

Université du Québec  
INRS-Eau-Terre-Environnement

**Géochimie et pétrogenèse des roches métagabbroïques du domaine de  
Natashquan, secteur oriental de la Province de Grenville, Québec**

Par  
Guy Scherrer

Mémoire présenté  
pour l'obtention  
du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)  
en Science de la Terre

Examinatrice interne	Dr. Louise Corriveau, Commission géologique du Canada
Examineur externe	Dr. Pierre Verpaelst, Ministère des Ressources naturelles du Québec
Directeur de recherche	Dr. Léopold Nadeau, Commission géologique du Canada
Codirecteur de recherche	Dr. Marc R. LaFlèche, INRS-ETE

## Résumé

Les chaînes orogéniques sont constituées d'ensembles lithotectoniques accolés les uns aux autres par des zones importantes de cisaillement. Ces ensembles sont individualisés, l'un par rapport à l'autre, par leurs héritages géologiques propres. La partie orientale de la Province tectonique de Grenville ne fait pas exception. La reconnaissance de tels ensembles y est cependant ardue suite à l'oblitération des relations stratigraphiques initiales et au métamorphisme régional de haut grade. Dans ce contexte, la présence d'essaims de dykes et de filons-couches gabbroïques et leurs caractéristiques géochimiques fournissent un marqueur structural, paléotectonique et temporel utile pour l'individualisation des ensembles lithotectoniques et la reconstruction de l'histoire tectonique de la région.

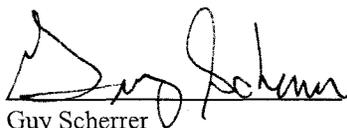
La région d'étude couvre la partie sud du domaine de Natashquan. Elle chevauche l'aire principale d'affleurement de la séquence métasédimentaire du Groupe de Wakeham, auquel les dykes et filons-couches de la Suite mafique de la Robe-Noire sont spatialement associés, et le Complexe d'Aguanish où les intrusions gabbroïques sont nettement moins abondantes et de taille modeste. De premier abord, les roches gabbroïques de la Suite mafique de la Robe-Noire devraient se distinguer nettement, sur le plan pétrographique et géochimique, de celles du Complexe d'Aguanish.

Les observations pétrographiques et de terrain montrent cependant que les roches métagabbroïques de la région d'étude partagent pour l'essentiel les mêmes textures et structures plutoniques reliques. Ces roches sont fortement amphibolitisées, et le degré de préservation de leurs traits magmatiques est directement relié à la taille des corps. Aucune structure diagnostique de volcanisme basaltique ou andésitique n'a été reconnue dans la région d'étude.

Les signatures géochimiques des roches gabbroïques étudiées correspondent à celles de basaltes intraplaques de type plateau continental. Les variations géochimiques entre les différents groupes d'échantillons sont de l'ordre de grandeur de celles normalement produites lors de l'évolution et de la mise en place de grands systèmes magmatiques. L'alcalinité des roches gabbroïques tend à augmenter en s'éloignant du secteur centre-ouest du Groupe de Wakeham (synforme de Davy), qui correspond probablement au foyer de mise en place du système. De plus, le degré de fractionnement, qui est en relation avec le taux de fusion partielle de la source, présente la même tendance. Ainsi, les échantillons provenant de la synforme de Davy, où les dykes et filons-couches sont très abondants, montrent des évidences de taux de fusion partielle plus élevés que ceux provenant du Complexe d'Aguanish. D'autre part, nos données suggèrent que la profondeur de la source mantellique a vraisemblablement diminué de 150 à 100 km au cours la mise en place de la suite.

Un groupe d'échantillons du Complexe d'Aguanish se distingue cependant par la présence de fortes anomalies négatives en Nb-Ta. L'origine des anomalies demeure incertaine. Le couplage intime de ces échantillons avec ceux qui sont dépourvus d'anomalies, et l'absence de roches génétiquement liées et d'affinité franchement calco-alcaline éliminent cependant la possibilité d'une mise en place dans un environnement d'arc insulaire volcanique.

Finalement, les tendances géochimiques régionales peuvent être expliquées dans le cadre de l'évolution spatiale et temporelle de mise en place de la suite. Les roches fortement alcaline issues de taux de fusion partielle faibles témoignent à la fois des stades précoces d'extraction de magma et d'une position distale d'intrusion par rapport au foyer principal situé au niveau de la synforme de Davy. Par contre, les roches d'affinité subalcaline produites à partir d'un taux de fusion élevé représentent probablement le stade mature de la mise en place et se concentrent préférentiellement près du foyer d'intrusion principale.



Guy Scherrer  
Étudiant



Dr. Léopold Nadeau  
Directeur de recherche

## Remerciements

Je tiens à remercier mon directeur, le passionné, Dr Léopold Nadeau de sa confiance et de son support moral et financier tout au long de mon cheminement. Je remercie également mon co-directeur, le Dr Marc R. LaFlèche, pour ses judicieux conseils et ses commentaires toujours pertinents durant les lectures préliminaires et pour sa contribution financière.

Je tiens fortement à remercier le Dr Louise Corriveau pour ses nombreux encouragements ainsi que pour son implication dans mes campagnes de terrain pour la récolte de mes échantillons.

Je remercie le Dr Pierre Verpaelst et le ministère des Ressources naturelles du Québec pour leur intérêt démontré tout au long du projet ainsi que pour les données qu'ils ont mis à ma disposition pour la réalisation de ce mémoire.

Je veux également remercier M. Pierre Brouillette de la Commission géologique du Canada pour ses mille-et-un trucs, ses dépannages et pour tout le reste durant mon passage à l'INRS.

Je remercie madame Gisèle Larochelle pour la révision du français.

Je suis également reconnaissant à tous les étudiants qui m'ont encouragé, aussi minimes que soient ces encouragements à leurs yeux, ils comptent grandement dans mon esprit.

**À Louise, Gabriel et Marianne**

## Table des matières

Résumé .....	ii
Remerciements .....	iii
Liste des figures .....	vii
Liste des tableaux .....	x
Chapitre 1- Introduction et cadre géologique régional.....	1
1.1 Problématique et objectifs.....	1
1.2 Localisation.....	5
1.3 Méthodologie .....	9
1.4 Travaux antérieurs.....	9
1.5 Cadre géologique .....	10
1.5.1 Lithologies .....	10
1.5.1.1 Groupe de Wakeham.....	10
1.5.1.2 Suite mafique de la Robe Noire .....	11
1.5.1.3 Suite mafique de Lillian .....	13
1.5.1.4 Complexe d'Aguanish.....	14
1.5.1.5 Suite anorthositique de Havre-Saint-Pierre.....	15
1.5.2 Cadre structural.....	15
1.5.3 Métamorphisme régional .....	16
Chapitre 2- Relations de terrain et pétrographie .....	19
2.1 Empreintes métamorphiques et nomenclature .....	19
2.2 Textures et structures ignées reliques .....	20
2.3 Minéraux ignés reliques et assemblages métamorphiques.....	20
2.4 Mode d'intrusion.....	24
2.5. Zones de mylonite et d'altération hydrothermale .....	25
2.6 Imbrication structurale .....	26
Chapitre 3 – Caractérisation géochimique .....	29
3.1 Nomenclature, échantillonnage et méthodes analytiques .....	29
3.1.1 Nomenclature.....	29
3.1.2 Stratégie d'échantillonnage .....	29
3.1.3 Broyage.....	30
3.1.4 Méthodes analytiques .....	30
3.2 Évaluation de la mobilité des éléments et validation des analyses .....	31
3.2.1 Site d'échantillonnage .....	31
3.2.2 Changements de composition due à l'altération et au métamorphisme régional.....	32
3.2.3 Validation des analyses pour utilisation des discriminants tectoniques ..	38
3.2.4 Effets du fractionnement magmatique.....	40

3.3	Caractérisation lithogéochimique .....	41
3.3.1	Éléments majeurs.....	43
3.3.2	Éléments traces .....	54
3.3.3	Discrimination tectono-magmatique .....	71
3.4	Points saillants de la caractérisation géochimique .....	75
Chapitre 4	– Pétrogenèse et discussion .....	77
4.1	Origine et contexte géodynamique de mise en place des magmas basaltiques ...	77
4.2	Pétrogenèse des ensembles Rn et Agh, et sous ensembles Mus-I et Rom-I .....	82
4.2.1	Variations observées à l'intérieur de la Suite mafique de Robe Noire....	84
4.2.2	Environnement tectono-magmatique de mise en place des ensembles RN et Agh, et Mus-I et Rom-I.....	88
4.3	Pétrogenèse des sous-ensembles Rom-II et Mus-II, montrant des anomalies négatives en Nb-Ta et Ti .....	88
4.3.1	Origine des anomalies négatives en Nb-Ta .....	88
4.3.2	Origines des anomalies négatives en Nb-Ta et Ti des sous-ensembles Mus-II et Rom-II .....	92
4.3.4	Cadre paléotectonique de mise en place des sous-ensembles Mus-II et Rom-II .....	100
4.4	Points saillants de l'étude pétrogénétique .....	102
4.5	Comparaison avec les données du ministère des Ressources naturelles du Québec (MNRQ).....	103
Chapitre 5	– Modèle paléotectonique.....	109
5.1	Contraintes .....	109
5.2	Modèle .....	110
Chapitre 6	– Conclusions .....	113
Références	.....	117
Appendice A	Coordonnées des échantillons .....	123
Appendice B	Tableau synthèse de la pétrographie.....	127
Appendice C	Tableau des compositions des éléments majeurs .....	133
Appendice D	Tableau des abondances en minéraux normatifs CIPW .....	137
Appendice E	Tableau des compositions en éléments traces .....	141
Appendice F	Tableau des données isotopiques pour le système samarium-néodyme.....	149

## Liste des figures

Figure 1.1	Carte lithotectonique de la Province géologique de Grenville.....	2
Figure 1.2	Carte géologique régionale montrant les secteurs étudiés.....	3
Figure 1.3	Carte géologique du secteur HSP-Natashquan et la localisation des sites échantillonnés.....	6
Figure 1.4	Carte géologique du secteur Musquaro-La Romaine et la localisation des sites échantillonnés.....	7
Figure 1.5	Carte de localisation des échantillons du ministère des ressources Naturelles du Québec.....	8
Figure 1.6	Planche de photos.....	12
Figure 2.1	Planche de photos.....	21-22
Figure 2.2	Planche de photos.....	27-28
Figure 3.1	Diagrammes de l'indice d'hyperaluminosité (P.I.) en fonction de l'indice d'altération (A.I.).....	33
Figure 3.2	Diagrammes de $K_2O$ en fonction du Rb.....	35
Figure 3.3	Diagrammes de Rb en fonction de Cs.....	37
Figure 3.4	Diagrammes de Th/U en fonction de La/Th.....	39
Figure 3.5	Diagrammes de $Al_2O_3$ - $TiO_2$ .....	42
Figure 3.6	Diagrammes de classification des basaltes basée sur l'utilisation des minéraux normatifs CIPW.....	46
Figure 3.7	Diagrammes discriminants pour les roches mafiques du secteur HSP-Natashquan.....	48
Figure 3.8	Diagrammes discriminants pour les roches mafiques du secteur Musquaro-La Romaine.....	49
Figure 3.9	Diagrammes des oxydes vs MgO des roches mafiques du secteur HSP-Natashquan.....	51
Figure 3.10	Diagrammes des oxydes vs MgO des roches mafiques de la région de La Romaine.....	52

Figure 3.11	Diagrammes des oxydes vs MgO des roches mafiques de la région du lac Musquaro .....	53
Figure 3.12	Diagrammes d'éléments traces portés en fonction du MgO pour les roches du secteur HSP-Natashquan .....	56
Figure 3.13	Diagrammes d'éléments traces portés en fonction du MgO pour les roches du secteur La Romaine .....	57
Figure 3.14	Diagrammes d'éléments traces portés en fonction du MgO pour la région du lac Musquaro .....	58
Figure 3.15	Spectres des éléments des terres-rares (ÉTR) normalisés aux valeurs de N-MORB .....	59
Figure 3.16	Spectres des éléments des terres-rares (ÉTR) normalisés aux valeurs de N-MORB .....	60
Figure 3.17	Spectres multi-éléments des roches mafiques du secteur HSP-Natashquan .....	63
Figure 3.18	Spectres multi-éléments des roches mafiques du secteur Musquaro-La Romaine.....	64
Figure 3.19	Diagramme binaire de différents rapports d'éléments traces en fonction du MgO.....	67
Figure 3.20	Diagrammes de classification des roches basaltiques selon Winchester et Floyd, 1977.....	69
Figure 3.21	Diagrammes d'éléments et de rapport d'éléments traces portés en fonction du MgO pour les échantillons du secteur de La Romaine.....	70
Figure 3.22	Diagrammes binaires des rapports Th/Ta en fonction de Th/HF .....	72
Figure 3.23	Diagrammes de discrimination tectono-magmatique de Wood et al., 1980.....	74
Figure 4.1	Diagramme synthèse de la mise en place tectonique des basaltes .....	79
Figure 4.2	Diagrammes multi-éléments représentant les spectres caractéristiques de différents types de basaltes.....	80
Figure 4.3	Diagrammes des rapports Th/Yb en fonction de Ta/Yb.....	83
Figure 4.4	Diagrammes des rapports Nb/Yb en fonction de Zr/Y.....	87

Figure 4.5	Diagramme multi-éléments de spectres classique tirées de Mahoney et al., 2000 .....	91
Figure 4.6	Diagrammes multi-éléments des roches du secteur Musquaro-La Romaine.....	94
Figure 4.7	Diagrammes triangulaires Th/Ta-Tb/Th-Hf/Th normalisés aux valeurs de chondrite .....	96
Figure 4.8	Diagrammes binaires du rapport Ce/Sm vs Ce.....	98
Figure 4.9	Diagramme de $\epsilon Nd_{(t)}$ en fonction du rapport Ti/Yb.....	101
Figure 4.10	Diagrammes discriminants pour les roches mafiques .....	104
Figure 4.11	Spectres des ÉTR et diagramme du rapport Ce/Sm sur Ce pour les échantillons du ministère des ressources Naturelles du Québec .....	106
Figure 5.1	Modèle paléotectonique proposé.....	112

## Liste des tableaux

Tableau 3.1 Échantillons suspectés d'être altérés, partiellement ou totalement retirés de l'étude .....	40
Tableau 3.2 Éléments majeurs dans les roches gabbroïques.....	44
Tableau 3.3 Valeurs normatives CIPW de certains minéraux pour le secteur HSP-Natasquan .....	42
Tableau 3.4 Valeurs normatives CIPW de certains minéraux pour le secteur Musquaro-La Romaine .....	45
Tableau 3.5 Valeurs moyennes en éléments de transition.....	47
Tableau 3.6 Éléments traces incompatibles de l'ensemble RN .....	54
Tableau 3.7 Éléments traces incompatibles de l'ensemble Agh .....	66
Tableau 3.8 Moyennes de certains rapports d'éléments traces dans le secteur Musquaro-La Romaine .....	66
Tableau 4.1 Classification des roches mafique selon Thompson (1984).....	85
Tableau 4.2 Valeur moyenne des rapport La/Sm, La/Yb et des abondances en TiO <sub>2</sub> .....	86
Tableau 4.3 Teneurs moyennes en SiO <sub>2</sub> des différents sous-ensembles des roches Gabbroïques.....	97

## Chapitre 1

### Introduction et cadre géologique régional

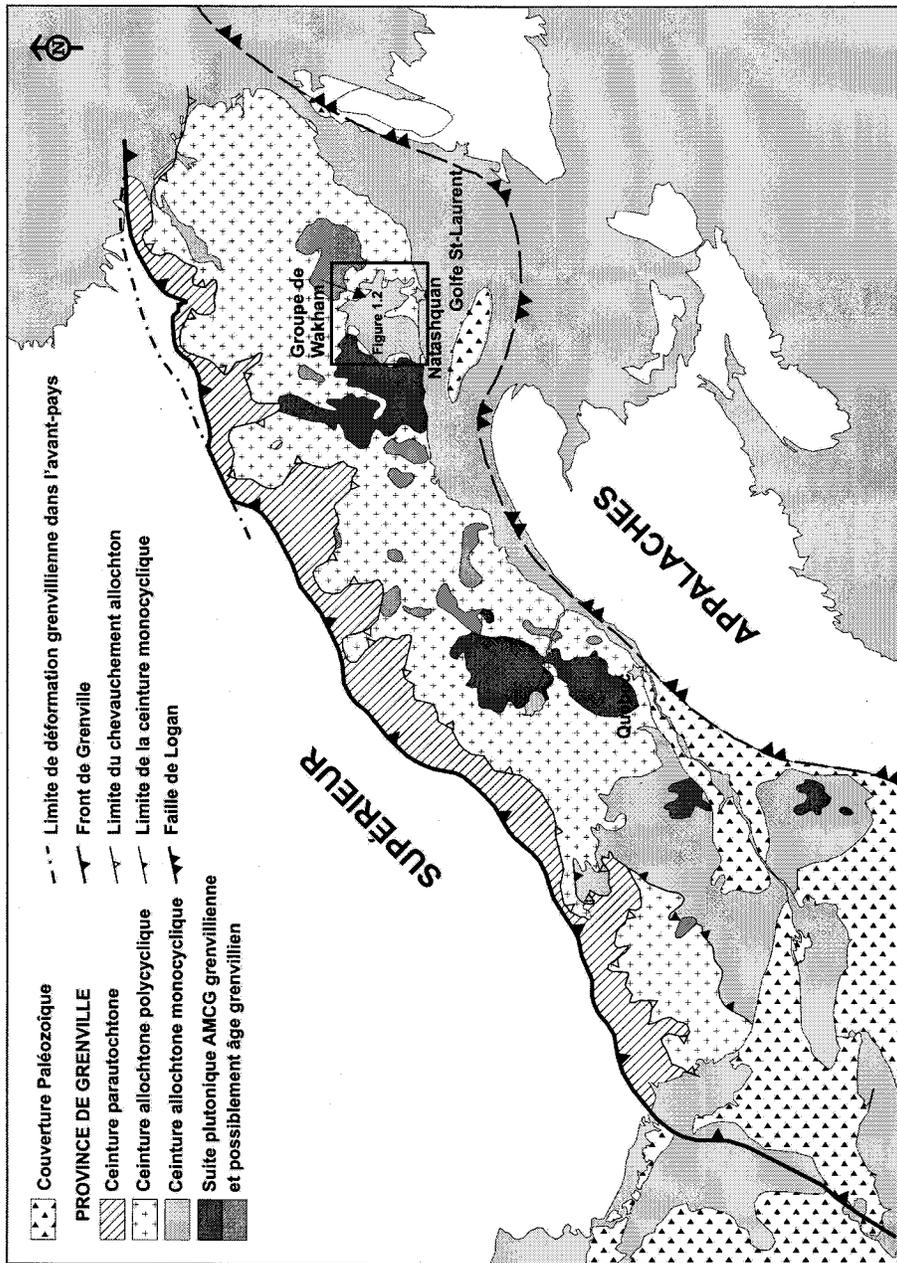
#### 1.1 Problématique et objectifs

Notre compréhension de l'architecture et de l'évolution des chaînes orogéniques telles que la Province de Grenville au Canada dépend, en tout premier lieu, de notre capacité à identifier, à isoler et à caractériser les différents domaines lithotectoniques qu'elles renferment (e.g., Wynne-Edwards, 1972 ; Rivers et al., 1989). En effet, ces domaines, qui sont généralement accolés les uns aux autres via de grandes zones de cisaillement, constituent les principaux blocs de construction des orogénèses collisionnelles tel que l'Himalaya dont le modèle grenvillien s'inspire largement (e.g. Rivers et al., 1989; Davidson, 1998; Ludden et Hynes, 2000). La reconnaissance de ces domaines dans le socle précambrien est généralement rendue très difficile suite à l'oblitération des relations stratigraphiques primaires et au métamorphisme régional de haut grade.

L'utilité des dykes et intrusions mafiques en tant que marqueur temporel, structural et paléotectonique est depuis longtemps reconnue dans ce type de terrain (e.g. Bridgwater et al., 1973a, 1973b; Dimroth et al., 1981; Ketchum et Davidson, 2000). D'une part, la présence dans des terrains géographiquement accolés, d'intrusions mafiques présentant des signatures géochimiques reflétant des héritages pétrogénétiques contrastés, peut signaler l'existence de terrain allochthone. D'autre part, la présence d'un essaim d'intrusions mafiques transgressant les limites de domaines lithotectoniques permet d'établir une limite temporelle pour leur accréation, et constitue un marqueur structural et métamorphique de leur évolution subséquente. La présente étude, qui se concentre sur la caractérisation lithogéochimique et la pétrogenèse des roches mafiques du domaine de Natashquan, vise ultimement à fournir des contraintes paléotectoniques utiles pour reconstituer l'histoire géologique d'un grand secteur de la partie orientale de la Province de Grenville (Fig. 1.1).

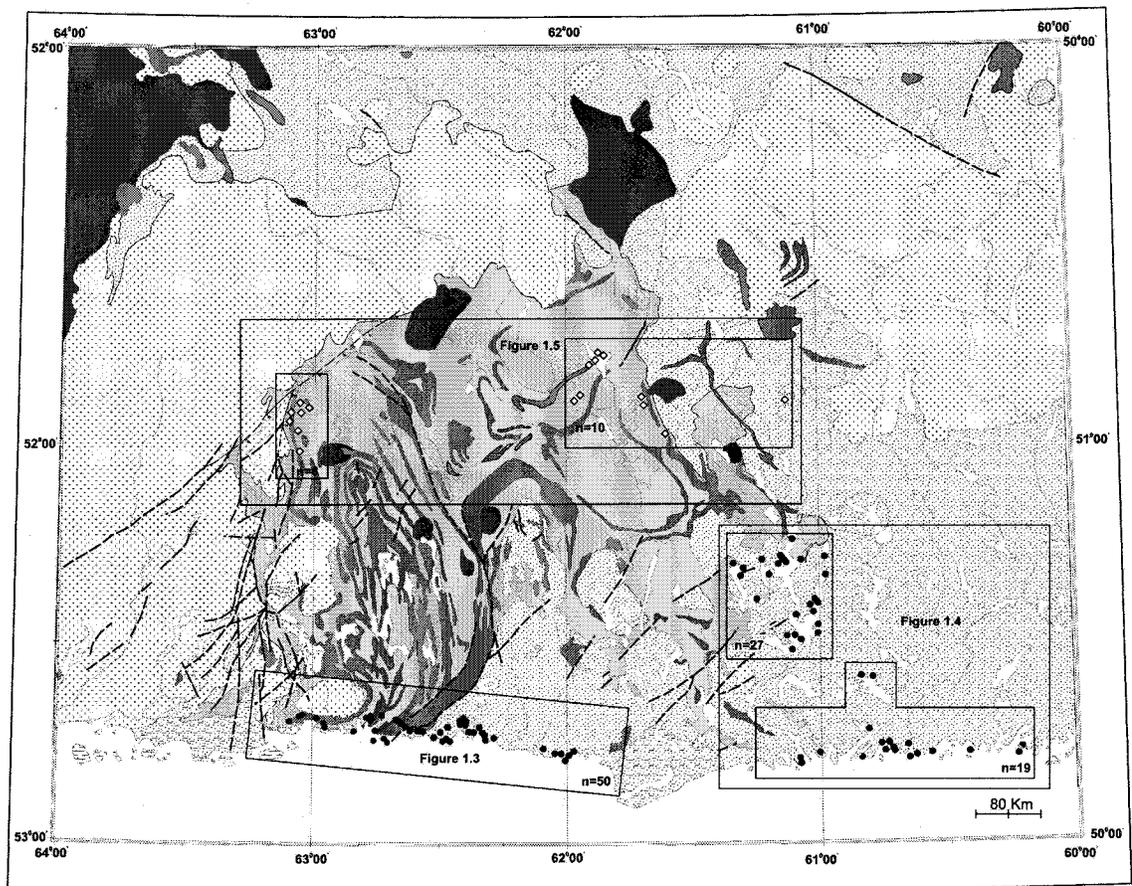
Le domaine de Natashquan (Fig. 1.2; Gobeil et al., 2003) se distingue en tout premier lieu par la préservation partielle du Groupe de Wakeham, constitué d'une séquence

épicontinentale d'âge Mésoprotérozoïque précoce (1,5 Ga) qui présente, dans un contexte grenvillien, une abondance et un degré remarquable de préservation de structures sédimentaires.



Modifiée de Rivers et al., 1989.

Figure 1.1 Carte géologique de la Province tectonique de Grenville



Modifiée de Davidson, A., 1996, Geology of Grenville Province, Open file 3346, scale 1:2 000 000

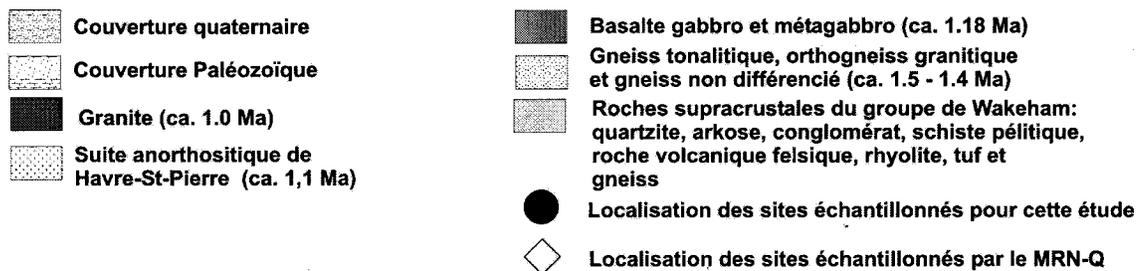


Figure1.2. Carte géologique régionale montrant les secteurs étudiés

Cette séquence a été partiellement démembrée lors de l'intrusion des nombreux filons-couches et des dykes de gabbro de la Suite mafique de la Robe-Noire (Verpaelst et al., 1998) vers 1177 Ma (Martignole et al., 1994). L'assemblage de métasédiments du Groupe de Wakeham et de métagabbros de la Suite de Robe-Noire a été repris par la déformation et le métamorphisme régional grenvillien qui ont accompagné la formation de la synclinale de Davy et la structuration des terrains gneissiques avoisinants dont le

Complexe d'Aguanish. Ce dernier, quoique dominé par la présence de gneiss et d'orthogneiss granitiques, renferme également quelques petites intrusions et des dykes boudinés de métagabbro ainsi que des écrans (petit niveau fini de quelques dizaines de mètres d'épaisseur par quelques centaines de mètres de longueur) de paragneiss dont certains rappellent les métasédiments du Groupe de Wakeham. Ces petites intrusions et ces dykes gabbroïques de même que ces écrans de paragneiss sont généralement de tailles trop modestes pour être cartographiés (Verpaelst et al., 1997a, 1997b, 1998). Quoique le contact entre le Complexe d'Aguanish et le Groupe de Wakeham soit structural le long de la zone de cisaillement du lac Caron, le patron d'affleurements du Groupe de Wakeham dans la partie orientale du Complexe d'Aguanish apparaît comme étant en partie intrusif. Le style d'intrusion et l'abondance des dykes et filons-couches gabbroïques diffèrent cependant considérablement à travers le domaine de Natashquan, selon leur association avec le Groupe de Wakeham ou avec le Complexe d'Aguanish.

La caractérisation géochimique et l'étude pétrogénétique de ces roches peut donc nous renseigner quant à leur cadre paléotectonique de mise en place. Dans ce contexte, les principales questions auxquelles cette étude tentera d'apporter un nouvel éclairage sont les suivantes:

- 1) Combien de suites de roches métagabbroïques distinctes peuvent être reconnues dans le domaine de Natashquan?
- 2) Quels sont les traits cartographiques, pétrographiques et géochimiques distinctifs de ces suites?
- 3) Existe-t-il des liens pétrogénétiques possible entre elles?
- 4) Dans quel environnement paléotectonique ces suites ont-elles pu être générées et mises en place?
- 5) Est-ce que l'assemblage des roches sédimentaires du Groupe de Wakeham et du métagabbro de la Suite mafique de la Robe-Noire est tectoniquement allochthone par rapport au Complexe d'Aguanish?

## **1.2 Localisation**

La région d'étude couvre trois secteurs différents de la partie sud du domaine de Natashquan (Fig. 1.2). Les échantillons recueillis le long de la zone cotière et de la route reliant les municipalités de Havre-Saint-Pierre et de Natashquan sont représentatifs de la Suite mafique de la Robe-Noire, à l'ouest de la zone de cisaillement de Lac Caron et de la partie occidentale du Complexe d'Aguanish (Fig. 1.3). Les deux autres secteurs sont situés dans la partie orientale du Complexe d'Aguanish, aux abords du lac Musquaro et du village de La Romaine (Fig.1.4). Ces régions renferment de vastes écrans aux contacts mal définis de roches supracrustales associées au Groupe de Wakeham (Corriveau et Bonnet, 2001; Corriveau et al., 2002). La présente étude fait suite aux analyses réalisées par le Ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ) dans les secteurs nord-est et nord-ouest du domaine de Natashquan (Fig. 1.2 et 1.5).

Les municipalités de Havre-Saint-Pierre et de Natashquan se situent respectivement à ~825 et ~980 km à l'est de la Ville de Québec, et peuvent être accédées via la route provinciale #138 qui se termine provisoirement à Natashquan. Le village de La Romaine, qui se localise 80 km à l'est de Natashquan, est accessible par ligne aérienne à partir de Sept-Îles et par le service de traversier qui desservent les villages de la Basse-Côte-Nord. Pour sa part, le secteur du lac Musquaro situé à ~70 km au nord-est de Natashquan, n'est accessible que par nolisement d'hydravion de brousse.

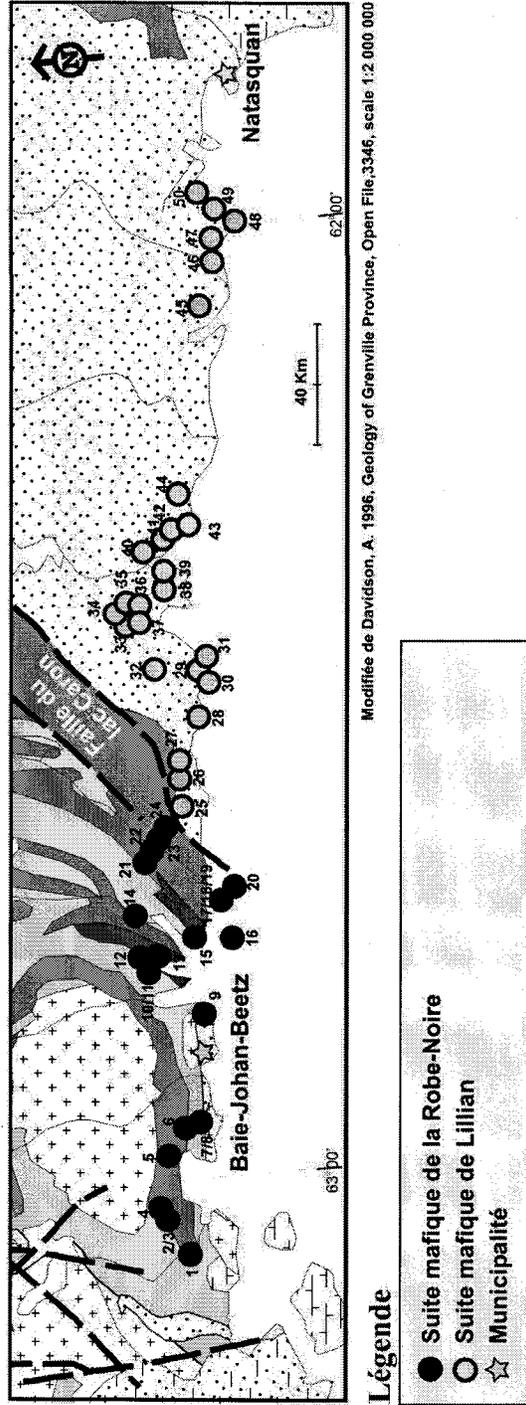
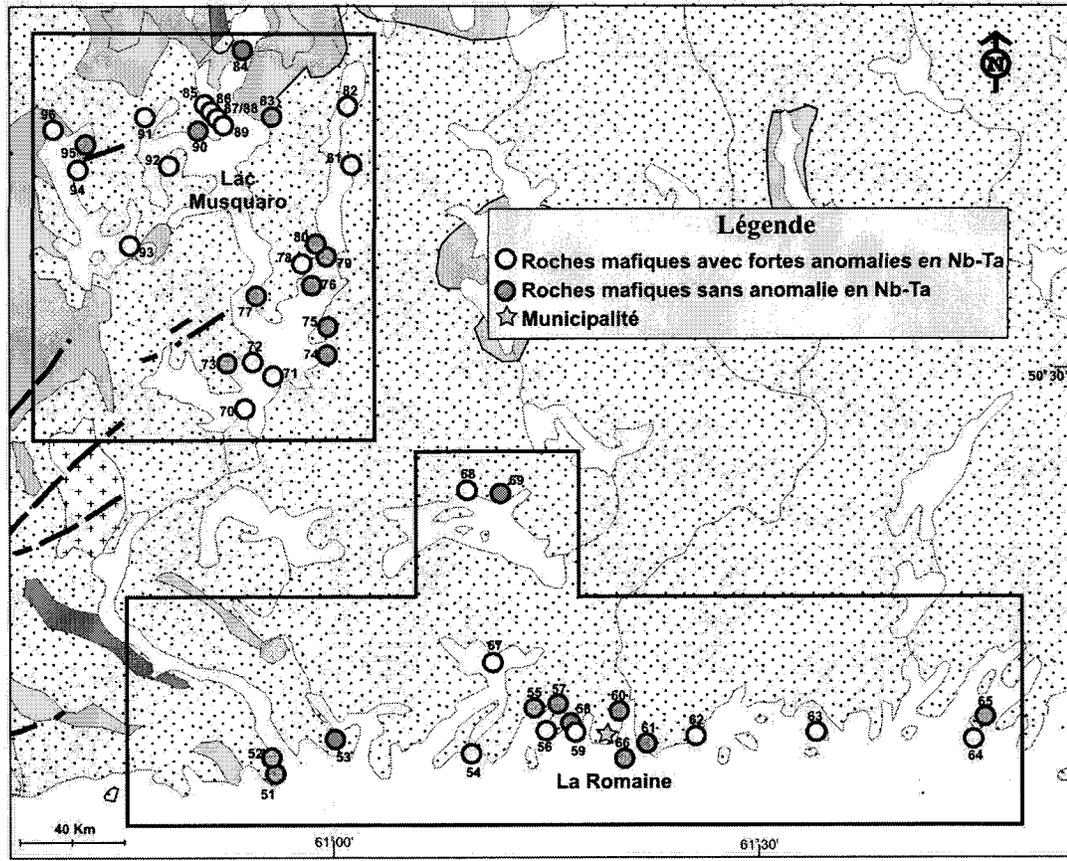


Figure 1.3. Carte géologique du secteur Have-Saint-Pierre-Natashquan avec la localisation des sites échantillonnés. La légende géologique est la même que celle de la figure 1.2.



Modifiée de Davidson, A. 1996, *Geology of Grenville Province, Open File, 3346*, scale 1:2 000 000

**Figure 1.4.** Carte géologique du secteur Musquaro-La Romaine avec la localisation des sites échantillonnés. La légende géologique est la même que celle de la figure 1.2.

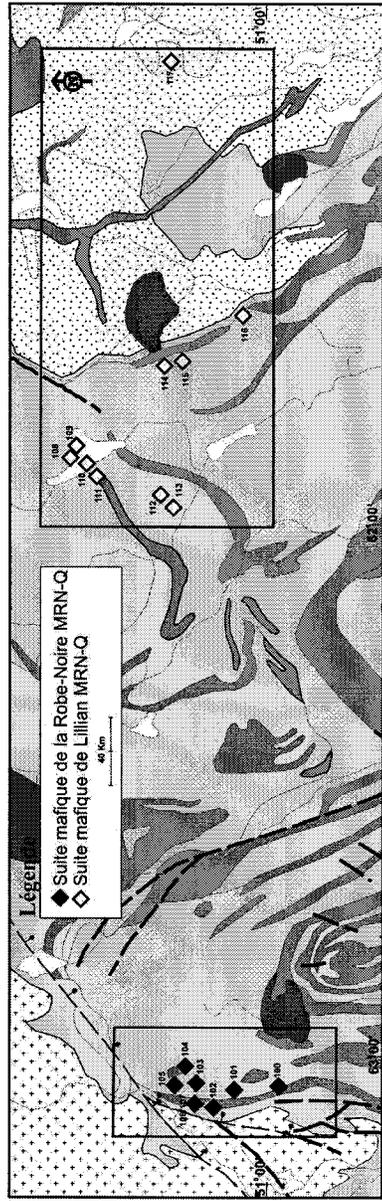


Figure 1.5. Carte de localisation des échantillons du MRNQ. La légende géologique est la même que celle de la figure 1.2.

### **1.3 Méthodologie**

Les travaux de terrain ont été réalisés entre les mois de juin et d'octobre 2000 et 2001, dans le cadre de levés de terrain conduits par les Drs. L. Corriveau et L. Nadeau, de la Commission géologique du Canada dans le cadre du programme d'Initiatives géoscientifiques ciblées de Ressources naturelles Canada. Les échantillons sélectionnés pour les études pétrographiques et géochimiques ont été préparés au laboratoire de l'INRS-ETE à Québec. Les méthodes et les procédures analytiques utilisées lors de la cueillette des échantillons et de leurs analyses géochimiques sont décrites en détail au Chapitre 3. Un groupe de 96 échantillons a été sélectionné pour fin de caractérisation géochimique des roches métagabbroïques. Parmi ce groupe, 50 échantillons proviennent de la région de Havre-Saint-Pierre - Natashquan, 19 du secteur du lac Musquaro et 27 du secteur de La Romaine. De plus, 13 échantillons ont été analysés pour les traceurs isotopiques samarium (Sm) - néodyme (Nd) au laboratoire du Dr. A. Dickin de l'Université McMaster. Tous ces échantillons ont fait l'objet d'une étude pétrographique détaillée. Nous avons eu recours à la méthode de coloration au cobaltinitrite sur certaines lames minces pour distinguer les feldspath potassiques des plagioclases. Les diagrammes géochimiques ont été obtenus à l'aide du logiciel MINPET 2.02.

### **1.4 Travaux antérieurs**

La région de la Moyenne-Côte-Nord a fait l'objet de plusieurs levés géologiques depuis le milieu du siècle dernier. Ces levés et les études réalisés au cours des deux dernières décennies sont au centre de l'ouvrage - *Synthèse géologique et métallogénique de la partie est de la Province de Grenville*, sous la coordination des Drs. Daniel Brisebois et Thomas Clark, en instance de publication par le Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs du Québec. Ce collectif comprend, entre autre, les synthèses de la géologie régionale de Gobeil et al. (2003) et de la géochronologie de Wodicka et al. (2003), dont il est fait abondamment mention dans ce mémoire. D'autre part, les travaux entrepris depuis l'an 2000, portant sur la géologie des secteurs du lac Musquaro et du village de La Romaine, font l'objet des rapports de Corriveau et Bonnet (2001), Corriveau et al., (2002), Bonnet et Corriveau (2003) et Corriveau et al., (2003). Finalement, la géochimie des roches métagabbroïques du domaine de Natashquan a été

brièvement discutée dans plusieurs études et rapports géologiques récents (Martignole et al., 1992 et 1994; Madore et al. 1997a et 1997b; Verpaelst et al., 1997a, 1997b, et 1998).

## **1.5 Cadre géologique**

La révision de la géologie de la Moyenne-Côte-Nord, réalisée au cours de la dernière décennie, qui est au centre de l'étude de synthèse régionale de Gobeil et al. (2003) et auquel nous référons les lecteurs pour l'obtention de comptes-rendus descriptifs détaillés, a notamment permis de situer avec précision, entre 1515 et 1485 Ma l'âge de mise en place de ces assemblages (Corriveau et al., 2003; Vodicka et al., 2003). Ces âges de formation du Groupe de Wakeham et de mise en place des plutons granitiques sont les plus anciens obtenus à ce jour. Ces nouvelles contraintes forcent une révision du cadre tectonique régional et la re-désignation de ces terrains à la Ceinture allochtone polycyclique plutôt qu'à l'Allochtone monocyclique (e.g., Rivers et al., 1989).

