	17,12
Fe₂O₃	6,01	7,37	6,88	8,16	4,52
MnO	0,06	0,11	0,07	0,09	0,04
MgO	3,55	3,88	3,68	3,98	2,04
CaO	3,79	3,36	2,68	1,23	2,75
Na₂O	3,18	4,36	4,09	2,35	3,59
K₂O	1,93	1,81	2,62	4,44	4,65
P₂O₅	0,35	0,19	0,21	0,05	0,19
LOI	2,16	1,83	2,04	3,06	0,90
ppm					
Cr	138	202	170	189	
Co	12	21	19	26	
Sc	11	17	11	24	
Rb	134	120	135	204	153
Cs	4,38	7,40	2,63	5,49	
Ba	633	548	541	508	
Sr	662	545	515	166	516
Ga	22	22	23	26	21
Ta	1,1	0,5	0,6	0,5	
Nb	16	5	7	6	8
Hf	4,8	3,6	3,6	3,9	
Zr	210	129	129	138	214
Y	20	15	7	17	11
Th	18,57	8,56	1,79	11,91	
U	6,64	1,19	0,57	1,46	
La	77,41	30,26	13,20	33,82	
Ce	156,6	63,5	30,8	70,8	
Nd	69,4	28,6	15,0	32,0	
Sm	10,06	4,66	2,67	5,10	
Eu	2,80	1,59	1,09	1,49	
Tb	0,88	0,57	0,27	0,61	
Yb	1,62	1,34	0,46	2,01	
Lu	0,25	0,19	0,06	0,27	

Annexe II

Tableau 3.4 (Suite)

#Échant.	15901	15906	15885	15911	15928
%					
SiO₂	59,93	65,39	66,11	62,87	64,04
TiO₂	0,68	0,56	0,64	0,62	0,58
Al₂O₃	15,63	15,26	17,12	15,92	15,83
Fe₂O₃	5,89	6,09	5,98	6,70	6,17
MnO	0,10	0,06	0,09	0,11	0,05
MgO	8,02	3,19	3,20	3,78	3,65
CaO	6,72	3,17	1,60	4,39	2,95
Na₂O	1,87	3,90	3,53	3,77	3,90
K₂O	1,03	2,21	1,62	1,63	2,64
P₂O₅	0,09	0,15	0,12	0,20	0,18
LOI	0,68	1,15	2,60	0,83	1,22
ppm					
Cr	342	142	136	188	180
Co	26	15	23	18	18
Sc	18	12	14	14	13
Rb	45	784	73	93	92
Cs	22,2	3,5	4,1	5,0	2,3
Ba	308	679	363	693	667
Sr	451	502	253	405	480
Ga	19	18	19	19	19
Ta	0,2	0,3	0,5	0,5	0,3
Nb	3,0	3,0	6,2	5,0	3,0
Hf	2,4	3,5	3,6	3,7	3,7
Zr	89	120	132	135	135
Y	9	9	17	14	11
Th	1,09	5,33	9,73	6,41	2,64
U	0,37	1,02	2,58	1,55	0,29
La	9,71	21,67	30,01	26,31	22,55
Ce	23,0	42,2	57,5	49,1	44,5
Nd	13,7	21,2	24,7	24,8	21,4
Sm	2,65	3,05	4,14	3,85	3,46
Eu	1,07	1,16	1,18	1,23	1,26
Tb	0,372	0,336	0,491	0,412	0,375
Yb	0,808	0,806	1,541	1,174	0,914
Lu	0,12	0,11	0,21	0,17	0,14

Annexe II

Tableau 3.4 (Suite)

#Échant	Op 2232A	Op 3008A	Op 3034A	Op 1127A	Op 2171A
%					
SiO₂	51,21	67,98	61,27	69,19	81,55
TiO₂	0,15	0,48	0,72	0,39	0,19
Al₂O₃	3,89	15,81	19,21	16,11	7,73
Fe₂O₃	39,12	5,19	7,83	4,08	2,99
MnO	0,04	0,06	0,09	0,02	0,04
MgO	1,03	1,21	3,31	2,15	1,53
CaO	3,49	2,93	2,39	2,06	3,23
Na₂O	0,28	3,73	2,66	5,55	0,39
K₂O	0,51	2,34	2,33	0,39	2,32
P₂O₅	0,29	0,27	0,18	0,05	0,03
LOI	0,56	0,82	1,29	0,45	0,91
ppm					
Cr	42	164	173	34	31
Sc	4	12	23	7	3
Rb	18	93	90	52	59
Ba	168	442	528	413	429
Sr	6	518	190	376	125
Ga	5	17	22	18	9
Ta		1,3	1,2	0,6	
Nb		4	7	3	
Zr	37	151	136	124	46
Y	6	11	18	6	6
Th	1,68	10,27	11,18	4,53	1,40
La		33,89	40,65	17,12	9,98
Ce		61,6	74,2	31,2	19,0
Nd		25,7	29,5	12,1	9,0
Sm		4,42	5,79	2,52	1,80
Eu		1,03	1,42	0,60	0,40
Yb		1,33	2,24	0,91	0,50
Lu		0,21	0,30	0,10	

Source: Ministère des Ressources naturelles du Québec

Annexe II

Tableau 3.5 Données géochimiques du bassin de Pontiac

#Échant.	1021	1030A	1030B	1031B	1031C
%					
SiO₂	65,77	66,19	67,42	66,83	65,52
TiO₂	0,53	0,58	0,53	0,56	0,60
Al₂O₃	16,19	16,27	16,04	15,66	16,75
Fe₂O₃	5,32	5,71	5,05	5,25	5,98
MnO	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06
MgO	3,16	2,81	2,74	2,98	2,97
CaO	2,43	1,68	2,60	2,06	2,27
Na₂O	4,22	5,03	3,38	2,95	3,06
K₂O	2,15	1,52	2,04	3,47	2,64
P₂O₅	0,16	0,16	0,15	0,17	0,16
LOI	0,87	1,21	0,40	1,79	1,53
ppm					
Cr	173	215	182	211	239
Ni	47	39	54	72	53
Rb	69	52	68	117	81
Ba	554	317	560	812	696
Sr	246	226	318	306	341
Nb	6	7	5	7	7
Zr	133	135	137	157	156
Y	13	14	14	16	15
Ce	37,9	46,9	38,8	53,5	50,9

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant.	1035	1124B	1130	1142A	1143
%					
SiO₂	61,98	64,05	64,44	55,23	64,09
TiO₂	0,65	0,61	0,59	0,84	0,63
Al₂O₃	17,14	16,69	16,81	22,23	17,47
Fe₂O₃	6,79	6,01	5,80	9,00	6,50
MnO	0,09	0,08	0,07	0,09	0,07
MgO	3,64	2,95	3,12	4,22	3,13
CaO	2,61	2,34	2,33	1,79	2,27
Na₂O	3,84	4,76	4,25	2,32	3,10
K₂O	3,08	2,35	2,43	4,14	2,60
P₂O₅	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15
LOI	1,13	0,73	1,06	0,53	0,94
ppm					
Cr	251	241	200	290	223
Ni	44	54	42	90	77
Co	18			28	
Sc	16			22	
Rb	98	81	88	129	88
Ba	910	895	816	999	937
Sr	398	381	470	363	369
Ta	0,4			0,8	
Nb	7	7	7	11	8
Hf	3,28			3,37	
Zr	144	143	134	157	148
Y	12	10	19	15	14
Th	6,75			7,52	
U	1,79			1,78	
La	11,52			33,16	
Ce	24,6	28,8	29,9	69,0	37,5
Nd	10,1			26,9	
Sm	1,89			5,34	
Eu	0,87			1,39	
Tb	0,308			0,544	
Yb	1,391			1,683	
Lu	0,20			0,26	