La région d'étude renferme plusieurs entités géologiques de grande envergure qui la singularise au sein de la Province géologique de Grenville (Fig. 1.2). Elle comprend d'ouest en est, entre les longitudes 64°00' et 60°30', le domaine de Saint-Jean et le domaine de Natasquan. Le domaine de Saint-Jean est dominé par la Suite anorthositique de Havre-Saint-Pierre (SAHSP). Le domaine de Natashquan se caractérise par la présence du Groupe de Wakeham, de la Suite mafique de la Robe-Noire et du Complexe d'Aguanish. Prenant appui sur l'étude de Gobeil et al. (2003), la présente présentation du cadre géologique régional se limite aux éléments essentiels ayant une incidence pour la compréhension des roches intrusives métagabbroïques du domaine de Natashquan.

### **1.5.1 Lithologies**

#### *1.5.1.1 Groupe de Wakeham*

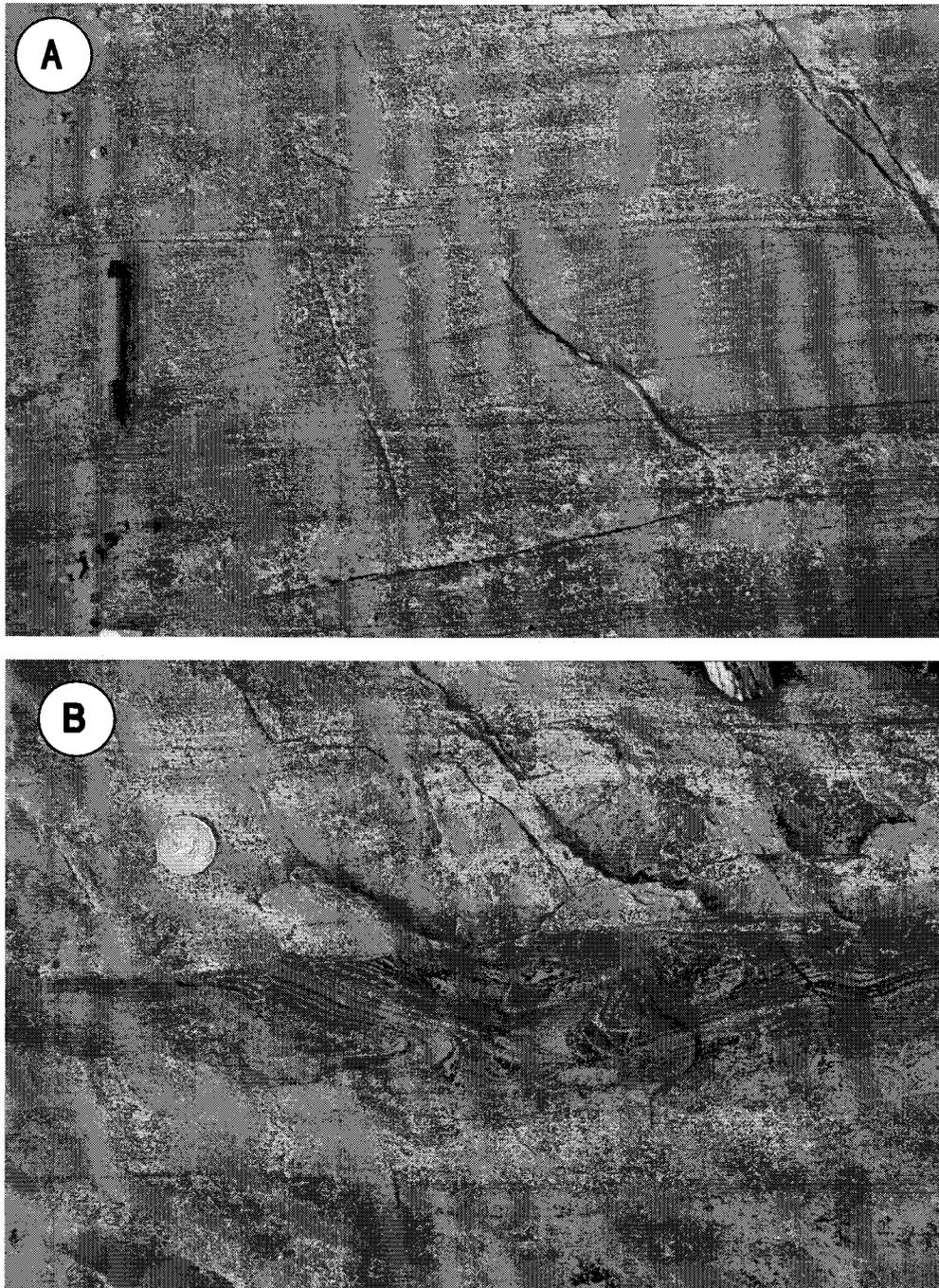
Le Groupe de Wakeham, dont l'âge maximal de sédimentation se situe à ca. 1,51 Ga, (Wodicka et al., 2003; Corriveau et al., 2003) est composé essentiellement d'une séquence de métasédiments terrigènes très matures, notamment l'arénite quartzitique / quartzite, et la subarkose feldspathique / méta-arkose. Ces roches sédimentaires présentent par endroit un degré remarquable de préservation de structures primaires

(laminations entrecroisées, slomping ; fig. 1.6a, b). Cette séquence renferme quelques intercalations de shale / métapelite, de carbonate / gneiss calcosilicaté, et de métaconglomérat. Elle renferme également une petite quantité de roches volcaniques pyroclastiques de composition felsique (rhyolite à rhyodacite), notamment dans la région du lac Musquaro et du village de La Romaine (Corriveau et Bonnet, 2001; Corriveau et al., 2002 et 2003). Quoique d'étendue modeste, la mise à jour de roches volcaniques de type lapilli felsiques qui comporte des fragments felsiques et mafiques suggère un volcanisme bimodal très significative pour la reconstruction du cadre paléotectonique de sédimentation. De plus, les travaux de Martignole et al. (1992) font mention de la présence possible de metabasaltes dans la partie nord du domaine de Natashquan. La confirmation éventuelle de l'occurrence de metabasalte au sein du Groupe de Wakeham prendra une signification tout à fait particulière puisqu'elle démontrera *de facto* l'existence d'une importante suite volcanique mafique ancienne, contemporaine à la sédimentation du Groupe de Wakeham.

Le Groupe de Wakeham est généralement interprété comme une séquence sédimentaire déposée dans un environnement tectonique stable de bassin subsident de faible profondeur et de grande énergie telle une mer épicontinentale, un bassin d'arrière arc continental ou encore en bordure d'une plate-forme continentale. Bien que la base stratigraphique du Groupe de Wakeham n'ait pas encore été mise à jour, il est généralement admis que cette séquence repose sur un socle d'âge labradorien formé entre 1,6 et 1,7 Ga en périphérie de la Laurentie. La présence de xénoctaux de zircons de 1,6 Ga parmi les roches volcaniques et plutoniques de la région appuient ces interprétations (Corriveau et al., 2003).

#### *1.5.1.2 Suite mafique de la Robe-Noire*

Le Groupe de Wakeham a été envahi par les métagabbros de la Suite mafique de la Robe-Noire (Verpaelst et al., 1998) qui sont au centre de la présente étude (Fig. 1.2). La région type de cette suite se situe dans le secteur des lacs Wakeham et Beetz. Ces roches constituent près de 50% de la synforme de Davy où elles affleurent en niveaux d'épaisseurs décamétriques à kilométriques formant des crêtes bien individualisées sur les



**Figure 1.6** Planche de photos. A) Laminations entrecroisées dans un quartzite dans le Groupe de Wakeham, station NKL-00-196. B) Exemple de slumping dans une quartzite du Groupe de Wakeham, station NKL-00-196.

Station	NTS	Estant*	Nordant*
NKL-00-196	12L07	519050	556950

\* NAD 83, UTM 20

photos aériennes. Elles forment, entre autre, une unité continue à l'échelle régionale de plusieurs (2 à 3) kilomètres d'épaisseur structurale dans le toit de la zone de cisaillement de Lac Caron, notamment dans le secteur du lac Gaudreault au nord du Complexe d'Aguanish (Fig. 1.2). Les métagabbros semblent cependant beaucoup moins abondants dans la demie est du domaine de Natashquan où les métasédiments du Groupe de Wakeham sont généralement beaucoup moins inclinés. Quoique les gabbros renferment généralement de 40 à 60% de plagioclase, des niveaux ultramafiques et des niveaux anorthositiques sont présents par endroit. Ces roches, qui sont variablement foliées, montrent généralement des textures et structures reliques ignées, notamment des textures sub-ophitiques et du litage igné modal et textural. Finalement, il est important de souligner que l'âge présumé d'intrusion de la Suite de Robe-Noire ca. 1177  $\pm$  5/-4 Ma repose sur une seule détermination qui provient d'un échantillon de métagabbro prélevé dans la partie nord de la synforme de Davy (Martignole et al., 1994).

#### *1.5.1.3 Suite mafique de Lillian*

Le terme Suite mafique de Lillian a été introduit par Madore et al. (1997b) pour désigner un essaim de dykes de gabbros métamorphisés et légèrement foliés affleurant au voisinage du lac Briend et du lac Le Doré, dans la partie nord-est du domaine de Natashquan (Fig. 1.2). Ces dykes sont orientés NE-SO dans la partie occidentale du feuillet du lac Briend et E-O dans sa partie orientale. Un bon nombre de ces dykes sont rectilignes et peuvent être tracés sur plusieurs kilomètres à l'aide de photos aériennes. Ces intrusions présentent donc un patron structural d'apparence beaucoup plus régulier que celui de la Suite mafique de la Robe-Noire, qui porte à croire qu'ils appartiennent à un essaim distinct et plus tardif par rapport à la déformation grenvillienne. Ces différences dans le style d'affleurement peuvent cependant refléter des styles de déformation différents entre la région type de la Suite de Lillian et celle d'affleurement principal du Groupe de Wakeham. Les similarités présentées par les signatures géochimiques de ces deux suites (Madore et al., 1997b ; Verpaelst et al., 1997a ; Lépine, 1998) tendent à supporter cette hypothèse. La présente étude ne comporte pas d'échantillons provenant de la région type de la Suite de Lillian. Cependant, comme nous

le verrons au chapitre 3, certains dykes rectilinéaires d'orientation générale NE-SO peuvent possiblement être associés à cette suite.

#### *1.5.1.4 Complexe d'Aguanish*

Le Complexe d'Aguanish désigne l'ensemble des terrains gneissiques à haut rang métamorphique qui s'étendent au sud et au sud-est de l'aire principale d'affleurements du Groupe de Wakeham (Gobeil et al., 2003; Fig. 1.2). Il constitue la trame gneissique des secteurs du lac Musquaro et du village de La Romaine (Corriveau et al., 2003). Ces terrains sont dominés par des gneiss et orthogneiss granitiques variablement migmatitiques. Ce complexe renferme également des écrans de paragneiss et de métasédiments dont certains sont apparentés aux métasédiments du Groupe de Wakeham. De plus, il présente de nombreux dykes et filons-couches de métagabbro invariablement déformés, boudinés et transposés suivant la fabrique gneissique dominante. Ces dykes boudinés sont généralement d'épaisseur métrique à décamétrique, répétés et formant des chapelets à travers les aires d'affleurements. Quoiqu'ils forment communément de 10 à 20% des affleurements, ils sont généralement trop petits pour être représentés sur les cartes géologiques. À certains endroits, ces roches montrent également des textures sub-ophitiques et des évidences nettes de litage modal et textural semblable à ceux observés dans les roches de la Suite mafique de la Robe-Noire. Les travaux antérieurs ne permettent pas d'associer ces roches mafiques aux suites de Robe-Noire ou de Lillian (Madore et al., 1997; Verpaelst et al., 1997a; Lépine, I., 1998). Finalement, trois dates de grande précision obtenues sur des orthogneiss granitiques par la méthode U/Pb sur zircons ignés indiquent que l'âge d'intrusion des granites les plus vieux de ce complexe se situe entre 1489 et 1501 Ma (Clark et Machado, 1995; van Breemen et Corriveau, 2001; Corriveau et al., 2003; Wodicka et al., 2003). D'autre part, en l'absence de détermination radiométrique directe, l'âge d'intrusion des dykes gabbroïques est contraint, d'une part, par celui des orthogneiss granitiques de l'encaissant (1,5 Ga) et, d'autre part, par celui de la déformation et du métamorphisme régional à 1,03-1,02 Ga (van Breemen et Corriveau, 2001; Corriveau et al., 2003; Wodicka et al., 2003).

#### *1.5.1.5 Suite anorthositique de Havre-Saint-Pierre*

La Suite anorthositique de Havre-Saint-Pierre (SAHSP) couvre le spectre anorthosite-leuconorite-norite-leucogabbro-mangérite. L'anorthosite représente le faciès le plus commun (Gobeil et al., 2003). Cette suite, qui constitue l'élément distinctif du domaine de Saint-Jean, couvre une superficie de plus de 20 000 km<sup>2</sup>. Les âges U/Pb sur zircons ignés indiquent une mise en place en deux phases, la plus ancienne précède la mise en place d'une masse de mangérite datée à ca. 1126 +7/-6 Ma (Emslie et Hunt, 1990) et la seconde datée à ca. 1062 ± 4 Ma est marquée par l'intrusion d'une masse d'anorthosite avec des phases pegmatitiques (van Breemen et Higgins, 1993). Rappelons que la mise en place des complexes AMCG (Anorthosite-mangérite-charnokite-granite) de cette envergure requiert l'apport de grands volumes de magmas gabbroïques du manteau ainsi que la production de magmas granitiques par fusion de la base de la croûte continentale (Emslie et Hunt, 1990). Dans ce contexte, il est important de noter que les contraintes géochronologiques actuelles indiquent que les premières intrusions de la SAHSP suivent tout au plus de quelques dizaines de millions d'années l'âge présumé de mise en place de la Suite mafique de la Robe-Noire.

#### **1.5.2 Cadre structural**

D'un point de vue structural, le domaine de Natashquan se distingue notamment par la présence de la synforme de Davy, une structure fermée d'envergure régionale, de plus de 50 par 125 km, qui constitue l'aire d'affleurement principal de l'assemblage des métasédiments du Groupe de Wakeham et du métagabbro de la Suite mafique de la Robe-Noire. Cette structure, vraisemblablement d'âge grenvillien, s'est développée après la mise en place des filons-couches et des dykes de gabbro. Le flanc O-NO de la synforme de Davy est interrompu par les intrusions granitiques du Complexe de Buit (Gobeil et al., 2003) qui démembrant et incorporent des écrans de tailles métriques à pluri-kilométriques de métasédiments du Groupe de Wakeham. À l'ouest et au nord-ouest, le Complexe de Buit et, par le fait même, le domaine de Natashquan sont en contact de faille avec la SAHSP via les zones de cisaillement de l'Abbé-Huard et de Romaine (Fig. 1.2). Les données structurales fragmentaires relevées le long de ces zones laissent entrevoir une

histoire cinématique complexe ayant fait intervenir des mouvements en chevauchement, en extension et en décrochement senestre (Gobeil et al., 2003).

La synforme de Davy s'appuie au nord-est sur une antiforme évasée d'envergure comparable, mais à faible plongée vers le nord. Cette structure sépare en deux l'aire principale d'affleurement du Groupe de Wakeham. À l'est, par contraste avec la synforme de Davy, les plis de grande envergure sont très ouverts et les métasédiments sont généralement nettement moins inclinés. Ce changement de style structural correspond également à une diminution marquée dans l'abondance des intrusions de métagabbro. Notons cependant que cette diminution dans l'abondance des roches de la Suite mafique de la Robe-Noire n'est peut être que le reflet du niveau actuel d'érosion, de grandes intrusions mafiques pouvant être présentes en profondeur. Cette hypothèse est supportée par des anomalies magnétique et gravimétriques positives sous les sédiments du Groupe de Wakeham (Verpaelst et al., 1997a).

D'autre part, le long de sa trace axiale au sud du Groupe de Wakeham, le coeur de cette antiforme régionale met à jour les dômes gneissiques du Complexe d'Aguanish dont le contact ouest avec la synforme de Davy correspond à la zone de cisaillement de Lac Caron (Fig. 1.2). Ces structures font l'objet du mémoire de maîtrise de Gervais (2003). La trace cartographique du flanc est de cette structure, le long de la rivière Aguanus, est cependant nettement moins bien définie. Quant à elle, la zone de cisaillement de Lac Caron montre de nombreuses évidences de réactivation tardive focalisée et en faille normale au faciès des schistes verts. Le sens de cisaillement précoce associé au pic métamorphique de faciès amphibolite demeure à être précisé.

### **1.5.3 Métamorphisme régional**

Tel que mentionné plus haut, les métasédiments du Groupe de Wakeham se distinguent notamment par un degré remarquable de préservation des structures sédimentaires. Ce degré de préservation est attribuable, d'une part, à une empreinte métamorphique localement nettement moins sévère que celle des complexes gneissiques avoisinants et, d'autre part, de la nature plus réfractaire de certaines lithologies tel que l'arénite

quartzitique et le conglomérat. En effet, des secteurs discontinus au faciès des schistes verts ont été documentés dans la partie centrale de l'aire d'affleurement principal du Groupe de Wakeham, donnant lieu par endroit à un gradient métamorphique croissant vers les complexes de bordures métamorphisés au faciès supérieur des amphibolites (Camion, 1991; Indares et Martignole, 1993; Madore et al., 1997b; Verpaelst et al., 1998). De plus, le grade métamorphique augmente également dans la partie sud-est du domaine de Natashquan, dans les secteurs du lac Musquaro et de La Romaine (Fig. 1.2), conduisant à l'apparition locale de roches au faciès des granulites (Corriveau et al., 2002; Bonnet et Corriveau, 2003).

Dans le secteur côtier, entre Havre-Saint-Pierre et Natashquan, le métamorphisme régional est au faciès moyen des amphibolites. Le métagabbro est complètement amphibolitisé, tel que souligné par l'assemblage pour l'essentiel hornblende - plagioclase qui s'accompagne de quantités accessoires de quartz et de biotite, en l'absence d'actinote, de clinopyroxène et de grenat. Le développement d'anthophyllite et de chlorite rétro-morphique est focalisé le long de zones de cisaillement tardi- ou post-tectonique d'épaisseurs sub-décimétriques. La muscovite, la fibrolite et le grenat sont répandus dans les métasédiments qui renferment localement de la staurolite et de la cordiérite. Les métasédiments du secteur du lac Musquaro sont au faciès des amphibolites. Les roches mafiques présentent l'assemblage métamorphique hornblende - plagioclase avec des quantités accessoires de quartz et de biotite. Certaines amphibolites contiennent localement du grenat dont la distribution est attribuable au lessivage hydrothermal des alcalis (Corriveau et Bonnet, 2001). D'autre part, tandis que les orthogneiss du secteur du village de La Romaine sont au faciès moyen des amphibolites, les métasédiments présentent des assemblages diagnostiques du faciès des granulites (leucosomes à grenat - cordiérite) (Bonnet et Corriveau, 2003). Cette dualité métamorphique est également enregistrée par les unités mafiques. En effet, celles qui sont en contact avec les métasédiments renferment de l'orthopyroxène (leucosomes *in situ* à opx), tandis que celles associées aux autres types lithologiques en sont dépourvues. Dans ce secteur, tout comme dans celui du lac Musquaro, le grenat dans les roches mafiques semble essentiellement contrôlé par la composition locale de la roche suite à l'altération

hydrothermale. Finalement, l'absence généralisée de grenat dans les roches métagabbroïques de composition normale de la région d'étude indique des pressions métamorphiques  $< 7-8$  kbars, ce qui correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat en l'absence de pyroxène dans ce type de roche (Wyllie et Wolf, 1993 ; Bucher et Frey, 1994). De plus, à l'exception des niveaux minces de rétro-morphisme focalisés le long de zones de faille tardi- ou post-tectonique, les roches mafiques examinées au cours de la présente étude ne montrent pas d'évidence de surcroissance de minéraux métamorphiques attribuable à un métamorphisme régional de type polyphasé.

## Chapitre 2

### Relations de terrain et pétrographie

#### 2.1 Empreintes métamorphiques et nomenclature

Les roches métagabbroïques qui sont au coeur de la présente étude ont été initialement mises en place sous formes de dykes, de filons-couches ou de petites masses intrusives, et reprises par le métamorphisme régional grenvillien. Soulignons qu'aucune évidence diagnostique de la présence de roches volcaniques mafiques n'a été mise à jour au cours de nos travaux. Les équivalents non métamorphiques sont essentiellement le gabbro et la diabase qui, d'un point de vue pétrographique, se distinguent l'un de l'autre essentiellement par leur granulométrie, la diabase pouvant également être nommée microgabbro. Ainsi, nous utiliserons le terme métagabbro pour décrire collectivement les roches à l'étude, indépendamment de leur granulométrie initiale.

D'autre part, ces roches sont invariablement et largement recristallisées et déformées à des degrés variables. L'amphibolitisation est pénétrante et généralement complète. Des bâtonnets dispersés et partiellement recristallisés de plagioclase constituent les témoins les plus répandus de la minéralogie ignée. De plus, le clinopyroxène est rare et d'incidence locale. Quoique variablement préservées, les textures et structures ignées reliques sont cependant largement répandues dans le métagabbro, leur degré de préservation étant directement lié à la taille des corps intrusifs et à leur proximité des zones de cisaillement ductile. L'oblitération complète des textures et structures ignées, sous l'effet combiné de la déformation et du métamorphisme régional, est toutefois commune donnant lieu à de l'amphibolite (Fig. 2.2b, c), i.e. une roche à hornblende-plagioclase montrant une foliation ou une linéation prononcées. Ainsi, pour assurer la clarté de cette présentation, nous utiliserons le terme métagabbro pour décrire les roches qui retiennent des éléments texturaux diagnostiques de la nature plutonique du protolithe, et le terme amphibolite pour décrire leurs équivalents métamorphiques dépourvus de tels éléments.

## **2.2 Textures et structures ignées reliques**

Tel que mentionné ci-haut, et indépendamment du fait que les gabbros soient intrusifs dans le Groupe de Wakeham ou dans le complexe d'Aguanish, le degré de préservation des structures primaires est en relation étroite avec la taille des corps étudiés. Une épaisse carapace d'amphibolite bien foliée est invariablement développée le long des contacts avec l'encaissant masquant ainsi de possibles textures de trempe (Fig. 2.1c). De telles textures ont cependant été reconnues à quelques endroits le long des contacts de dykes de diabase recoupant le gabbro. Ces structures sont importantes puisqu'elles témoignent d'une mise en place par injection multiple (Fig. 2.1). La comparaison de quelques paires d'analyses provenant de ces dykes et de leurs encaissants n'a cependant pas révélé de différence compositionnelle significative.

D'autre part, les textures ignées reliques de type granulaire, donnant un aspect moucheté et ophitique ou subophitique, marquées par des oïkocrysts (de horblende) de 2 à 5 cm de diamètre (Fig.2.1b, f, h), sont communes dans les corps de métagabbro d'épaisseur décimétrique, incluant certains dykes boudinés du Complexe d'Aguanish. Quoique présentant des textures granoblastiques à grains fins, la granulométrie ignée des précurseurs apparaît comme étant généralement à grain moyen ou moyen à grossier et des lentilles pegmatitiques étant d'occurrence sporadique (Fig.2.1g). De même, le litage magmatique modal et / ou textural d'épaisseur décimétrique à sub-métrique (Fig. 2.1a, e) est bien développé à de nombreux endroits dans la synforme de Davy et, quoique d'incidence rare, un tel litage a également été reconnu dans les dykes boudinés du Complexe d'Aguanish à quelques localités.

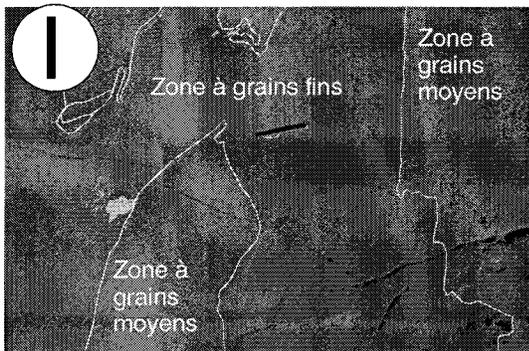
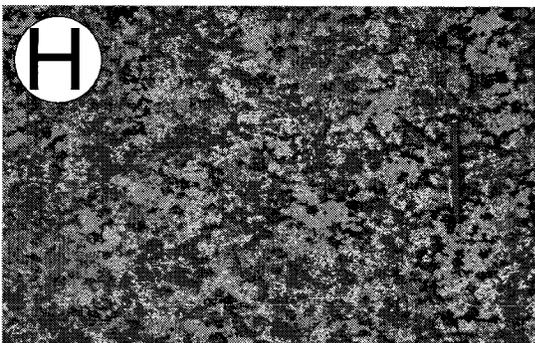
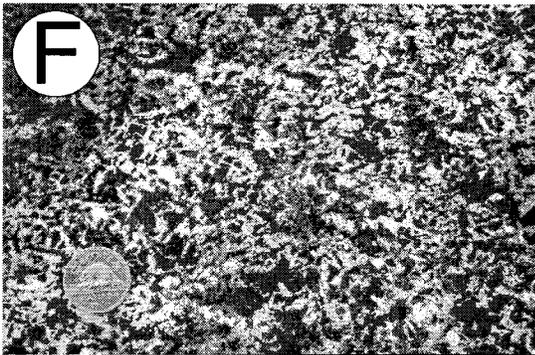
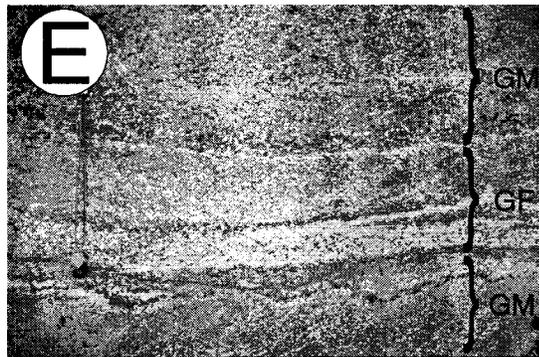
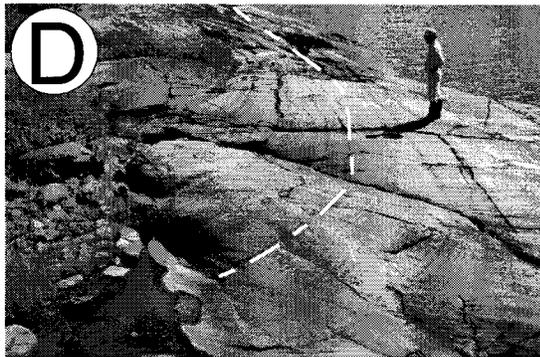
## **2.3 Minéraux ignés reliques et assemblages métamorphiques**

Les roches métagabbroïques de la région d'étude contiennent généralement entre 40 et 60% de minéraux mafiques. Le plagioclase et, plus rarement, le clinopyroxène constituent les minéraux ignés reliques les plus répandus. L'olivine et l'orthopyroxène n'ont pas été reconnus dans la région d'étude, quoiqu'ils ont été signalés dans quelques études antérieures, notamment celles couvrant la partie nord de la synforme de Davy. Le

**Figure 2.1** Planche de photos. A) Litage compositionnel dans un métagabbro, station NKL-02-776. B) Texture subophitique à oïkocrysts dans un métagabbro, station NKL-02-761. C) Relation entre différentes phases d'amphibolites, station NKL-02-471. D) Litage magmatique d'un métagabbro dans un nez de plis, station NKL-02-776. E) Litage magmatique dans un métagabbro, alternance entre les niveaux à grains fins et les niveaux à grains moyens, station NKL-00-203. F) Texture subophitique d'un métagabbro. La présence de bâtonnets de plagioclases recristallisés est remarquable, station NKL-00-203. G) Présence d'une poche pegmatitique dans un métagabbro, station NKL-02-203-. H) Texture mouchetée typique d'un métagabbro, station NKG-01-76. I) Relation entre différentes phases d'amphibolites, zone probable de mélange de magma, station NKG-01-46.

Station	NTS	Estant*	Nordant*
NKL-02-776	12L06	498839	5573040
NKL-02-761	12L07	501400	5572850
NKL-00-471	12L07	520879	5568098
NKL-00-203	12L07	500533	5573502
NKG-01-76	12L07	521259	5574253
NKL-01-46	12L08	549415	5566951

\* NAD 83, UTM 20



gabbro renferme localement des niveaux discontinus d'épaisseur métrique de roches ultramafiques ou anorthositiques, ces dernières formant parfois des poches à texture pegmatitique. Ces faciès ne sont cependant pas cartographiables comme unités distinctes dans la région d'étude.

L'examen des lames minces a révélé que la hornblende vert olive est l'amphibole la plus commune. L'anthophyllite est également présente à quelques localités de la synforme de Davy en association avec des pegmatites ou des zones focalisées de cisaillement tardifs où son développement est lié à la circulation de fluides. La hornblende se présente sous deux habitus dans plusieurs échantillons de métagabbro. Le premier en cristaux xénomorphes, poeciloblastiques à texture de symplectite, de tailles comparables ou plus grandes que les fantômes de bâtonnet de plagioclase et le deuxième en cristaux nettement plus petits, automorphes et d'apparences interstitiels en association avec des quantités moindres de biotite et de quartz, et a des traces d'apatite, de pyrite, de titanite ou parfois même de zircon. Tandis que le premier habitus résulte du remplacement métamorphique pseudomorphique du pyroxène, le second découle vraisemblablement de la présence de hornblende ignée interstitielle. Compte tenu de l'étendue de l'amphibolitisation, l'assemblage minéralogique igné primaire est toutefois difficile à retracer notamment dans l'amphibolite et les particularités minéralogiques d'incidence locale, telles que la présence d'olivine et d'orthopyroxène, sont généralement oblitérées. Toutefois, nos observations pétrographiques et de terrain suggèrent que l'assemblage minéralogique igné le plus commun semble avoir été constitué pour l'essentiel du plagioclase et du clinopyroxène. On y retrouve, distribué dans les espaces interstitiels, tout au plus quelques pourcents de hornblende et de biotite, et des traces de quartz, d'apatite, de pyrite, et de titanite ou de zircon. Finalement, il est important de mentionner qu'il n'y a aucune différence pétrographique notable entre les échantillons de métagabbro et d'amphibolite prélevés de part et d'autre de la région d'étude. Notons également que les termes plus primitifs (qui ont une plus forte abondance en MgO) de la Suite mafique de la Robe-Noire ont sensiblement les mêmes caractéristiques que les termes plus évolués (qui présente une abondance plus faible en MgO). Toutefois, la présence de minéraux

accessoires semble plus faible dans les termes plus primitifs. À noter que plus d'échantillons provient de roches à texture sub-ophitique à oïkocrysts.

Notons cependant, que du point de vue métamorphique, la paragenèse plagioclase - hornblende +/- biotite en présence de quartz, et en l'absence de chlorite, d'actinolite, de grenat et de pyroxène, est caractéristique de tous les échantillons étudiés. Cet assemblage est diagnostique du métamorphisme régional au faciès des amphibolites et, en l'absence de grenat, de pressions < 7-8 kbars (Wyllie et Wolf, 1993; Bucher et Frey, 1994). La chlorite apparaît par endroit comme minéral d'altération de la biotite ou localisée dans des zones de failles tardives à forte circulation de fluide comme celles localisées dans la zone de cisaillement du lac Caron.

#### **2.4 Mode d'intrusion**

Les roches métagabbroïques de la région d'étude affleurent suivant deux modes contrastants qui, au premier abord, peuvent signaler des origines divergentes (Fig. 1.2). Rappelons que les métagabbros de la Suite de Robe-Noire se présentent sous forme de filons-couches et de dykes d'épaisseurs décamétriques à kilométriques, intercalés dans la séquence sédimentaire du Groupe de Wakeham (Fig 1.2). Ces roches forment près du tiers des unités de la synforme de Davy où certains corps atteignent plusieurs kilomètres d'épaisseur et peuvent être suivis de manière continue sur des dizaines de kilomètres le long du grain structural. Par contre, les roches métagabbroïques du Complexe d'Aguanish, qu'elles soient situées entre la zone de cisaillement du lac Caron et Natashquan ou dans les secteurs du lac Musquaro ou de La Romaine, se présentent généralement sous forme de dykes boudinés d'épaisseurs métriques à décamétriques. Ces dykes, qui constituent communément de 10 à 20% des aires d'affleurement, forment des trains de boudins répétés, sub-parallèles les uns aux autres, pouvant être suivis tout au plus sur quelques centaines de mètres, et définissant parfois des plis ouverts. D'autre part, par contraste avec l'abondance et la taille des intrusions de la Suite mafique de la Robe-Noire dans le Groupe de Wakeham, le Complexe d'Aguanish ne renferme que quelques petites masses de gabbro de taille cartographiable (Fig. 1.2).

De plus, deux patrons de dykes ont été reconnus dans le secteur du lac Musquaro. L'un, présumément plus ancien, est marqué par des dykes boudinés présentant tous les traits morphologiques décrits ci-haut. Le second patron est marqué par un groupe de dykes d'apparence plus continue et rectiligne, de direction NE-SO à E-O, qui rappelle le patron des dykes de la Suite de Lillian définies plus au nord par Verpaelst (1997a). Ces dykes présentent une foliation tectono-métamorphique conforme à leur orientation, qui est parfois fortement discordante par rapport au grain structural régional. Cependant, il est important de noter que la foliation régionale de l'éponte immédiate de ces dykes est communément entraînée et transposée parallèlement aux contacts, éliminant ainsi toute discordance structurale aux abords immédiats des dykes. Cette relation peut également être reconnue localement à plus petite échelle sur les photos aériennes et les images satellites. Ces observations soulèvent donc la possibilité que les différences entre les patrons soient d'origine structurale, plutôt que de signaler l'intrusion de deux essais distincts. En effet, ces patrons peuvent refléter les différences dans les orientations initiales des dykes par rapport au champ des contraintes régionales de déformation. Cette hypothèse est appuyée par notre étude pétrographique et géochimique, puisque celles-ci n'ont pas permis de mettre en lumière de traits distinctifs entre ces deux groupes.

### **2.5 Zones de mylonite et d'altération hydrothermale**

Les métagabbros de la région d'étude présentent de nombreuses évidences de déformations hétérogènes, parfois accompagnées d'altération hydrothermale importante. Quelques zones d'affleurements montrent le passage progressif et continu d'un métagabbro essentiellement non déformé vers une ultra-mylonite. Cette transformation peut s'opérer à l'échelle d'un à deux mètres ou sur un intervalle de plus de 10 mètres, selon l'endroit. Les évidences de ce processus de déformation continue sont nombreuses. Au stade précoce, la déformation progressive du métagabbro conduit à son démembrement partiel et à l'isolement de boudins suite au développement d'un réseau de cisaillements anastomosés. La forme des boudins varie d'arrondie à losangique et leur taille est généralement centimétrique à sub-métrique. Ils préservent partiellement la texture originale du métagabbro. Ils sont séparés les uns des autres par une matrice d'amphibolite hétérogène à granulométrie fine. Ces roches prennent alors un aspect

fragmentaire pouvant être confondu avec celui de certaines roches volcaniques. À un stade plus avancé, la déformation conduit à une réduction progressive de la taille des fragments et à l'augmentation de la quantité de matrice amphibolitique pour culminer dans la production d'une mylonite.

Ces zones de déformation hétérogène peuvent également être le siège d'une forte altération hydrothermale telle qu'illustré à la figure 2.2c, d, e, f, h). Cette dernière se manifeste par le développement de poches de tailles décimétriques à sub-métriques riches en épidote et calcite. Ces poches sont dispersées dans une matrice d'amphibolite renfermant également des boudins de métagabbro. La présence de zones d'altérations dans les niveaux de métagabbro déformé s'explique par la circulation de fluides hydrothermaux dans les réseaux de cisaillement anastomosé. L'association spatiale étroite suggère que l'influx de fluide est associé à la mise en place des pegmatites. Le fluide réagit préférentiellement avec le plagioclase des roches boudinées pour favoriser le développement d'épidote. Dans un contexte de déformation continue, l'interaction continue entre le fluide et les roches boudinées conduisent à la formation de poches et de nodules d'épidote dans une matrice amphibolique recristallisée et à grains fins, ne préservant aucune texture pouvant aider à retrouver l'origine du protolithe (fig. 2.2c, d, e, f, h,).

## **2.6 Imbrication structurale**

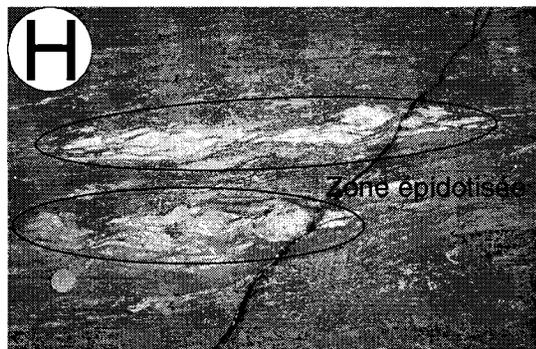
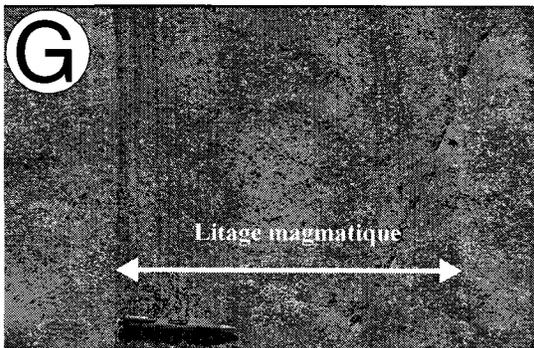
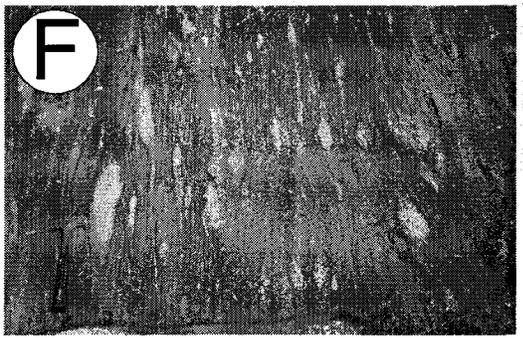
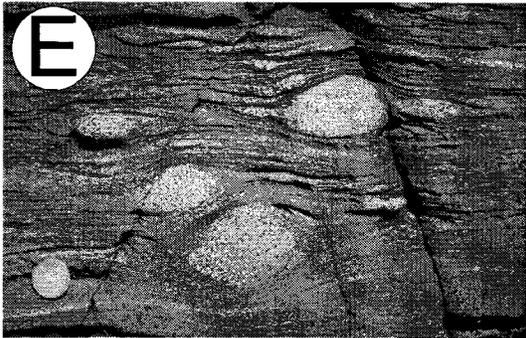
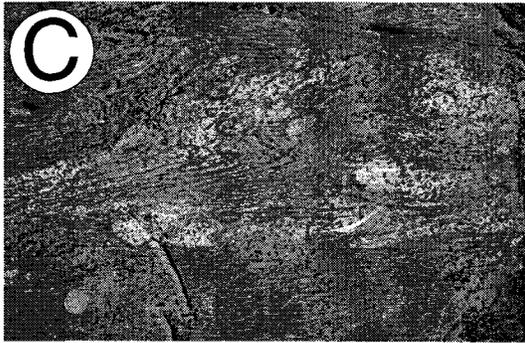
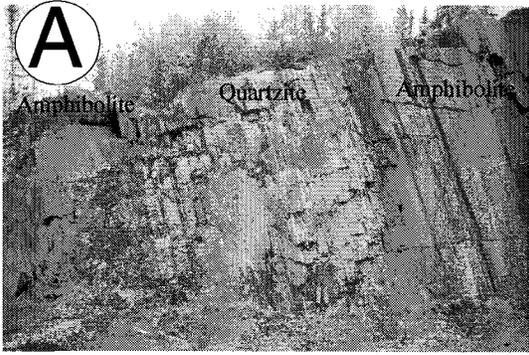
La déformation régionale est par endroit responsable de la juxtaposition de niveaux distincts d'amphibolites. Un affleurement, localisé près de l'embouchure de la rivière Watshishou (NKL-02-863, 521169E; 5568844N et NKL-01-512, 519038E; 558619N 5572577N, NAD 83), expose un banc de conglomérat d'environ trois mètres d'épaisseur encaissé entre deux niveaux d'amphibolites. Le conglomérat est fortement étiré. Sur une distance d'environ 75 mètres, on observe une diminution progressive de l'épaisseur du conglomérat suivi du développement d'une zone de pincement caractérisée par un mince biseau de conglomérat aux contacts intensément cisailés. Ultiment, le conglomérat disparaît faisant place à une faille cryptique contenant, ça et là, des fragments étirés d'ordre centimétrique. Les deux niveaux distincts d'amphibolites sont ainsi juxtaposés et

mis en contact sur une centaine de mètres. De telles relations ont été observées à trois endroits entre Baie-Johan-Beetz et la zone de cisaillement du lac Caron.

**Figure 2.2** Planche de photos A) Section typique du Groupe de Wakeham, alternance de niveaux de quartzite et d'amphibolite, station NKL-00-181. B) Exemple d'un dyke d'amphibolite à l'intérieur d'un orthogneiss granitique du Complexe d'Aganish, station CQA-01-451. C-D-E-F). Illustration des étapes de déformation d'un métagabbro lors d'un processus de mylonitisation. Durant ce processus, des fragments de métagabbro sont isolés les uns des autres par une matrice à grains très fins (mylonite) pour former un réseau de losanges gabbroïques dans une matrice plus ou moins anastomosée. Photo C-D-F station NLK-01-510, photo E, station NKL-01-494. G) Exemple de litage magmatique dans un métagabbro, station NKL-00-210. H) Exemple de poches épidotisées dans les métagabbros, avec l'altération de la texture mouchetée typique des losanges de métagabbros isolés qui s'estompe pour laisser la place à des poches d'épidotes station NKL-01-510.

Station	NTS	Estant*	Nordant*
NKL-01-181	12L07	526452	5570827
CQA-01-451	12K02	676770	5563599
NKL-01-510	12L07	519016	5568707
NKL-01-494	12L07	515975	5570927
NKL-00-210	12L01	569870	5563888

\* NAD 83, UTM 20



## **Chapitre 3**

### **Caractérisation géochimique**

#### **3.1 Nomenclature, échantillonnage et méthodes analytiques**

##### **3.1.1 Nomenclature**

Quatre-vingt-seize échantillons ont été sélectionnés pour analyse chimique sur la base de leur homogénéité minéralogique et texturale, de leur représentativité sur les aires d'affleurement et de leur distribution géographique (Fig. 1.2). Ces échantillons sont représentatifs de l'ensemble des roches mafiques observées dans la région d'étude. Ils sont subdivisés en quatre grands ensembles soit ceux de Robe-Noire (RN), Aguanish (Agh), Musquaro (Mus) et La Romaine (Rom). L'ensemble RN est représentatif des roches métagabbroïques prélevées dans la fosse de Davy, à l'ouest de la zone de cisaillement de Lac Caron. Les constituants de cette ensemble sont intercalés dans la séquence métasédimentaire du Groupe de Wakeham (Fig.1.3). L'ensemble Agh est représentatif des dykes de métagabbro amphibolitisé qui recoupent les orthogneiss granitiques du Complexe d'Aguanish, d'ouest en est, entre la zone de cisaillement de Lac Caron et le village de Natashquan. Finalement, les ensembles Mus et Rom regroupent les roches métagabbroïques amphibolitisées des secteurs du lac Musquaro et des environs du village de La Romaine (Fig. 1.4).

De plus, pour des raisons de commodité lors de l'analyse et du traitement des données, ces ensembles ont été subdivisés en sous-ensembles sur la base de traits géochimiques distinctifs. Par exemple, l'ensemble RN comprend trois sous-ensembles, soient RN-I, RN-II et RN-III.

##### **3.1.2 Stratégie d'échantillonnage**

Une attention toute particulière a été prise lors du prélèvement des échantillons de roches mafiques afin d'éliminer ceux montrant des signes mégascopiques d'altération, de remobilisation métamorphique ou de métasomatisme. La préférence a été accordée aux échantillons conservant des évidences de texture ignée relique, sans pour autant montrer

de litage magmatique (textures de cumulats). Un bon nombre d'échantillons présentait cependant des textures métamorphiques typiques des amphibolites.

Chaque échantillon est constitué de 1 à 3 kg de roches fraîches et leur taille des reflète la granulométrie initiale présumée du protolithe. Elle est approximativement de 1 kg pour les roches à grain fin et peut atteindre 3 kg pour les roches à grain grossier. Les échantillons ont été récoltés au marteau et cassés sur l'affleurement, en fragments d'environ cinq centimètres de diamètre. Durant cette étape, les fragments sont sélectionnés un à un et ceux montrant des traces d'altération superficielle et des veines ont été épurés au marteau. Les fragments ont ensuite été emballés dans un sac de plastique.

### **3.1.3 Broyage**

Le broyage a été réalisé au laboratoire de l'INRS-ETE. Un premier concassé grossier a été obtenu à l'aide d'un broyeur à mâchoires d'acier. Ce dernier a été nettoyé à la brosse de plastique, à l'air comprimé et à l'aspirateur entre chaque échantillon. Le concassé ainsi obtenu a été quarté pour s'assurer de l'homogénéité de la fraction retenue (~25 grammes) pour la pulvérisation subséquente. Cette dernière a été faite à l'aide d'un broyeur de type 'shatter box' en ferrochrome. Le temps de pulvérisation dans le 'shatter box' était d'environ deux minutes pour atteindre une granulométrie appropriée pour la dissolution chimique des échantillons. Notons que l'utilisation d'un pulvérisateur en ferrochrome peut entraîner une légère contamination des échantillons en chrome (Cr) et en fer (Fe) mais il a l'avantage de ne pas faire varier les teneurs en éléments des terres-rares (ÉTR) et en éléments à fort champ ionique (HFSE) comme le Nb, Ta, Zr et Hf.

### **3.1.4 Méthodes analytiques**

Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire de l'INRS-ETE. La digestion des poudres a été faite par la méthode de fusion alcaline (métaborate de lithium) suivie d'une dissolution dans une solution d'acide nitrique. Une fois en solution, les échantillons ont été analysés par spectrométrie d'émission atomique à source plasma (*Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry*, ICP-AES) pour les éléments majeurs (SiO<sub>2</sub>,

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>), certains métaux de transition (Sc, V, Cr, Ni) et le Ba, le Cu et le Sr. Par contre, la spectrométrie de masse à source plasma (*Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*, ICP-MS) a été utilisée pour analyser les ÉTR (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb et Lu) et pour le Zr, Hf, Y, Cs, Rb, Th, U, Nb et le Ta. Les appareils utilisés pour ces analyses sont : 1) l'appareil Fluxy de Claisse Scientific Inc. pour la fusion alcaline, 2) un spectromètre d'émission atomique Optima 3000 de Perkin Elmer pour les données d'ICP-AES, qui utilise un plasma inductif d'argon couplé à un détecteur radial multicanaux à émission atomique. 3) un spectromètre de type Instrument Turbo Plasmaquad II pour les données d'ICP-MS, qui utilise le principe de plasma d'argon couplé à un spectromètre de masse de type quadropolaire. Pour les analyses d'ICP-AES et d'ICP-MS l'alimentation des échantillons se fait par nébulisation en phase liquide.

### **3.2. Évaluation de la mobilité des éléments et validation des analyses**

La première étape de toute étude lithogéochimique consiste à évaluer le degré d'altération ou de la mobilité relative des éléments dans les roches échantillonnées. En effet, la composition chimique initiale d'une roche peut être affectée à des degrés variables par l'action d'un ou de plusieurs phénomènes dont le métamorphisme régional, l'hydrothermalisme et l'altération météorique.

#### **3.2.1 Site d'échantillonnage**

Tel qu'indiqué précédemment, une attention toute particulière a été portée au choix des sites de prélèvement afin de restreindre l'échantillonnage aux roches les plus homogènes, d'apparence fraîche, et ne présentant pas d'évidence d'altération hydrothermale ou de métasomatisme modal. Toutefois, notons que toutes les roches ont été affectées par un métamorphisme régional pénétrant au faciès amphibolitique qui s'est traduit par le remplacement du pyroxène par l'amphibole. De plus, les échantillons ont été prélevés à l'écart des zones fracturées, de veines et de dykes granitiques pouvant avoir affecté la composition primaire de la roche. Ainsi, notre stratégie d'échantillonnage visait la sélection d'échantillons présentant le plus faible potentiel de remobilisation des éléments à l'échelle pluri-centimétrique. Ainsi, les échantillons prélevés sont susceptibles de

représenter essentiellement des systèmes géochimiques fermés, sauf en ce qui concerne l'apport en eau qui a accompagné le processus d'amphibolitisation des roches mafiques. Il est cependant certain que des échanges ont eu lieu à l'échelle des minéraux lors du métamorphisme régional.

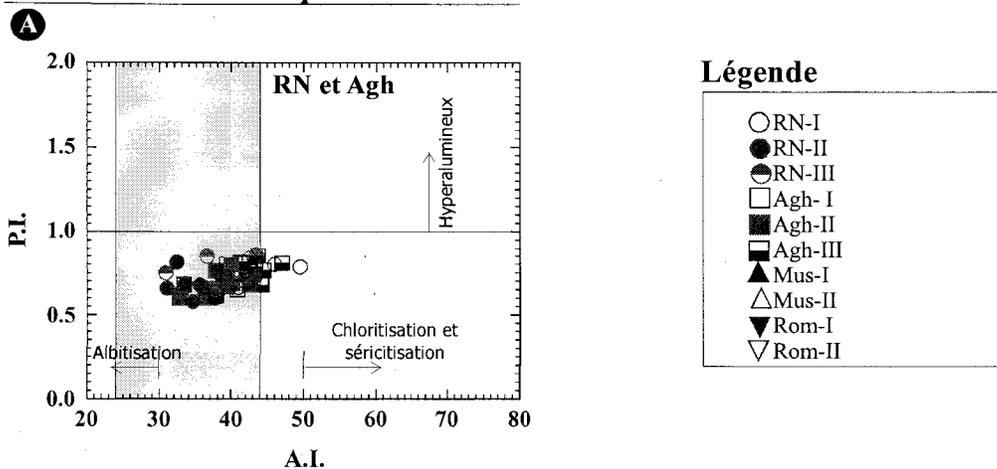
### 3.2.2 Changements de composition dues à l'altération et au métamorphisme régional

Les données géochimiques montrent des pertes au feu (PAF) qui varient de 0,1 à 2,9 % (Appendice A). De telles valeurs suggèrent que les roches ont subi très peu d'altération. Toutefois, la faible abondance en éléments volatiles peut également résulter de la déshydratation métamorphique des roches mafiques.

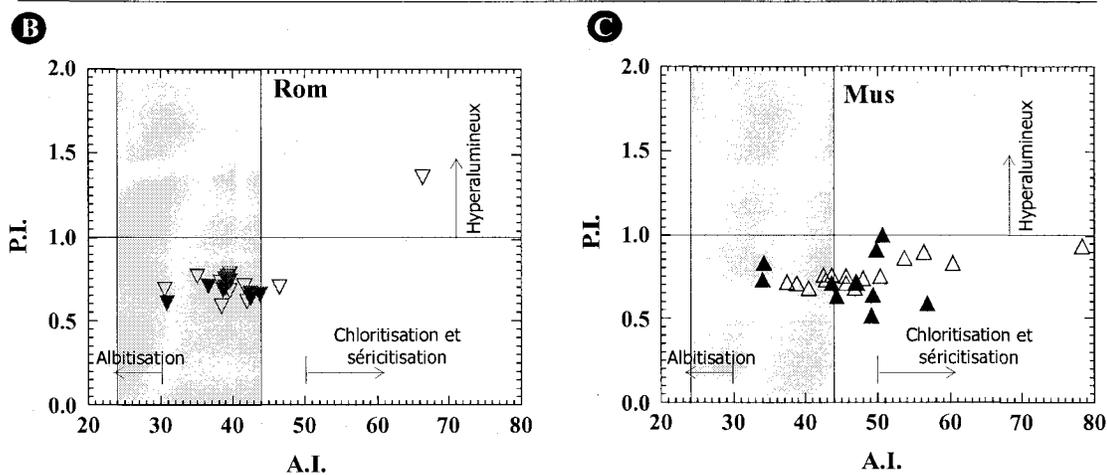
Les indices d'altération ( $A.I. = [MgO + K_2O / MgO + K_2O + CaO + Na_2O] \times 100$ ) et d'hyperaluminosité ( $P.I. = [Al_2O_3 \text{ mol} / (CaO \text{ mol} + Na_2O \text{ mol} + K_2O \text{ mol})]$ ) fournissent de bonnes indications sur l'intensité de l'altération ayant affecté les roches magmatiques (Fig. 3.1). Notons que la moyenne des valeurs de l'indice A.I. des basaltes de rides médio-océaniques (MORB) et des basaltes d'arc insulaire (VAB) non altérés sont respectivement de  $36 \pm 8$  et  $34 \pm 10$  (LaFlèche et al., 1991). Notons que la chloritisation et la séricitisation des roches mafiques conduisent à des valeurs de A.I.  $> 50$  tandis que l'albitisation cause une diminution de cet indice sous le seuil de 30. Dans le cas des roches mafiques (basaltiques), un indice de P.I.  $> 1$  indique un lessivage relatif des alcalis par rapport à l'alumine. Des valeurs élevées de l'indice de P.I. impliquent généralement un lessivage hydrothermal des alcalis. Parmi les six échantillons qui présentent des valeurs de A.I.  $> 51$ , cinq proviennent du secteur du lac Musquaro et un autre du secteur de La Romaine (Fig. 3.1b et c). Notons qu'un seul échantillon (CQA-01-538B) a donné une valeur de P.I.  $> 1$  (Fig. 3.1b). À priori, ces observations suggèrent que les échantillons des roches mafiques sélectionnés visuellement comme frais n'ont pas subi d'altération hydrothermale significative.

D'autre part, un métamorphisme régional de haut grade peut également entraîner une remobilisation de certains éléments, notamment des alcalis et des actinides, sans relation avec l'altération hydrothermale des roches supra-crustales (Kretz, 1994; Zaleski,

### Secteur HSP-Natashquan



### Secteur Musquaro-La Romaine



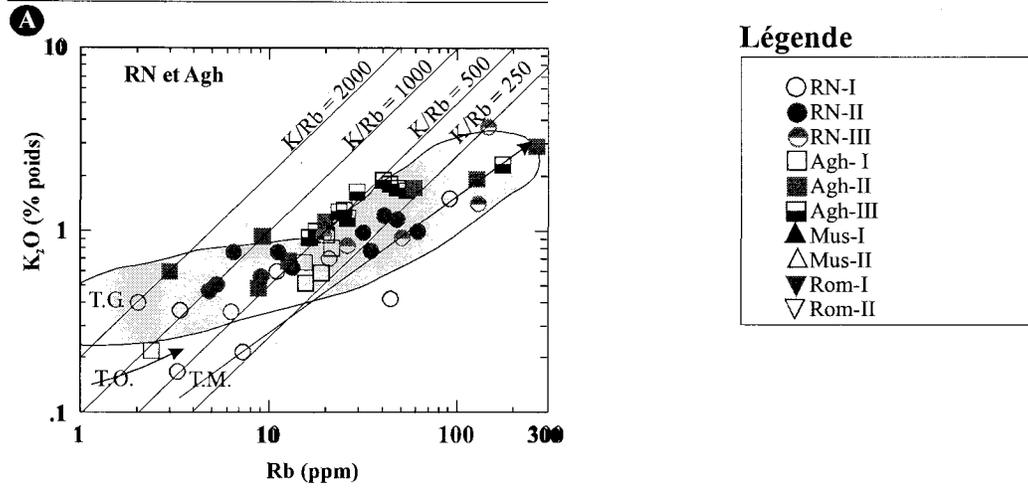
**Figure 3.1.** Diagrammes de l'indice d'hyperaluminosité (P.I.) en fonction de l'indice d'altération (A.I.). La zone ombragée représente le champ des roches mafiques d'arc et de rides médio-océaniques non altérées.  $A.I. = ((MgO + K_2O)/(MgO + K_2O + CaO + Na_2O)) * 100$ .  $P.I. = (Al_2O_3/101.96)/((Na_2O/61.98) + (CaO/56.1) + (K_2O/94.4))$ .

et Pattison, 1993). Durant le métamorphisme de haut grade, la mobilité des alcalis est largement contrôlée par la présence ou l'absence de minéraux riches en potassium, notamment la biotite et le feldspath potassique. De plus, la solubilité des actinides (U, Th) est principalement contrôlée par la présence et la stabilité de minéraux accessoires dont la titanite, le zircon et l'allanite. Plusieurs rapports d'éléments fortement incompatibles, dont les rapports Rb/Cs et Th/U qui ne sont pas fractionnés durant les processus ignés normaux des roches mafiques et ultramafiques (fusion partielle mantellique, cristallisation fractionnée), peuvent montrer un fort fractionnement relatif suite aux processus de déshydratation métamorphique associés à la formation des granulites. Ainsi, dans les roches granulitiques le rapport K/Rb est fréquemment plus élevé que dans leurs équivalents non métamorphiques (e.g., Rudnick et al., 1985; Blein et al., 2003). Finalement, il est important de souligner que les roches mafiques sont plus susceptibles de montrer des fractionnements des éléments alcalins et des actinides que les roches felsiques. Car les roches mafiques sont naturellement pauvres en minéraux potassiques et en minéraux accessoires comme le zircon.

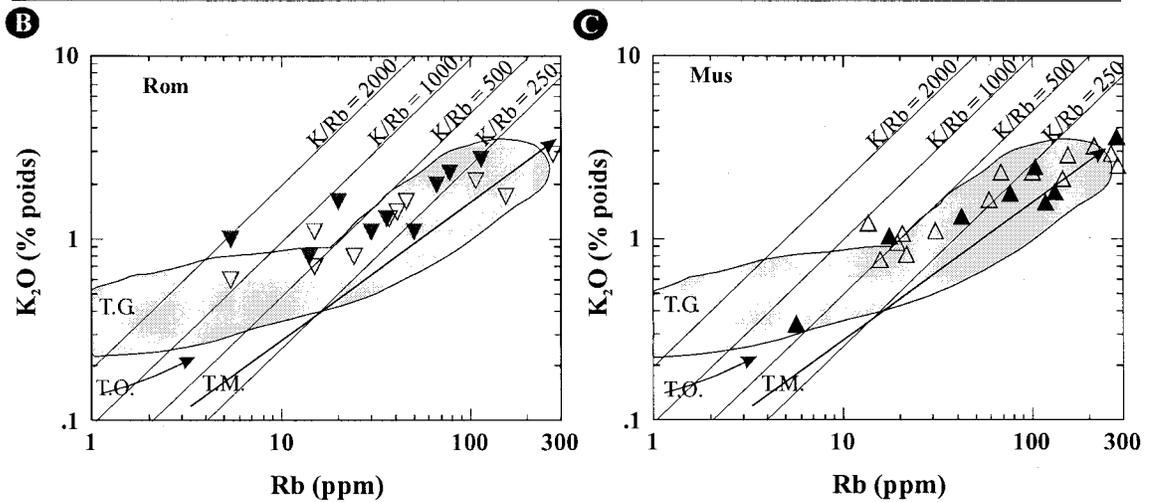
#### Mobilité des éléments alcalins et alcalino-terreux

La figure 3.2 présente un diagramme de  $K_2O$  en fonction du Rb. Dans le secteur Musquaro-La Romaine, les rapports K/Rb des échantillons des roches mafiques se situent essentiellement dans la fourchette entre 250 et 1000. Ces valeurs correspondent approximativement aux valeurs moyennes de 387 et de 1071, observées dans les basaltes d'îles océaniques (OIB) et dans ceux des rides médio-océaniques normales (N-MORB) (Sun et McDonough, 1989). Certaines roches du secteur Musquaro-La Romaine, caractérisées par de faibles abondances en  $K_2O < 1$  (% poids), montrent également un appauvrissement relatif en Rb. Ce découplage entre le K et le Rb rappelle le fractionnement observé dans les roches de métamorphisme élevé tel que les granulites (e.g., Rudnick et al., 1985). Cette tendance, également observée dans le secteur HSP-Natashquan (Fig. 3.2a), suggère que le rubidium (Rb) ait subi un lessivage partiel lors du métamorphisme régional.

### Secteur HSP-Natashquan



### Secteur Musquaro-La Romaine

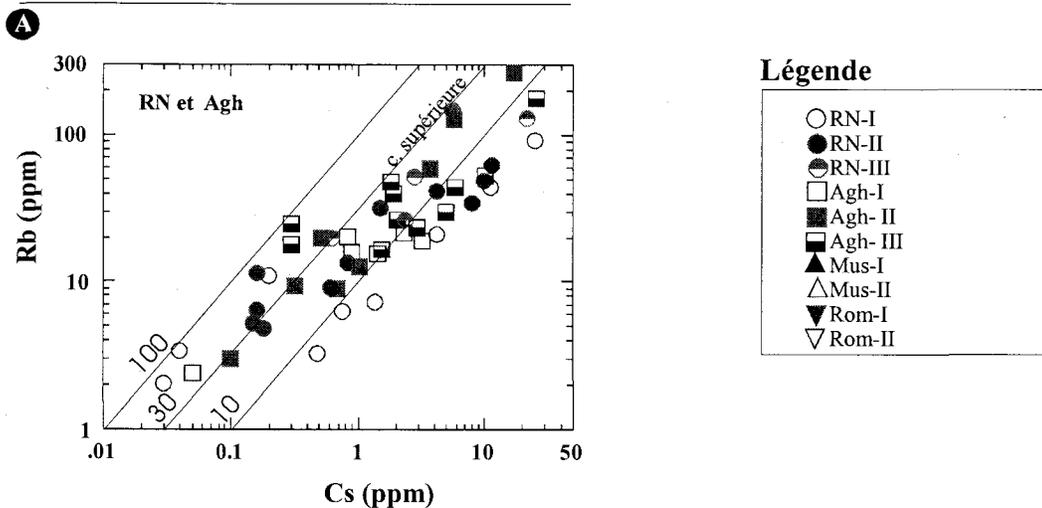


**Figure 3.2.** Diagrammes de  $K_2O$  en fonction du Rb. T.G.= tendance des granites, T.M.= tendance moyenne des granites et des basaltes continentaux, T.O.= tendance des basaltes tholéitiques océaniques (modifiée de Rudnick et al., 1985). Les roches du secteur HSP-Natashquan, avec des abondances en  $K_2O$  (% poids) inférieures à 1, présentent un enrichissement du rapport K/Rb ressemblant à celui observé dans les granulites. Les roches du secteur Musquaro-La Romaine montrent également cette tendance mais cette dernière est moins prononcée.

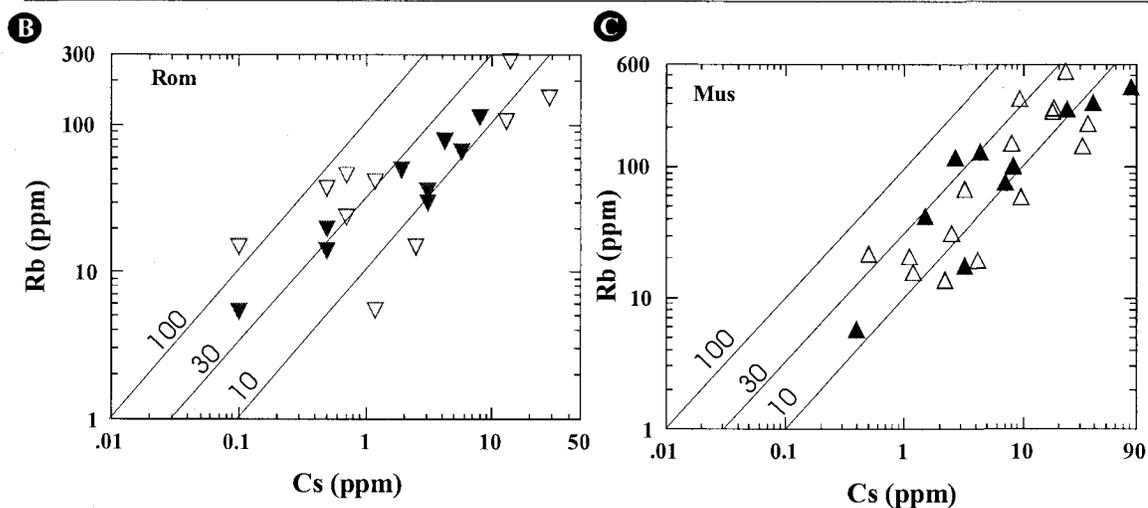
Dans la majorité des roches ignées mafiques, le Rb et le K sont des éléments qui ont le même comportement hygromagmatophile lors de la différenciation magmatique (Rudnick et al., 1985). Ce comportement se traduit par un rapport relativement constant lors du fractionnement magmatique (fusion partielle mantellique / cristallisation fractionnée). Une variation significative dans le rapport K/Rb suggère une plus grande mobilité de l'un par rapport à l'autre. Les roches pauvres en potassium ( $K_2O < 1\%$  poids) ont tendance, avant le métamorphisme, à incorporer cet élément dans les phases mafiques tel que la biotite. Notons à cet effet que notre étude pétrographique nous porte à croire que certains des échantillons peuvent renfermer des quantités accessoires de biotite primaire. Aux pressions et températures du faciès métamorphique des granulites, la biotite  $[K(Mg, Fe)_3(Al, Fe) SiO_3 O_{10} (OH, F)_2]$  et le quartz  $[SiO_2]$  vont produire l'orthopyroxène enstatite  $[Mg_2 Si_2O_6]$ , de la sanidine  $[KAlSi_3O_8]$  et de la vapeur d'eau. Parce que la biotite contient proportionnellement plus de Rb que le feldspath potassique, la réaction précédente aboutit à un accroissement du rapport K/Rb dans les roches granulitiques. Cette réaction suggère que le Rb est relativement appauvri par rapport au K durant le métamorphisme au faciès des granulites (Rudnick et al., 1985). D'autre part, les rapports Rb/Cs des roches analysées varient de 10 à 30 pour l'ensemble Mus et de 10 à 60 pour les autres ensembles (Fig. 3.3). Ces valeurs sont inférieures à la valeur moyenne de 80 suggérés pour les basaltes non métamorphisés de types N-MORB ou OIB (Sun et McDonough, 1989).

Ces observations suggèrent un appauvrissement relatif en Rb lors du métamorphisme de haut grade. Comme le Rb et le K sont des éléments géochimiquement couplés, un appauvrissement en Rb suggère un appauvrissement en K également, même si précédemment un léger découplage entre ces deux éléments a été décelé. En général, le Rb est plus facilement lessivé que le  $K_2O$  lors de la déshydratation métamorphique des roches. En effet, le K est un constituant majeur de plusieurs minéraux donc sa mobilité est plus faible que celle du Rb. Rappelons que plusieurs échantillons de la région du lac Musquaro montrent également un indice d'altération (A.I.) supérieur à 51 (Fig. 3.1) et des concentrations en  $Na_2O$  (% poids) inférieures à 2% qui suggèrent un léger lessivage du  $Na_2O$  (Fig. 3.11g).

### Secteur HSP-Natasquan



### Secteur Musquaro-La Romaine



**Figure 3.3.** Diagrammes de Rb en fonction de Cs. Notez que le rapport Rb/Cs est représenté aux valeurs de 10, 30 et 100 par les lignes diagonales. La valeur du rapport Rb/Cs pour la croûte supérieure est de 30 (Taylor et McLennan, 1985). Le rapport Rb/Cs moyen pour les OIB, les N-MORB et le manteau primitif est d'environ 80 (Sun et McDonough, 1989).

### Mobilité des actinides

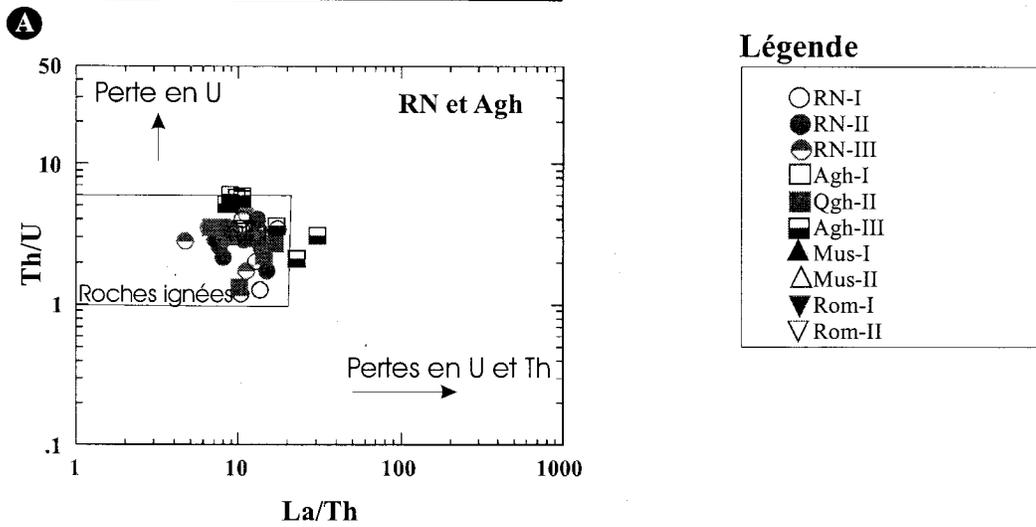
La figure 3.4 présente les variations du Th/U en fonction de La/Th. Le rapport Th/U, pour l'ensemble des échantillons, varie entre 1 et 7 ce qui représente la fourchette de valeur normalement observée pour les roches ignées (Rudnick et al., 1985). Par contre, quelques échantillons présentent un rapport La/Th supérieur à la valeur moyenne des N-MORB de 20,8 (Sun et McDonough, 1989). Ainsi, les roches du secteur HSP-Natashquan ne montrent pas d'évidence de lessivage en Th et U. D'autre part, le rapport La/Th pour les échantillons du secteur du secteur Musquaro-La Romaine suggère que certaines roches mafiques ont subi une perte en U et Th durant le métamorphisme régional. Soulignons que l'appauvrissement simultané en U et Th lors du métamorphisme prograde témoigne de la nature mafique des roches et donc de l'absence ou de la rareté des minéraux accessoires stables comme le zircon avant le métamorphisme. Durant l'amphibolitisation de la roche, le zircon peut se former et rester stable par après. À l'opposé, les granites ne montrent généralement pas ce type de fractionnement lors du métamorphisme prograde car ils sont riches en minéraux accessoires stables dès leur formation, minéraux qui restent généralement stables lors du métamorphisme à haute température et pression (Bigen et van Breeman, 1998).

Notre évaluation de la mobilité des alcalis et des actinides suggère donc que certains de ces éléments ont pu être remobilisés lors du le métamorphisme régional. Par conséquent, leurs utilisations pour caractériser géochimiquement les roches et l'interprétation pétrographique doit être faite avec prudence

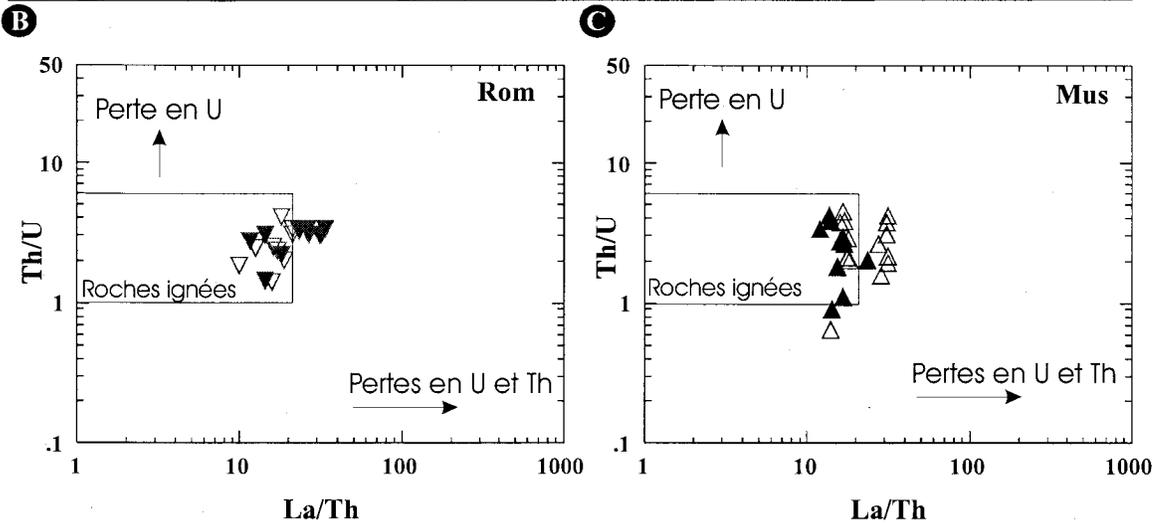
### **3.2.3 Validation des analyses pour l'utilisation de discriminants lithotectoniques**

Pour minimiser l'impact des altérations secondaires (deutérique, hydrothermal ou lors de métamorphisme) sur la caractérisation géochimique des roches mafiques, les échantillons ayant des abondances en Na<sub>2</sub>O inférieures à 2% ont été retirés des calculs de moyennes pour les éléments majeurs. Ces échantillons ont probablement subi un certain lessivage; le sodium (Na) pouvant être mobile dans les roches mafiques au faciès métamorphique des schistes verts et des amphibolites (Rollinson, 1993). Il est important de souligner que le

### Secteur HSP-Natasquan



### Secteur Musquaro-La Romaine



**Figure 3.4.** Diagrammes de Th/U en fonction de La/Th permettant d'évaluer le degré de mobilité de l'U et du Th lors du métamorphisme de haut grade (Modifiée de Rudnick et al., 1985).

lessivage d'éléments mobiles comme le Na peut se produire sans que les éléments traces plus réfractaires comme les ÉTR et les HFSE soient significativement affectés. Pour cette raison, nous avons tenu compte de tous les échantillons lors de la construction des diagrammes pour la caractérisation géochimique et pour les calculs des teneurs moyennes des éléments traces dans notre étude. Un échantillon a cependant été complètement rejeté (CQA-01-538B) puisqu'il présentait un excès d' $Al_2O_3$  (P.I. > 1) et une perte en éléments alcalins qui se traduisait par la présence de corindon normatif. Les échantillons montrant des évidences d'une remobilisation métamorphique ou d'un lessivage deutérique ou hydrothermal sont reportés dans le tableau 3.1.

**Tableau 3.1.** Échantillons suspectés d'être altérés et partiellement ou totalement retiré de l'étude.

Numéro de l'échantillon	Raison du retrait
CQA-00-92A	$Na_2O < \grave{a} 2\%$ , A.I. $> \grave{a} 51$ , PAF= 1.6
CQA-00-110P	$Na_2O < \grave{a} 2\%$ , A.I. $> \grave{a} 51$ , PAF =2.4
CQA-00-111H	$Na_2O < \grave{a} 2\%$ , A.I. $> \grave{a} 51$ , PAF =0.9
CQA-00-1032G	$Na_2O < \grave{a} 2\%$
CQA-00-7m16	$Na_2O < \grave{a} 2\%$ , PAF =1.9
CQA-00-125I	$Na_2O < \grave{a} 2\%$ , A.I. $> \grave{a} 51$ , PAF= 2
CQA-01-538B	retrait total corindon normatif $Na_2O < \grave{a} 2\%$ , A.I. $> \grave{a} 51$ , P.I. $> 1$ , PAF $\geq 2$ , corindon
CQA-00-1132E	$Na_2O < \grave{a} 2\%$ , PAF $> \grave{a} 2$
CQA-00-1208K	$Na_2O < \grave{a} 2\%$ , PAF $> \grave{a} 2$
NKL-00-38	$Na_2O < \grave{a} 2\%$
NKL-00-185	$Na_2O < \grave{a} 2\%$ , $K_2O > 3.17$

### 3.2.4 Effets du fractionnement magmatique

Les roches gabbroïques observées présentent une variété de textures et de structures ignées depuis la texture aphanitique aphyrique de certains basaltes et de bordures figées de dykes de diabase, au litage modal magmatique caractéristique de séquences de cumulat associées à des intrusions litées. Ces variations de textures et de structures sont une conséquence directe des processus de mise en place des magmas et, entre autre, du fractionnement magmatique, notamment de la cristallisation fractionnée.

La composition chimique des basaltes aphyriques est généralement considérée proche de la composition du magma parental, alors que la composition chimique des cumulats s'en éloigne considérablement. Les roches gabbroïques étudiées se situent quelque part dans le continuum entre les basaltes aphyriques et les roches cumulatives. En conséquence, toute

comparaison entre la composition de ces roches avec celle de basaltes à des fins d'interprétations pétrogénétiques et tectono-magmatiques se doit d'être justifiée. La composition chimique des échantillons sélectionnés, qui proviennent pour la plupart de filons-couches ou de dykes relativement minces, a été influencée à divers degrés par la cristallisation fractionnée ou d'autres types de mécanisme de cristallisation *in situ* des magmas. Le diagramme  $Al_2O_3$  sur  $TiO_2$  (Fig. 3.5) est un moyen de vérifier la nature cumulative ou aphyrique des roches mafiques. Les éléments Al et Ti sont très peu mobiles lors du métamorphisme mais fortement sensibles au fractionnement du plagioclase, du clinopyroxène et de l'olivine. Sur cette figure, tous les résultats des analyses effectuées forment une trainée qui passe dans le champ des basaltes dit *normaux*. Il est important de noter qu'il n'y a pas d'échantillons localisés le long de vecteur d'accumulation d'olivine, de clinopyroxène ou de plagioclase. Ceci suggère que même si nos échantillons proviennent d'intrusions gabbroïques, le degré d'accumulation des minéraux ignés est généralement suffisamment faible pour considérer nos échantillons comme des équivalents de roches basaltiques. Finalement, soulignons qu'un nombre important d'échantillons tombe à l'extérieur du champ des roches mafiques aphyriques sub-alcalines. L'enrichissement en  $TiO_2$  observé dans les différents vecteurs témoigne de la nature alcaline de nombreux échantillons. Car le Ti est un élément incompatible lors de la pétrogenèse de ces roches magmatiques.

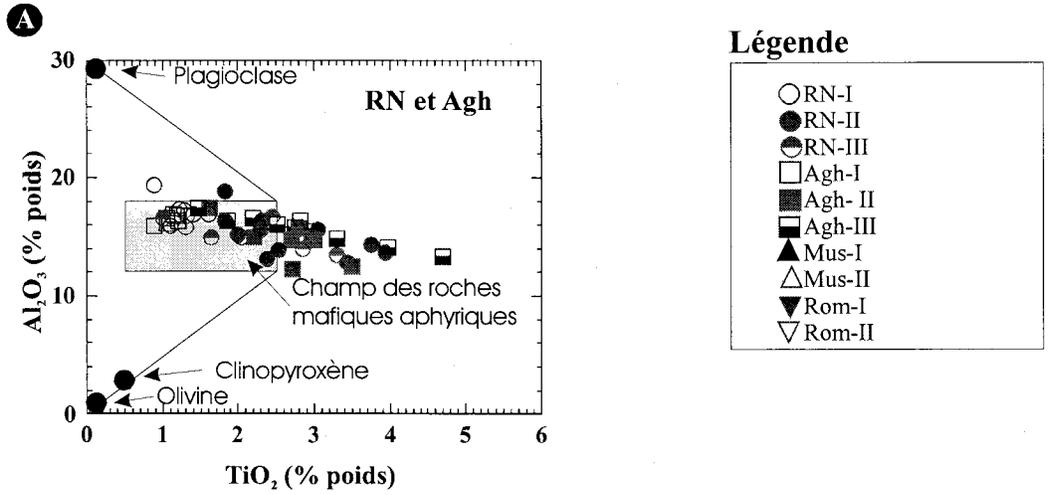
Cette procédure de filtration des données décrite dans la section 3.2 permet de dire que, malgré une tendance au fractionnement des éléments incompatibles, la composition des échantillons s'apparente d'avantage à celle du magma basaltique, permettant ainsi une comparaison avec les échantillons de laves mafiques provenant de la littérature.