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant.	2063	1054	1055	1060	1064A
%					
SiO₂	63,74	64,67	68,56	66,70	59,29
TiO₂	0,67	0,60	0,52	0,60	0,75
Al₂O₃	18,02	17,20	15,43	16,46	20,05
Fe₂O₃	6,76	6,46	5,28	5,95	7,95
MnO	0,06	0,07	0,06	0,07	0,09
MgO	3,57	3,40	2,82	3,24	3,97
CaO	1,40	1,16	1,68	2,22	1,96
Na₂O	2,19	2,91	3,87	3,36	2,82
K₂O	3,40	3,37	1,62	1,23	2,96
P₂O₅	0,18	0,17	0,16	0,17	0,17
LOI	2,67	2,20	1,40	2,00	2,60
ppm					
Cr	249	221	203	217	269
Ni	53	84	40	75	66
Co	14				
Sc	16				23
Rb	108	88	54	33	63
Ba	1076	1250	312	399	1064
Sr	292	299	399	415	362
Ta	0,5				0,5
Nb	9	8	6	8	8
Hf	3,0				3,35
Zr	146	173	155	136	136
Y	15	15	11	11	9
Th	6,63				7,50
U	1,98				2,07
La	30,39				12,73
Ce	60,8	41,7	32,7	13,9	30,6
Nd	24,7				16,8
Sm	4,36				2,84
Eu	1,19				0,63
Tb	0,436				
Yb	1,188				1,085
Lu	0,19				0,12

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant. %	1068	1104	2055	2059	2072
SiO₂	67,92	62,99	61,44	58,10	68,99
TiO₂	0,55	0,69	0,77	0,70	0,53
Al₂O₃	15,94	18,12	18,36	15,10	15,50
Fe₂O₃	4,95	7,15	6,52	8,13	4,75
MnO	0,06	0,08	0,10	0,13	0,05
MgO	3,69	3,81	3,48	6,02	2,73
CaO	0,79	1,62	2,59	4,61	2,13
Na₂O	5,05	2,10	4,59	1,93	3,05
K₂O	0,89	3,26	1,93	4,83	2,11
P₂O₅	0,16	0,17	0,21	0,45	0,16
LOI	2,20	2,98	2,33	4,39	1,74
ppm					
Cr		234	272	189	179
Ni		97	91	58	58
Co		28			
Sc		18			11
Rb		71	55	172	53
Ba		968	638	1447	847
Sr		267	532	380	463
Ta		0,5			0,4
Nb		7	10	7	6
Hf		2,9			3,3
Zr		129	196	152	149
Y		12	15	20	13
Th		6,41			5,68
U		1,60			1,69
La		24,94			21,53
Ce		49,0	52,3	64,1	44,3
Nd		22,2			19,9
Sm		3,71			3,38
Eu		1,00			0,88
Tb		0,351			
Yb		1,202			0,798
Lu		0,19			0,09

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant. %	2094	2095	2097	BB93 PS	BB71 PS
SiO₂	57,60	68,71	61,28	64,52	67,11
TiO₂	0,72	0,51	0,67	0,65	0,62
Al₂O₃	19,24	15,43	18,13	17,09	15,63
Fe₂O₃	7,64	4,92	7,41	6,29	5,10
MnO	0,08	0,05	0,09	0,08	0,06
MgO	4,01	2,67	4,10	3,25	2,80
CaO	2,83	1,63	2,17	2,16	2,27
Na₂O	4,34	3,15	4,27	3,49	3,62
K₂O	3,38	2,78	1,71	2,31	2,63
P₂O₅	0,16	0,15	0,17	0,15	0,16
LOI	1,00	0,80	2,88	1,51	1,49
ppm					
Cr	253	177	241	193	189
Ni	81	39	91	72	76
Co				24	21
Sc				17	13
Cu				36	39
Zn				98	126
S				1890,02	1746,92
As					2,24
Sb				0,20	0,04
Rb	127	88	41	72	67
Cs				6,11	4,48
Ba	654	730	369	436	783
Sr	555	292	470	404	393
Ta				0,6	0,4
Nb	8	7	8	6	7
Hf				3,6	3,4
Zr	139	129	143	140	152
Y	9	12	13	17	17
Th				6,11	6,12
U				1,43	2,04
La				25,90	25,95
Ce	38,1	31,6	21,1	54,6	56,6
Nd				25,6	28,3
Sm				4,54	4,37
Eu				1,25	1,13
Tb				0,489	0,495
Yb				1,120	1,181
Lu				0,23	0,20

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant. %	jd-1	jd-2	jd-3	jd-4	jd-5
SiO₂	67,00	66,42	63,77	58,70	67,23
TiO₂	0,51	0,55	0,64	0,72	0,52
Al₂O₃	15,28	15,69	17,25	19,46	15,42
Fe₂O₃	5,43	5,27	6,65	7,34	5,22
MnO	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08
MgO	2,79	3,11	3,96	4,66	2,68
CaO	2,75	2,91	1,01	1,21	2,89
Na₂O	3,83	3,85	1,75	2,25	3,77
K₂O	2,20	1,97	4,75	5,43	2,04
P₂O₅	0,12	0,15	0,14	0,16	0,14
LOI	0,67	0,94	2,35	2,68	0,76
ppm					
Cr	167	154	214	233	175
Ni	52	49	91	117	52
Co	21	21	28	32	21
Sc	12	12	19	22	12
V	110	117	172	203	117
Cu	35	33	43	54	28
Sb	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Rb	75	61	96	107	64
Cs	5,6	4,5	4,8	5,7	4,2
Ba	579	691	1224	1199	712
Sr	535	576	221	261	475
Ta	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4
Nb	4	4	5	7	4
Hf	0,8	3,7	3,5	3,5	3,8
Zr	102	109	120	127	119
Y	12	13	16	19	13
Th	7,97	7,20	8,62	8,95	8,37
U	2,36	1,98	2,46	2,71	2,32
La	30,13	29,63	30,93	25,83	31,55
Ce	57,5	58,5	61,7	50,9	62,0
Nd	26,1	27,3	29,7	23,3	28,6
Sm	4,38	4,63	4,98	4,27	4,50
Eu	1,31	1,35	1,48	1,65	1,35
Tb	0,488	0,499	0,551	0,521	0,467
Yb	1,190	1,195	1,498	1,655	1,122
Lu	0,18	0,17	0,23	0,25	0,17

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant.	jd-6	jd-7	jd-8	jd-9	jd-10
%					
SiO₂	67,10	60,48	61,54	61,88	61,28
TiO₂	0,54	0,67	0,65	0,59	0,70
Al₂O₃	15,05	18,69	15,67	14,47	18,71
Fe₂O₃	5,17	7,00	6,41	6,48	6,78
MnO	0,06	0,07	0,09	0,09	0,08
MgO	2,69	3,55	5,16	5,82	3,54
CaO	2,38	1,26	4,43	4,46	1,72
Na₂O	4,53	3,26	3,25	3,61	2,88
K₂O	2,35	4,86	2,60	2,43	4,17
P₂O₅	0,13	0,15	0,20	0,18	0,15
LOI	0,67	1,53	0,74	0,62	1,61
ppm					
Cr	184	204	267	354	200
Ni	42	78	83	118	74
Co	20	27	26	29	27
Sc	12	20	16	16	20
V	110	190	158	144	166
Cu	40	47	38	38	43
Sb	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Rb	83	133	80	80	132
Cs	4,1	7,3	6,0	6,5	6,5
Ba	636	1552	815	763	839
Sr	491	284	626	613	349
Ta	0,4	0,5	0,4	0,3	0,5
Nb	5,0	7,1	5,0	4,0	6,1
Hf	4,1	3,5	3,2	3,3	3,2
Zr	132	120	97	94	116
Y	12	14	15	15	16
Th	8,38	8,10	5,70	5,74	8,07
U	2,09	2,23	1,69	1,64	2,33
La	29,51	28,76	26,02	25,50	33,05
Ce	56,1	57,1	52,7	50,8	68,4
Nd	25,0	25,8	25,6	27,1	32,2
Sm	3,84	4,81	4,60	4,48	5,53
Eu	1,23	1,28	1,43	1,35	1,41
Tb	0,391	0,547	0,543	0,513	0,593
Yb	1,164	1,403	1,290	1,198	1,491
Lu	0,18	0,22	0,20	0,19	0,23

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant. %	jd-11	jd-12	jd-13	jd-14	jd-15
SiO₂	63,98	69,98	67,96	62,21	64,48
TiO₂	0,66	0,28	0,38	0,67	0,61
Al₂O₃	17,44	15,52	15,60	18,16	16,01
Fe₂O₃	5,96	2,84	4,12	6,18	6,03
MnO	0,06	0,04	0,06	0,05	0,06
MgO	3,14	1,92	2,51	3,54	3,11
CaO	1,81	2,28	3,06	1,60	2,27
Na₂O	3,24	5,42	4,32	4,13	4,95
K₂O	3,56	1,62	1,84	3,32	2,33
P₂O₅	0,15	0,09	0,15	0,15	0,15
LOI	1,33	0,55	0,68	1,47	0,80
ppm					
Cr	198	106	121	202	206
Ni	80	24	23	87	61
Co	27	11	13	28	25
Sc	16	6	9	18	15
V	149	62	85	153	126
Cu	37	7	16	48	81
Sb	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
Rb	127	65	77	118	2
Cs	8,7	5,5	8,7	8,0	9,1
Ba	873	1286	993	1290	1288
Sr	401	1475	1157	559	100
Ta	0,5	0,2	0,2	0,5	0,4
Nb	6		2	6	
Hf	3,7	2,6	2,9	3,9	4,4
Zr	117	17	49	128	1011
Y	14	4	9	16	
Th	7,69	2,54	3,59	8,87	8,32
U	2,16	1,67	1,90	2,37	2,32
La	28,69	10,33	20,19	33,15	36,91
Ce	55,3	21,0	38,4	66,9	70,7
Nd	25,3	9,1	17,3	30,9	32,7
Sm	4,19	1,99	3,41	5,23	5,17
Eu	1,51	0,71	1,03	1,71	1,54
Tb	0,494	0,181	0,340	0,571	0,528
Yb	1,370	0,492	0,951	1,458	1,409
Lu	0,22	0,08	0,15	0,23	0,21

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant.	jd-16	jd-17	jd-18	jd-19	jd-20
%					
SiO₂	62,42	60,34	60,68	61,78	62,01
TiO₂	0,68	0,75	0,73	0,54	0,65
Al₂O₃	19,25	19,66	18,37	13,55	16,10
Fe₂O₃	6,72	7,44	7,73	6,56	6,30
MnO	0,05	0,08	0,08	0,10	0,07
MgO	3,85	4,75	4,09	6,94	4,65
CaO	0,94	1,12	1,78	4,99	3,31
Na₂O	2,16	2,26	2,57	3,27	3,91
K₂O	3,79	3,43	3,83	2,13	2,82
P₂O₅	0,15	0,16	0,14	0,15	0,18
LOI	2,97	3,88	1,96	0,77	0,81
ppm					
Cr	205	231	240	496	308
Ni	91	106	102	155	107
Co	30	30	32	33	29
Sc	20	22	22	17	17
V	180	208	197	138	150
Cu	72	52	48	37	41
As					1
Sb	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Rb	105	98	116	67	87
Cs	3,2	4,5	5,3	4,7	0,6
Ba	951	1065	868	722	773
Sr	218	189	309	539	539
Ta	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4
Nb	6	6	6	4	5
Hf	3,7	3,5	3,6	3,3	3,3
Zr	136	137	123	98	105
Y	19	20	21	13	15
Th	9,30	8,91	7,21	5,94	6,01
U	2,41	2,37	1,88	1,89	1,67
La	35,05	29,30	32,14	24,93	37,57
Ce	72,2	59,8	66,8	50,2	74,0
Nd	32,8	29,1	34,1	23,9	32,7
Sm	5,22	5,14	5,92	4,20	5,17
Eu	1,83	1,55	1,41	1,27	1,43
Tb	0,604	0,658	0,693	0,455	0,552
Yb	1,705	1,767	1,752	1,223	1,320
Lu	0,25	0,27	0,26	0,17	0,20

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant.	jd-21	jd-22	jd-23	jd-24	jd-25
%					
SiO₂	62,48	65,23	65,22	62,83	65,80
TiO₂	0,65	0,61	0,60	0,69	0,61
Al₂O₃	14,54	16,85	17,18	17,47	16,19
Fe₂O₃	7,20	6,22	5,52	6,29	5,49
MnO	0,09	0,05	0,05	0,08	0,07
MgO	5,39	3,50	2,99	3,43	2,61
CaO	3,34	1,94	2,18	2,22	2,72
Na₂O	2,90	2,55	2,99	4,74	4,28
K₂O	3,12	2,93	3,13	2,10	2,10
P₂O₅	0,30	0,12	0,14	0,14	0,13
LOI	2,67	2,27	1,19	2,03	0,98
ppm					
Cr	318	171	180	232	218
Ni	103	60	64	84	68
Co	35	22	25	32	27
Sc	19	18	16	21	16
V	181	157	122	166	124
Cu	122	33	36	39	33
As	1				
Sb	0,1	0,2	0,1		0,1
Rb	113	120	110	53	82
Cs	2,7	6,8	8,4	3,2	5,2
Ba	1006	637	882	1060	384
Sr	474	363	433	399	441
Ta	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3
Nb	5	5	6	6	5
Hf	3,8	3,2	4,2	3,8	3,8
Zr	129	104	118	114	120
Y	18	20	13	16	15
Th	7,38	8,25	9,90	7,83	7,85
U	2,23	2,16	2,97	2,35	2,30
La	32,28	38,61	38,08	31,56	26,83
Ce	65,2	77,7	63,3	55,3	46,8
Nd	33,0	38,8	27,5	31,6	23,1
Sm	5,95	6,21	5,02	5,08	4,22
Eu	1,80	1,60	1,48	1,28	1,44
Tb	0,632	0,691	0,484	0,549	0,516
Yb	1,371	1,539	1,246	1,548	1,442
Lu	0,22	0,24	0,19	0,23	0,22

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant. %	jd-26	jd-27	jd-28	jd-29	jd-30
SiO₂	60,28	66,11	67,21	59,59	67,55
TiO₂	0,78	0,63	0,55	0,74	0,56
Al₂O₃	19,45	16,50	15,33	20,30	15,72
Fe₂O₃	7,54	5,63	5,55	6,79	5,31
MnO	0,09	0,06	0,08	0,08	0,07
MgO	3,98	3,06	2,79	3,97	2,79
CaO	1,88	2,13	3,11	1,77	2,49
Na₂O	3,38	3,17	3,52	2,93	3,48
K₂O	2,47	2,58	1,73	3,68	1,91
P₂O₅	0,14	0,13	0,12	0,14	0,12
LOI	2,90	1,54	1,02	2,53	1,32
ppm					
Cr	227	214	195	234	181
Ni	100	35	58	38	58
Co	36	27	24	18	24
Sc	26	16	13	24	14
V	206	137	109	202	115
Cu	62	40	44	39	30
As	1				10
Sb	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Rb	55	74	66	105	71
Cs	2,4	4,1	3,8	5,1	4,6
Ba	980	857	431	1368	411
Sr	322	391	375	392	454
Ta	0,4	0,4	0,3	0,6	0,4
Nb	5	5	4	7	4
Hf	3,8	3,9	3,7	4,0	3,6
Zr	125	123	115	125	113
Y	19	13	13	8	15
Th	7,86	7,40	7,02	9,79	7,47
U	2,06	2,07	1,81	2,55	2,02
La	31,47	27,81	29,82	6,89	33,23
Ce	62,8	52,4	55,1	15,4	59,2
Nd	31,1	23,0	27,8	5,1	26,2
Sm	5,76	4,32	4,02	1,46	4,58
Eu	1,47	1,27	1,30	0,74	1,40
Tb	0,635	0,440	0,430	0,182	0,513
Yb	1,601	1,351	1,212	1,180	1,439
Lu	0,24	0,21	0,18	0,20	0,21