### **3.3 Caractérisation lithogéochimique**

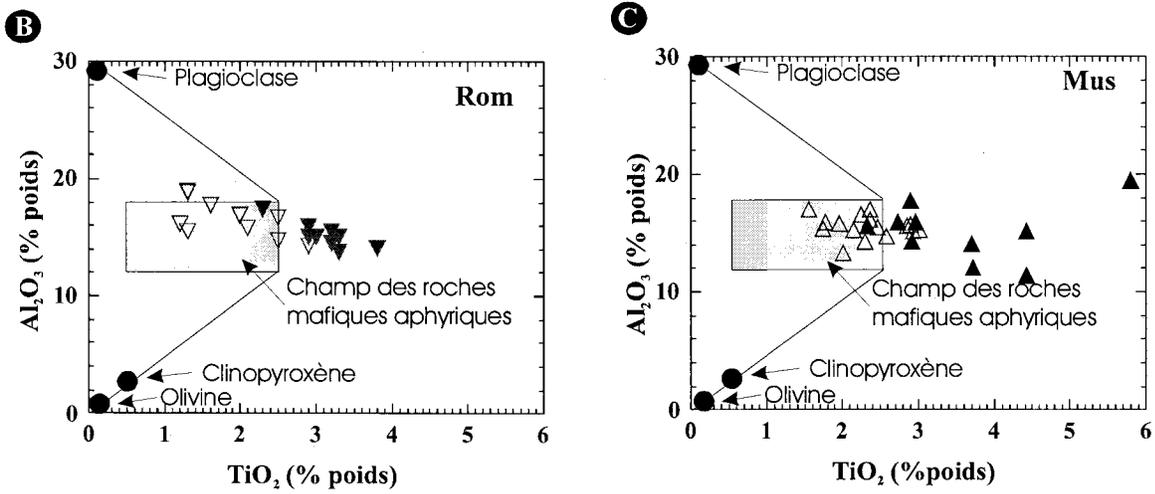
#### Note préliminaire:

Tel qu'indiqué précédemment, nous avons subdivisé les roches mafiques de la région d'étude en quatre ensembles sur la base de leur distribution géographique afin de faciliter

**Secteur HSP-Natasquan**



**Secteur Musquaro-La Romaine**



**Figure 3.5.** Diagrammes  $Al_2O_3$  -  $TiO_2$ , montrant le champ des basaltes subalcalins non cumulatif en gris ainsi que les vecteurs d'accumulation du plagioclase, de l'olivine et du clinopyroxène.

leurs comparaisons. Une conclusion importante découlant de la présente section sera la démonstration que l'ensemble des roches mafiques de la région d'étude se partage géochimiquement en deux groupes distincts notamment, par la présence ou l'absence d'anomalies marquées en Nb et Ta par rapport aux lanthanides. En effet, nous montrerons que les roches mafiques des ensembles RN, Agh, et des sous-ensembles Mus I et Rom I, sont caractérisées par l'absence de fortes anomalies négatives en Nb et Ta, tandis que les sous-ensembles Mus II et Rom II présentent sur les diagrammes multiélémentaires normalisés au manteau primitif des pics négatifs marqués pour ces éléments. De plus, les ensembles RN et Agh peuvent se subdiviser en d'autres sous-ensembles basés sur les observations faites sur les éléments trace. Nul doute que les similarités et les différences reconnues entre ces deux grands groupes soulignent des différences pétrogénétiques importantes, différences dont la signification sera discutée au chapitre suivant. Afin de faciliter la lecture du texte, nous référerons par endroits au fait que les sous-ensembles Mus II et Rom II présentent des anomalies négatives en Nb et Ta même si la nature des anomalies est décrite plus loin dans le texte.

### 3.3.1 Éléments majeurs

#### Champ compositionnel

Les teneurs moyennes en éléments majeurs des ensembles RN, Agh, Mus et Rom sont reportées au tableau 3.2. Les roches métagabbroïques de la région d'étude sont très semblables quant à leurs compositions en éléments majeurs. Elles présentent des teneurs moyennes en SiO<sub>2</sub> (% poids) qui varient peu: RN 46,9 (44,8 - 55,2); Agh 46,6 (43,4 - 53,3), Mus 45,3 (43,4 - 50,5) et Rom 46,6 (43,1 - 49,9). Les valeurs moyennes pour l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% poids) sont pour : RN de 15,8 (12,77 - 19,42), Agh de 15,5 (12,3 - 17,4), Mus de 15,6 (13,3 - 17,8) et Rom de 15,9 (13,8 - 18,8). Le fer total (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO % poids) présente les valeurs moyennes suivantes pour : RN de 13,7 (10,3 - 17,4), Agh de 14,2 (10,4 - 18,5), Mus de 15,4 (13,2 - 18,5), et Rom de 15,0 (10,7 - 17,6). Les valeurs moyennes pour le MgO (% poids) se répartissent de la manière suivante : RN de 6,7 (4,4 - 10,0), Agh de 6,5 (3,4 - 8,6), Mus de 7,0 (4,9 - 9,8) et Rom de 6,3 (4,6 - 7,9).

**Tableau 3.2.** Éléments majeurs dans les roches gabbroïques

Éléments majeurs	Basalte intraplaque <sup>1</sup>	Basalte intraplaque <sup>2</sup>	RN n=25	Agh n=25	Mus n=27	Rom n=17	Dykes Sudbury <sup>3</sup> n=8	Dykes Mackenzie <sup>3</sup> n=16
	n=10	n=33						
	Moy	Moy	Moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
SiO <sub>2</sub>	49,9	49,8	46,9	46,6	45,3	46,6	47,45	50,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14	14	15,8	15,5	15,6	15,9	16,5	13,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	13,2	12,6	13,7	14,2	15,4	15,0	14,3	15,0
MnO	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
MgO	6	6,2	6,7	6,5	7,0	6,3	5,5	5,3
CaO	10,5	10,5	9,4	8,6	7,9	8,9	7,4	8,6
Na <sub>2</sub> O	2,3	2,5	2,6	2,6	2,8	3,1	3,3	2,3
K <sub>2</sub> O	-	0,4	0,7	1,2	2,2	1,5	1,5	1,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,3	0,3	0,2	0,4	0,6	0,4	0,7	0,3
TiO <sub>2</sub>	2,6	2,3	2,1	2,4	2,6	2,4	2,9	2,5

<sup>1</sup>Tiré de Mahoney et al., 1982 ; <sup>2</sup>Tiré de Lightfoot et al., 1990; <sup>3</sup>Tiré de Gibson et al., 1987

Nous avons également reporté au tableau 3.2, pour fin de comparaison, les compositions moyennes de suites d'échantillons représentatifs des essaims de dyke de diabase de Sudbury, de Mackenzie, de basaltes de Mahabaleshwar des Trapps du Deccan (Mahoney et al., 1982) ainsi qu'une sélection de différents basaltes intraplaques provenant des Trapps du Deccan (Lightfoot et al., 1990). Les valeurs moyennes de nos échantillons sont légèrement inférieures à celle des dykes de Mackenzie pour le SiO<sub>2</sub>, légèrement supérieures pour les éléments Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, le fer total, le MgO, le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et semblables pour les éléments MnO, CaO, K<sub>2</sub>O et TiO<sub>2</sub>. Par contre, les plages de valeurs pour chaque élément de nos échantillons se superposent bien à celles des valeurs reportées par les dykes de Sudbury et de Mackenzie pour et ce pour un grand nombre d'échantillons. De plus, les valeurs moyennes de huit échantillons des dykes de la région de Sudbury sont pratiquement similaires aux valeurs observées dans nos échantillons. Aussi, les valeurs moyennes de nos échantillons sont légèrement inférieures à celles des Trapps de Deccan pour le SiO<sub>2</sub> et le CaO, et supérieures pour l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, le fer total, le MgO, le Na<sub>2</sub>O, le K<sub>2</sub>O et le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et pratiquement similaires pour le TiO<sub>2</sub>. Par contre, encore une fois, les plages de valeurs de nos échantillons se superposent pour un grand nombre d'échantillons à celles des basaltes des Trapps du Deccan (Inde).

#### Norme CIPW

Le calcul de la norme CIPW a été effectué à l'aide du logiciel Minpet 2.02 selon la norme

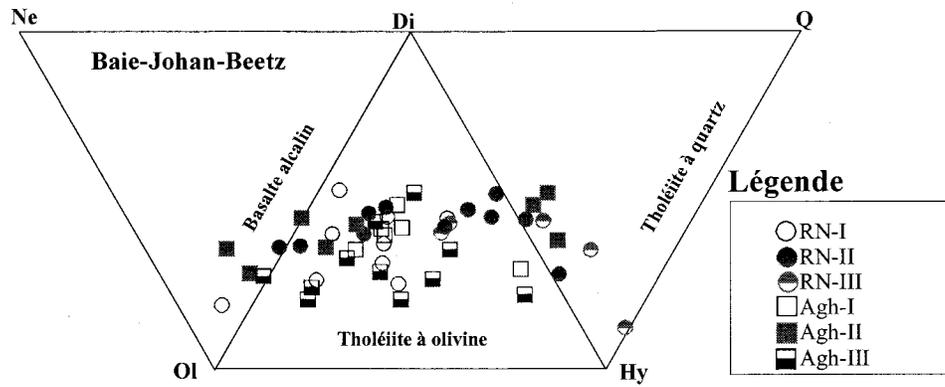
de Irvine et Baragar (1971), l'état d'oxydation du fer utilisé dans les calculs est  $Fe_2O_3t = Fe_2O_3 + (Fe_2O_3 + FeO \times 1,111)$  et  $FeOt = FeO + (Fe_2O_3 \times 0,8998)$  (Appendice D). La composition normative de nos échantillons est reportée au tableau 3.3. Sur le tableau, on peut observer que huit des 50 échantillons provenant du secteur HSP-Natashquan contiennent du quartz, trois de la néphéline et 39 de l'olivine. Selon la classification de Yoder et Tilley (1962), présentée à la figure 3.6, l'ensemble RN comporte 76 % de tholéiites à olivine, 20 % de tholéiites à quartz et 4 % de basaltes alcalins. Pour sa part, l'ensemble Agh est composé à 80 % de tholéiites à olivine, de 12 % de tholéiites à quartz et finalement de 8 % de basaltes alcalins (Fig. 3.6).

**Tableau 3.3.** Valeurs normatives CIPW de certains minéraux pour le secteur HSP-Natashquan

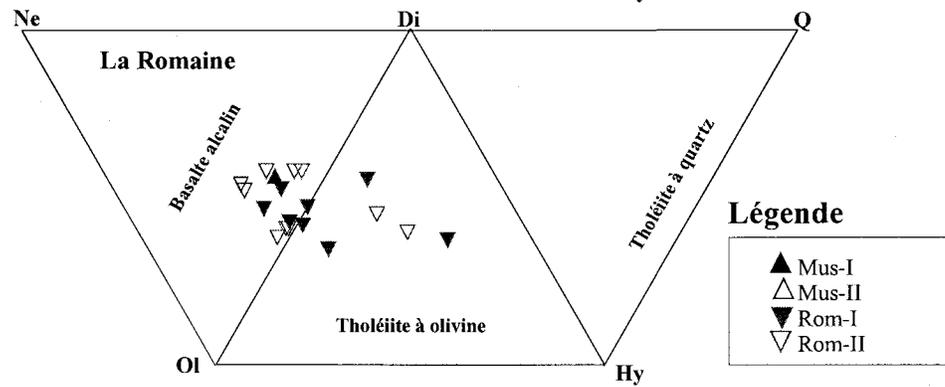
Minéraux normatifs	RN n=25		Agh n=25	
	Nombre	%	Nombre	%
	d'échantillons	dans échantillon	d'échantillons	dans échantillon
<b>Quartz</b>	5	1 à 4	3	2 à 5
<b>Olivine</b>	19	1 à 24	20	3 à 20
<b>Néphéline</b>	1	2	2	1 à 4

Dans le secteur Musquaro-La Romaine, les calculs de norme CIPW sur les roches mafiques soulignent la présence d'olivine dans 42 échantillons et de néphéline dans 28 échantillons (Tab. 3.4). Toujours selon la classification de Yoder et Tilley (1962), présentée à la figure 3.6, les données montrent que les échantillons du secteur Musquaro-La Romaine sont plus alcalins que ceux du secteur HSP-Natashquan. Par exemple, dans ce secteur, 6% sont des tholéiites à quartz, 35% sont des tholéiites à olivine et 59% sont des basaltes alcalins. Cette tendance confirme celle obtenue par le diagramme TAS (*Total Alkalies-Silica*) (Fig. 3.7). Par contre, il ne semble pas y avoir de différence entre les échantillons caractérisés par des anomalies négatives en Nb-Ta (Mus-II et Rom-II) et ceux qui ne présentent pas ces anomalies (Mus-I et Rom-I). La liste de tous les minéraux normatifs est présentée à l'appendice D.

Secteur HSP-Natashquan



Secteur Musquaro-La Romaine



MRNQ

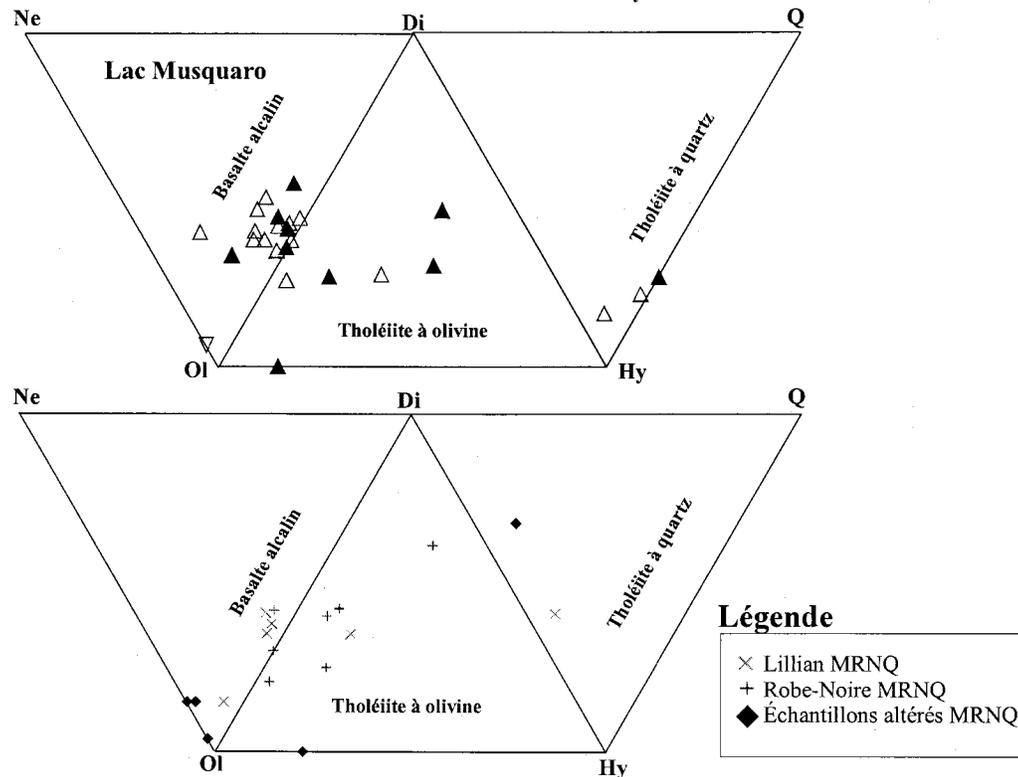


Figure 3.6. Diagrammes de classification des basaltes de Thompson (1984) basée sur l'utilisation des minéraux normatifs CIPW et la classification de Yoder et Tilley (1962). Ne = néphéline, Di = diopside, Q = quartz, Ol = olivine, Hy = hypersthène. Le calcul de la norme CIPW a été effectué avec le logiciel Minpet 2.02, selon la norme de Irvine et Baragar (1971).

**Tableau 3.4** Valeurs normatives CIPW de certains minéraux pour le secteur Musquaro-La Romane

Minéraux normatifs	Mus-I n=11		Mus-II n=15		Rom-I n=9		Rom-II n=8	
	Nombre d'échantillons	% dans échantillon						
Quartz	1	9	2	3-8	0	0	0	0
Olivine	9	9-24	14	14-38	9	7-20	10	11-20
Néphéline	4	1-4	12	1-10	4	1-5	8	1-7

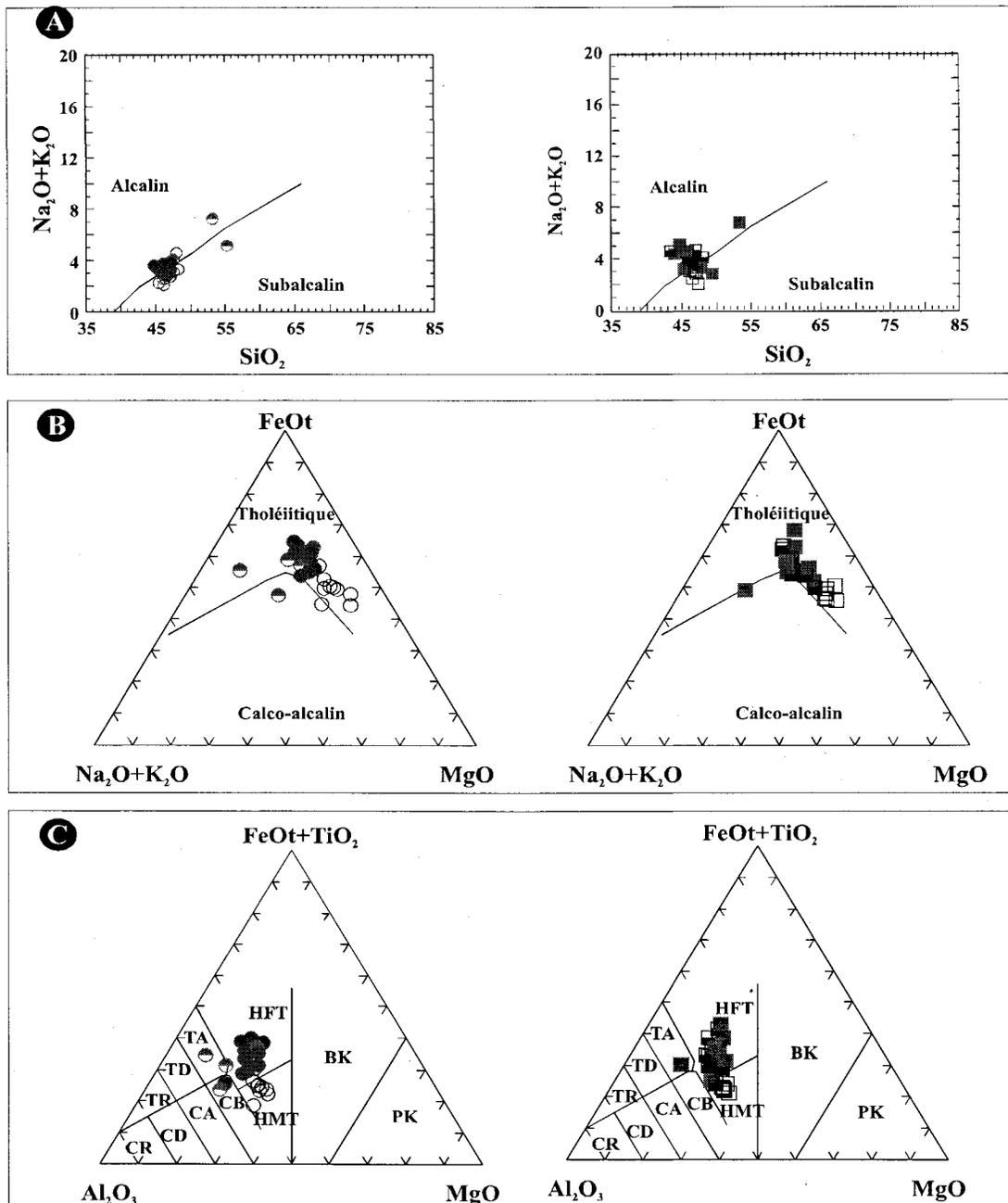
### Affinités géochimiques

La caractérisation par les éléments majeurs permet de mettre en lumière les traits géochimiques suivant :

- A) Le diagramme TAS de Irvine et Baragar (1971) montre que les roches mafiques du secteur HSP-Natashquan chevauchent la frontière entre les séries alcalines et subalcalines (Fig. 3.7a), tandis que la vaste majorité des échantillons du secteur de Musquaro-La Romane tombent dans le champ de la série des roches alcalines (Fig. 3.8a);
- B) Les roches mafiques du secteur HSP-Natashquan sont d'affinité tholéiitique (Fig. 3.7b), ainsi que la majorité des roches mafiques du secteur Musquaro-La Romane. Toutefois les roches du secteur Musquaro-La Romane montrent un léger débordement vers le champ des roches calco-alcalines (Fig. 3.8b). Nous verrons plus loin que les échantillons tombant dans le champ calco-alcalin font partie des sous-ensembles de roches présentant des anomalies négatives en Nb-Ta par rapport aux lanthanides;
- C) Les échantillons de roches mafiques du secteur HSP-Natashquan ainsi que ceux du secteur Musquaro-La Romane se situent dans les champ des tholéiites riches en fer et des tholéiites riches en magnésium sur le diagramme MgO-FeOt+TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de Jensen (1976) (Fig. 3.7 c et 3.8c).

L'évolution des abondances en fer (FeOt et FeOt+TiO<sub>2</sub>) dans les diagrammes d'Irvine et Baragar (1971) et de Jensen (1976) souligne l'enrichissement en fer qui représente

## Secteur HSP-Natashquan

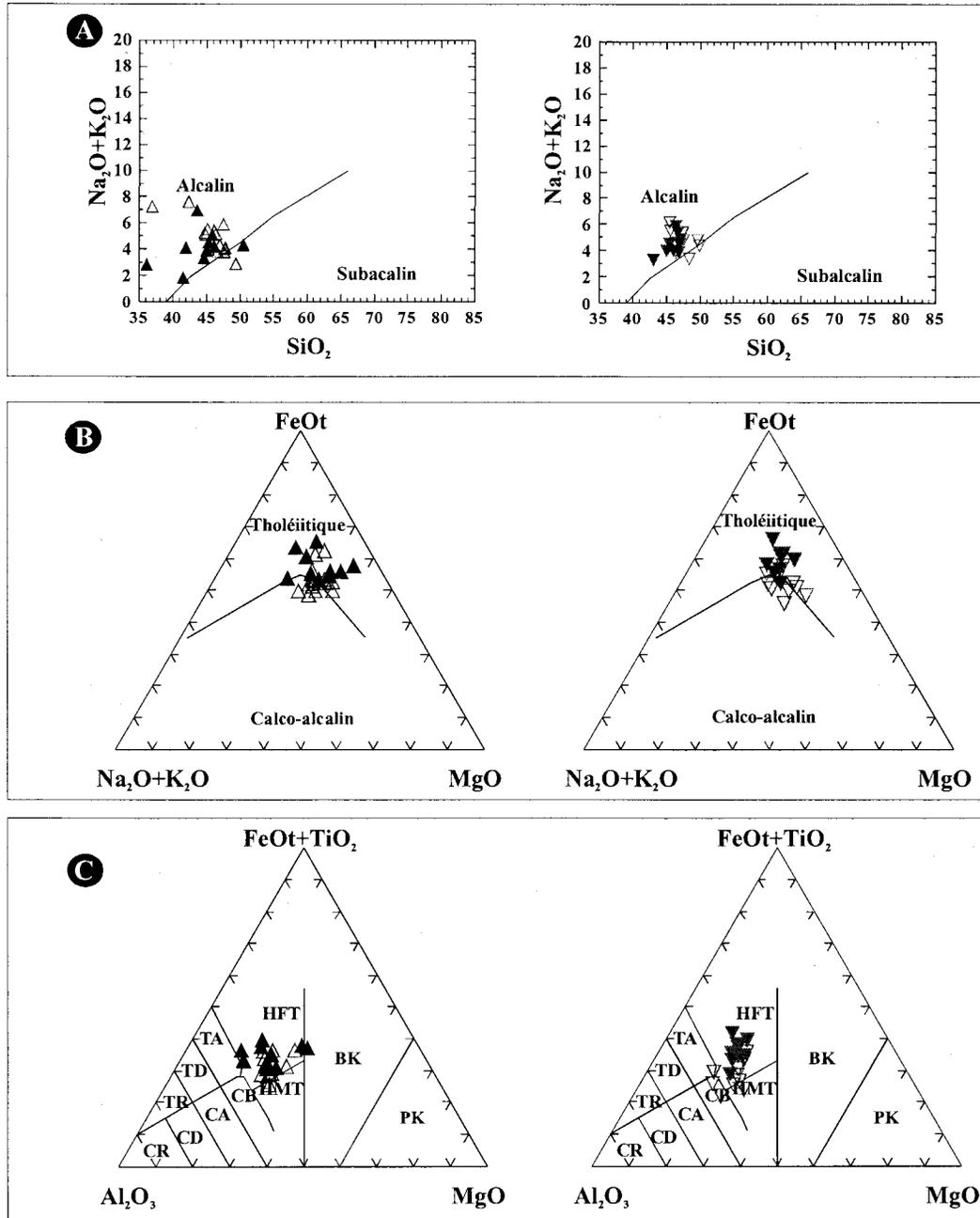


### Légende

○ RN-I	□ Agh-I
● RN-II	■ Agh-II
◐	◑ Agh-III

**Figure 3.7.** Diagrammes discriminants pour les roches mafiques du secteur HSP-Natashquan. A) Diagramme TAS (Total alkalis-silica) de Irvine et Baragar (1971). B) Diagramme AFM de Irvine et Baragar (1971). C) Diagramme de Jensen (1976), HFT = tholéiites riches en Fe; HMT = tholéiites riches en Mg; TA = andésites tholéiitiques; TD = dacites tholéiitiques; TR = rhyolites tholéiitiques; CB = basaltes calco-alcalins; CA = andésides calco-alcalines; CD = dacites calco-alcalines; CR = rhyolites calco-alcalines; BK = komatiites basaltiques; PK = komatiites picritiques.

## Secteur Musquaro-La Romaine



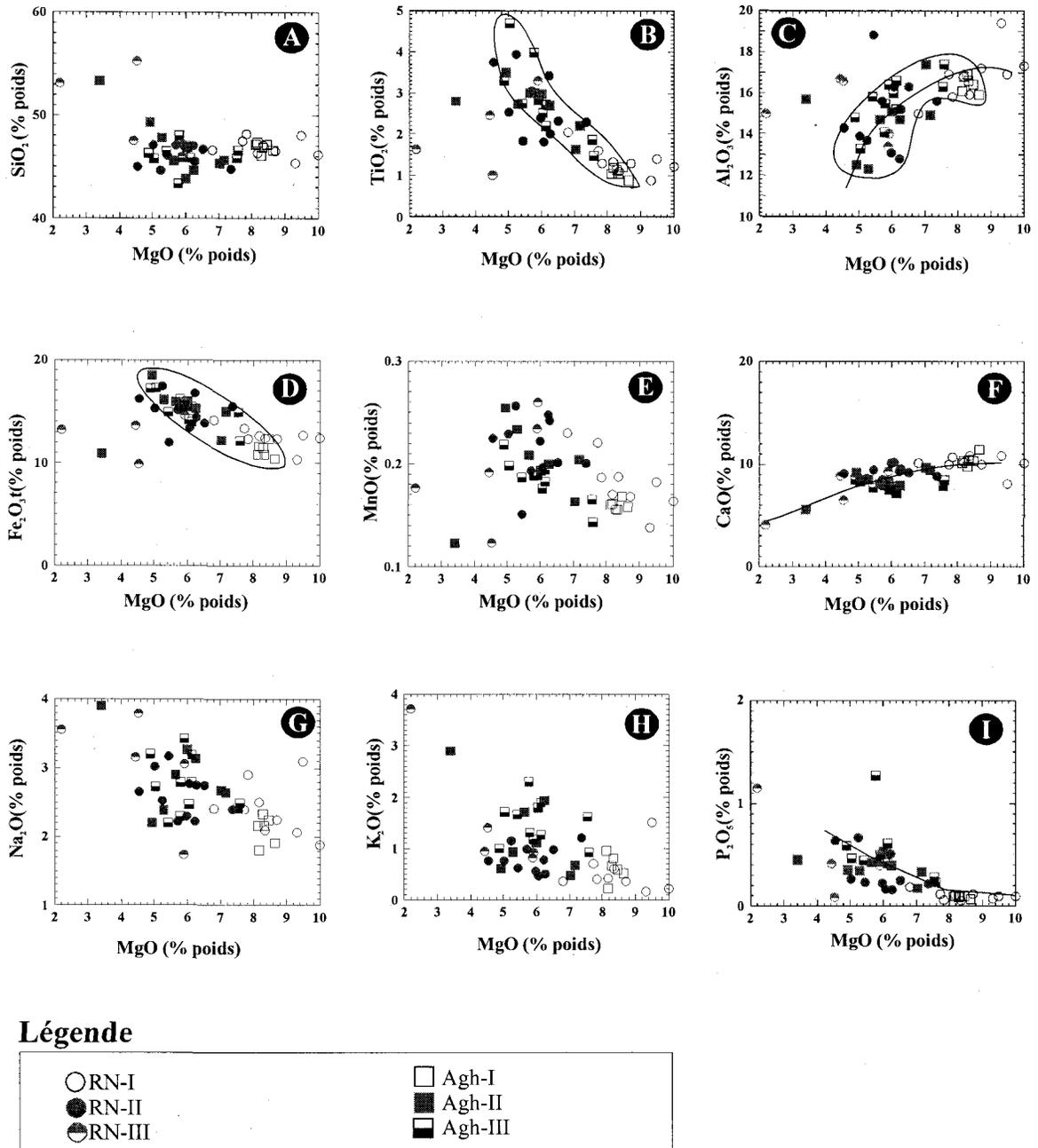
### Légende



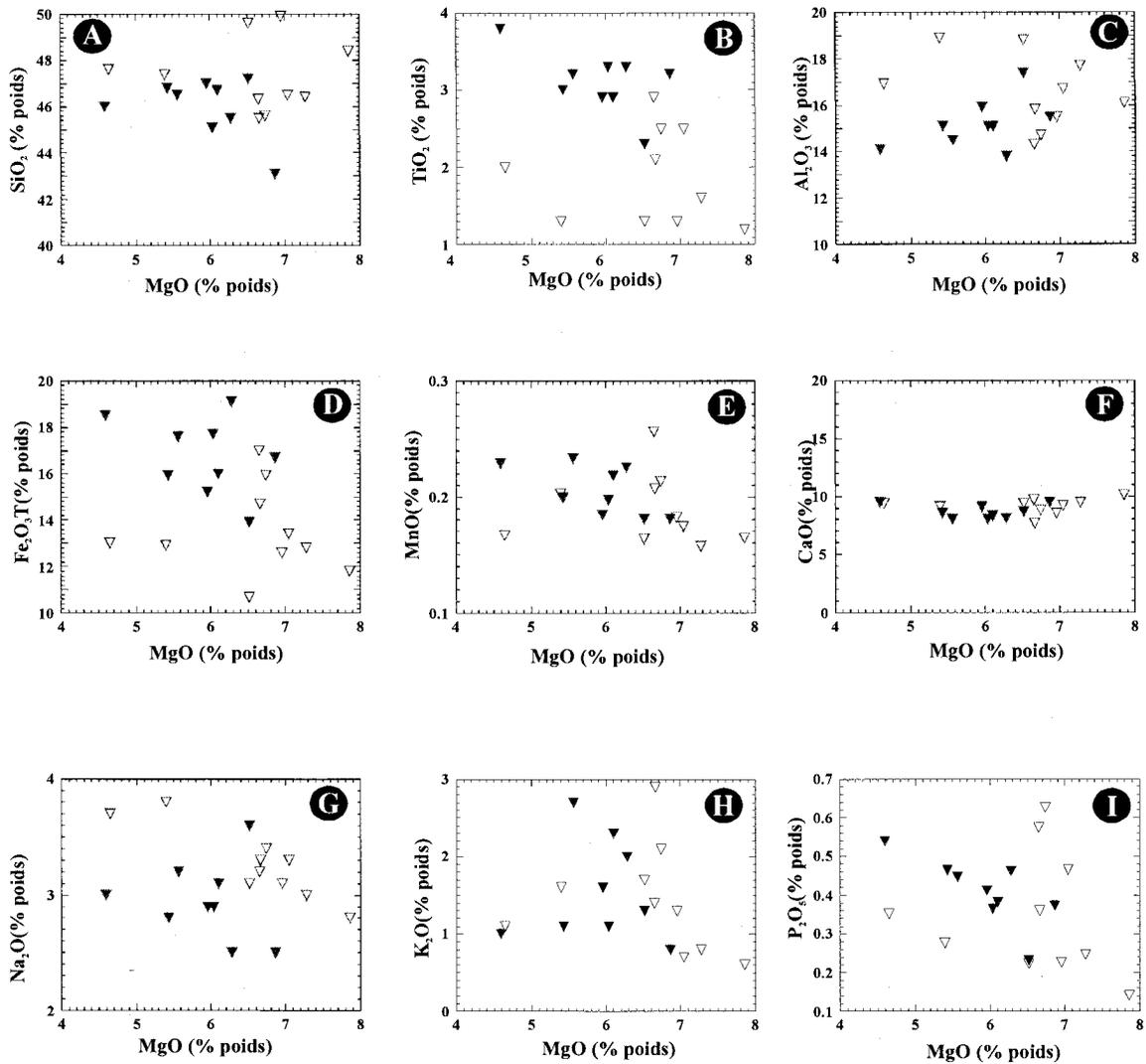
**Figure 3.8.** Diagrammes discriminants pour les roches mafiques du secteur Musquaro-La Romaine. A) Diagramme TAS de Irvine et Baragar (1971). B) Diagramme AFM de Irvine et Baragar (1971). C) diagramme de Jensen (1976), HFT = tholéiites riches en Fe; HMT = tholéiites riches en Mg; TA = andésites tholéiitiques; TD, dacites tholéiitiques; TR = rhyolites tholéiitiques; CB = basaltes calco-alcalins; CA = andésides calco-alcalines; CD = dacites calco-alcalines; CR = rhyolites calco-alcalines; BK = komatiites basaltiques; PK = komatiites picritiques.

l'évolution normalement observée dans des magmas tholéiitiques. De plus, les diagrammes binaires en fonction de MgO (Fig. 3.9) montrent que les éléments majeurs des ensembles RN et Agh ont un comportement semblable: les abondances en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et CaO diminuent avec la diminution du MgO, les abondances des autres oxydes,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  et  $\text{Na}_2\text{O}$  augmentent avec la diminution du MgO tandis que le  $\text{SiO}_2$  montre une faible variation avec l'accroissement du fractionnement magmatique souligné par la diminution des abondances en MgO. Ce comportement des éléments majeurs est typique de l'évolution du magma subalcalins de type tholéiitique. Finalement, ces diagrammes révèlent également un enrichissement en  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  et une légère augmentation en  $\text{TiO}_2$  pour l'ensemble Agh par rapport à l'ensemble RN. Quant au CaO et au MnO, ils montrent un léger appauvrissement dans l'ensemble Agh.

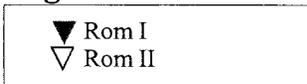
Dans le secteur Musquaro-La Romaine, ces mêmes diagrammes suggèrent que les deux groupes (avec ou sans anomalies négatives en Nb-Ta) évoluent d'une façon semblable lors de la différenciation magmatique (Fig. 3.10 et 3.11). Ces diagrammes montrent que, durant la différenciation, l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  tend à diminuer, tandis que les abondances de CaO demeurent stables et les concentrations des autres oxydes augmentent. Ces observations sont en partie conformes aux tendances qui résultent normalement de la différenciation de tholéiites (contrôle important du plagioclase et du clinopyroxène). Parfois cette tendance est moins claire que celle observée précédemment dans le secteur HSP-Natashquan. Cette différence souligne le fait qu'une proportion importante de roches dans ce secteur soit d'affinité alcaline. De plus, le sous-ensemble Rom-II apparaît comme moins fractionné que le sous-ensemble Rom-I puisque le contenu en MgO est plus élevé. Finalement, le sous-ensemble Rom-II est enrichi par rapport au sous-ensemble Rom-I en  $\text{TiO}_2$  et en  $\text{P}_2\text{O}_5$ , et appauvri en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Fig. 3.10 et 3.11).



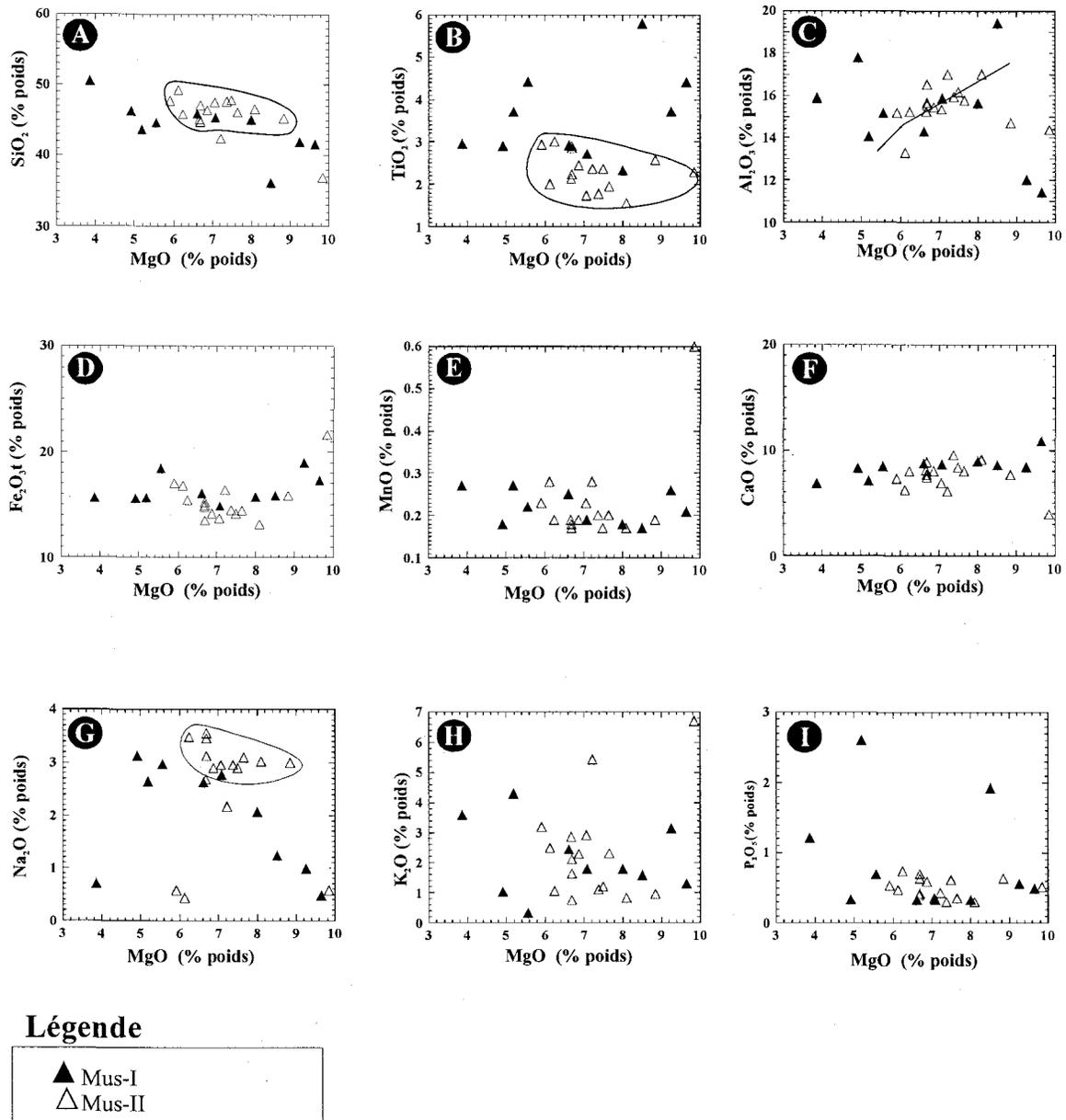
**Figure 3.9.** Diagrammes des oxydes vs MgO des roches mafiques du secteur HSP-Natasquan. Notez que l'ensemble Agh montre de bonnes variations des teneurs en  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{t}$  en fonction du fractionnement magmatique souligné par la diminution des abondances en MgO.



### Légende



**Figure 3.10.** Diagrammes des oxydes vs MgO pour les roches de la région de La Romaine. Les échantillons du sous-ensemble Rom-I sont plus appauvris en MgO (4.5-6.5) par rapport à ceux du sous-ensemble Rom-II (6.5-8).



**Figure 3.11.** Diagrammes des oxydes vs MgO pour les roches de la région du lac Musquaro. Les échantillons du sous-ensemble Mus-II montrent un enrichissement relatif en SiO<sub>2</sub> et Na<sub>2</sub>O, ainsi qu'un appauvrissement relatif en TiO<sub>2</sub> par rapport aux roches de l'ensemble Mus-I.

### 3.3.2 Éléments traces

#### *Éléments de transitions*

Les suites mafiques de la région étudiée présentent essentiellement les mêmes teneurs moyennes en éléments de transition (Tab. 3.5) (Appendice E). Les teneurs en éléments compatibles comme le Co, Ni, et le Cr se situent respectivement aux environs de 50, 100, 130 ppm. Ces faibles abondances témoignent de la nature différenciée de ces roches mafiques. D'autre part, les éléments incompatibles comme le V et Zr se situent respectivement aux environs de 250 et 175 ppm. Ces valeurs sont comparables à celles observées dans des basaltes du Mahabaleshwar (Mahoney et al., 1982) et dans des basaltes sélectionnés par Lightfoot et al. (1990) qui ont tous les deux des teneurs près de 90, 130 et 165 ppm pour le Ni, le Cr et le Zr. Par contre les teneurs en V des échantillons de notre étude semblent inférieures à celles reportées par Mahoney et al. (1982) et Lightfoot et al. (1990) qui sont près de 400 ppm (Tab 3.5).

**Tableau 3.5.** Teneurs moyennes en éléments de transition

Éléments	RN		Agh		Mus-I		Rom-I		Mus-II		Rom-II		Basates intraplaques <sup>1</sup>		Basaltes intraplaques <sup>2</sup>	
	n=24		n=25		n=6		n=9		n=13		n=10		n=?		n=?	
	M	δ	M	δ	M	δ	M	δ	M	δ	M	δ	M	δ	M	δ
Co	53	8	52	7	54	123	49	14	52	5	43	6	—	—	—	—
Ni	100	46	104	48	142	114	76	20	87	25	103	40	87	45	91	25
Cr	129	64	117	67	146	19	107	61	112	50	162	91	162	76	101	58
V	278	92	257	75	224	73	268	83	243	48	231	39	367	56	433	74
Zr	145	83	170	88	266	174	217	50	135	28	119	54	148	45	182	44
Sc	32	78	28	8	22	6	32	6	29	10	31	5	—	—	—	—

M=moyenne; δ = écart-type; <sup>1</sup> Tirées de Lightfoot et al., 1990; <sup>2</sup> Tirées de Mahoney et al., 1982

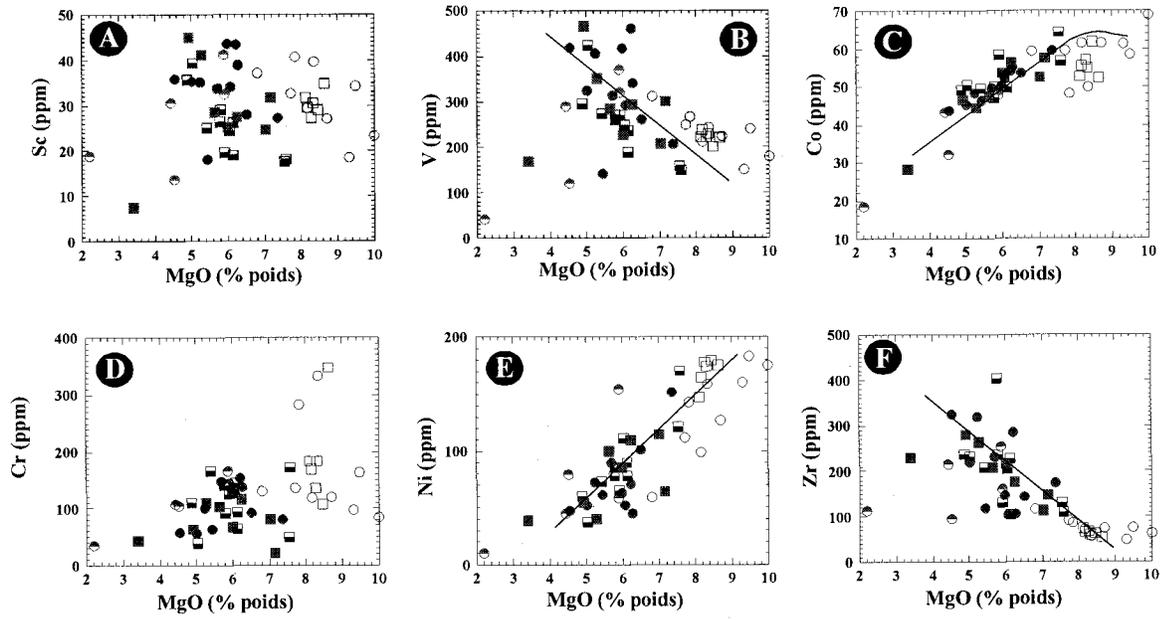
Quelques distinctions fines sont cependant perceptibles parmi les différents sous-ensembles retenus pour fin d'analyse. En effet, le sous-ensemble Mus-I présente la plus grande variabilité comme le montre les écarts-types pour le Co, le Ni et le Zr qui excèdent deux fois les valeurs observées dans les autres sous-ensembles. De plus, les sous-ensembles Mus-I et Rom-I semblent légèrement enrichis en Zr, tandis que seul Mus-I

semble légèrement enrichi en Ni. D'autre part, les diagrammes binaires en fonction de MgO montrent des tendances nettes vers un enrichissement en V et Zr (comportement incompatible), et un appauvrissement (comportement compatible) pour le Co, le Ni, et le Cr (Fig. 3.12, 3.13 et 3.14). Ces tendances sont cependant peu perceptibles pour le V et le Cr pour le sous-ensemble Rom-I. Encore une fois, cette différence souligne probablement la présence de deux types de magmas dans ce secteur. Le premier type est caractérisé par une pétrogenèse tholéiitique et l'autre par une pétrogenèse alcaline. De telles variations dans les abondances en éléments de transition découlent de leurs différences de compatibilité lors de la différenciation magmatique. Le V et le Zr étant incompatibles auront tendance à se concentrer dans la phase liquide lors de la différenciation magmatique. Ce type de comportement est commun aux suites de tholéiites différenciées.

#### Éléments des terres-rares

La comparaison des spectres des éléments des terres-rares (ÉTR) normalisés aux valeurs moyennes des N-MORB met en évidence certaines différences entre les sous-groupes retenus pour fin d'analyse comparative (Fig. 3.15). Quoique de faibles amplitudes, ces écarts permettent de singulariser un bon nombre de sous-ensembles, et ce tout en soulignant certaines différences pétrogénétiques significatives. Les teneurs en La-Sm (ÉTR-légers) et Gd-Yb (ÉTR-lourds) normalisées aux N-MORB se situent généralement dans les fourchettes de 2 à 20 et de 0.5 à 3, respectivement. Ces valeurs sont semblables à celles rapportées pour les basaltes de Deccan (Lightfoot et al., 1990; Mahoney et al., 2000). La figure 3.16 montre que les spectres moyens de nos échantillons semblent légèrement plus enrichis en ÉTR-légers que ceux des valeurs moyennes des basaltes de plateau du Deccan. Par contre, cette même figure présente une plus grande similitude face aux spectres des valeurs moyennes des ÉTR-lourds.

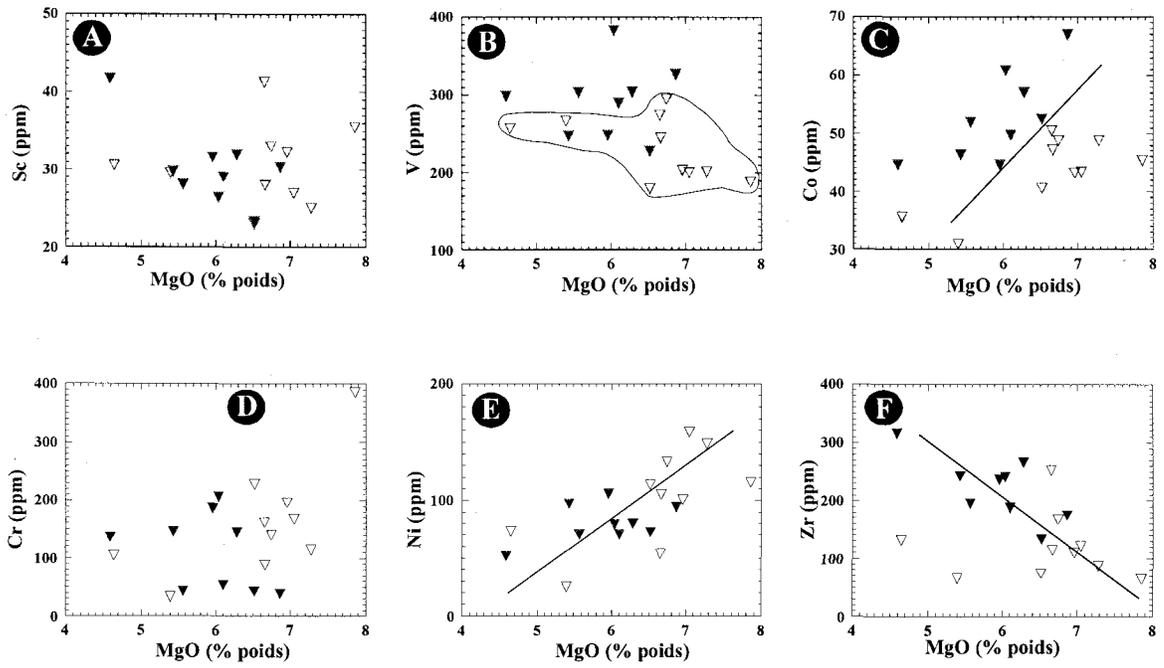
Les spectres montrent un enrichissement en ÉTR-légers avec des rapports La/Tb moyens dans la fourchette de 22 à 23 pour les sous-ensembles Rom-I et Mus-I, et de 12 à 18 pour les sous-ensembles Rom-II, Mus-II, RN et Agh. Des points d'inflexions au niveau de l'Eu et d'un faible fractionnement des ÉTR-lourds (avec des rapports Tb/Lu moyens de 2.2 à



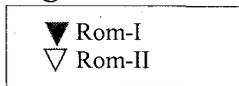
### Légende



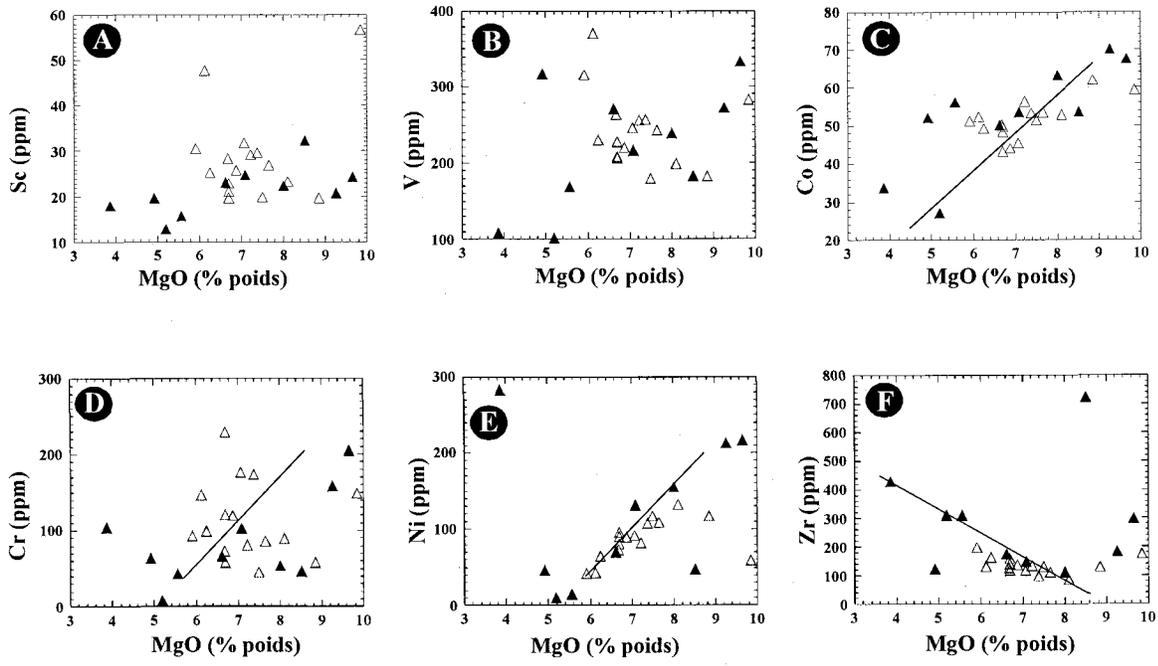
**Figure 3.12.** Diagrammes d'éléments traces portés en fonction du MgO pour les roches du secteur HSP-Natashquan.



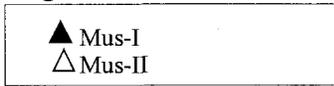
### Légende



**Figure 3.13.** Diagrammes d'éléments traces portés en fonction du MgO des roches du secteur de La Romaine.



**Légende**



**Figure 3.14.** Diagrammes d'élément traces portés en fonction du MgO pour les roches du secteur du la Musquaro.

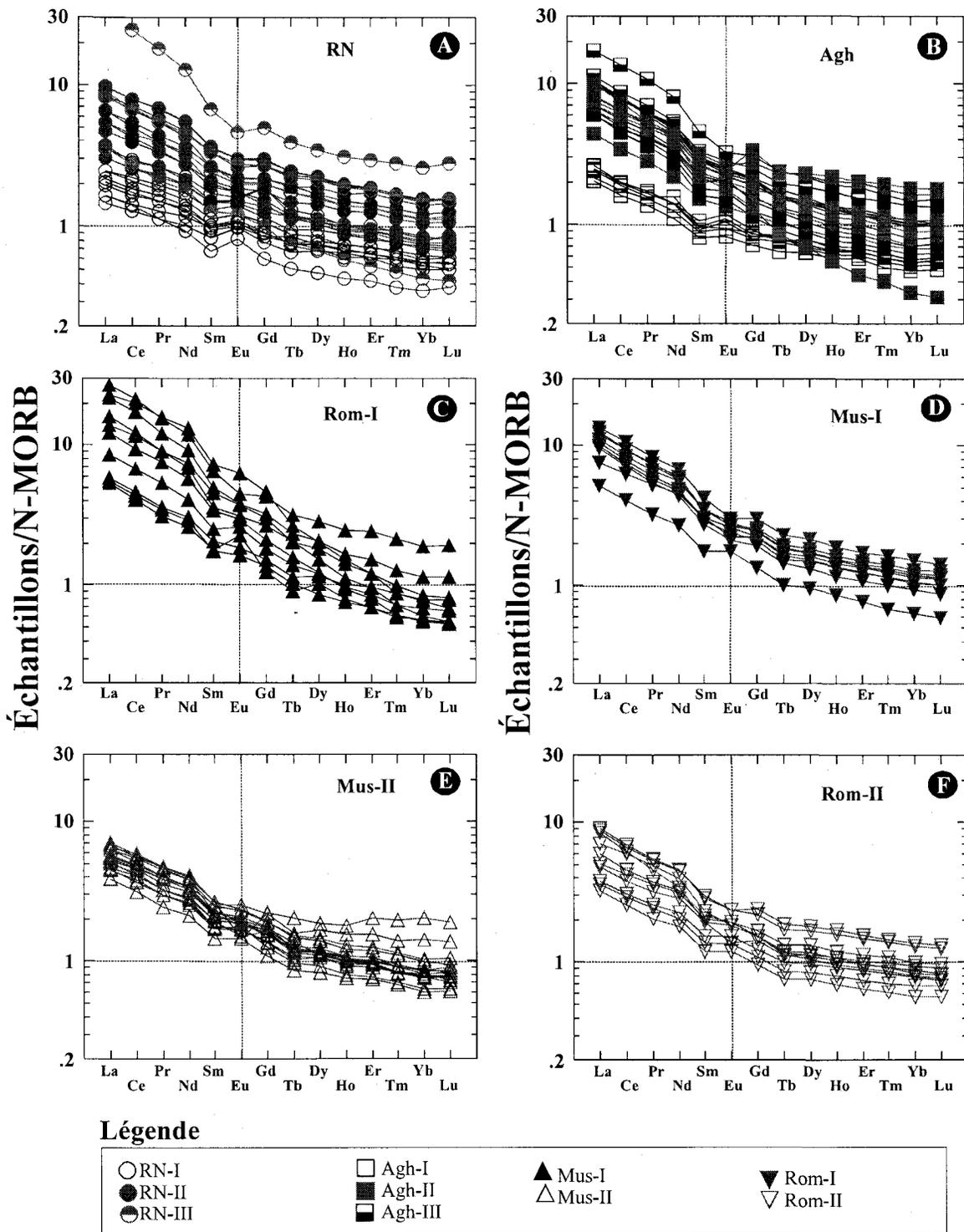
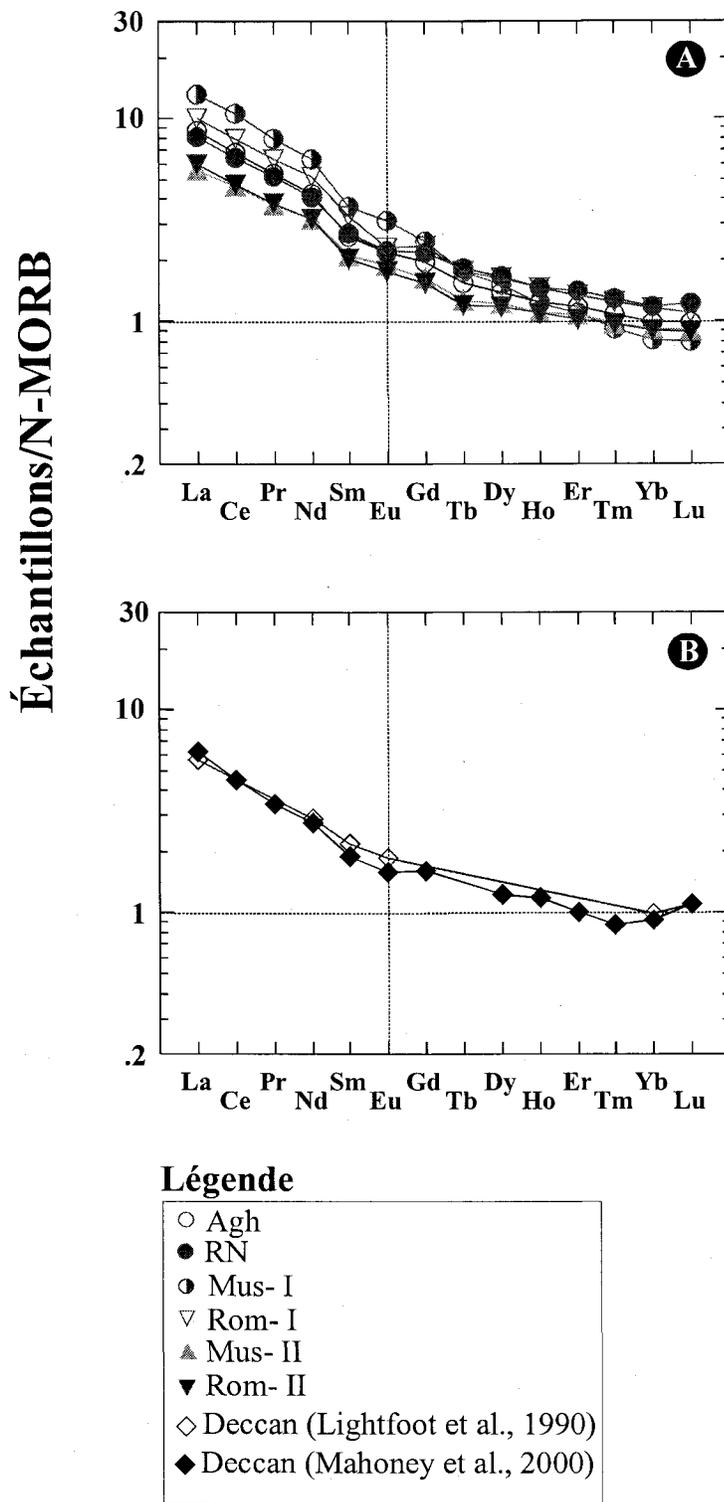


Figure 3.15. Spectres des éléments des terres-rares (ÉTR) normalisés aux valeurs de N-MORB (Sun et McDonough, 1989).



**Figure 3.16.** Spectres des éléments des terres-rares (ÉTR) normalisés aux valeurs de N-MORB ( Sun et McDonough, 1989) permettent de comparer les valeurs moyennes des sous-ensembles étudiées (A) par rapport aux valeurs rapportées pour les basaltes du Deccan (B).

3.3) pour l'ensemble de nos échantillons. Ces observations sont comparables à celles obtenues pour les basaltes de la section de Toranmal dans les Trapps du Deccan (Mahoney et al., 2000).

À l'exception des spectres des sous-ensembles Mus-II et Rom-II, les spectres des échantillons des autres sous-ensembles sont tous parallèles les uns aux autres. Les sous-ensembles RN-I, II, III, Agh-I, II, et III se distinguent par des abondances totale plus élevées en ÉTR (Fig. 3.15). Les sous-ensembles RN-I et Agh-I, i.e. les moins riches en ÉTR, renferment également les échantillons les plus riches en MgO. Ces échantillons correspondent probablement aux termes les plus primitifs de ces suites. Il est intéressant de souligner que les sous-ensembles RN-II, RN-III, Agh-II et Agh-III montrent des enrichissements en ÉTR pouvant atteindre un facteur de 5 par rapport aux termes les plus primitifs des suites tout en conservant essentiellement le même rapport ÉTR- léger/lourd. Les mêmes tendances sont observées dans les sous-ensembles Mus-I et Rom-I qui sont impossible à distinguer des suites RN et Agh. Les sous-ensembles RN-I et Agh-I présentent un léger pic positif en Eu trahissant la possibilité d'une légère accumulation de plagioclase dans les roches mafiques (Fig. 3.15). Ce pic s'atténue progressivement pour devenir légèrement négatif dans les échantillons les moins magnésiens et les plus riches en ÉTR, c'est à dire dans les termes les plus évolués de ces suites. De tels changements au niveau de l'Eu sont également observés dans le sous-ensemble Rom-I. Ce type fractionnement de l'Eu suggère des mécanismes de différenciation magmatique sous de faibles de fugacités de l'oxygène (milieu réducteur) compatibles avec la mise en place de magmas basaltiques dans un environnement intraplaque.

Les ensembles de RN et d'Agh (Fig. 3.15) présentent un enrichissement en ÉTR-légers et des spectres d'ÉTR sub-parallèles entre eux. Le déplacement vers le haut des spectres des ÉTR reflète vraisemblablement une augmentation du degré de fractionnement des différents termes de la suite. Une légère variation dans le fractionnement des ÉTR-légers s'observe dans les deux ensembles mais plus particulièrement dans le Agh. Cette observation a permis d'isoler les roches les plus primitives dans les deux suites. Les diagrammes binaires en fonction du MgO (Fig. 3.9) confirment que ces échantillons sont

plus riches en MgO. Comme pour les autres ensembles, sur ces spectres, le léger pic positif de l'Eu est probablement attribuable à l'accumulation du plagioclase. Ce pic est présent dans les termes les plus primitifs des deux ensembles mais disparaît dans les termes plus évolués.

Les spectres des sous-ensembles Mus-II et Rom-II se distinguent par leurs plus faibles abondances en ÉTR-légers couplées à un fractionnement plus faible des ÉTR-lourds. Dans ces roches, les spectres des ÉTR sont nettement plus plats, recoupant ceux des sous-groupes Mus-I et Rom-I (Fig. 3.15). Ces différences de signatures témoignent de changements probables dans l'évolution des différentes suites magmatiques.

La nature et la concordance des variations observées entre les spectres des ÉTR des échantillons d'une même suite suggèrent que ces roches soient liées génétiquement par un processus de cristallisation fractionnée (probablement dominante) d'un même magma plutôt que par un processus de fusion partielle variable d'une même source. Car si ces variations géochimiques résultaient d'une de variation du taux de fusion partielle d'une même source, nous devrions observer un recouplement des spectres ce qui n'est pas observé, en général, sur les spectres présentés à la figure 3.15. De plus, l'allure générale des spectres de distribution rappelle celle des basaltes intraplaques continentaux (continental flood basalte, CFB) (Sun et McDonough, 1989; Arndt et al., 1992; Saunders et al., 1992 et Campbell, 2001). D'autre part, le fractionnement des ÉTR-lourds peut être attribuable soit à une fusion partielle à haute pression dans le champ de stabilité des grenats ou à l'enrichissement métasomatique d'une source péridotique par l'injection de magmas de type OIB ou carbonatitiques.

#### Diagrammes multiéléments

La comparaison des diagrammes multiéléments normalisés aux valeurs suggérées pour le manteau primitif terrestre (Sun et McDonough, 1989) permet de poursuivre plus à fond la comparaison des différents sous-ensembles et de mettre également en relief des différences significatives entre les sous-ensembles Mus-II et Rom-II (Fig. 3.17 et 3.18).

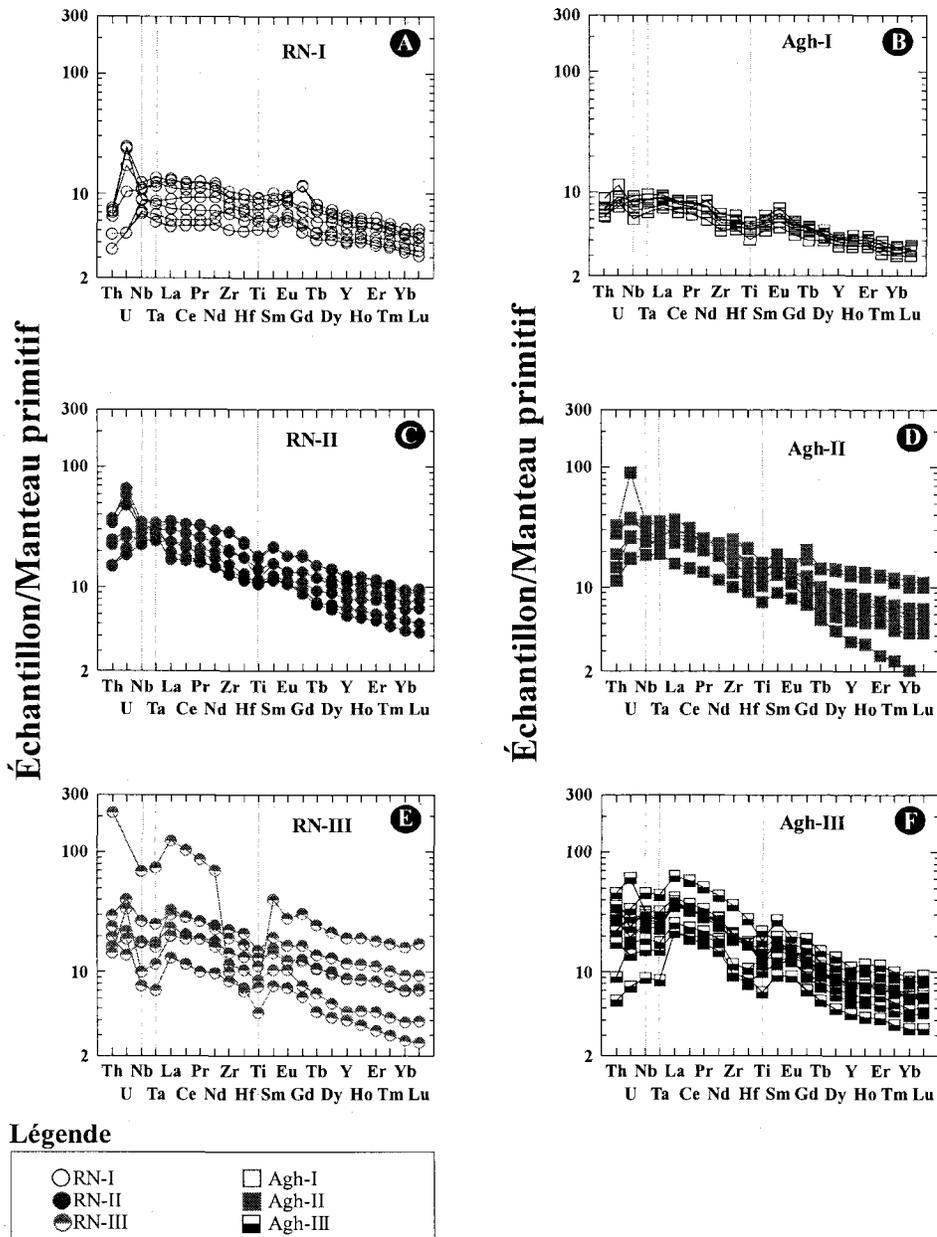
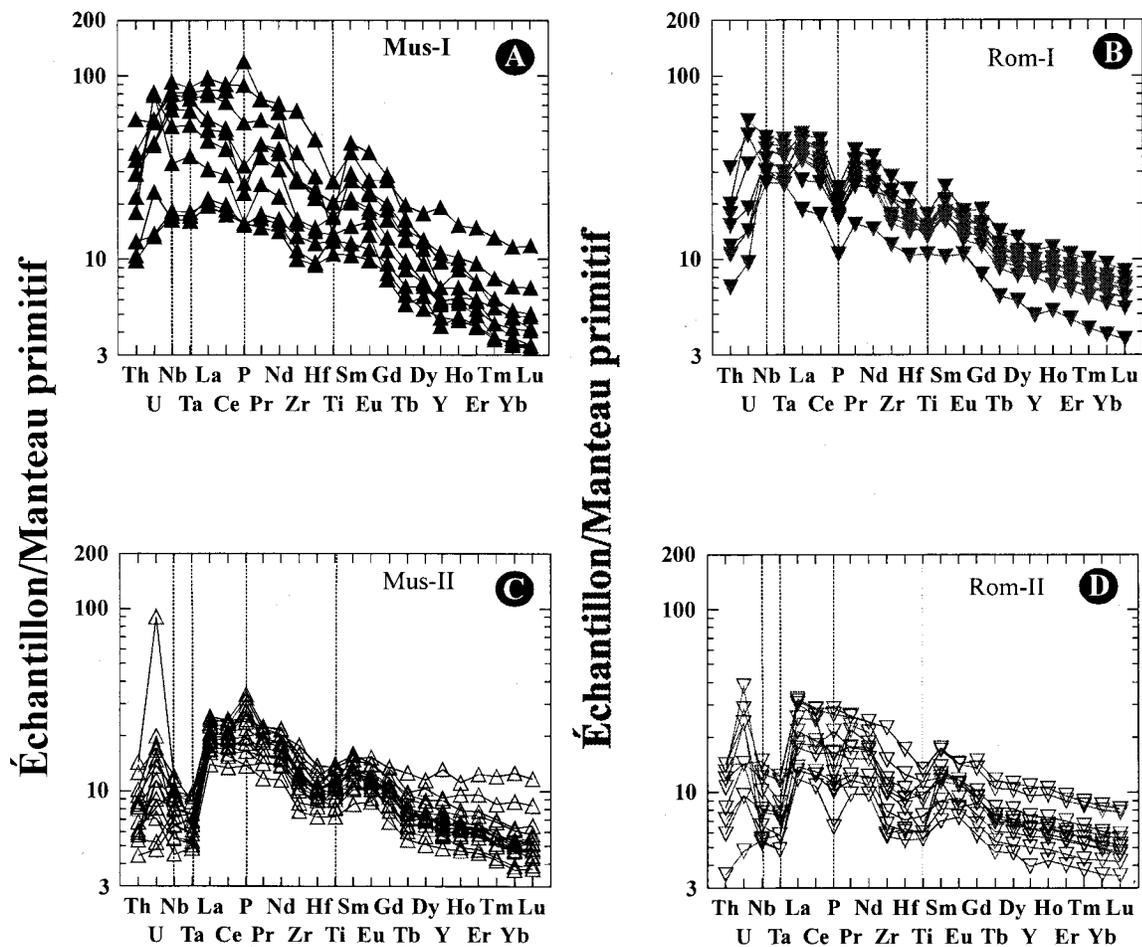


Figure 3.17. Spectres multi-éléments des roches mafiques provenant du secteur HSP-Natashquan normalisés aux valeurs du manteau primitif (Sun et McDonough, 1989).



### Légende

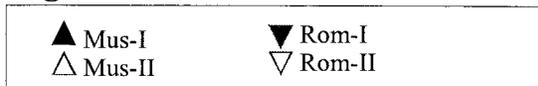


Figure 3.18. Diagrammes multiéléments des roches mafiques provenant du secteur Musquaro-La Romaine normalisés aux valeurs du manteau primitif (Sun et McDonough, 1989).

Les sous-groupes RN-I, RN-II, RN-III, Agh-I, Agh-II, Agh-III, Mus-I et Rom-I présentent : 1) des spectres sub-parallèles marqués par des anomalies négatives en Th, P, et Ti, 2) des anomalies négatives bien marquées en Nb-Ta pour les sous-ensembles RN-III et Agh-III, 3) une plus faible anomalie en Zr, Hf, Ti ainsi qu'une anomalie positive en Eu. L'anomalie en Eu semble s'estomper avec l'augmentation du degré de différenciation des roches. À l'opposé, le pic négatif en P diminue avec l'augmentation du degré de différenciation. L'allure générale des spectres est presque horizontale avec un léger appauvrissement en éléments traces les moins incompatibles (e.g., Dy-Lu).

Les sous-ensembles Mus-II et Rom-II présentent des spectres sub-parallèles et très serrés marqués par de faibles anomalies négatives en Zr, Hf et Ti et un très fort appauvrissement en éléments fortement incompatibles. Cette signature est caractérisée par une forte anomalie négative en Nb-Ta. Outre la différence des anomalies en Nb-Ta, les éléments moyennement et faiblement incompatibles semblent avoir les mêmes spectres.

#### Rapports d'éléments traces

Les ensembles RN et Agh se distinguent également par les rapports de certains éléments traces. La comparaison des moyennes des rapports des ÉTR-légers (La/Sm) montre que les roches de l'ensemble d'Agh sont plus fractionnées en ÉTR-légers que celles de l'ensemble de RN (Tab. 3.6 et 3.7). De plus, les éléments traces les plus incompatibles montrent la même tendance. Par contre, le fractionnement des ÉTR-lourds (Tb/Yb) est semblable dans les échantillons des deux ensembles. Ceci suggère fortement que le comportement des ÉTR-lourds et des éléments modérément incompatibles soit similaire pour les échantillons des deux ensembles. Les petites variations détectées entre ces deux ensembles ne requièrent pas des origines et des pétrogenèses nécessairement distinctes. Cependant, la présence de valeurs moyennes plus élevées en éléments incompatibles dans l'ensemble Agh est pétrogénétiquement significative. À priori, ceci pourrait s'expliquer par un mécanisme de fusion partielle à taux variable d'une source mantellique commune. Enfin, le rapport  $\text{TiO}_2 / \text{P}_2\text{O}_5$  (élément modérément incompatible / élément plus incompatible) plus élevé dans l'ensemble de RN (RN=11.0 et Agh= 8.0) suggère un plus faible enrichissement en éléments incompatibles pour l'ensemble RN. Ce taux

d'enrichissement plus faible en éléments incompatibles dans l'ensemble RN suggère que ce dernier résulte d'un taux de fusion partielle plus élevé. De plus, la présence de variations semblables à l'intérieur d'un même ensemble, que ce soit RN ou Agh, suggère que les sous-ensembles soient liés pétrogénétiquement par des variations du taux de fusion partiel. Les sous-ensembles RN-III et Agh-III témoignent possiblement de taux de fusion partielle les plus faibles. Les tableaux 3.6 et 3.7 présentent les valeurs moyennes des abondances en éléments traces incompatibles et de certains rapports d'éléments traces incompatibles des deux ensembles de roches.

**Tableau 3.6.** Éléments incompatibles de l'ensemble RN

Éléments	RN		RN-I		RN-II		RN-III	
	M	$\delta$	M	$\delta$	M	$\delta$	M	$\delta$
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,7	0,4	0,54	0,4	0,8	0,2	1,1	0,3
<b>Ba</b>	148,9	120,6	73,6	64,3	152,9	69,2	362,6	121,2
<b>Rb</b>	28,6	31,8	18,2	29,9	24,4	19,1	66,7	32,2
<b>Th</b>	1,2	1,0	0,4	0,1	1,8	1,0	1,5	0,9
<b>Cs</b>	4,6	7,1	4,0	8,6	34,1	4,2	8,6	6,2
<b>La/Sm</b>	2,3	0,4	1,90	0,2	2,44	0,4	2,7	0,4
<b>TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	11,0	4,4	14,92	4,5	8,84	2,1	7,7	2,3
<b>Tb/Yb</b>	0,3	0,0	0,31	0,0	0,33	0,0	0,4	0,0

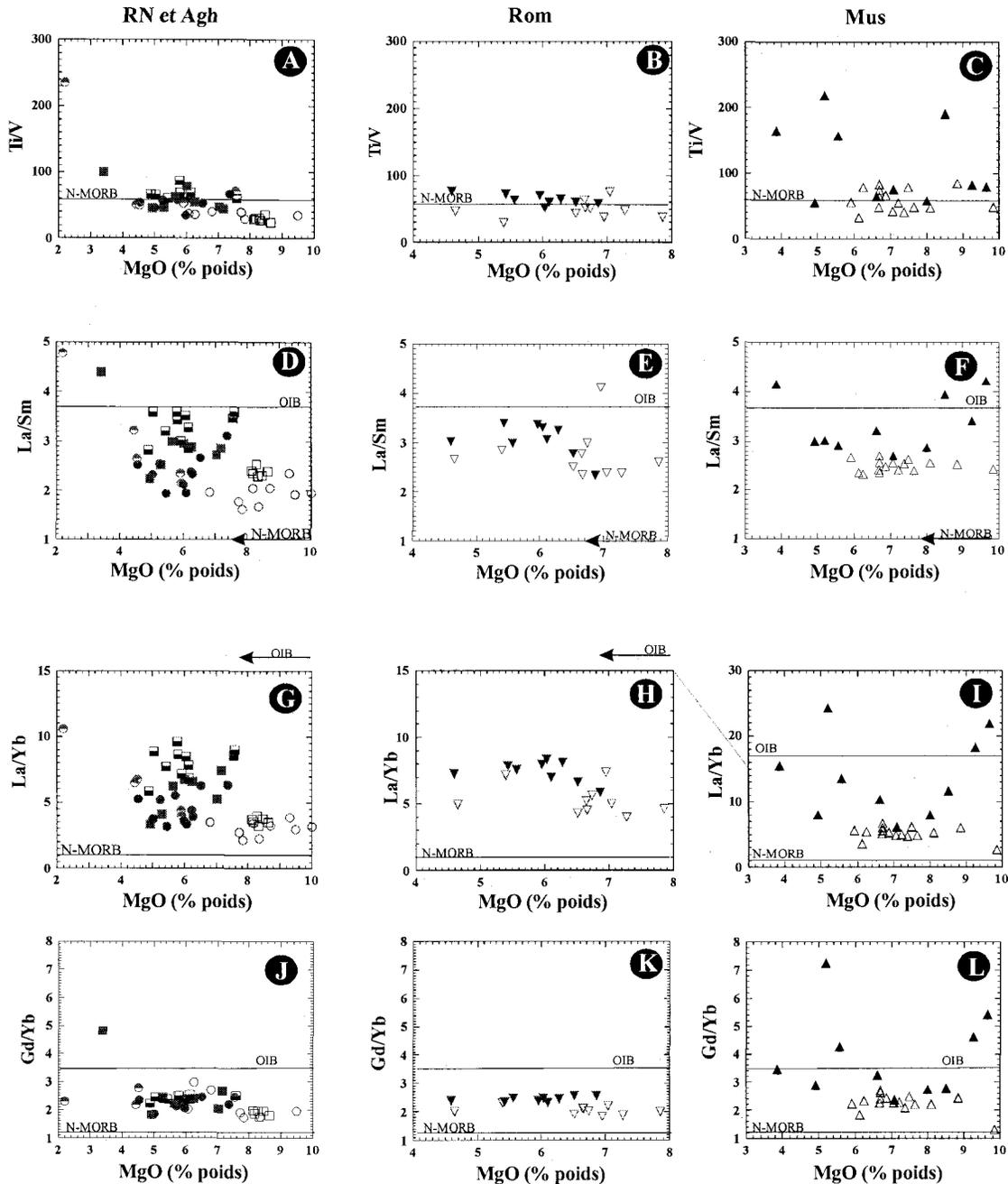
M=moyenne;  $\delta$ =écart-type

**Tableau 3.7.** Éléments incompatibles de l'ensemble Agh

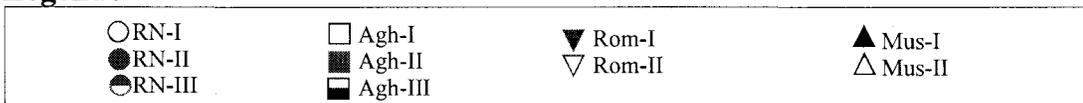
Éléments	Agh		Agh-I		Agh-II		Agh-III	
	M	$\delta$	M	$\delta$	M	$\delta$	M	$\delta$
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,2	0,6	0,62	0,3	1,3	0,8	1,5	0,4
<b>Ba</b>	307,5	187,3	88,1	44,0	239,7	93,1	476,5	105,9
<b>Rb</b>	43,9	59,8	15,9	7,0	62,9	85,1	45,4	42,8
<b>Th</b>	1,7	1,0	0,6	0,1	1,9	0,7	1,0	2,1
<b>Cs</b>	3,8	6,0	1,5	1,2	3,7	5,5	5,2	7,1
<b>La/Sm</b>	3,0	0,5	2,39	0,1	2,9	0,6	3,31	0,3
<b>TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	8,0	2,9	12,17	1,3	7,4	1,4	6,1	1,7
<b>Tb/Yb</b>	0,4	0,1	0,32	0,0	0,4	0,1	0,4	0,1

M=moyenne;  $\delta$ =écart-type

Les diagrammes binaires portés en fonction du MgO montrent également que les rapports Ti/V, La/Sm, La/Yb sont plus élevés dans l'ensemble Agh que dans l'ensemble RN (Fig. 3.19). Ceci confirme les observations obtenues à partir de calculs des moyennes (Tab.3.6 et 3.7).