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant. %	jd-31	jd-32	jd-33	jd-34	jd-35
SiO₂	59,15	55,78	68,62	66,91	62,28
TiO₂	0,77	0,77	0,50	0,55	0,72
Al₂O₃	20,22	21,39	15,90	14,80	17,84
Fe₂O₃	7,21	7,62	4,33	5,33	6,98
MnO	0,08	0,08	0,05	0,07	0,08
MgO	4,02	4,10	2,17	3,44	3,86
CaO	1,85	2,20	2,21	2,95	2,19
Na₂O	2,69	3,78	3,75	3,84	3,34
K₂O	3,87	4,15	2,34	1,95	2,59
P₂O₅	0,14	0,13	0,12	0,14	0,11
LOI	2,44	1,94	1,00	0,68	0,88
ppm					
Cr	238	253	160	216	212
Ni	91	119	47	65	102
Co	33	36	20	29	30
Sc	24	26	12	13	21
V	198	201	103	124	175
Cu	37	55	31	39	13
As	22				
Sb	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Rb	117	114	68	51	87
Cs	5,9	5,3	4,3	4,0	6,5
Ba	936	1463	796	632	1097
Sr	363	401	391	568	345
Ta	0,5	0,5	0,4	0,3	0,5
Nb	6	7	4	4	7
Hf	3,9	0,4	3,6	4,2	3,5
Zr	123	124	113	128	115
Y	18	19	14	10	16
Th	9,32	10,10	7,66	8,23	8,01
U	2,55	2,61	2,26	2,54	1,88
La	34,94	40,67	28,96	25,95	30,24
Ce	70,2	83,1	58,1	51,4	56,8
Nd	32,9	38,7	24,4	24,6	27,0
Sm	5,87	6,39	4,34	4,14	4,74
Eu	1,54	1,60	1,44	1,30	1,38
Tb	0,629	0,696	0,464	0,369	0,562
Yb	1,825	1,859	1,302	1,115	1,651
Lu	0,26	0,27	0,19	0,18	0,24

Annexe II

Tableau 3.5 (Suite)

#Échant.	jd-36	jd-37	jd-38
%			
SiO₂	68,05	65,81	66,39
TiO₂	0,54	0,59	0,62
Al₂O₃	14,88	15,65	15,25
Fe₂O₃	5,40	5,75	5,85
MnO	0,06	0,07	0,08
MgO	2,98	2,89	2,76
CaO	2,07	2,66	2,79
Na₂O	3,95	4,71	4,64
K₂O	1,95	1,74	1,47
P₂O₅	0,12	0,13	0,14
LOI	1,50	1,16	1,25
ppm			
Cr	185	205	214
Ni	53	55	62
Co	22	25	25
Sc	12	13	13
V	126	120	114
Cu	42	38	53
Sb	0,1	0,1	0,1
Rb	61	57	46
Cs	3,5	3,1	2,5
Ba	711	551	540
Sr	487	412	508
Ta	0,4	0,4	0,3
Nb	4	4	5
Hf	4,1	4,2	4,6
Zr	127	133	151
Y	13	13	13
Th	9,66	6,89	6,76
U	2,97	1,87	1,80
La	33,79	27,89	30,13
Ce	63,6	54,2	59,4
Nd	25,5	25,0	27,2
Sm	4,63	4,20	4,07
Eu	1,31	1,29	1,25
Tb	0,480	0,440	0,402
Yb	1,186	1,259	1,287
Lu	0,18	0,19	0,19

Source: Camiréet al. (1993)
et échantillonage fait
par l'auteure

Annexe II

Tableau 3.6 Données géochimiques du bassin de Quetico

#Échant.	es356	es357	es359	es360	es362
%					
SiO ₂	65,08	65,73	62,35	62,77	63,97
TiO ₂	0,57	0,52	0,67	0,69	0,58
Al ₂ O ₃	15,63	15,50	16,86	17,57	15,86
Fe ₂ O ₃	6,29	6,14	7,50	8,05	7,35
MnO	0,09	0,09	0,06	0,06	0,09
MgO	3,52	3,03	4,27	3,70	3,18
CaO	2,71	2,76	1,98	1,83	3,35
Na ₂ O	3,93	3,85	3,42	2,29	3,54
K ₂ O	2,00	2,22	2,72	2,89	1,94
P ₂ O ₅	0,19	0,15	0,17	0,14	0,14
LOI	1,66	0,79	1,70	2,58	1,79
ppm					
Cr	226			168	
Ni		55	103	88	58
Co				27	
Sc	14			23	
V		87	130	139	104
Cu		50	47	39	80
Zn	73				
S		1796	1637	1309	4216
Rb	73	73	79	91	69
Cs	6,1			5,3	
Ba	521	600	1275	685	513
Sr	446	369	471	332	316
Ta	0,4			0,4	
Nb		5	7	8	6
Hf	3,1			3,3	
Zr	141	134	135	129	136
Y	12	16	20	22	16
Th	5,78			8,12	
U	1,82			2,06	
La	29,81			28,79	
Ce	54,7			57,1	
Nd	23,8			25,4	
Sm	4,56			5,10	
Eu	1,22			1,22	
Tb	0,48			0,63	
Yb	1,42			1,57	
Lu	0,22			0,27	

Annexe II

Tableau 3.6 (Suite)

#Échant.	es363	es36	es366	es367	es353
%					
SiO₂	65,77	68,14	64,17	66,41	67,01
TiO₂	0,56	0,50	0,66	0,56	0,52
Al₂O₃	15,63	14,78	16,38	15,48	14,99
Fe₂O₃	6,61	5,11	8,18	6,39	6,34
MnO	0,09	0,07	0,08	0,10	0,09
MgO	2,43	2,50	2,88	2,39	2,53
CaO	2,72	2,83	1,52	2,77	2,68
Na₂O	3,77	3,60	3,46	3,33	3,53
K₂O	2,28	2,30	2,55	2,43	2,15
P₂O₅	0,14	0,16	0,13	0,13	0,15
LOI	1,18	1,45	0,80	1,15	1,62
ppm					
Cr	114	179		152	165
Ni	44		70		
Co	20				
Sc	13	12		14	12
V	92		122		
Cu	48		6		
Zn		81			83
S	2555		308		
Rb	73	81	84	88	69
Cs	5,2	5,0		2,0	5,0
Ba	466	631	850	584	551
Sr	302	428	236	223	357
Ta	0,4	0,3		0,7	0,6
Nb	6				
Hf	3,6	3,2		3,7	3,0
Zr	149	142	157	143	149
Y	16	12	18	14	13
Th	8,40	5,04		6,20	6,15
U	2,33	1,21		1,83	1,31
La	30,28	30,85		30,49	30,16
Ce	55,9	54,4		55,9	57,5
Nd	22,2	22,8		24,6	23,0
Sm	4,14	4,30		4,36	4,46
Eu	1,31	1,11		1,52	1,21
Tb	0,42	0,34		0,41	0,43
Yb	1,03	1,11		1,32	1,31
Lu	0,22	0,17		0,21	0,24