### Légende



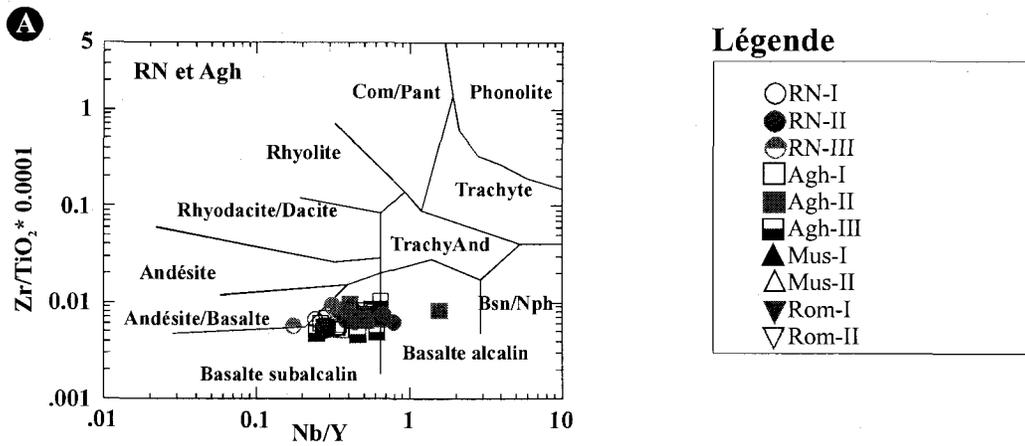
**Figure 3.19.** Diagrammes binaires de différents rapports d'éléments traces en fonction du MgO. Le fractionnement des ÉTR se situant entre les pôles OIB et N-MORB est souvent observé dans les environnements de CFB (continental flood basalt). Ces valeurs peuvent refléter des degrés de fusion partielle différents ou des niveaux de profondeur différente lors de la fusion partielle des roches mantelliques. Les valeurs pour les OIB et N-MORB sont celles proposées par Sun et McDonough (1989).

**N.B.** Pour bien faire ressortir la variation de distribution du rapport de La/Yb, le diagramme I n'est pas à la même échelle que les diagrammes D et E.

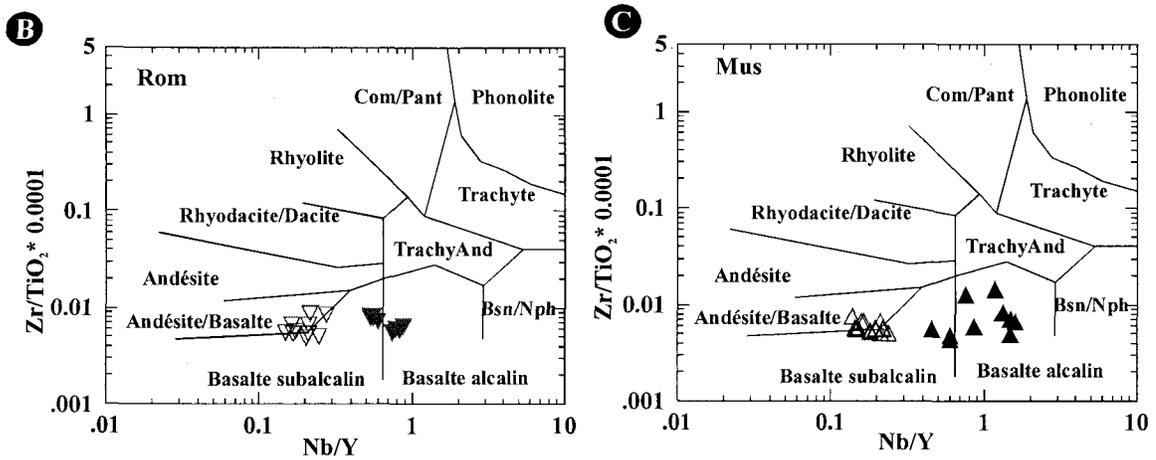
Le diagramme de classification des basaltes de  $Zr/Ti \cdot 0.0001$  vs  $Nb/Y$  (Winchester et Floyd, 1977) montre que tous les échantillons du secteur HSP-Natashquan tombent dans le champ des basaltes subalcalins (Fig. 3.20). Notons que le caractère subalcalin révélé ici est contraire aux observations suggérés dans la figure 3.8. Cette dernière suggère qu'une majorité des échantillons des ensembles Rom et Mus tombent dans le champ des roches alcalines. D'autre part, ce même diagramme confirme la dichotomie des deux séries dans le secteur de Musquaro-La Romaine en présentant les sous-ensembles Rom-II et Mus-II dans le champ des basaltes subalcalins et les sous-ensembles Rom-I et Mus-I dans un autre nuage de points localisé à la frontière entre le champ des basaltes subalcalins et celui des basaltes alcalins. Cette observation diffère de celles tirées du diagramme TAS de Irvine et Baragar qui suggèrent la présence de roches alcalines (Fig. 3.8).

Dans le cas présent, le rapport  $TiO_2/P_2O_5$  est probablement un mauvais indicateur du degré de fractionnement des éléments incompatibles. En effet, les échantillons du sous-ensemble Mus-I présentent à la fois un enrichissement en éléments incompatibles et un pic négatif en P tandis que certaines roches du sous-ensemble Mus-II présentent de plus faibles enrichissements en éléments incompatibles et des pics positifs en P. De plus, l'examen attentif de la figure 3.18 montre la présence d'échantillons montrant un léger pic négatif en Ti. Par contre, les moyennes des éléments incompatibles sont plus élevées dans les roches du sous-ensemble Mus-I. De plus, les rapports  $La/Sm$  ainsi que  $La/Yb$ , de bons indicateurs du degré de fractionnement des éléments incompatibles, présentent des valeurs plus élevées pour le sous-ensemble Mus-I. Par conséquent, ces observations démontrent que ce dernier sous-ensemble est plus enrichi en éléments incompatibles que le sous-ensemble Mus-II. Ainsi, puisque le sous-ensemble Mus-II est moins enrichi en éléments incompatibles, il peut provenir d'un taux de fusion partielle plus élevé ou bien d'une source mantellique différente. Le rapport  $Ti/V$  plus élevé dans le sous-ensemble Mus-I suggère probablement un plus grand fractionnement de minéraux ferromagnésiens ou des variations du taux de fugacité de l'oxygène lors la fusion partielle des sources mantelliques ou lors de la cristallisation fractionnée crustale. Les diagrammes binaires en fonction du  $MgO$  indiquent également que le sous-ensemble Rom-I est enrichi par rapport au sous-ensemble Rom-II pour les éléments Ta, Nb, Ti, Th, U et Zr (Fig. 3.21). Les

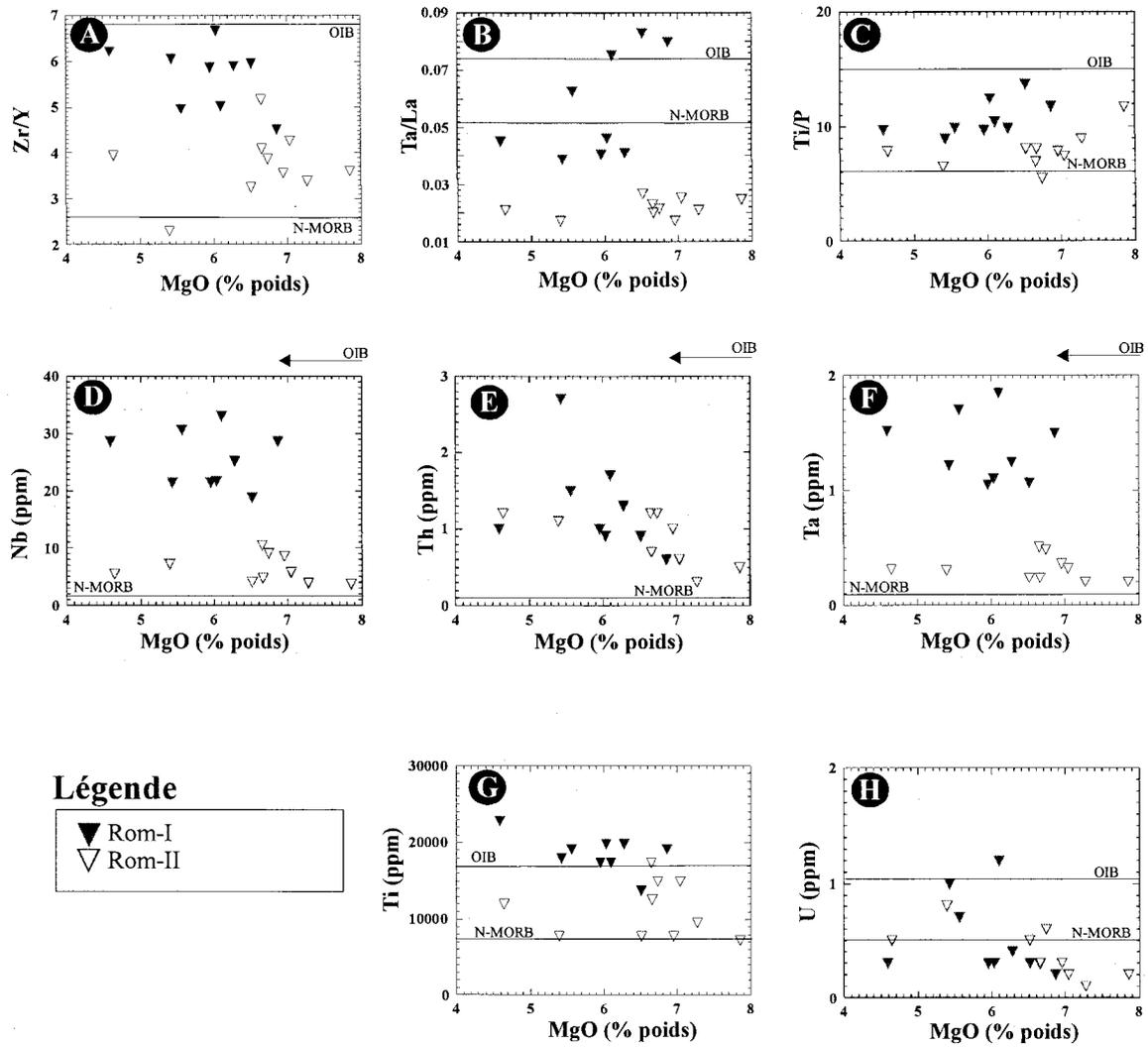
### Secteur HSP-Natasquan



### Secteur Musquaro-La Romaine



**Figure 3.20.** Diagrammes de classification des roches basaltiques selon Winchester et Floyd (1977). La composition des échantillons des sous-ensembles Mus-II et Rom-II suggèrent un degré de fusion partielle plus élevé que pour les sous-ensembles Mus-I et Rom-I



**Figure 3.21.** Diagrammes d'éléments traces et de rapports d'éléments traces portés en fonction du MgO, pour les échantillons de la région de La Romaine.

rapports Ti/V, La/Sm, La/Yb et Gd/Yb présentent également des valeurs plus élevées dans les sous-ensembles Mus-I et Rom-I que pour les sous-ensembles Mus-II et Rom-II, et cela, indépendamment des teneurs en MgO (Fig. 3.19).

Les rapports Nb/Th, La/Yb et Ti/V plus élevés dans le sous-ensemble Rom-I par rapport au sous-ensemble Rom-II confirment la dichotomie observée précédemment. Les rapports plus élevés indiquent un plus grand fractionnement des éléments incompatibles et des ÉTR-légers. Le tableau 3.8 présente les moyennes de certains rapports d'éléments traces observés dans les échantillons du secteur Musquaro-La Romaine.

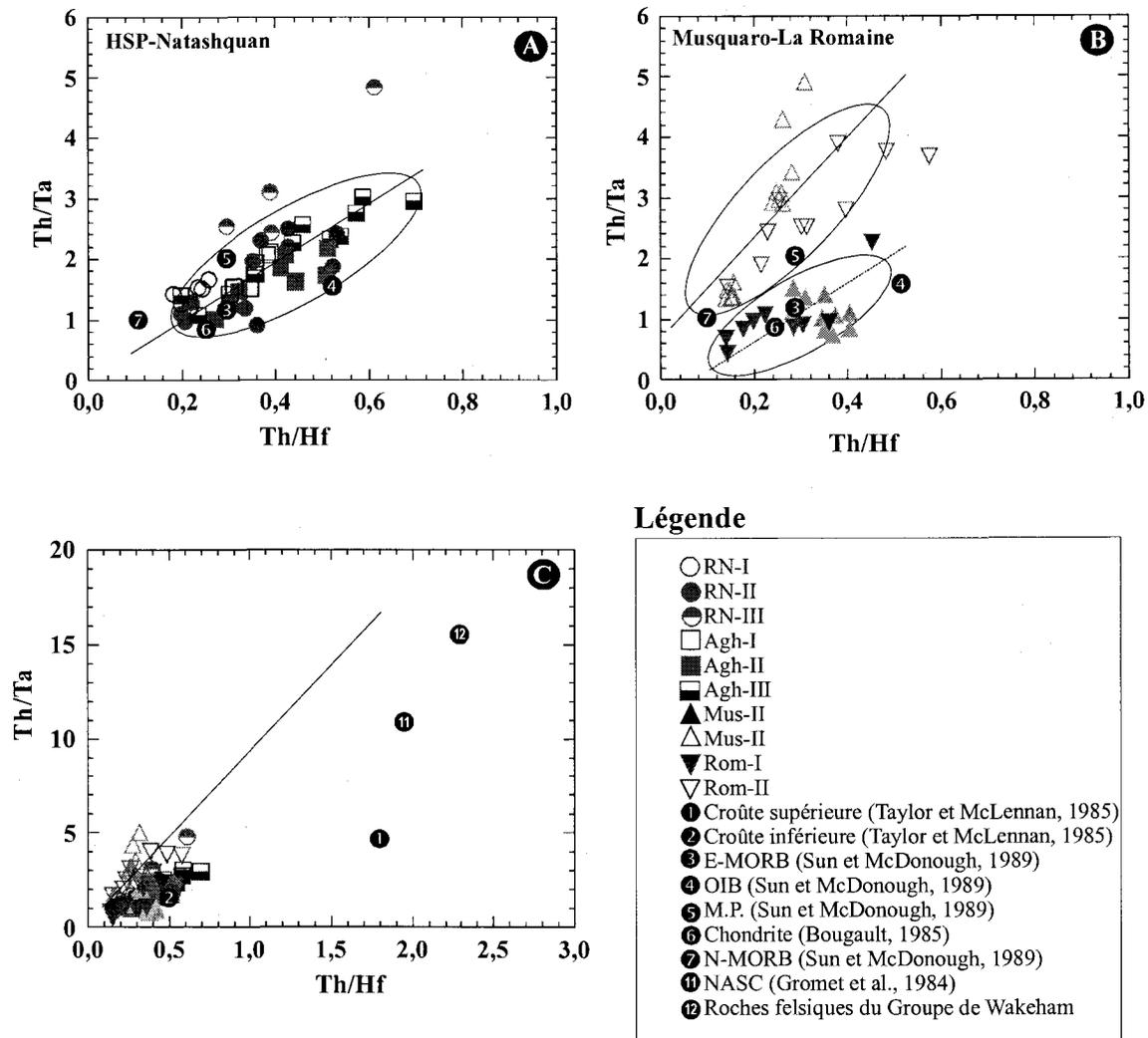
**Tableau 3.8.** Moyennes de certains rapports d'éléments dans le secteur Musquaro-La Romaine

Rapports d'éléments	Rom I		Rom II		Mus I		Mus II	
	M	$\delta$	M	$\delta$	M	$\delta$	M	$\delta$
Nb/Th	23,57	10,08	7,86	2,41	16,17	3,81	9,27	3,01
La/Yb	7,40	0,7	5,27	1,07	13,10	5,99	5,18	0,94
Ti/V	64,27	7,1	47,94	12,21	107,68	59,60	59,48	16,13
Th/La	0,05	0,0	0,06	0,02	0,06	0,01	0,02	0,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>	5,0	1,0	9,98	3,5	4,72	1,43	6,95	1,56
CaO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,57	0,0	0,56	0,06	0,59	0,14	0,49	0,07

M=moyenne;  $\delta$ =écart-type

### 3.3.3 Discrimination tectono-magmatique

Outre leurs potentiels pour contraindre les interprétations pétrogénétiques, les éléments hygromagmatophiles (élément qui va préférentiellement se localiser dans le magma durant la fusion partielle de la roche) sont reconnus comme de bons indicateurs pour établir l'environnement tectono-magmatique de mise en place des magmas mafiques (e.g., Joron et Treuil, 1989). En effet, pour des magmas de même origine, les rapports d'éléments fortement hygromagmatophiles (e.g., Th/Ta) versus ceux des éléments plus faiblement hygromagmatophiles (e.g., Th/Hf) présentent des comportements linéaires dans des diagrammes binaires. Dans le cas présent, ce type de diagramme ne permet pas de séparer les roches de l'ensemble RN et de celles de l'ensemble d'Agh, appuyant ainsi l'hypothèse d'une origine commune pour les deux ensembles de roches mafiques (Fig. 3.22). Cette source pourrait être un manteau de composition sub-chondritique au niveau des éléments fortement hygromagmatophiles. D'autre part, ce diagramme suggère la



**Figure 3.22.** Diagrammes binaires des rapports Th/Ta sur Th/Hf.

A) Un seul vecteur d'alignement pour les roches du secteur HSP-Natashquan.

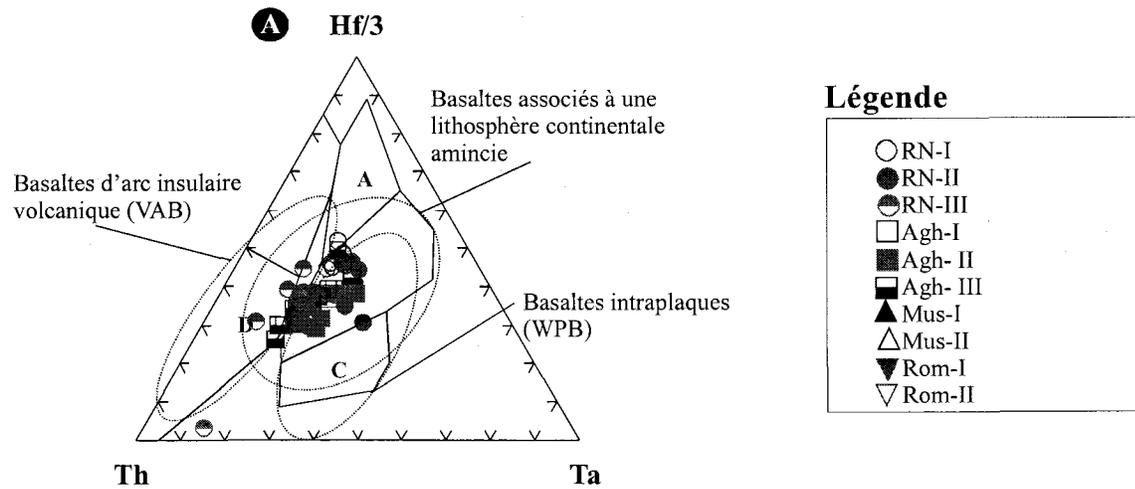
B) Deux vecteurs d'alignement pour les roches du secteur Musquaro-La Romaine suggérant des variations dans leurs pétrogénèses respectives.

C) Le vecteur d'alignement des échantillons avec une forte anomalie négative en Nb-Ta tend vers le pôle représentant la valeur moyenne (dans cette région) des roches supra-crustales du Groupe de Wakeham. Cette tendance peut suggérer une influence des roches supra-crustales du Groupe de Wakeham dans la pétrogénèse de ces magmas mafiques.

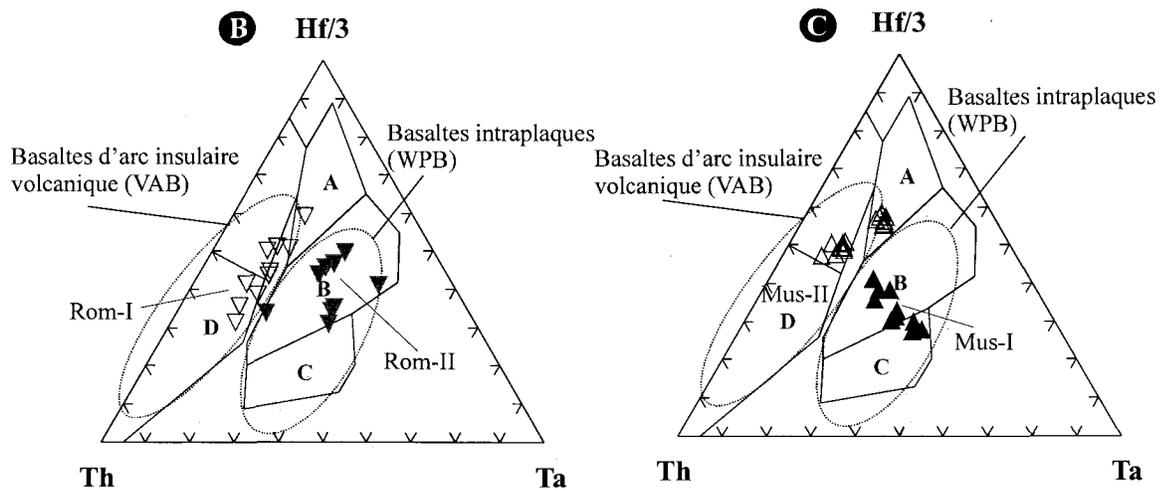
présence de deux sous-ensembles de roches mafiques dans le secteur Musquaro-La Romaine. En effet, les échantillons provenant de ces secteurs définissent deux vecteurs de distribution bien individualisés (Fig. 3.22). Les sous-ensembles Mus-I et Rom-I pourraient provenir d'une source enrichie semblable à celle responsable de la formation des basaltes de type OIB et E-MORB. À l'opposé, les sous-ensembles Mus-II et Rom-II pourraient être associés à une source plus appauvrie située près des pôles du manteau primitif et des N-MORB, DM (manteau appauvri) ( e.g., Joron et Treuil 1989). De plus, le vecteur représenté par les sous-ensembles Mus-II et Rom-II semble se diriger vers les valeurs moyennes des roches supra-crustales du Groupe de Wakeham ce qui peut suggérer une contamination des magmas par cette dernière (Fig. 3.22c).

Les diagrammes de discrimination tectono-magmatiques de Wood (1980) et les cercles de probabilité de Pearce (1996) suggèrent que les roches du secteur HSP-Natashquan se localisent dans la zone de transition entre le champ des basaltes d'arc insulaire volcanique et celui des basaltes intra-plaques (Fig 3.23a). Cependant, une plus forte concentration d'échantillons se localise à l'intérieur du champ des basaltes intra-plaques. Il est bon de noter que le cercle de probabilité représentant la lithosphère continentale amincie regroupe tous les échantillons (Fig. 3.23 ). Par ailleurs, ce diagramme souligne également la présence de deux sous-ensembles (Fig. 3.23b,c), Mus-II et Rom-II, se regroupant dans le champ des basaltes d'arc insulaire, par contraste avec ceux des sous-ensembles Mus-I et Rom-I qui tombent dans le champ des basaltes de plateaux continentaux. Notons que la signature d'arc suggérée pour les sous-ensembles Mus-II et Rom-II reflète probablement des processus d'assimilation crustale car les roches crustales sont caractérisées par de fortes valeurs des rapports Th/Ta.

## Secteur HSP-Natasquan



## Secteur Musquaro-La Romaine



**Figure 3.23.** Diagrammes de discrimination tectono-magmatique de Wood et al. (1980) montrant es cercles de probabilités de Pearce (1996). A= N-MORB; B = E-MORB et basaltes intraplaques (WPB); C = Basaltes intra-plaques alcalins; D = basaltes d'arc insulaire volcanique (VAB).

### 3.4 Points saillants de la caractérisation géochimique

La caractérisation géochimique a permis de faire ressortir les caractéristiques suivantes :

- 1) Malgré le métamorphisme régional au faciès des amphibolites, les roches étudiées retiennent l'essentiel de leurs signatures géochimiques initiales.
- 2) L'étude des éléments majeurs montre plusieurs similitudes entre les ensembles de roches mafiques. Par contre, les ensembles RN et Agh semblent d'affinité subalcaline à alcaline par contraste avec les ensembles Rom et Mus qui semblent avoir une affinité plutôt alcaline.
- 3) Les roches des ensembles RN et Agh sont constituées majoritairement de tholéiites à olivine normative ainsi que de quelques échantillons à quartz et néphéline normative. Par contre, les ensembles Rom et Mus sont constitués des roches mafiques à olivine normative et de roches mafiques à néphéline normative.
- 4) Les roches mafiques des ensembles RN et Agh ont probablement une pétrogenèse commune. Les différences géochimiques entre ces ensembles, montrées par les éléments traces, peuvent être attribuées à des variations du taux de fusion partielle d'une source mantellique commune.
- 5) Les sous-ensembles RN III et Agh III présentent de faibles anomalies négatives en Nb-Ta qui suggèrent une contamination crustale. Toutefois, les échantillons de l'ensemble Agh présentent plus d'échantillons montrant ces anomalies négatives que l'ensemble RN.
- 6) Les roches mafiques du secteur Musquaro-La Romaine se distribuent en deux sous-ensembles : a) Mus-I et Rom-I qui présentent des caractéristiques de basaltes de plateaux continentaux de composition intermédiaire variant entre des basaltes sous-saturés et des basaltes saturés en SiO<sub>2</sub>, pouvant facilement être pétrogénétiquement associées aux ensembles RN et Agh du secteur HSP-Natasquan, b) l'autre sous-ensemble, Mus-II et Rom-II présente des caractéristiques qui sont différentes de celles des basaltes de plateaux continentaux typiques, c'est à dire de très fortes anomalies négatives en Nb-Ta.
- 7) Les roches mafiques de la région d'étude peuvent se subdiviser en deux groupes caractérisés par des variations notables de l'abondance relative en Nb et Ta des spectres en éléments traces. En effet, l'ensemble des roches mafiques du secteur de HSP-Natashquan, dont celles des ensembles RN et Agh, de même que celles des sous-

ensembles Mus-I et Rom-I provenant du secteur oriental de la région d'étude sont caractérisées par l'absence de fortes anomalies négatives en Nb et Ta. Cette caractéristique est typique des basaltes intraplaques comme ceux des plateaux continentaux (CFB). Les échantillons des sous-ensembles Mus-II et Rom-II, quant à eux, présentent des pics négatifs en Nb et Ta qui à première vue suggèrent des variations dans la pétrogenèse des roches de ces sous-ensembles par rapport aux autres roches mafiques de la région d'étude. Ces anomalies négatives en Nb-Ta peuvent avoir plusieurs origines : une pétrogenèse associée à une zone de subduction, une forte contamination crustale ou un métasomatisme de la source mantellique.

## Chapitre 4.0

### Pétrogenèse et discussion

La caractérisation géochimique des sous-ensembles de roches mafiques de la région d'étude a démontré, que les ensembles RN, Agh, Mus-I et Rom-I présentent pour l'essentiel, des signatures géochimiques semblables marquées par un enrichissement en éléments les plus fortement incompatibles sur les diagrammes mult-éléments normalisés aux valeurs du manteau primitif. D'autre part, nous avons également montré que les signatures géochimiques des sous-ensembles Mus-II et Rom-II se distinguent de celles des sous-ensembles précédents notamment par la présence de fortes anomalies négatives en Nb, Ta, et Ti. Ces signatures géochimiques contrastantes témoignent d'un cheminement pétrogénétique complexe.

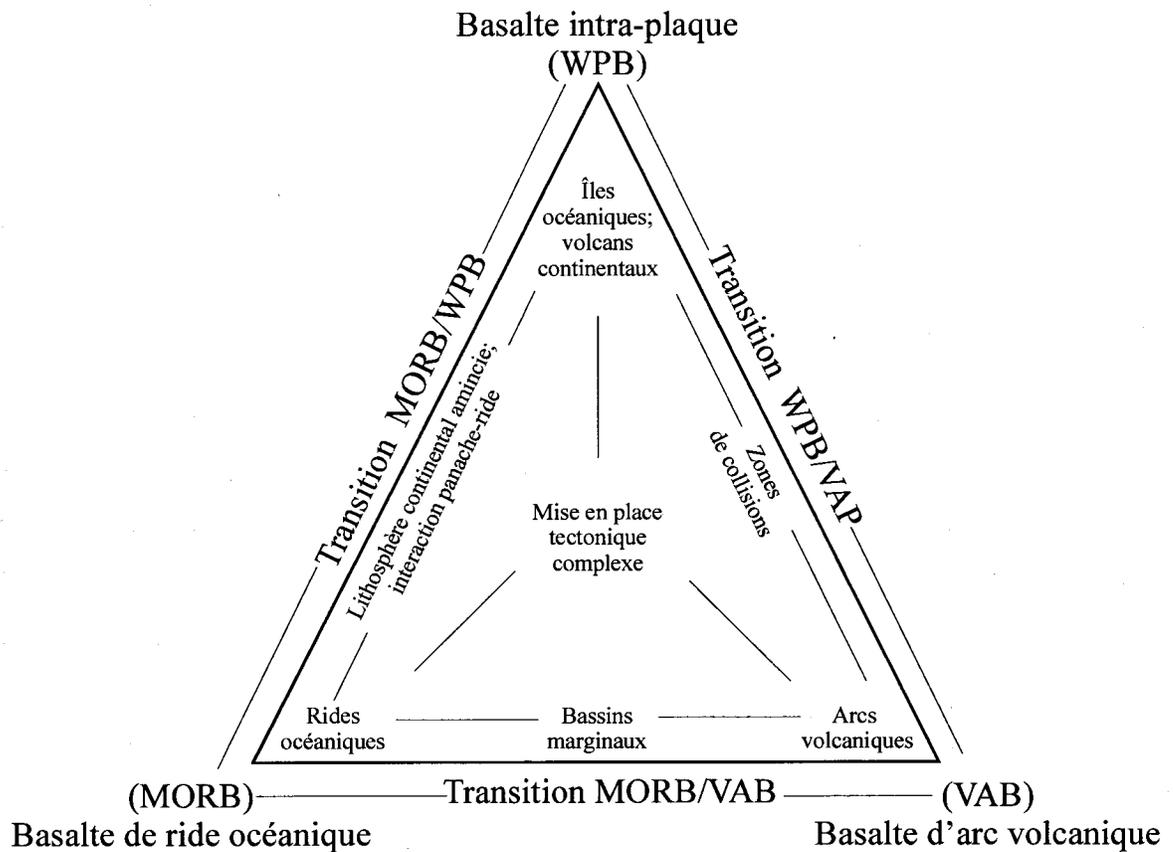
Dans ce chapitre, nous discuterons en détail des processus pétrogénétiques pouvant expliquer certaines différences géochimiques observées entre les différents sous-ensembles. Plus spécifiquement, nous tenterons d'interpréter la signature géochimique particulière des sous-ensembles Mus-II et Rom-II qui sont géographiquement restreints à la région de Musquaro - La Romaine. Finalement, nous discuterons des environnements géotectoniques probables de mise en place de ces suites magmatiques.

#### 4.1 Origine et contexte géodynamique de mise en place des magmas basaltiques

Quoique les magmas basaltiques soient mis en place dans un grand nombre d'environnements géotectoniques, ils sont communément classifiés géochimiquement suivant trois grands types soient i) les basaltes intraplaques (WPB - *Within Plate Basalts*), comprenant les basaltes des îles océaniques (OIB - *Ocean Island Basalts*) et ceux des plateaux continentaux (CFB - *Continental Flood Basalts*), qui sont mis en place en retrait des bordures de plaques tectoniques, ii) les basaltes des rides médio-océaniques (MORB - *Mid Ocean Ridge Basalts*) mis en place en bordure des plaques divergentes et iii) les basaltes associés aux arcs insulaires volcaniques (VAB - *Volcanic Arc Basalts*) qui donnent lieu à la formation des arcs insulaires volcaniques, le long de bordures de

plaques convergentes. Les différences géochimiques entre ces trois types de magma sont en partie attribuables au fait que les magmas de type MORB sont fortement anhydres, de températures moyennes et dérivés d'un taux de fusion partielle relativement élevé du manteau supérieur (asthénosphère). Par contraste, les magmas de type VAB sont principalement formés suite à la déshydratation de la plaque subductée, qui en libérant de l'eau et des éléments incompatibles relativement solubles (e.g. Ba, Rb, Sr) abaisse le point de fusion du biseau des roches mantelliques de la plaque supérieure pour ainsi produire un magma hydraté enrichi en éléments incompatibles relativement solubles comme les LILE (Large ion lithophile element) ? . À l'opposé, les basaltes de type WPB, surtout associés aux panaches mantelliques, se forment à haute température en l'absence d'H<sub>2</sub>O et à de grandes profondeurs dans le manteau (souvent dans le champ de stabilité des lherzolites à grenat). La figure 4.1 présente schématiquement la subdivision tectono-magmatique des différents magmas basaltiques terrestres. Dans certain cas, les basaltes continentaux peuvent se former sans la mise en place de panache mantellique. Ces magmas se forment suite à une importante atténuation lithosphérique dans des zones d'extension lithosphérique. La source de ces basaltes semble parfois être lithosphérique.

Ces différences pétrogénétiques donnent lieu à des signatures géochimiques distinctes qui peuvent être mise en évidence notamment à l'aide de spectres de distribution des éléments traces normalisés aux valeurs du manteau primitif terrestre (Fig. 4.2a). Cette représentation des données géochimiques est efficace pour aider à l'évaluation probable des environnements géotectoniques de mise en place des magmas. Sur ces diagrammes, les MORB de composition normale (N-MORB) montrent un fort appauvrissement en éléments hautement incompatibles (e.g. ÉTR-léger). Les basaltes de type WPB se distinguent des N-MORB par un enrichissement en éléments fortement incompatibles, sans toutefois présenter d'autres anomalies distinctives. Par contre, quoique les basaltes de type VAB présentent un enrichissement semblable aux basaltes de type WPB pour ce qui est des terres rares-légères et des actinides, ils sont singularisés par la présence d'anomalies négatives marquées en Nb, Ta, Ti et souvent en Zr et Hf (Briggs & McDonough, 1989; Kelemen et al., 1990; Arndt et Christensen, 1992; Zhao et McCulloch, 1993; LaFlèche et al., 1996 et Campbell, 2001).



**Figure 4.1.** Diagramme synthèse de la mise en place tectonique des basaltes. Les trois principaux types de basaltes sont représentés par les sommets du triangle tandis que les zones transitionnelles et les sites de mise en place occupent respectivement les côtés et l'intérieur. Les MORB sont produits à la marge divergentes des plaques, les VAB font éruptions à la bordure convergente des plaques et les WPB sont mis en place loin des marges de plaques. Tirée de Pearce, 1996.

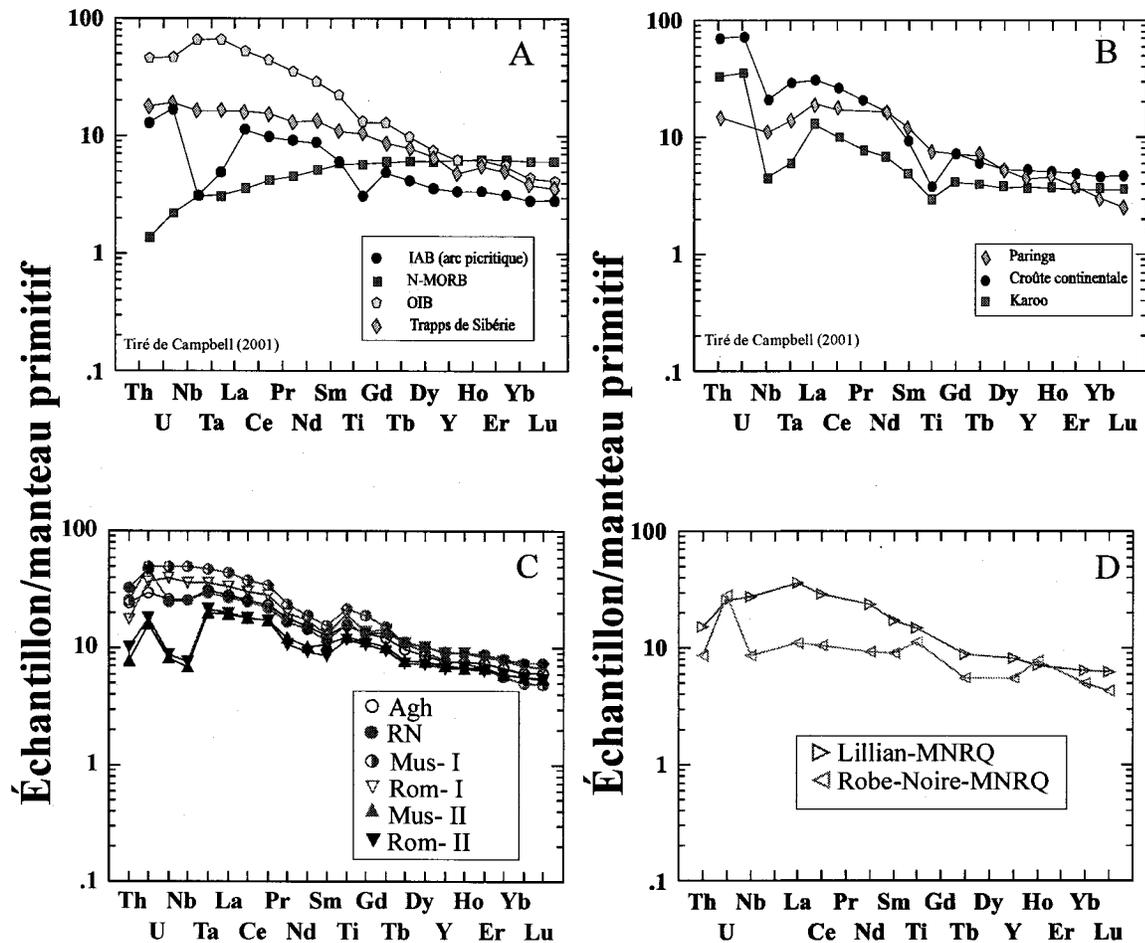


Figure 4.2.

A) Diagramme multi-éléments représentant les spectres d'éléments traces caractéristiques pour les différentes origines des basaltes.

B) Diagramme multi-éléments représentant des spectres de basaltes de plateau (CFB) avec des anomalies en Nb-Ta similaire à ceux des IAB et à la croûte continentale.

C) Diagramme multi-éléments montrant la valeur moyenne des spectres d'éléments traces de chacun des groupes de roches identifiés dans notre étude. Les spectres présentent deux signatures, l'une typique des milieux OIB ou dérivée de panache, l'autre anormale en Nb-Ta et caractéristique à la fois des IAB ou de certains types de CFB.

D) Diagramme multi-éléments des valeurs proposer par le MNRQ pour les Suites de Robe-Noire et de Lillian. Les valeurs de normalisation du manteau primitif sont celles suggérées par Sun & McDonough (1989).