Annexe II

Tableau 3.6 (Suite)

#Échant.	es373	es126	es133	es174	es223
%					
SiO₂	64,04	66,62	64,64	63,63	68,47
TiO₂	0,64	0,58	0,58	0,83	0,62
Al₂O₃	16,22	15,56	17,85	16,77	14,63
Fe₂O₃	5,85	5,67	5,70	7,94	6,22
MnO	0,08	0,08	0,12	0,09	0,08
MgO	2,86	3,17	2,34	3,53	2,72
CaO	3,83	2,52	1,79	1,83	1,53
Na₂O	3,99	3,53	3,45	2,54	3,41
K₂O	2,25	2,08	3,03	2,74	2,21
P₂O₅	0,23	0,19	0,49	0,10	0,11
LOI	0,70	1,65	1,89	1,83	2,03
S	1183				
ppm					
Cr		165	103	251	208
Ni	58				
Sc		12	16	23	15
V	107				
Cu	35				
Zn		121		130	81
Rb	74	107	204	104	120
Cs		24,3	7,1	7,1	6,1
Ba	804	841	290	463	186
Sr	566	391	215	337	248
Ta		0,2	8,0	0,4	0,7
Hf		3,3	3,1	3,8	5,7
Zr	165	189	121	155	227
Y	17	13	19	16	17
Th		10,04	3,87	6,15	10,04
U		2,74	5,19	1,61	7,30
La		32,64	24,43	30,86	38,64
Ce		62,7	49,9	42,4	77,1
Nd		26,4	22,6	26,3	28,4
Sm		4,78	5,20	4,90	5,93
Eu		0,96	1,32	1,31	1,01
Tb		0,32	0,58	0,46	0,53
Yb		1,56	1,72	1,82	1,32
Lu		0,18	0,25	0,26	0,25

Annexe II

Tableau 3.6 (Suite)

#Échant.	es280	Q-3*	Q-4*	Q-5*	Q-6*
%					
SiO₂	63,76	68,09	67,74	68,85	67,02
TiO₂	0,74	0,50	0,55	0,54	0,55
Al₂O₃	15,31	14,58	15,13	13,97	15,26
Fe₂O₃	6,76	5,09	5,40	6,25	5,75
MnO	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08
MgO	3,67	2,26	2,46	2,48	2,50
CaO	3,69	3,58	2,85	2,41	2,90
Na₂O	2,92	3,73	3,67	3,35	3,84
K₂O	2,86	1,99	1,99	1,95	1,98
P₂O₅	0,20	0,12	0,13	0,11	0,12
CO₂		0,99	0,04	0,07	0,04
LOI	0,63				
S	1899				
ppm					
Cr	181				
Ni	92	48	27	54	96
Co	30	31	23	37	36
Sc	19				
V	156	85	95	94	98
Cu	47				
Zn		81	64	76	77
Rb	121				
Cs	15,1				
Ba	1504	494	622	437	461
Sr	492	414	384	381	423
Ta	0,4				
Nb	7				
Hf	3,5				
Zr	149	86	100	96	78
Y	19	11	8	12	18
Th	6,94				
U	2,52				
La	23,84				
Ce	49,2				
Nd	22,7				
Sm	4,55				
Eu	1,29				
Tb	0,54				
Yb	1,20				
Lu	0,23				

Annexe II

Tableau 3.6 (Suite)

#Échant.	Q-7*	Q-8*	Q-9*	Q-10*	Q-11*
%					
SiO₂	66,54	65,74	65,77	68,88	69,19
TiO₂	0,60	0,58	0,56	0,49	0,52
Al₂O₃	14,65	15,67	15,86	14,62	14,24
Fe₂O₃	6,26	6,22	5,63	4,72	5,14
MnO	0,08	0,09	0,07	0,07	0,07
MgO	2,80	3,05	2,79	2,10	2,14
CaO	2,89	2,30	2,37	2,78	2,65
Na₂O	3,54	3,73	4,36	4,25	3,77
K₂O	2,50	2,47	2,46	1,96	2,15
P₂O₅	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13
CO₂	0,44		0,04	0,11	0,11
ppm					
Ni	63	57	58	49	45
Co	32	34	30	28	28
V	103	102	99	84	86
Zn	73	76	69	65	68
Ba	601	682	628	698	632
Sr	317	409	414	327	369
Zr	79	94	89	84	90
Y	11	12	12	13	11

Annexe II

Tableau 3.6 (Suite)

#Échant.	Q-12*	es-306A	es234	es208	es142
	%				
SiO₂	65,99	60,22	56,34	59,39	63,46
TiO₂	0,61	0,44	0,58	0,78	0,68
Al₂O₃	15,38	20,03	13,94	17,66	17,37
Fe₂O₃	6,23	6,14	19,83	8,58	5,31
MnO	0,07	0,08	0,11	0,09	0,18
MgO	2,61	3,34	3,40	3,66	2,61
CaO	2,61	2,25	1,54	1,86	6,12
Na₂O	4,15	3,33	0,90	4,26	1,01
K₂O	2,21	3,98	3,22	3,61	2,94
P₂O₅	0,13	0,19	0,15	0,11	0,32
CO₂	0,18				
LOI		2,34	1,68	1,88	2,46
S		552			682
	ppm				
Cr		57	170	269	128
Ni	46	32			60
Co	24	13	24		20
Sc		8	21	21	17
V	115	64			98
Cu		24			16
Zn	80			195	
Rb		115	140	255	136
Cs		5,6	12,0	19,4	6,1
Ba	380	1311	260	335	530
Sr	425	384	240	404	238
Ta		0,6		1,0	0,4
Nb		8,2			6,2
Hf		4,1	2,9	4,0	3,7
Zr	97	139	120	163	150
Y	11	16	21	11	29
Th		27,35	7,79	8,97	6,68
U		8,71	2,60	5,50	1,85
La		52,15	29,48	39,65	37,39
Ce		86,9	54,0	77,5	73,9
Nd		30,6	23,0	30,0	34,3
Sm		5,44	4,46	6,21	6,80
Eu		1,36	1,04	0,92	1,40
Tb		0,42	0,50	0,48	0,85
Yb		1,03	1,80	0,77	1,98
Lu		0,18	0,30	0,14	0,35

Annexe II

Tableau 3.6 (Suite)

#Échant.	es156	es103	es169	es98	es364
%					
SiO₂	57,82	57,63	65,22	70,68	59,91
TiO₂	0,55	0,63	0,47	0,46	0,71
Al₂O₃	14,47	16,81	16,86	13,88	17,85
Fe₂O₃	15,24	15,91	4,87	4,87	8,71
MnO	0,11	0,11	0,13	0,12	0,08
MgO	3,44	3,56	2,31	1,63	4,18
CaO	2,75	0,89	5,29	5,16	1,46
Na₂O	2,91	0,61	4,28	0,93	1,13
K₂O	2,53	3,64	0,36	2,12	5,80
P₂O₅	0,18	0,20	0,21	0,14	0,17
LOI	1,62	1,78	0,38	2,31	2,57
S			1335	1612	
ppm					
Cr	112	207	77	137	212
Ni			33	45	
Co			15	16	
Sc	16	21	10	13	24
V			45	84	
Cu			18	39	
Zn	94	86			102
Rb	92	121	10	87	161
Cs	3,0	9,0	0,7	3,3	7,2
Ba	581	564	159	380	584
Sr	421	73	674	233	160
Ta	0,2	0,5	0,2	0,5	0,4
Nb			4,0	6,2	
Hf	2,3	2,7	3,2	3,7	3,0
Zr	118	113	134	157	128
Y	14	17	15	22	17
Th	7,15	6,72	4,04	8,61	6,74
U	1,51	1,90	1,11	2,56	1,94
La	24,55	26,17	18,06	39,06	24,83
Ce	50,2	56,1	34,6	69,4	55,2
Nd	19,1	24,3	16,1	27,8	42,6
Sm	4,05	4,99	3,27	4,82	4,86
Eu	1,03	1,40	1,17	1,17	1,02
Tb	0,46	0,42	0,33	0,55	0,48
Yb	1,34	1,60	1,23	1,97	1,94
Lu	0,20	0,28	0,20	0,35	0,22