Malheureusement, les basaltes de plateaux continentaux, ne présentent pas tous une signature caractéristique de type WPB (Fig. 4.2b). Par exemple, plusieurs suites précambriennes et paléozoïques de basaltes mis en place à travers la croûte continentale enregistrent une contamination crustale qui se traduit par la présence, dans leurs spectres en éléments traces, d'anomalies négatives marquées en Nb-Ta et Ti. Ce type de signature, produite par l'assimilation progressive de la croûte continentale, peut donc être confondue avec celles des VAB. De plus, Campbell (2001) a montré que, des anomalies négatives en Nb-Ta et Ti des basaltes des plateaux du Karoo et de Parana proviennent vraisemblablement d'un héritage crustal précoce, suite à la contamination de la source mantellique du panache par l'assimilation de sédiments qui, après leur subduction, ont été entraînés dans le manteau profond par des courants de convection mantellique descendants. Ces basaltes ne présentent toutefois pas d'enrichissement en  $\text{SiO}_2$  comme les basaltes de plateau de Paringa qui sont fortement contaminés par les roches crustales encaissantes (Campbell, 2001). Compte tenu de la composition isotopique et de la considération de bilan de masse, Campbell (2001) suggère que les signatures géochimiques des basaltes du Karoo et de Parana soient d'origine essentiellement mantellique, et ne résultent pas d'une contamination par la croûte continentale dans laquelle ils ont été mis en place. En effet, le manteau lithosphérique sous le bouclier sud africain serait enrichi et non appauvri en Nb-Ta et Ti (Campbell, 2001). Cette caractéristique chimique du manteau lithosphérique reflète probablement des processus métasomatiques reliés à l'impact de nombreux points chauds sous le continent africain et à l'injection de volumes important de magmas kimberlitiques et carbonatitiques dans la lithosphère mantéllique.

En résumé, les basaltes et les roches gabbroïques associées, qui montrent un enrichissement des ÉTR-légers et autres éléments fortement incompatibles, sans toutefois présenter d'anomalies négatives en Nb-Ta et Ti peuvent être interprétés, sans trop de doute, comme ayant une origine dérivée d'un panache mantellique. Cependant, en l'absence de données isotopiques, il est difficile de distinguer entre une pétrogenèse associée à la mise en place d'un point chaud et une hétérogénéité impliquant la fusion partielle de manteau lithosphérique préalablement enrichi lors du passage d'anciens

panaches mantelliques. Par contre, d'autres critères peuvent être utilisés pour établir l'origine de ceux présentant des anomalies négatives en Nb-Ta et Ti.

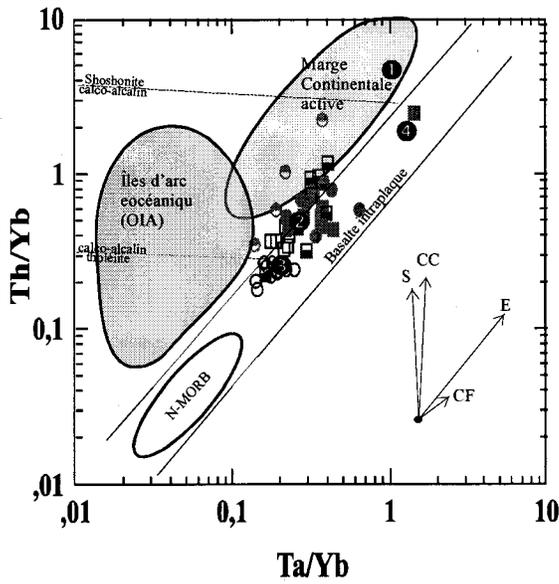
#### **4.2 Pétrogenèse des ensembles RN et Agh, et des sous-ensembles Mus-I et Rom-II**

Notre étude pétrographique et géochimique des roches métagabbroïques des ensembles RN et Agh, qui affleurent dans le secteur HSP-Natashquan, a mis en relief la très grande similitude compositionnelle de ces roches. Les métagabbros de l'ensemble RN se distinguent sur le terrain des dykes amphibolitisés du Complexe d'Aguanish essentiellement par leur association lithologique ainsi que par l'abondance et leur mode d'occurrence. Rappelons que les métagabbros de l'ensemble RN forment des filons-couches généralement d'épaisseurs déca- à hectométriques qui s'insèrent dans les métasédiments du Groupe de Wakeham (constituant près du tiers des roches de la fosse de Davy), tandis que les dykes amphibolitisés du Complexe d'Aguanish excèdent rarement plus de 10 mètres d'épaisseur et forment tout au plus 15% des aires d'affleurement. Soulignons, de plus, que ces différences dans le mode de distribution sur le terrain de ces roches n'impliquent pas nécessairement la mise en place de suites magmatiques distinctes. En effet, ces variations peuvent être reliées à des différences dans le milieu de mise en place, par exemple, l'injection dans des massifs granitiques sera influencée entre autre par la présence de réseaux de fractures et de failles tandis que l'injection en bassin sédimentaire peut être favorisée par les anisotropies dues à la présence des différents contacts stratigraphiques.

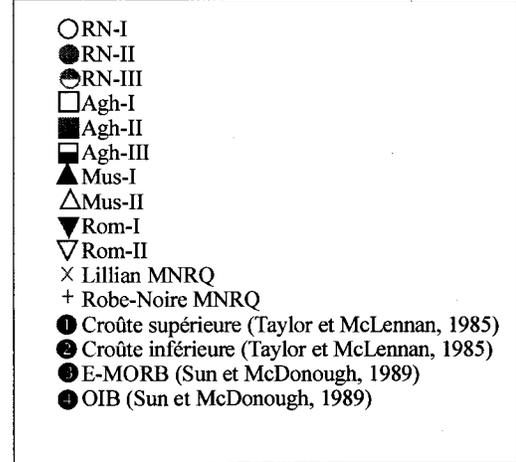
L'étude des éléments traces des ensembles et sous-ensembles RN, Agh, Mus-I et Rom-I présente : i) des spectres normalisés au manteau primitif (Fig. 4.2a et 4.2c) qui suggèrent que les roches mafiques puissent être l'équivalent de basaltes de type intraplaque; ii) d'autres rapports d'éléments traces suggèrent également que ces roches mafiques puissent être des équivalents de basaltes de type intraplaque (WPB) (Fig. 4.3a).

De plus, les observations géochimiques (comportement des éléments majeurs et traces, similitudes des spectres des ÉTR et des diagrammes multiéléments, comportement des rapports des éléments traces incompatibles) suggèrent fortement que ces ensembles et

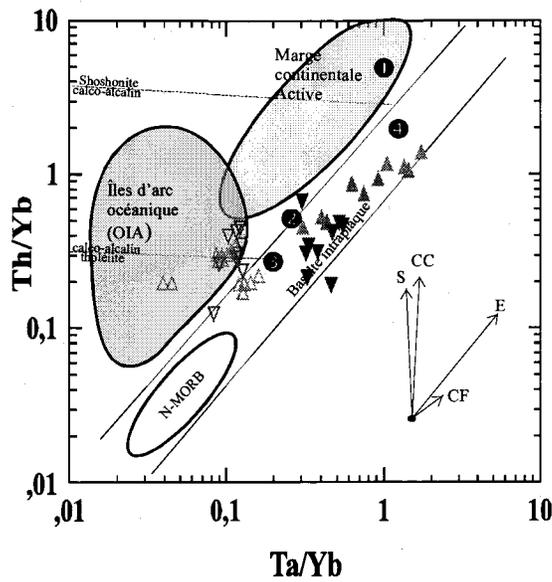
### Secteur HSP-Natasquan



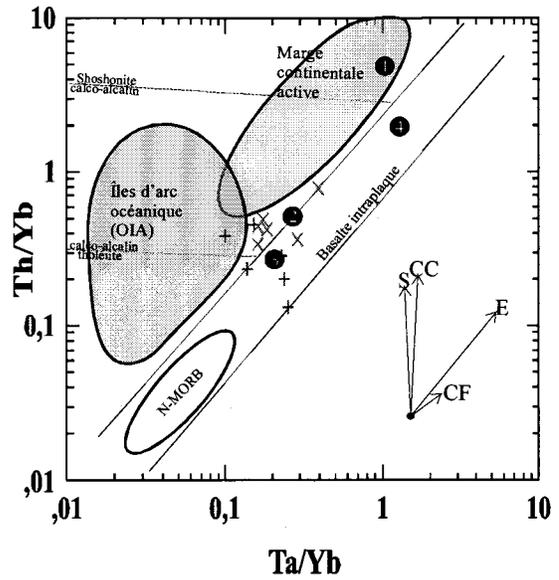
### Légende



### Secteur Musquaro-La Romaine



### Échantillons MNRQ



**Figure 4.3.** Diagrammes des rapports Th/Yb en fonction de Ta/Yb montrant les différences entre les basaltes non contaminé qui proviennent d'une source appauvrie (N-MORB) ou d'une source enrichie (OIB) et les basaltes contaminés. Les vecteurs indiqués montrent l'influence associée à une subduction (S), à une contamination crustale (CC), à un enrichissement (E) et à une cristallisation fractionnée (CF). Les basaltes non contaminés de type intra-plaque continentale devraient se localiser dans le champ de la source mantellique enrichie. Modifié de Wilson (1988).

sous-ensembles de roches mafiques fassent partie d'une même suite magmatique. Pour ces raisons, nous suggérons d'étendre le nom de Suite mafique de la Robe-Noire (nom utilisé par Verpaelst et al., 1998, pour désigner l'ensemble des filons-couches et dykes de gabbros métamorphisés, intrusifs dans les sédiments du Groupe de Wakeham) à l'ensemble des dykes de roches mafiques que nous avons étudié et non plus de restreindre ce nom exclusivement aux dykes et filons-couches à l'intérieur du Groupe de Wakeham.

#### **4.2.1 Variations observées à l'intérieur de la Suite mafique de la Robe-Noire**

Globalement, les spectres des ÉTR montrent un certain enrichissement pour l'ensemble Agh par rapport à l'ensemble RN (Fig. 3.15). Cet enrichissement peut être attribué à des différences pétrogénétiques soit dans le taux de fusion partielle de la source mantellique, ou soit possiblement dans le degré de fractionnement lors de la cristallisation fractionnée. Notons toutefois que les abondances en ÉTR lourds sont semblables tandis que la pente des ÉTR légers (du La au Sm) est plus accentuée dans l'ensemble Agh. Par simple processus de cristallisation fractionnée, il est pratiquement impossible d'expliquer la différence observée dans la composition de l'ensemble Agh par rapport à l'ensemble RN. Tandis que les différences reconnues entre les sous-ensembles RN-I, II, III et Agh-I, II, III s'expliquent par des taux de fractionnement plus élevés, les différences entre les ensembles RN et Agh reflètent vraisemblablement des différences de taux de fusion d'une source mantellique. Le taux de fusion partielle serait légèrement plus élevé pour l'ensemble RN car nous savons que les ÉTR légers sont plus incompatibles et qu'un faible degré de fusion partielle d'une source mantellique produit conséquemment des magmas plus enrichis en ÉTR légers.

Le fractionnement plus marqué des ÉTR-lourds peut avoir deux origines : soit le fractionnement magmatique à haute pression dans le champ de stabilité du grenat, soit l'enrichissement métasomatique d'une source péridotitique par l'injection de magmas de type OIB ou carbonatitiques. (Fig. 3.15).

Les spectres des ÉTR des sous-ensembles Rom-I et Mus-I sont très similaires à ceux du secteur HSP-Natashquan. Un déplacement vers le haut des spectres des ÉTR des sous-

ensembles Rom-I et Mus-I pourrait également représenter une augmentation du taux de cristallisation fractionnée de ces roches par rapport à celui du secteur HSP-Natashquan.

En l'absence d'indices suggérant une mobilité hydrothermale des éléments majeurs, la distribution des échantillons sur le diagramme TAS (Fig. 3.7a et 3.8a) suggèrent que les roches mafiques du secteur Musquaro—La Romaine sont légèrement plus alcalines que celles du secteur HSP—Natashquan. Cette tendance vers une sous-saturation variable en silice se traduit par une augmentation de l'abondance de la néphéline dans leurs normes CIPW (Appendice C). Cette tendance plus alcaline est particulièrement bien mise en évidence par le diagramme de classification des magmas basaltiques de Thompson (1984) (Fig. 3.6 et Tab. 4.1).

**Tableau 4.1.** Classification des roches mafiques selon Thompson (1984).

Localisation		Tholéiites à quartz	Tholéiites à olivine	Basaltes alcalins
Secteur	RN	20%	76%	4%
HSP-Natashquan	Agh	12%	80%	8%
Secteur	Rom-I	0	56%	44%
Musquaro-La Romaine	Mus-I	10%	50%	40%
	Rom-II	0	20 %	80 %
	Mus-II	17 %	33 %	50 %

En effet, tandis que les roches mafiques du secteur Musquaro-La Romaine renferment une proportion importante de roches alcalines, les roches de cette affinité sont nettement moins abondantes dans le secteur HSP-Natashquan où la proportion de tholeiite olivine et à quartz est plus importante (Tab. 4.1).

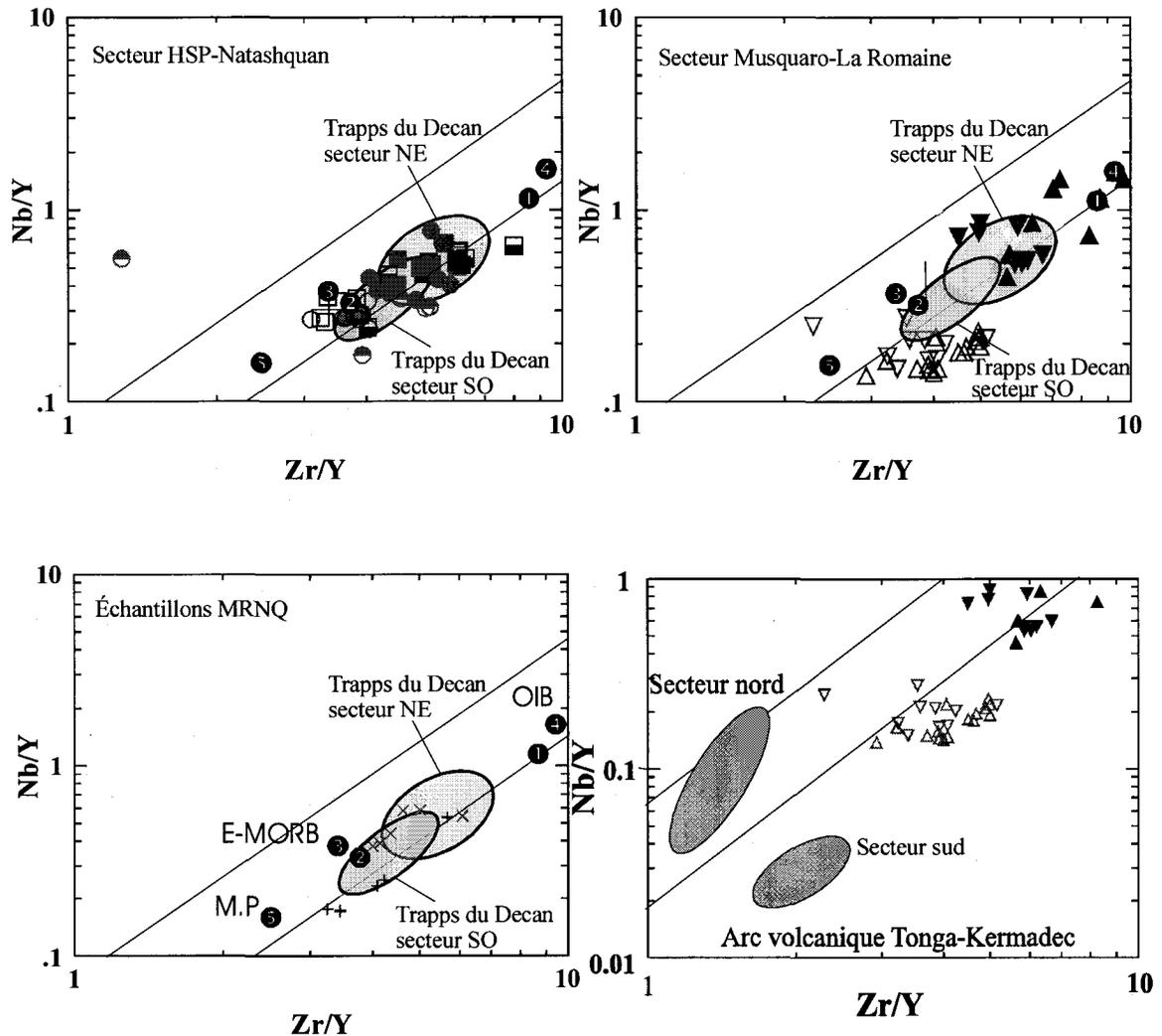
Pris dans leur ensemble, ces observations révèlent que les signatures géochimiques des roches mafiques et des magmas parentaux changent, d'ouest en est, de tholéiitiques à alcalines, suggérant des variations pétrogénétiques significatives dans les conditions et dans le degré de fusion partielle de la source. Par exemple, lors de la fusion partielle du manteau, la présence d'H<sub>2</sub>O et de CO<sub>2</sub> peut favoriser la formation d'un magma basaltique sous-saturé en silice (Wilson, 1988; Rollinson, 1993). Notez qu'un faible pourcentage de fusion partielle sous de haute pression aura le même effet. La genèse des magmas basaltiques alcalins peut être reliée à un faible taux de fusion partielle (<10%) d'une

lherzolite à grenat enrichie en éléments volatils. Par contre, une même lherzolite pauvre en éléments volatils avec un taux de fusion partielle élevé (e.g., 15 à 25 %) produira un magma tholéiitique (Wilson, 1988; Rollinson, 1993). Généralement, les magmas de série tholéiitique se forment à base pression et se saturent progressivement en silice (champ de stabilité des lherzolites à spinelle). Contrairement aux tholéiites, les magmas alcalins demeurent sous-saturés en silice lors de la différenciation magmatique, et cristallisent dans les faciès les plus différenciés des feldspathoïdes.

Les variations des rapports La/Sm, La/Yb, et  $TiO_2/P_2O_5$  peuvent également servir à évaluer indirectement les variations relatives du taux de fusion partielle d'une source mantellique lors de la pétrogenèse de chacun de ces ensembles. En effet, des rapports élevés représentant des éléments fortement incompatibles comme le La, sur des éléments moins incompatibles, comme le Sm et le Yb, suggèrent des taux de fusion partielle faible. De plus, pour ce qui est de l'Yb, un appauvrissement en cet élément suggère une rétention des ÉTR lourds par le grenat contenu dans les lherzolites à grenat. Normalement, pour des sources mantelliques lherzolitiques, ces rapports diminuent avec l'augmentation du taux de fusion partielle de la source mantellique. Par contre, une augmentation des rapports  $TiO_2/P_2O_5$ , c'est à dire où l'élément le moins incompatible est au numérateur, indique un appauvrissement en éléments incompatibles, conséquence de l'augmentation du taux de fusion partielle de la source. Ainsi, la comparaison des rapports La/Sm, La/Yb et  $TiO_2/P_2O_5$  observée dans les différents ensembles et sous-ensembles suggère que l'ensemble RN résulte d'un taux de fusion partielle plus élevé que les ensembles Agh et les sous-ensembles Rom-I et Mus-I. Ces trois derniers résultent vraisemblablement de taux de fusion partielle semblables (Tab. 4.2).

**Tableau 4.2.** Valeur moyenne des rapports La/Sm, La/Yb et  $TiO_2/P_2O_5$ .

	RN	Agh	Rom-I	Rom-II	Mus-I	Mus-II
La/Sm	2,3	3,0	1,1	2,4	2,9	2,5
La/Yb	4,2	7,0	7,4	5,3	13,1	5,2
$TiO_2/P_2O_5$	11,0	8,0	7,8	5,7	6,7	4,8



### Légende

○ RN-I	□ Agh-I	+ Robe-Noire MRNQ	① Croûte supérieure (Taylor et McLennan, 1985)
● RN-II	■ Agh-II	× Lillian MRNQ	② Croûte inférieure (Taylor et McLennan, 1985)
◐ RN-III	◑ Agh-III		③ E-MORB (Sun et McDonough, 1989)
▲ Mus-I	▼ Rom I		④ OIB (Sun et McDonough, 1989)
△ Mus-II	▽ Rom II		⑤ M.P. (Sun et McDonough, 1989)

**Figure 4.4.** Digramme Nb/Y en fonction de Zr/Y modifiés de Baksi (2001). La zone à l'intérieur des 2 lignes représente le champ mantellique profond proposé pour les roches gabbroïques. Dans l'arc insulaire volcanique de Tonga-Kermadec, les roches du secteur nord sont identifiées à un origine mantellique profond par contre les roches du secteur sud sont identifiées un magmatisme de subduction.

#### **4.2.2. Environnement tectono-magmatique de mise en place des ensembles RN et Agh, et des sous-ensembles Mus-I et Mus-I**

Les magmas à l'origine des roches formant les ensembles RN et Agh ainsi que les sous-ensembles Mus-I et Rom-I ont des caractéristiques rappelant celles de magmas mantelliques issus de sources profondes (Fig. 4.3 et 4.4). Cette observation est parfaitement compatible avec un environnement de magmatisme intraplaque. De plus, les valeurs des rapports d'éléments traces comme : Nb/Y, Zr/Y, Th/Tb et Ta/Yb suggèrent une origine de type E-MORB (*Plume enriched MORB*) évoluant vers le type OIB (*Ocean Island Basalt*) pour l'ensemble de ces roches.

#### **4.3 Pétrogenèse des sous-ensembles Rom-II et Mus-II, montrant des anomalies négatives en Nb-Ta et Ti**

Nous avons montré aux chapitres précédents que les roches mafiques des sous-ensembles Rom-II et Mus-II se distinguent des roches de la Suite mafique de la Robe-Noire par la présence d'importantes anomalies négatives marquées en Nb-Ta et Ti sur les spectres multiéléments, trahissant ainsi un héritage pétrogénétique différent. Il est important de souligner que les roches présentant cette signature géochimique distinctive semblent affleurer exclusivement dans le secteur Musquaro-La Romaine, où elles sont intimement associées et inséparables sur le terrain de celles des sous-ensembles Rom-I et Mus-I que nous avons interprété comme faisant partie de la Suite mafique de la Robe-Noire à la section précédente.

##### **4.3.1 Origine des anomalies négatives en Nb-Ta et Ti**

La présence d'anomalies négatives en Nb-Ta dans des roches mafiques peut s'expliquer de plusieurs façons. Elles sont, entre autre, caractéristiques des magmas basaltiques associés aux arcs insulaires volcaniques (e.g., Kelemen et al., 1990). Elles peuvent, d'autre part, être produites par la contamination de magmas de type plateaux continentaux (WPB) lors de leur ascension dans la lithosphère et plus spécifiquement lors de leur mise en place dans la croûte continentale (e.g., Carlson et al., 1981; Saunders et al., 1992; Arndt et Christensen, 1992), ou résulter de la contamination du réservoir mantellique par

l'assimilation de matériel crustal suite à un événement de subduction antérieur (Campbell, 2001).

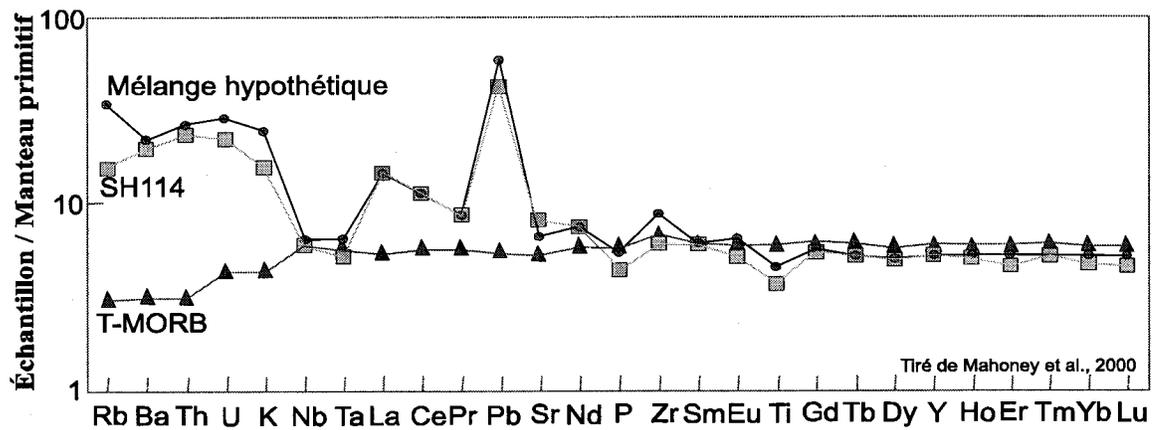
#### *Signature magmatique d'arc.*

En effet, dans les roches mafiques les anomalies négatives en Nb-Ta sont depuis longtemps reconnues comme étant caractéristiques de la signature des magmas basaltiques et andésitiques des arcs insulaires volcaniques (e.g., Briggs & McDonough, 1989; Kelemen et al., 1990; Arndt et Christensen, 1992; Zhao & McColloch, 1993; Campbell, 2001). Elles résultent d'interactions entre la zone de subduction et les péridotites mantelliques situées au-dessus de la zone de subduction. Les magmas basaltiques et andésitiques reliés aux arcs magmatiques sont tous appauvris en éléments à fort potentiel ionique (HFSE) par rapport aux abondances en ÉTR, tel le Ti, Zr, V, Nb, Hf, et Ta, dans les diagramme normalisés par rapport au MORB (Kelemen et al., 1990). L'appauvrissement relatif se produit lors de l'interaction de la plaque en subduction et du manteau sus jacent, suite à une réaction entre le magma produit par la fusion partielle du manteau péridotique et les minéraux tels l'olivine, l'orthopyroxène et le spinelle. Ces minéraux ont un coefficient de partage cristal/liquide plus élevé pour les HFSE que pour les autres éléments incompatibles. Ce magma peut également être appauvri en ÉTR-lourds, Cr et Ni, et enrichi en LILE par rapport au MORB. Ces caractéristiques sont communes à tous les magmas mafiques de marge de plaque convergente (Kelemen et al., 1990). Cet enrichissement en LILE peut également s'expliquer par un simple mécanisme métasomatique impliquant la circulation de fluides hydratés (déshydratation de la plaque) enrichis en ÉTR légers et en alcalis. Ces fluides abaissent la température de fusion des péridotites tout en enrichissant les magmas en ÉTR légers par rapport aux HFSE.

#### *Contamination crustale (lithosphérique) des magmas de type plateaux continentaux (WPB)*

De fortes anomalies négatives en Nb-Ta et Ti peuvent également résulter de l'interaction entre le magma asténosphérique et la lithosphère (mantellique ou crustale) durant son ascension vers la surface (e.g., Saunders et al., 1992). La contamination du magma ascendant peut se produire par l'assimilation de matériaux froids et fondus comme les

roches sédimentaires, les granites et les gneiss. Ces roches crustales sont naturellement enrichies en ÉTR légers et appauvries en HFSE. Une assimilation de ce type de roches peut facilement expliquer les anomalies observées dans les roches des sous-ensembles Mus-II et Rom-II. Mahoney et al. (2000) ont démontrés qu' Un mélange hypothétique formé d'un T-MORB (MORB transitionnel) et de 20% de croûte continentale archéenne peut produire un spectre sur le diagramme multi-éléments qui se superpose aux spectres avec des anomalies négatives en Nb-Ta exprimés par certains basaltes des trapps du Decan (Fig. 4.5). D'autre part, la contamination des magmas basaltiques peut se produire durant leur ascension dans le manteau lithosphérique (e.g., Kelemen et al., 1990). Effectivement, compte tenu de l'état de saturation du magma, ce dernier peut réagir avec les péridotites. La zone d'interaction est toutefois très limitée, elle est maximale aux murs des conduits magmatiques et décroît rapidement en s'en éloignant. Ce type de situation peut être favorable aux processus de fractionnement du Nb-Ta par rapport aux autres éléments traces (Arndt et Christensen, 1992). Une extraction sélective des éléments traces incompatibles durant la fusion partielle du manteau péridotitique métasomatisé peut produire des compositions chimiques et isotopiques différentes dans un basalte de plateau continental. Certains processus peuvent favoriser la migration des ÉTR et autres éléments incompatibles dans le magma en permettant une rétention du Nb-Ta. Dans l'assemblage minéralogique du manteau péridotitique métasomatisé au point sub-solidu , les éléments traces incompatibles sont surtout incorporés dans les amphiboles, les micas, l'apatite et les oxydes. Le Nb-Ta a tendance à se concentrer dans les amphiboles et les micas. De plus, un manteau (lithosphérique) péridotitique fortement métasomatisé contenant des oxydes riches en Ti comme l'ilménite et le rutile aura tendance à incorporer préférentiellement le Nb-Ta dans la structure de ces oxydes. Par conséquent, un magma asthénosphérique métasomatisé peut s'appauvrir Nb-Ta par rapport aux autres éléments traces durant son ascension dans la lithosphère mantellique sous continentale (Arndt & Christensen, 1992).



### Légende

- Échantillon des trapps du Deccan
- Mélange hypothétique 80 % T-MORB et 20 % croûte archéenne felsique
- ▲ T-MORB

**Figure 4.5.** Diagramme multi-éléments de spectres classiques tirés de Mahoney et al., 2000. Les valeurs du manteau primitif sont celles de Sun & McDonough (1989).

### *Contamination du réservoir mantellique par des processus de subduction*

Des anomalies négatives en Nb-Ta et Ti peuvent également résulter de la contamination du réservoir mantellique suite à des processus de subduction antérieurs (Campbell, 2001). Ce dernier a montré que certains basaltes de plateaux, dont ceux du Karoo et de Parana, montrent des anomalies en Nb-Ta et Ti qui sont principalement attribuables à la composition particulière de la source mantellique, et indirectement liées à une contamination crustale ou à des processus de subduction.

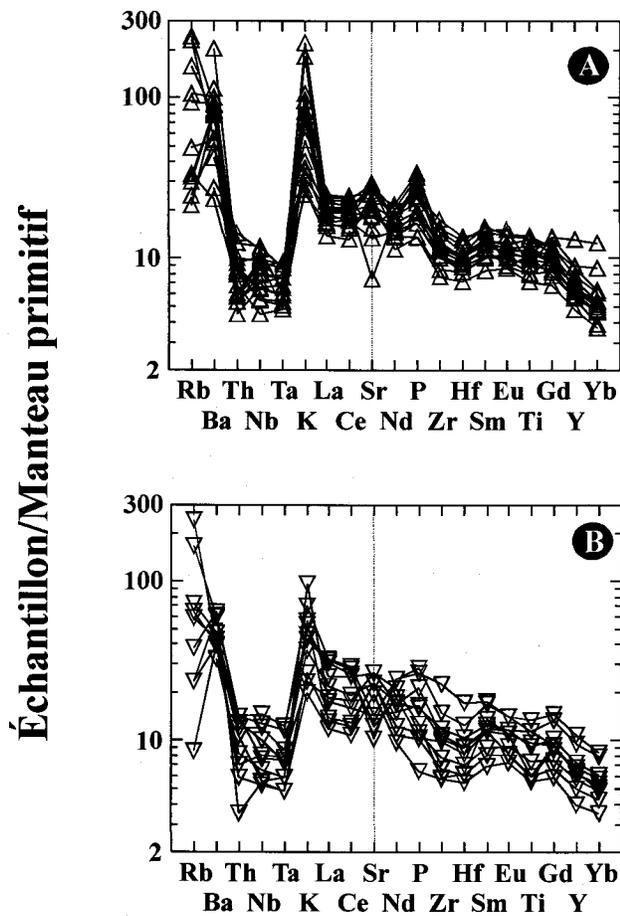
#### **4.3.2 Origine des anomalies négatives en Nb-Ta et Ti des sous-ensembles Mus-II et Rom-II**

Du fait que les anomalies négatives en Nb-Ta et Ti dans les magmas basaltiques pourraient avoir plusieurs origines, d'autres contraintes géochimiques ou géologiques (contexte régional de mise en place) doivent être considérées pour cibler le processus pétrographique responsable du fractionnement des HFSE. À cet égard, il est bon de rappeler que les échantillons des sous-ensembles Mus-II et Rom-II sont intimement associés et inséparables sur le terrain de ceux des sous-ensembles Mus-I et Rom-I qui présentent une signature géochimique caractéristique de roches mafiques associées aux plateaux continentaux (WPB). De plus, il est important de souligner que plusieurs paires d'échantillons présentant ces deux signatures contrastées ont été prélevées sur la même aire d'affleurement. C'est le cas des stations CQA-00-101a (Mus-II) et CQA-00-101d (Mus-I), respectivement sur les sites 89 et 90, ainsi que CQA-01-1379d1 (Rom-I) et CQA-01-522a (Rom-II), respectivement sur les sites 58 et 59 (Fig. 1.4).

### *Signature d'arc*

Le magmatisme associé aux zones de subduction est généralement de type calco-alcalin et dans certains cas des tholéiites d'arc peuvent former une proportion significative des empilements volcaniques. Le tableau 5.1, basé sur la classification des roches basaltiques de Thompson (1984), montre que les échantillons des sous-ensembles Rom II et Mus-II sont plus alcalins que ceux de la Suite mafique de la Robe-Noire, incluant ceux des sous-ensembles Rom-I et Mus-I.

Cependant, les roches mafiques des sous-ensembles Mus-II et Rom-II ne présentent pas les caractères distinctifs de suites calco-alkalines. Ces derniers présentent généralement une abondance linéaire régressive en fer, de faibles abondances en  $\text{TiO}_2$  ( $\leq 1.5\%$  poids) et une teneur élevée en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (e.g., Bonin, 1998). Par contre, les échantillons des sous-ensembles Mus-II et Rom-II montrent un enrichissement en fer et se localisent dans le champ des tholéiites, principalement dans le champ des tholéiites riches en fer (Fig. 3.6c et 3.7c). Les teneurs moyennes en  $\text{TiO}_2$  pour les sous-ensembles Rom-II et Mus-II sont respectivement de 1.85 % et de 2.30% poids. Elles sont nettement supérieures aux valeurs typiquement observées dans des roches calco-alkalines ( $\text{TiO}_2 < 1.5\%$ ). De la même façon, les suites d'arc insulaire volcanique montrent fréquemment un appauvrissement en Zr et Hf qui accompagne l'appauvrissement en Nb, Ta. Finalement, les teneurs en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  des sous-ensembles Rom-II et Mus-II sont respectivement de 16.5% et 15.8%, et sont comparables à celles des sous-ensembles Rom-I (15.5%), Mus-I (15.4%) et des ensembles RN (15.2 %) et Agh (11.2 %). À l'exception des roches de l'ensemble Agh, il n'y a pas de variations notables dans les abondances en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre les différents ensembles. Ces considérations tendent à démontrer que les sous-ensembles Rom-II et Mus-II ne sont pas d'affinité calco-alkaline. De plus, des anomalies positives en Ba, K et Sr sont communément observées dans les roches issues de marges actives calco-alkalines (Wilson, M., 1988). Les sous-ensembles Mus-II et Rom-II ne présentent pas de pics positifs marqués en Sr, un élément généralement distinctif du magmatisme d'arc (Fig. 4.6). Finalement, il est important de souligner qu'il n'y a pas d'évidence de terrain pour la mise en place d'une suite calco-alkaline vers 1 177 Ma, qui est l'âge présumé de mise en place des suites gabbroïque faisant l'objet de la présente étude. En effet, les roches volcaniques felsiques associées au Groupe de Wakeham ont fourni des âges U-Pb sur zircons (ignés) dans la fourchette de 1 515 à 1 239 Ma (Corriveau et al., 2003). Cependant, nous devons rappeler que la présente étude ne permet pas de rejeter la possibilité d'une mise en place de roches mafiques au cours de la sédimentation du Groupe de Wakeham puisque notre échantillonnage, quoique exhaustif dans les secteurs d'étude, demeure incomplet considérant l'étendue totale d'affleurement du Groupe de Wakeham et des roches mafiques qui lui sont spatialement associées.



### Légende



**Figure 4.6** Diagrammes multi-éléments des roches du secteur Musquaro-La Romaine. A échantillons représentant le sous-ensemble Mus-II. B échantillons représentant le sous-ensemble Rom-II. Valeurs du manteau primitif de Sun et McDonough (1989).

### *Partage du Ni et conditions à la source*

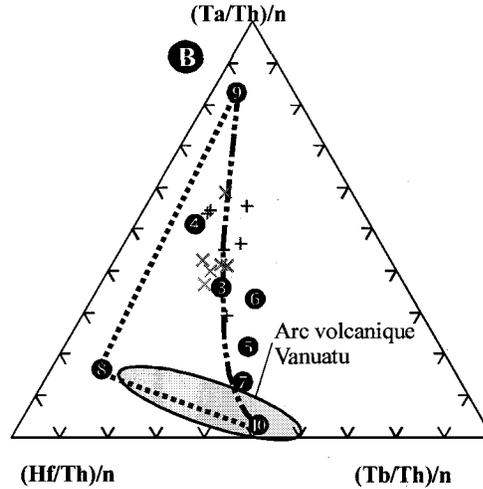
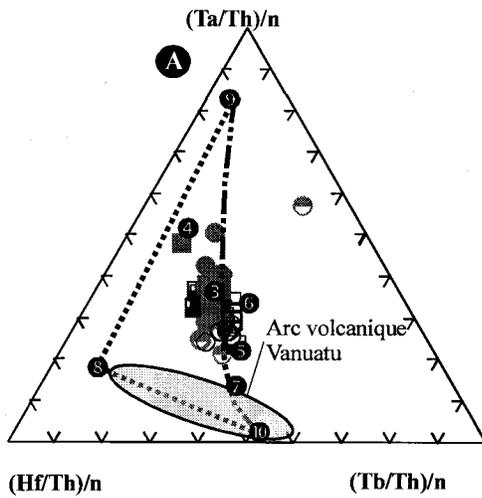
Les magmas de sources mantelliques issus de la fusion partielle à hautes températures et pressions se distinguent de ceux formés à basses températures et pressions notamment par leurs teneurs plus élevées en Ni. Les hautes températures et pressions favorisent l'extraction et l'enrichissement du magma en Ni (Campbell, 2001). Par exemple, les magmas dérivés de panaches mantellique sont généralement formés à des températures beaucoup plus élevées que ceux des environnements d'arc et, par conséquent, présentent des teneurs en Ni plus élevées et ce pour une même teneur en MgO. Ainsi, la comparaison des teneurs en Ni, pour une même teneur en MgO, des roches mafiques à l'étude peut nous fournir une indication quant à leurs origines. Le fait que les diagrammes de variation du Ni en fonction du MgO ne présentent pas de différences marquées permettant de distinguer les sous-ensembles Mus-II et Rom-II des autres roches mafiques de la région d'étude suggèrent que ces deux sous-ensembles n'ont pas subi l'influence d'une zone de subduction (Fig. 3.12e, 3.13e et 3.14e).

### *Évolution magmatique*

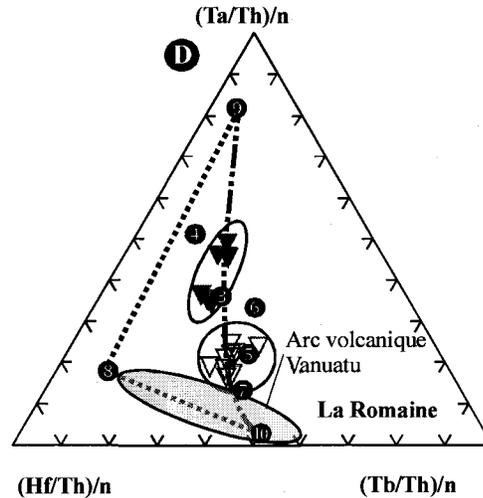
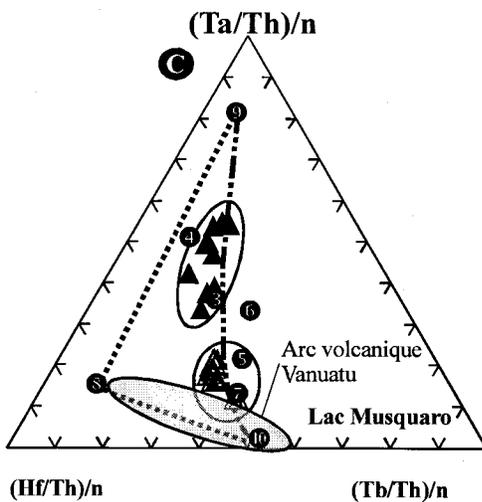
Le diagramme triangulaire montrant des rapports d'éléments fortement hygromagmatophiles suggère que les échantillons de tous les ensembles et sous-ensembles se distribuent suivant le cheminement d'évolution magmatique normale des basaltes (Fig. 4.7). Cette observation suggère que les roches mafiques à l'étude ont suivi un processus d'évolution relativement normale lors de leurs pétrogenèses. La présence de sous-ensembles de roches issues d'un environnement de subduction serait révélée par la présence d'un cheminement évolutif distinct dirigé vers le pôle de contamination de la croûte subductée, ce qui n'est pas le cas pour les ensembles et sous-ensembles de roches étudiées. Par exemple, sur ce diagramme, les roches basaltiques de l'arc volcanique Vanuato forment une distribution linéaire pointant vers le pôle de contamination (Fig. 4.7c et 4.7d).