Annexe II

Tableau 3.6 (Suite)

#Échant.	es365	es61	es82	es361	es358
%					
SiO₂	60,90	62,43	59,59	59,76	59,59
TiO₂	0,69	0,73	0,63	0,71	0,70
Al₂O₃	17,32	16,14	16,72	18,56	18,02
Fe₂O₃	8,79	7,67	11,80	8,97	7,83
MnO	0,08	0,11	0,11	0,09	0,11
MgO	4,45	3,43	3,94	3,77	4,11
CaO	1,22	3,70	1,44	1,63	3,00
Na₂O	1,16	3,40	2,45	2,53	3,74
K₂O	5,25	2,20	3,11	3,84	2,71
P₂O₅	0,13	0,19	0,20	0,15	0,19
LOI	2,46	1,26	2,04	3,03	1,82
S	955	2197			
ppm					
Cr		169	200	187	175
Ni	94	75			
Co		25			
Sc		17	21	24	21
V	152	138			
Cu	30	62			
Zn			139	104	
Rb	132	59	117	115	95
Cs		6,3	8,1	6,1	3,1
Ba	713	548	857	733	624
Sr	110	582	243	250	460
Ta		0,3	0,3	0,4	0,7
Nb	7	5			
Hf		3,4	3,0	3,0	3,0
Zr	128	144	137	127	142
Y	22	18	19	17	16
Th		5,27	7,40	6,75	6,64
U		1,42	1,72	5,73	1,74
La		29,36	28,58	29,46	23,41
Ce		56,7	64,9	60,4	49,1
Nd		25,7	30,2	28,9	22,0
Sm		5,11	5,46	4,80	4,63
Eu		1,35	1,62	1,13	1,33
Tb		0,55	0,70	0,51	0,42
Yb		1,44	2,03	1,84	1,43
Lu		0,23	0,34	0,23	0,26

Source: Sawyer (1986) et * Fralick (données récentes)

Annexe III

Tableau 3.7 Résultats du calcul du standard de déviation de EQ 256 par XRF

Moyenne % poids	Standard de déviation	Coefficient de déviation %
SiO ₂ 61,25	0,33	0,54
TiO ₂ 0,69	0,01	1,94
Al ₂ O ₃ 17,48	0,11	0,66
Fe ₂ O ₃ 6,9	0,17	2,50
MnO 0,09	0	0
MgO 3,25	0,07	2,04
CaO 1,43	0,02	1,42
Na ₂ O 3,24	0,08	2,60
K ₂ O 3,91	0,11	2,81
P ₂ O ₅ 0,07	0,2	26,72
LOI 1,67	0,1	5,90
Cu 64	25,85	40,4
V 141	24,65	17,48
Ni 79,4	7,3	9,2
Zn 150,7	4,5	2,99
Ga 24,9	0,91	3,65
Y 17,04	2,75	16,2
Zr 143,29	6,99	4,88
Nb 16,43	0,97	5,93
Rb 189,7	4,85	2,56
Sr 269,3	2,69	0,99
Pb 21,83	1,44	6,61

nombre d'analyse =7

Tableau 3.8 Résultats du calcul du standard de déviation de EQ 256 par INAA

Moyenne % poids	Standard de déviation	Coefficient de déviation %
Fe ₂ O ₃ 6,75	0,27	3,96
Na ₂ O 3,21	0,12	3,84
Co 23,61	1,41	5,99
Cr 180,22	7,93	4,40
Sc 17,99	0,69	3,84
La 38	1,27	3,34
Ce 76,65	5,09	6,64
Nd 31,98	1,21	3,78
Sm 5,58	0,33	5,91
Eu 1,41	0,14	9,81
Tb 0,605	0,06	9,91
Yb 1,62	0,06	3,44
Lu 0,25	0,01	5,22
Ho 1,361	1,11	81,68
Hf 4,41	0,25	5,58
Ta 1,57	0,22	14,18
Ba 678,9	45,96	6,77
Cs 10,45	0,74	7,10
Rb 206,2	16,80	8,15
Th 11,7	0,74	6,30
U 5,55	0,41	7,31
Sb 0,2	0,11	53,47

nombre d'analyse =9

Annexe III

Tableau 3.9 Résultats du calcul du standard de déviation de EL 51 par XRF

	Moyenne % poids	Standard de déviation	Coefficient de déviation %
SiO ₂	73,38	0,25	0,34
TiO ₂	0,14	0,01	6,94
Al ₂ O ₃	14,33	0,16	1,10
Fe ₂ O ₃	1,07	0,08	7,22
MnO	0,02	0,01	34,99
MgO	0,20	0,04	17,22
CaO	1,17	0,04	3,65
Na ₂ O	3,99	0,11	2,77
K ₂ O	4,80	0,12	2,51
P ₂ O ₅	0,04	0,01	11,92
LOI	0,75	0,04	5,29
Cu	24,50	14,18	57,87
V	9,50	2,86	30,14
Ni	13,33	6,08	45,58
Zn	74,00	2,53	3,42
Ga	18,00	0,00	0,00
Y	7,58	2,01	26,51
Zr	91,83	6,94	7,56
Nb	7,42	1,56	21,07
Ba	810,33	24,38	3,01
Rb	165,50	2,95	1,78
Sr	238,33	1,21	0,51
Pb	25,33	0,97	3,81

nombre d'analyse = 6

Tableau 3.10 Résultats du calcul du standard de déviation de EL 51 par INAA

	Moyenne %poids	Standard de déviation	Coefficient de déviation %
FeO	1,00	0,041	4,123
Na ₂ O	4,05	0,152	3,753
Co	1,72	0,468	27,252
Cr	1,88	0,623	33,171
Sc	1,61	0,053	3,293
La	19,21	0,779	4,055
Ce	34,76	1,073	3,088
Nd	12,84	1,837	14,309
Sm	2,29	0,067	2,943
Eu	0,58	0,062	10,609
Tb	0,22	0,024	10,928
Yb	0,42	0,054	13,001
Lu	0,06	0,007	12,227
Hf	2,77	0,047	1,681
Ta	0,60	0,120	20,125
Ba	774,88	39,894	5,148
Cs	4,25	0,420	9,870
Rb	165,25	8,345	5,050
Th	11,38	0,385	3,384
U	3,68	0,226	6,148

nombre d'analyse = 8

Annexe IV

Tableau 4.2 b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des l'index chimique d'altération (CIA) des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

a)

CIA	B-G	B
B-G	0.000	
B	-3,175	0.000

b)

CIA	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	-3,175	0.000				
N	2.943	6.117	0.000			
O	0.624	3.799	-2.318	0.000		
P	4.457	7.631	1.514	3.832	0.000	
Q	3.349	6.523	0.406	2.725	-1.108	0.000

c)

CIA	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-2.318	0.000		
P	1.514	3.832	0.000	
Q	0.406	2.725	-1.108	0.000

Annexe IV

Tableau 4.5 b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des oxydes majeurs des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau

a	SiO ₂	B-G	B
	B-G	0.000	
	B	-3,262	0.000

h	Na ₂ O	B-G	B
	B-G	0.000	
	B	0.822	0.000

b	TiO ₂	B-G	B
	B-G	0.000	
	B	0.047	0.000

i	K ₂ O	B-G	B
	B-G	0.000	
	B	-0,069	0.000

c	Al ₂ O ₃	B-G	B
	B-G	0.000	
	B	2.410	0.000

j	P ₂ O ₅	B-G	B
	B-G	0.000	
	B	-0,064	0.000

d	Fe ₂ O ₃	B-G	B
	B-G	0.000	
	B	-0,851	0.000

e	MnO	B-G	B
	B-G	0.000	
	B	-0,019	0.000

f	MgO	B-G	B
	B-G	0.000	
	B	(-)0.821	0.000

g	CaO	B-G	B
	B-G	0.000	
	B	1.803	0.000

Annexe IV

Tableau 4.7 b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des oxydes majeurs des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

a SiO ₂	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	-3,344	0.000				
N	-1,250	2.094	0.000			
O	-2,425	0.919	-1,174	0.000		
P	-2,321	1.022	-1,071	0.103	0.000	
Q	-2,103	1.241	-0,852	0,322	0,218	0.000

d Fe ₂ O ₃	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	-0,839	0.000				
N	0,947	1,786	0.000			
O	2,527	3,367	1,580	0.000		
P	0,463	1,303	-0,483	-2,064	0.000	
Q	1,760	2,600	0,813	-0,767	1,297	0.000

b TiO ₂	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	0,045	0.000				
N	0,041	-0,003	0.000			
O	0,001	-0,043	-0,04	0.000		
P	0,067	0,021	0,025	0,065	0.000	
Q	0,045	0,000	0,003	0,043	-0,021	0.000

e MnO	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	-0,019	0.000				
N	0,002	0,020	0.000			
O	-0,022	-0,004	-0,024	0.000		
P	-0,02	-0,001	-0,021	0,003	0.000	
Q	-0,001	0,018	-0,002	0,022	0,019	0.000

c Al ₂ O ₃	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	2,443	0.000				
N	0,709	-1,734	0.000			
O	0,062	-2,380	-0,646	0.000		
P	1,545	-0,898	0,835	1,482	0.000	
Q	0,609	-1,833	-0,099	0,547	-0,935	0,000

f MgO	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	-0,822	0.000				
N	0,112	0,935	0,000000			
O	0,348	1,171	0,235960	0.000		
P	0,643	1,465	0,530355	0,294	0.000	
Q	0,178	1,000	0,065854	-0,17	(-0,465	0,000

Annexe IV

Tableau 4.7 b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des oxydes majeurs des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

g	CaO	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	0.000					
	B	1.854	0.000				
	N	0.039	-1,815	0.000			
	O	0.208	-1,646	0.169	0.000		
	P	-0,618	-2,472	-0,657	-0,827	0.000	
	Q	-0,259	-2,113	-0,298	-0,468	0.359	0.000

h	Na2O	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	0.000					
	B	0.793	0.000				
	N	-1,073	-1,866	0.000			
	O	-0,999	-1,792	0.074	0.000		
	P	-0,580	-1,373	0.493	0.419	0.000	
	Q	-1,002	-1,795	0.072	-0,003	-0,422	0.000

j	P2O5	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	0.000					
	B	-0,062	0.000				
	N	-0,146	-0,084	0.000			
	O	-0,104	-0,042	0.041	0.000		
	P	-0,104	-0,056	0.028	-0,013	0.000	
	Q	-0,107	-0,045	0.038	-0,003	0.010	0.000

i	K2O	B-G	B	N	O	P	Q
	B-G	0.000					
	B	-0,05	0.000				
	N	0,619	0,670	0.000			
	O	0,403	0,453	-0,216	0.000		
	P	0,939	0,990	0,320	0,536	0.000	
	Q	0,878	0,929	0,259	0,475	-0,06	0.000

Annexe IV

Tableau 4.9 b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des oxydes majeurs des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

a SiO ₂	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-1.179	0.000		
P	-1.123	0.056	0.000	
Q	-0.853	0.326	0.270	0.000

e MnO	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-0.024	0.000		
P	-0.021	0.003	0.000	
Q	-0.002	0.022	0.019	0.000

i K ₂ O	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-0.217	0.000		
P	0.351	0.567	0.000	
Q	0.259	0.476	-0.092	0.000

b TiO ₂	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-0.041	0.000		
P	0.024	0.065	0.000	
Q	0.003	0.044	-0.021	0.000

f MgO	N	O	P	Q
N	0.000			
O	0.236	0.000		
P	0.553	0.317	0.000	
Q	0.066	-0.17	-0.487	0.000

j P ₂ O ₅	N	O	P	Q
N	0.000			
O	0.042	0.000		
P	0.029	-0.013	0.000	
Q	0.039	-0.003	0.009	0.000

c Al ₂ O ₃	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-0.647	0.000		
P	0.849	1.496	0.000	
Q	-0.099	0.548	-0.948	0.000

g CaO	N	O	P	Q
N	0.000			
O	0.169	0.000		
P	-0.654	-0.823	0.000	
Q	-0.298	-0.468	0.356	0.000

d Fe ₂ O ₃	N	O	P	Q
N	0.000			
O	1.581	0.000		
P	-0.454	-2.035	0.000	
Q	0.813	-0.767	1.268	0.000

h Na ₂ O	N	O	P	Q
N	0.000			
O	0.074	0.000		
P	0.447	0.373	0.000	
Q	0.072	-0.003	-0.376	0.000

Annexe IV

Tableau 4.11 b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des métaux de transitions des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau

Cr	B-G	B
B-G	0.000	
B-G	-115,571	0.000

Annexe IV

Tableau 4.13b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des métaux de transitions des bassins de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

a) Sc

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	5.771	0.000			
O	4.968	-0.804	0.000		
P	8.703	2.931	3.735	0.000	
Q	8.693	2.922	3.725	-0.009	0.000

b) Cr

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	-115.571	0.000				
N	12.207	127.779	0.000			
O	10.358	125.929	-1.849	0.000		
P	78.025	193.596	65.817	67.667	0.000	
Q	25.339	140.911	13.132	14.981	-52.685	0.000

c) Ni

	B	N	P	Q
B	0.000			
N	54.464	0.000		
P	51.668	-2.797	0.000	
Q	40.872	-13.593	-10.796	0.000

Annexe IV

Tableau 4.15b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des métaux de transition des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

a Sc

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-0.804	0.000		
P	2.931	3.735	0.000	
Q	2.922	3.725	-0.009	0.000

b Cr

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-1.849	0.000		
P	65.817	67.667	0.000	
Q	13.132	14.981	-52.685	0.000

c Ni

	N	P	Q
N	0.000		
P	-2.797	0.000	
Q	-13.593	-10.796	0.000

Annexe IV

Tableau 4.17b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des éléments traces incompatibles des bassins de Beardmore-Geraldton et de Bordeleau

a) Rb

	B-G	B
B-G	0.000	
B	-30,908	0.000

b) Sr

	B-G	B
B-G	0.000	
B	480.239	0.000

c) Y

	B-G	B
B-G	0.000	
B	1.234	0.000

d) Zr

	B-G	B
B-G	0.000	
B	33.113	0.000

e) Nb

	B-G	B
B-G	0.000	
B	-0,035	0.000

f) Ba

	B-G	B
B-G	0.000	
B	36.390	0.000

g) Rb/Sr

	B-G	B
B-G	0.000	
B	-0,176	0.000

Annexe IV

Tableau 4.19b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des éléments traces incompatibles des bassins de Beardmore-Geraldton, de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

a) Rb

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	-30.908	0.000				
N	41.923	72.830	0.000			
O	71.062	101.969	29.139	0.000		
P	11.589	42.497	-30.333	-59.473	0.000	
Q	32.743	63.651	-9.179	-38.319	21.154	0.000

b) Sr

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	480.239	0.000				
N	39.564	-440.675	0.000			
O	36.670	-443.569	-2.894	0.000		
P	81.554	-398.685	41.989	44.883	0.000	
Q	7.689	-472.549	-31.875	-28.981	-73.864	0.000

c) Y

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	1.234	0.000				
N	4.214	2.980	0.000			
O	1.701	0.468	-2.513	0.000		
P	4.129	2.895	-0.085	2.428	0.000	
Q	5.688	4.454	1.474	3.987	1.559	0.000

d) Zr

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	33.113	0.000				
N	37.549	4.436	0.000			
O	22.848	-10.266	-14.701	0.000		
P	36.054	2.940	-1.495	13.206	0.000	
Q	24.881	-8.232	-12.668	2.034	-11.173	0.000

e) Nb

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	-0.035	0.000				
N	2.691	2.725	0.000			
O	0.262	0.297	-2.429	0.000		
P	0.292	0.326	-2.399	0.029	0.000	
Q	0.678	0.713	-2.012	0.416	0.387	0.000

Annexe IV

Tableau 4.19b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des éléments traces incompatibles des bassins de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

f) **Cs**

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	3.466	0.000			
O	4.873	1.407	0.000		
P	3.676	0.210	-1.197	0.000	
Q	5.966	2.501	1.094	2.290	0.000

g) **Ba**

	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	36.390	0.000				
N	44.764	8.374	0.000			
O	-63.382	-99.772	-108.146	0.000		
P	286.400	250.010	241.636	349.782	0.000	
Q	56.869	20.478	12.105	120.251	-229.532	0.000

h) **Hf**

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	0.093	0.000			
O	-0.013	-0.106	0.000		
P	-0.193	-0.286	-0.18	0.000	
Q	-0.275	-0.368	-0.263	-0.082	0.000

i) **Ta**

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	1.846	0.000			
O	-0.416	-2.262	0.000		
P	-0.629	-2.475	-0.214	0.000	
Q	-0.262	-2.107	0.154	0.368	0.000

j) **Th**

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	6.910	0.000			
O	3.736	-3.174	0.000		
P	4.457	-2.453	0.721	0.000	
Q	4.729	-2.180	0.994	0.273	0.000

Annexe IV

Tableau 4.19b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des éléments traces incompatibles des bassins de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

k)

U	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	0.939	0.000			
O	0.945	0.006	0.000		
P	1.329	0.390	0.384	0.000	
Q	2.045	1.106	1.100	0.716	0.000

l)

Rb/Sr	B-G	B	N	O	P	Q
B-G	0.000					
B	-0.176	0.000				
N	0.111	0.286	0.000			
O	0.353	0.528	0.242	0.000		
P	-0.013	0.163	-0.124	-0.365	0.000	
Q	0.182	0.357	0.071	-0.171	0.195	0.000

Annexe IV

Tableau 4.21b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des éléments traces incompatibles des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

a) Rb

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	29.139	0.000		
P	-30.333	-59.473	0.000	
Q	-9.179	-38.319	21.154	0.000

e) Nb

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-2.429	0.000		
P	-2.399	0.029	0.000	
Q	-2.012	0.416	0.387	0.000

i) Ta

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-2.262	0.000		
P	-2.475	-0.214	0.000	
Q	-2.107	0.154	0.368	0.000

b) Sr

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-2.894	0.000		
P	41.989	44.883	0.000	
Q	-31.875	-28.981	-73.864	0.000

f) Cs

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	1.407	0.000		
P	0.210	-1.197	0.000	
Q	2.501	1.094	2.290	0.000

j) Th

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-3.174	0.000		
P	-2.453	0.721	0.000	
Q	-2.18	0.993	0.273	0.000

c) Y

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-2.513	0.000		
P	-0.085	2.428	0.000	
Q	1.474	3.987	1.559	0.000

g) Ba

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-108,1	0.000		
P	241.636	349.782	0.000	
Q	12.105	120.251	-230	0.000

k) U

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	0.006	0.000		
P	0.390	0.384	0.000	
Q	1.106	1.100	0.716	0.000

d) Zr

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-14.701	0.000		
P	-1.495	13.206	0.000	
Q	-12.668	2.034	-11.173	0.000

h) Hf

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-0.106	0.000		
P	-0.286	-0.18	0.000	
Q	-0.368	-0.263	-0.08	0.000

l) Rb/Sr

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	0.242	0.000		
P	-0.124	-0.365	0.000	
Q	0.071	-0.171	0.195	0.000

Annexe IV

Tableau 4.23b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des éléments terres rares des bassins de Bordeleau, de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

a) La

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	0.439	0.000			
O	-0.88	-1.32	0.000		
P	-0.58	-1.019	0.300	0.000	
Q	0.035	-0.404	0.916	0.615	0.000

e) Eu

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	-0.256	0.000			
O	-0.124	0.131	0.000		
P	-0.058	0.197	0.065	0.000	
Q	-0.154	0.101	-0.03	-0.095	0.000

b) Ce

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	-2.817	0.000			
O	-5.616	-2.799	0.000		
P	-9.561	-6.744	-3.944	0.000	
Q	-2.751	0.065	2.865	6.809	0.000

f) Tb

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	-0.002	0.000			
O	0.055	0.058	0.000		
P	0.049	0.051	-0.006	0.000	
Q	0.068	0.071	0.012	0.019	0.000

c) Nd

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	-7.636	0.000			
O	-10.023	-2.386	0.000		
P	-8.947	-1.311	1.075	0.000	
Q	-9.224	-1.588	0.798	-0.277	0.000

g) Yb

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	0.458	0.000			
O	0.335	-0.122	0.000		
P	0.457	-0.001	0.121	0.000	
Q	0.623	0.165	0.288	0.166	0.000

d) Sm

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	-0.197	0.000			
O	-0.257	-0.059	0.000		
P	-0.050	0.247	0.307	0.000	
Q	0.459	0.656	0.716	0.408	0.000

h) Lu

	B	N	O	P	Q
B	0.000				
N	0.050	0.000			
O	0.002	-0.047	0.000		
P	0.048	-0.001	0.045	0.000	
Q	0.089	0.039	0.086	0.040	0.000

Annexe IV

Tableau 4.25b Matrice de la comparaison des différences des moyennes des éléments terres rares des bassins de Nemiscau, d'Opinaca, de Pontiac et de Quetico

a) La

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-1.728	0.000		
P	-1.352	0.377	0.000	
Q	0.613	2.341	1.965	0.000

g) Yb

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-0.189	0.000		
P		0.138	0.000	
Q	0.099	0.288	0.149	0.000

b) Ce

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-2.813	0.000		
P	-6.729	1.059	0.000	
Q	0.053	2.865	6.782	0.000

h) Lu

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-0.033	0.000		
P	-0.006	0.027	0.000	
Q	0.033	0.066	0.039	0.000

c) Nd

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-3.601	0.000		
P	-2.542	1.059	0.000	
Q	-2.802	0.799	-0.261	0.000

d) Sm

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	-0.061	0.000		
P	0.274	0.335	0.000	
Q	0.655	0.716	0.381	0.000

e) Eu

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	0.074	0.000		
P	0.144	0.070	0.000	
Q	0.044	-0.03	-0.101	0.000

f) Tb

	N	O	P	Q
N	0.000			
O	0.059	0.000		
P	0.067	0.008	0.000	
Q	0.072	0.013	0.005	0.000