Secteur HSP-Natashquan

Échantillons du MRNQ



Secteur Musquaro-La Romaine



Légende

○ RN I	▲ Mus I	⑤ E-MORB (Sun et McDonough, 1989)	⊙ Pôle enrichi
● RN II	△ Mus II	⑥ OIB (Sun et McDonough, 1989)	⊖ Pôle appauvri
◐ RN III	▼ Rom I	⑦ M.P. (Sun et McDonough, 1989)	
□ Lil I	▽ Rom II	⑧ Chondrite (Bougault, 1985)	
▒ Lil II	+ RN-MNRQ	⑨ N-MORB (Sun et McDonough, 1989)	
■ Lil III	× Lil-MNRQ	⑩ Contaminant (Joron et Treuil, 1989)	

Figure 4.7. Diagrammes triangulaires Ta/Th-Tb/Th-Hf/Th normalisés aux valeurs des chondrites modifié de Joron et Treuil (1989). Le sommet et la base des triangles représentent les zones d'enrichissement et d'appauvrissement en éléments hygromagmatophiles. La ligne tiretée représente le mélange entre le pôle enrichi (Ta/Th) et le pôle appauvri en éléments hygromagmatophiles. La ligne pointillée trace le chemin entre le pôle de contamination et les pôles appauvris et enrichis en éléments hygromagmatophiles. L'ellipse gris représente le champ des valeurs des roches basaltiques de l'île en arc volcanique Vanuatu. n = normalisation au chondrite (Bougault 1980) Th=0.028, Hf=0.128, Tb= 0.047, Ta=0.031. Le contaminant est produit par le recyclage de matériel crustal introduit dans le manteau par la lithosphère en subduction. Les sous-ensembles Mus-I et Rom-I sont tous les deux enrichies en éléments hygromagmatophile par opposition aux sous-ensembles Mus-II et Rom-II.

De plus, le diagramme Ce/Sm en fonction de Ce montre que les échantillons des sous-ensembles Rom-I, Rom-II, Mus-I et Mus-II se distribuent le long de vecteurs similaires à celui influencé par variations du taux de fusion partielle d'une source mantellique (Fig. 4.8). La tendance générale suggère une variabilité qui pourrait s'expliquer par des variations du taux de fusion partielle suivit de processus de cristallisation fractionnée des magmas lors de leurs injections dans la croûte (enrichissement variable en Ce). Ceci tend à démontrer que toutes ces roches sont intimement liées entre elles et qu'elles font partie d'une suite magmatique mafique formée dans un environnement anorogénique et ce, même si les sous-ensembles Mus-II et Rom-II présentent des caractéristiques géochimiques différentes.

#### *Contamination crustale*

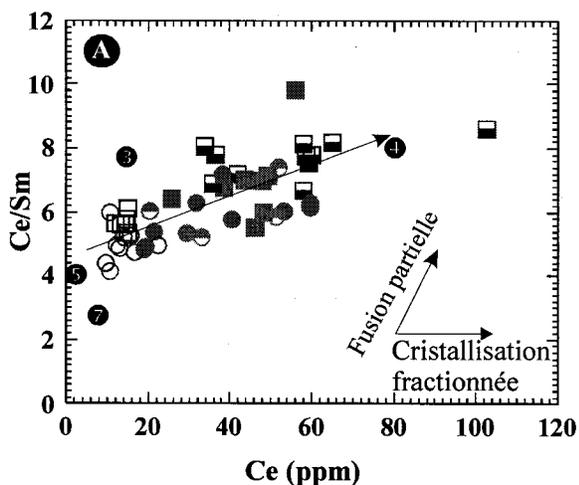
Une légère augmentation des teneurs moyennes en SiO<sub>2</sub> caractérise les roches gabbroïques montrant des anomalies négatives en Nb-Ta (Tab. 4.3). Cet enrichissement en SiO<sub>2</sub> pourrait constituer une indication de l'influence de la croûte continentale. Cette croûte, constituée pour l'essentiel de roches felsiques, peut contribuer à augmenter la teneur en SiO<sub>2</sub> du magma basaltique qui la traverse. En effet, l'assimilation d'une quantité variable de contaminants crustaux par un magma mafique aura tendance à produire en enrichissement en SiO<sub>2</sub> et une anomalie négative en Nb-Ta. Toutefois, dans le cas présent, l'enrichissement moyen observé dans les ensembles Mus et Rom n'est que de 0,9 à 1,4 % ce qui est peu significatif en l'occurrence. Par comparaison, il est intéressant de souligner que les laves contaminées par la croûte andéenne sont souvent de composition andésitique donc de 8 à 15 % plus riche en SiO<sub>2</sub> que les magmas parentaux basaltiques.

**Tableau 4.3.** Teneur moyenne en SiO<sub>2</sub> des différents sous-ensembles de roches gabbroïque.

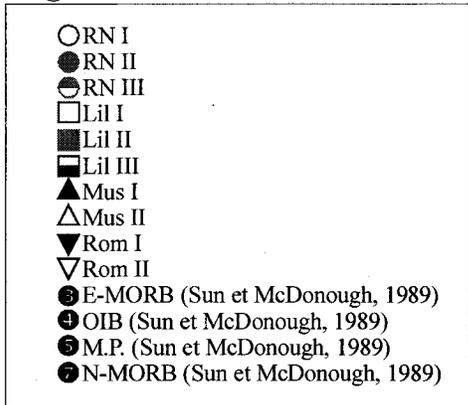
Sous-ensemble	SiO <sub>2</sub>		sous-ensemble	SiO <sub>2</sub>		sous-ensemble	SiO <sub>2</sub>		Sous-ensemble	SiO <sub>2</sub>	
	M	δ		M	δ		M	δ		M	δ
<b>RN-II</b>	46.15	0.9	<b>Agh-II</b>	46.9	2.9	<b>Mus-I</b>	45.1	0.8	<b>Rom-I</b>	45.9	1.2
<b>RN-III</b>	50.0	2.5	<b>Agh-III</b>	46.2	1.1	<b>Mus-II</b>	46.0	1.4	<b>Rom-II</b>	47.3	1.5

M= moyenne; δ= écart-type

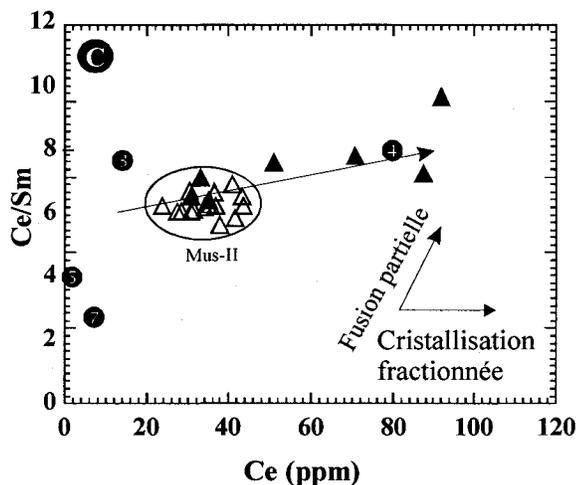
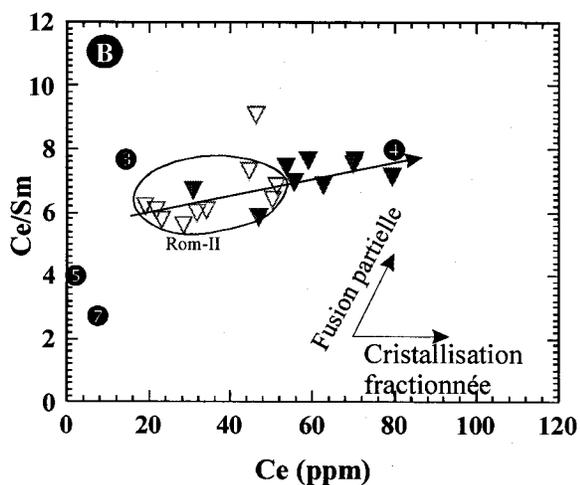
### Secteur HSP-Natasquan



### Légende



### Secteur Musquaro-La Romaine



**Figure 4.8.** Diagrammes binaires du rapport Ce/Sm vs Ce. Les échantillons du secteur HSP-Natashquan se distribuent sur un vecteur qui suggère une pétrogénèse impliquant entre autre des taux de fusion partielle variable. Les échantillons du secteur Musquaro-La Romaine se regroupent également sur un vecteur suggérant la même influence. Ces diagrammes suggèrent également que les sous-ensembles Rom-II et Mus-II sont moins fractionnés que les sous-ensembles Rom-I et Mus-I.

D'autre part, le diagramme du rapport Nb/Y porté en fonction du rapport Zr/Y, qui permet d'évaluer la variabilité  $\Delta\text{Nb}$ , donne également des indications quant à l'origine probable des magmas parentaux (Fig. 4.4). Le  $\Delta\text{Nb}$  s'obtient par l'équation suivante :

$$\Delta\text{Nb} = \log(\text{Nb}/\text{Y}) + 1,74 - 1,92 \log(\text{Zr}/\text{Y}) \text{ (Fitton et al. 1997).}$$

Les magmas provenant du panache islandais présentent un  $\Delta\text{Nb} > 0$  alors que des matériaux en fusion provenant de sections appauvries du manteau et de la croûte montrent un  $\Delta\text{Nb} < 0$ . Peu importe la nature de l'événement de fusion, il a été suggéré que la valeur de  $\Delta\text{Nb}$  des magmas soit essentiellement identique à celle du manteau source (Baksi, 2001). Normalement, les échantillons qui se localisent entre les deux lignes de référence ont un  $\Delta\text{Nb}$  négatif qui suggère une origine mantellique profonde du magma par opposition à un  $\Delta\text{Nb}$  positif qui témoigne d'une origine moins profonde (Baksi, 2001). Dans notre étude, la distribution et le fort regroupement des analyses suggèrent une pétrogenèse profonde pour l'ensemble des roches des ensembles RN et Agh, et des sous-ensembles Rom-I et Mus-I. Parmi ces roches, les quelques analyses qui se situent en marge des limites de référence suggèrent probablement une contamination d'origine sub-continentale ou lithosphérique. Notons que la signature des roches mafiques du secteur HSP-Natashquan est similaire à celle des célèbres basaltes des Trapps du Deccan en Inde. Par contre, les roches des sous-ensembles Mus-I et Rom-I se projettent légèrement plus près du pôle OIB que les échantillons des Trapps du Deccan (Fig. 4.4b). À l'opposé, les roches des sous-ensembles Mus-II et Rom-II se projettent à l'extérieur du champ, suggérant ainsi un cheminement pétrogénétique différent.

Notons cependant que les échantillons des sous-ensembles Mus-II et Rom-II définissent des champs qui sont très éloignés de ceux des basaltes d'arc magmatique. Par exemple, ceux de l'arc insulaire volcanique de Tonga-Kermadec se localisent beaucoup plus loin de la limite du champ conformément à leurs origines moins profondes (Fig. 4.4d). Ceci suggère que le magma parental des sous-ensembles Mus-II et Rom-II, qui se localise juste à la limite du champ profond, est probablement issu du manteau profond et a enregistré une contamination lors de son ascension dans la lithosphère continentale.

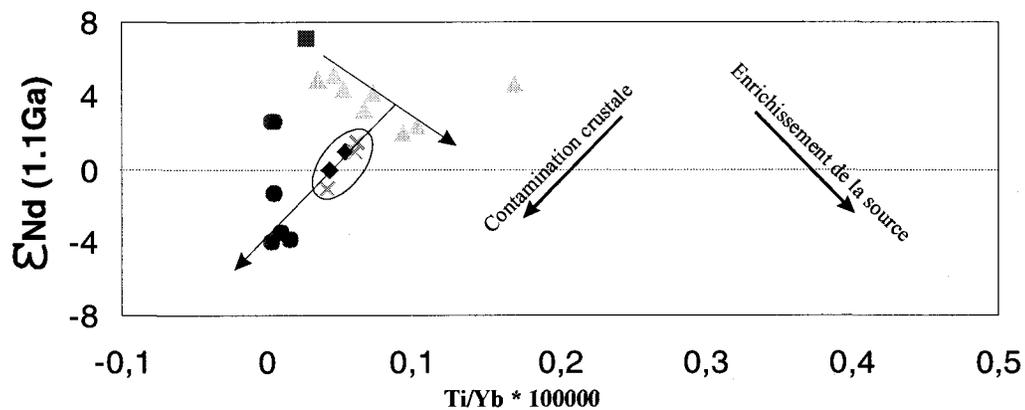
De plus, la position des échantillons Mus-II et Rom-II dans le diagramme des rapports Th/Yb sur Ta/Yb suggère que ces sous-ensembles (Fig. 4.3) se situent sur un vecteur reflétant l'effet progressif d'une composante de subduction ou de contamination par opposition aux autres ensembles et sous-ensembles qui se localisent sur un vecteur qui représente l'enrichissement de la source mantellique.

#### *Traceurs isotopiques Sm-Nd*

Le diagramme de  $\epsilon\text{Nd}_{(t)}$  en fonction de Ti/Yb montre plusieurs tendances importantes (Fig. 4.9). Les échantillons des ensembles RN, Agh, Rom-I et Mus-I, associés à un magmatisme de type plateaux continentaux, se situent suivant la trajectoire d'enrichissement d'une source mantellique. Par contre, les échantillons ayant des anomalies négatives en Nb-Ta, de même que les roches felsiques de la région d'étude, ont des rapports Ti/Yb très similaires entre eux, des valeurs  $\epsilon\text{Nd}_{(t)}$  majoritairement entre -4 et 0, et sont groupés sur un même vecteur correspondant à celui de la contamination crustale. À l'exclusion des autres considérations discutées précédemment dans ce chapitre, ce traceur isotopique constitue en soi une indication certaine et indépendante de contamination par une source lithosphérique possiblement crustale. Alternativement, il serait possible que des vestiges d'un ancien manteau lithosphérique métasomatisé par une ancienne zone de subduction aient été réactivés lors des processus d'extension lithosphérique contemporains au magmatisme régional. Toutefois, pour expliquer d'aussi faibles valeurs d' $\epsilon\text{Nd}_{(t)}$  il faudrait envisager un temps de résidence de cette source de 500 à 1000 Ma.

#### **4.3.4 Cadre paléotectonique de mise en place des sous-ensembles Mus-II et Rom-II**

Toutes les considérations discutées ci-haut suggèrent que les roches mafiques de la région d'étude présentent les caractéristiques de magmas gabbroïques de type plateau continental (WPB) et sont possiblement dérivées de panaches mantelliques contemporains ou légèrement antérieurs au magmatisme. Les anomalies négatives en Nb-Ta et Ti des sous-ensembles Mus-II et Rom-II sont possiblement attribuables à des processus de contamination crustale, vraisemblablement lors du transport et de la mise en place du magma dans la croûte. Notons que nos échantillons marqués par des anomalies négatives



### Légende

- ▲ Roches gabbroïques sans anomalie en Nb-Ta
- ◆ Roches gabbroïques avec faibles anomalies négatives en Nb-Ta
- × Roches gabbroïques avec fortes anomalies négatives en Nb-Ta
- Manteau primitif
- Roches supra-crustales felsiques du Groupe de Wakeham

**Figure 4.9.** Diagramme de  $\epsilon_{\text{Nd}_0}$  en fonction du rapport  $\text{Ti/Yb}$ . Dans ce diagramme, l'influence de la contamination crustale est soulignée par la diminution combinée de  $\epsilon_{\text{Nd}_0}$  et du rapport  $\text{Ti/Yb}$ . Une diminution de  $\epsilon_{\text{Nd}_0}$  couplée à l'augmentation du rapport  $\text{Ti/Yb}$  suggèrent toutefois l'enrichissement d'une source mantellique. Modifiée de Wilson, 1988.

en Nb-Ta ont des valeurs de Zr/Y et Ta/Yb plus près des valeurs proposées pour la croûte inférieure que celles la croûte supérieure, ce qui suggère plutôt une influence de la croûte inférieure voire même du manteau dans la pétrogenèse de ces magmas (Fig. 4.3b et 4.4b).

#### **4.4 Points saillants de la pétrogenèse**

L'étude pétrogénétique a permis de mettre en évidence les observations suivantes :

1) L'ensemble des roches mafiques analysées présente les caractéristiques de basaltes intraplaques (Fig. 4.2c et 4.3)

2) L'évolution géochimique des ensembles Mus-II et Rom-II ne reflète pas celle d'une suite calco-alkaline associée à un environnement d'arc insulaire volcanique (signature de subduction).

3) Les sous-ensembles Mus-II et Rom-II ne présentent pas de variations importantes des abondances en Ni et ce, pour une même abondance en MgO. Ceci suggère que l'ensemble des roches, ayant probablement subi des pétrogenèses différentes, n'ont pas été affectées par des environnements différents comme par exemple une zone de subduction lors de leur pétrogenèse (Fig. 3.12e, 3.13e, 3.14e).

4) Les rapports d'éléments comme Nb/Y et Zr/Y suggèrent que les roches des sous-ensembles Mus-II et Rom-II ont des comportements se rapprochant plus des magmas issus de sources mantelliques profondes que de ceux de magmas issus de sources lithosphériques associées aux zones de subduction. Ces mêmes rapports suggèrent également que tous les autres ensembles ont des comportements très similaires aux roches mafiques issues de sources mantelliques profondes (Fig. 4.4).

5) Le digramme binaire Ce/Sm sur Ce suggère que les ensembles de roches gabroïques ont suivi un vecteur de fusion partielle avec des variations qui s'expliquent par des taux de fusion partielle différents (Fig. 4.8). Ce même diagramme souligne également des taux

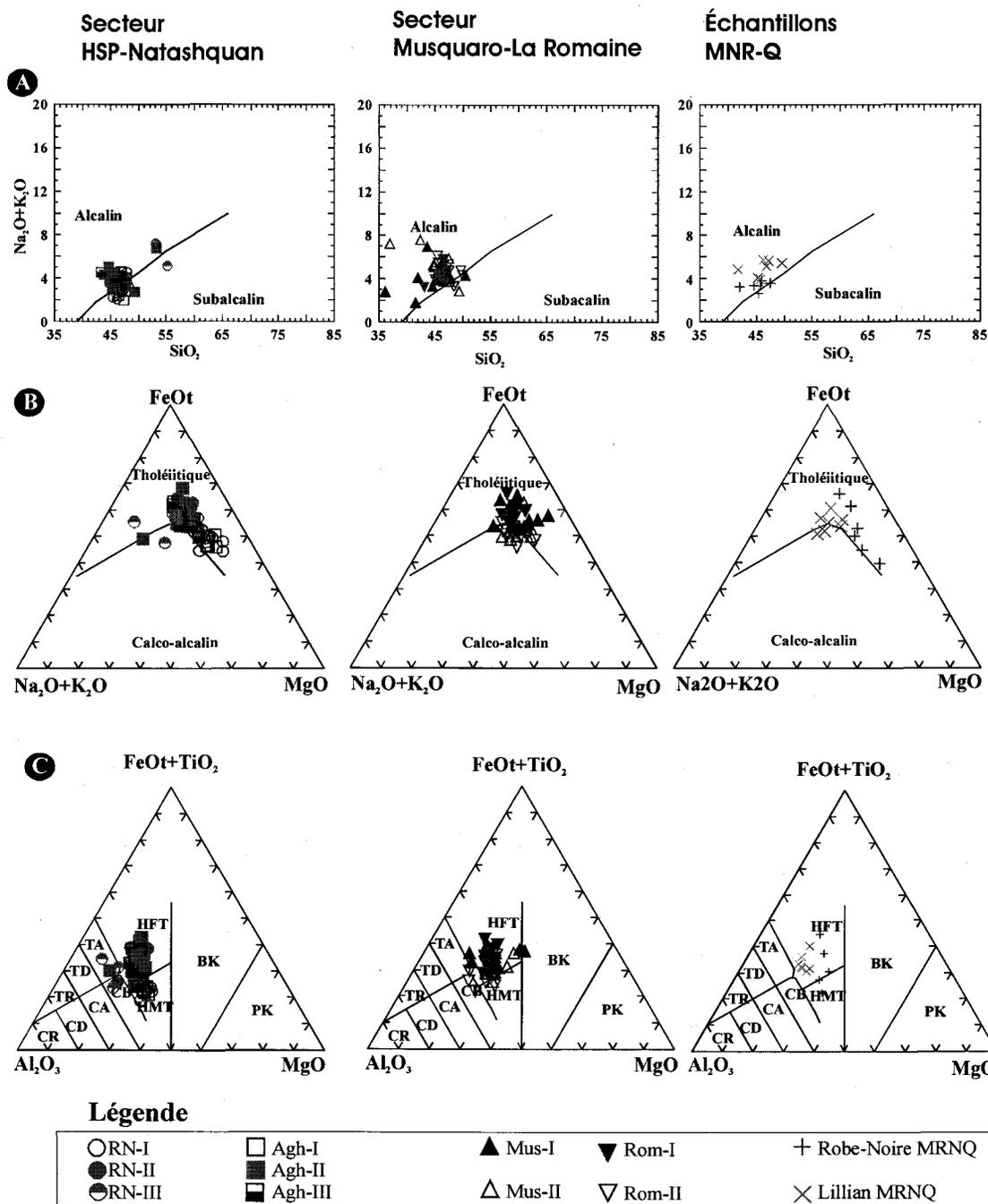
de différenciation très variables à l'intérieur de chaque ensemble et sous-ensemble (variation abondante en Ce).

6) Le diagramme  $\epsilon Nd_{(t)}$  en fonction du Ti/Yb projète les échantillons associés à un magmatisme de type plateau continental sur un même vecteur qui représente la trajectoire d'un enrichissement d'une source mantellique (Fig. 4.9). De plus, ce même diagramme projète les échantillons associés à des anomalies négatives en Nb-Ta sur un vecteur représentant une trajectoire correspondant à une contamination par une source extérieure probablement lithosphérique.

#### **4.5 Comparaison avec les données du ministère des Ressources naturelles du Québec**

Les études antérieures effectuées par le MRNQ sur les roches métagabbroïques du domaine de Natashquan ont conduit à l'identification de deux suites de roches gabbroïques, soient la Suite de Robe-Noire et la Suite de Lillian, en plus des petites intrusions tardives et bien individualisées de gabbro de type Kapanien et Le Doré (Gobeil et al., 2003). Les analyses et les traits géochimiques de ces suites sont brièvement discutés dans les rapports de Verpaelst (1998, 1997a, 1997b) et de Madore (1997, 1997b). L'objectif de la présente section est de montrer que ces roches présentent des signatures géochimiques semblables à celles des roches métagabbroïques de la présente étude, permettant ainsi d'étendre nos conclusions à l'ensemble du domaine de Natashquan.

En effet, tout comme les nôtres, les échantillons du MRNQ sont d'affinité alcaline, avec une tendance à l'appauvrissement plus marqué pour les échantillons de la Suite de Robe-Noire (Fig. 4.10a). Le diagramme AFM ainsi que le diagramme de Jensen soulignent leur caractère tholéiitique (Fig.4.10b, c). De plus, les diagrammes de variation des éléments majeurs et des éléments traces en fonction du MgO montrent les mêmes tendances évolutives, i.e. vers une augmentation des abondances en  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , et du Zr couplée à une diminution en  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Co$ ,  $Cr$  et  $Ni$  durant la différenciation.



**Figure 4.10.** Diagrammes discriminants pour les roches mafiques. A) Diagramme TAS de Irvine et Baragar (1971). B) Diagramme AFM de Irvine et Baragar (1971). C) Diagramme de Jensen (1976), HFT = tholéiites riches en Fe; HMT = tholéiites riches en Mg; TA = andésites tholéiitiques; TD = dacites tholéiitiques; TR = rhyolites tholéiitiques; CB = basaltes calco-alcalins; CA = andésides calco-alcalines; CD = dacites calco-alcalines; CR = rhyolites calco-alcalines; BK = komatiites basaltiques; PK = komatiites picritiques.

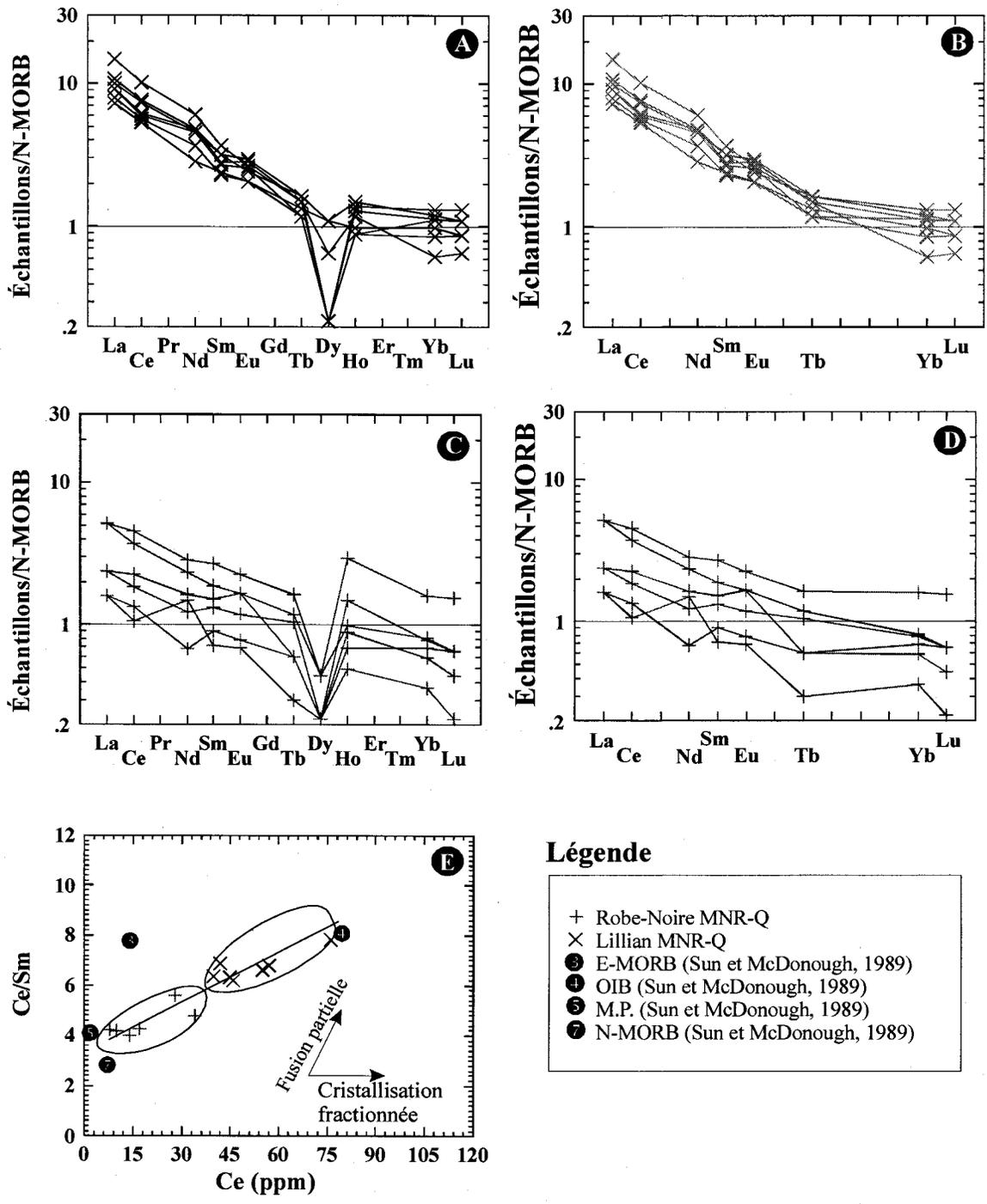
Ce type de comportement est typique des séries tholéitiques et reproduit fidèlement les tendances mises en lumière par les échantillons de notre étude.

Les diagrammes de classification des roches établies à partir des minéraux normatifs (CIPW) montrent une répartition à peu près égale des gabbros alcalins et des gabbros à olivine (Fig. 3.6). Ainsi, les échantillons du MRNQ se distribuent entre ceux du secteur de HSP-Natashquan, principalement composés de tholéiite à olivine, et ceux du secteur Musquaro-La Romaine où les basaltes alcalins prédominent.

Les spectres des ÉTR des échantillons du MRNQ sont également comparables à ceux des échantillons de la présente étude. Ils se caractérisent par un enrichissement en ÉTR légers atteignant des valeurs ~10X celles des N-MORB, notamment pour le La (Fig. 4.11a, b, c, d). Les spectres des échantillons de la Suite mafique de la Robe-Noire sont, cependant, beaucoup plus dispersés, probablement à cause de la procédure analytique utilisée. Les spectres des diagrammes multi-éléments présentent un enrichissement en éléments incompatibles avec de légères anomalies négatives en HFSE (Fig. 4.2d). Ces résultats sont tout à fait conformes à ceux de la présente étude. De plus, le diagramme Ce/Sm vs. Ce (Fig. 4.11e) localise l'ensemble des échantillons sur un même vecteur évolutif, suggérant ainsi qu'un lien pétrogénétique lie les suites de Robe-Noir et de Lillian. Ce lien découle possiblement du processus de fusion partielle.

Pour leurs parts, les différents diagrammes de discrimination des environnements tectono-magmatiques, tel que ceux de Wilson (1985) (Fig. 4.3), Baksi (2001) (Fig. 4.4) et Joron et Treuil (1989) (Fig. 4.7), confirment que les échantillons du MRNQ se confondent à ceux de la présente étude.

Ainsi, le niveau très élevé de conformité montrée par les signatures géochimiques des échantillons du MRN-Q et ceux de la présente étude porte à croire que l'ensemble des dykes et filons-couches de métagabbro du domaine de Natashquan partagent un même héritage pétrogénétique. Les variations dans les signatures géochimiques de ces roches sont modestes et attribuables à des processus magmatiques normaux qui accompagnent la



**Figure 4.11.** A et C) Spectres des ÉTR brutes. B et D) Spectres des ÉTR filtrés. Dans les diagrammes filtrés, les éléments qui semblaient présenter des problèmes analytiques ont été retirés. Les valeurs de N-MORB sont celles de Sun et McDonough, 1989. E) Le diagramme Ce/Sm sur Ce montre que les deux groupes s'alignent sur un même vecteur et que la Suite mafique de Robe-Noire présente un appauvrissement en ÉTR-légers par rapport à la Suite mafique de Lillian.

mise en place des suites gabbroïques intraplaques. C'est pourquoi nous proposons d'étendre le nom de Suite mafique de la Robe-Noire à l'ensemble des dykes et filons-couches de roches métagabbroïques du domaine de Natashquan, exception faite de quelques petites intrusions gabbroïques clairement tardives et bien individualisées tel les gabbros de type Kapanien et Le Doré (Gobeil et al., 2003).



## Chapitre 5

### Modèle paléotectonique

#### 5.1 Contraintes

Cette étude nous a permis de cerner certaines des conditions de mise en place des roches mafiques du domaine de Natashquan. Nous avons établi que le magma à l'origine des gabbros de la Suite mafique de la Robe-Noire du secteur de la synforme de Davy (ensemble de RN) résulte d'un taux de fusion partielle plus élevé que celui à l'origine des gabbros mis en place dans le Complexe d'Aguanish (ensemble Agh, Mus et Rom). De plus, notre étude montre que l'alcalinité de ces gabbros tend à augmenter vers l'est, les échantillons du secteur Musquaro-La Romaine présentant la plus forte alcalinité.

L'alcalinité plus élevée de ces roches suggère un degré de fusion partielle plus faible ou une plus grande abondance en éléments volatiles de la source mantellique. Dans un contexte de magmatisme gabbroïque en milieu intraplaque, une alcalinité plus élevée signale probablement une source magmatique profonde, vraisemblablement de plus de 150 km. De plus, elle indique également soit une génération précoce, soit une mise en place plus distale par rapport au foyer principal d'intrusion qui, dans le cas présent, se situe vraisemblablement au niveau de la synforme de Davy où l'accumulation des gabbros de la Suite mafique de la Robe-Noire semble être la plus importante. De plus, le magma à l'origine de ces gabbros a vraisemblablement été extrait d'une source mantellique appauvrie et composée de lherzolite à grenat.

D'autre part, notre analyse porte à croire qu'une certaine quantité de magma a subi un léger appauvrissement relatif en Nb-Ta avant ou durant sa mise en place. Ce trait géochimique a pu être acquis lors du transport du magma à travers la lithosphère ou de sa résidence dans un réservoir sous-crustal; il demeure malheureusement impossible sur la base de cette étude d'en préciser la cause ultime.

## 5.2 Modèle

Prises dans leur ensemble, nos observations de terrain, la caractérisation géochimique et les considérations pétrogénétiques mises en lumière dans cette étude, conduisent à l'élaboration d'un modèle paléotectonique faisant intervenir la mise en place d'un panache mantellique vers ca. 1170 Ma en milieu intraplaque continental (Fig. 5.1).

### STADE PRÉCOCE (Fig. 5.1a)

- La mise en place d'un panache mantellique à une profondeur de plus de 150 km conduit à l'établissement d'une zone de fusion partielle près de la base de la lithosphère continentale.
- Cette zone de fusion partielle produit initialement un magma picritique alcalin qui migre graduellement vers la surface pour former un réservoir magmatique à la base de la croûte.
- Lors de son ascension à travers le manteau supérieur et la croûte, une partie de ce magma a subi un léger appauvrissement en Nb-Ta. Cet appauvrissement peut être issu soit a) d'une simple contamination par le manteau ou la croûte, ou b) par contamination suite à l'addition de magma appauvri en Nb-Ta produit dans un réservoir mantellique différent.
- La différenciation magmatique dans le réservoir sous-crustal conduit à la séparation de magma gabbroïque et de cumulat ultramafique. Ce réservoir nourrit le complexe de dykes et de filons-couches précoces mis en place dans un régime d'extension lithosphérique (ensemble Rom-II et Mus-II).

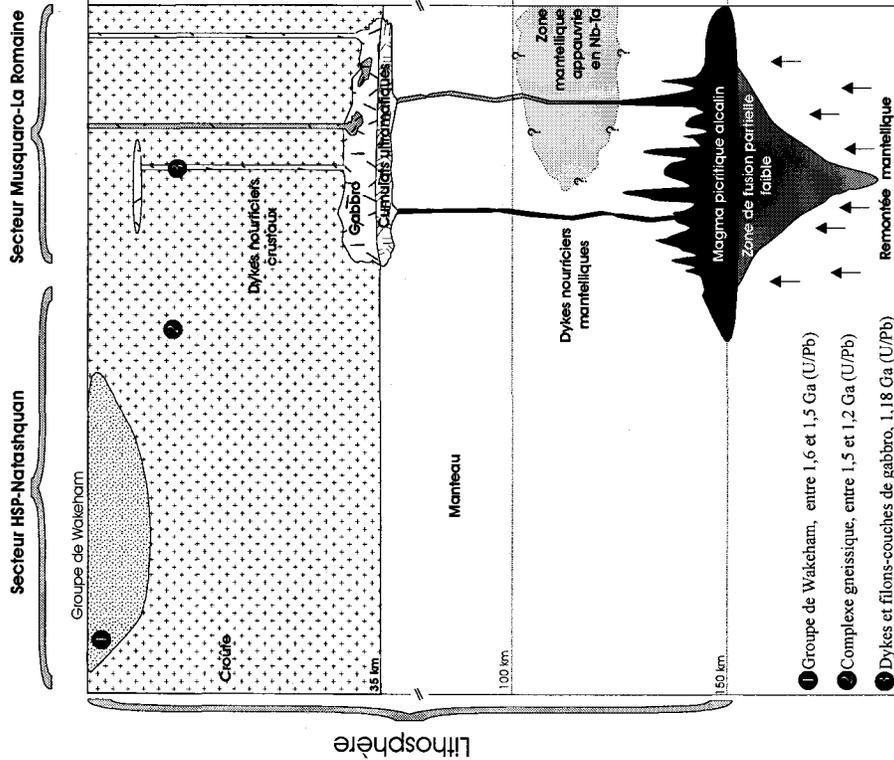
### STADE MATURE (Fig. 5.1b)

- Le développement du panache mantellique entraîne une augmentation de la température et un amincissement important de la lithosphère possiblement jusqu'à une épaisseur de ~100 km.
- L'amincissement et la remontée isostatique de la lithosphère entraînent une baisse de pression et une augmentation du taux de fusion partielle à l'intérieur du panache de péridotites mantellique.

- Cette augmentation du taux de fusion partielle entraîne, d'une part, une perte du caractère alcalin des magmas picritiques et, d'autre part, une augmentation du volume de magma produit par le panache (formation de magmas tholéiitiques).
- Le magma picritique migre jusqu'à la base de la croûte en empruntant un réseau de dykes nourriciers mantelliques pour former un vaste réservoir magmatique.
- La différenciation magmatique dans ce réservoir sous-crustal conduit à la séparation de magma gabbroïque et de cumulat ultramafique. Le magma basaltique migre éventuellement à travers la croûte donnant lieu à un complexe de dykes et de filons-couches (ensemble RN, Agh, Mus-I et Rom-I).
- Ainsi, l'accumulation d'un volume considérable de magma à la base d'une croûte amincie favorise la formation d'un réseau de dykes et de filons-couches beaucoup plus imposant que celui produit au stade précoce.

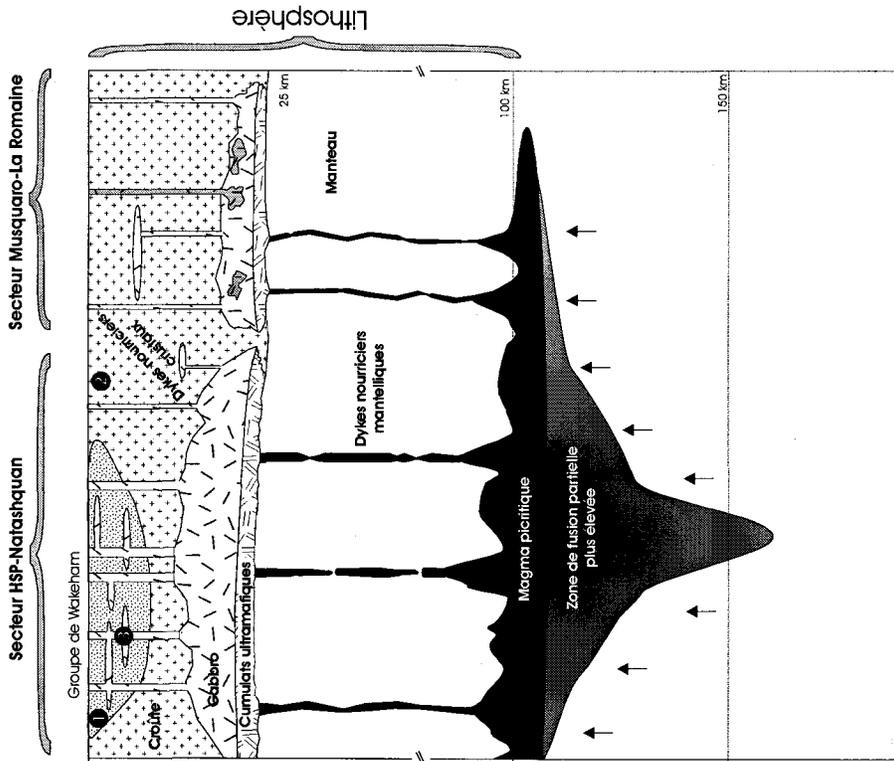
Dans ce contexte, il est important de rappeler que le développement du panache précurseur de la Suite mafique de la Robe-Noire à ca. 1177 Ma a précédé tout au plus de quelques dizaines de millions d'années le début de la mise en place de la Suite anorthositique de Havre-Saint-Pierre dont les intrusions les plus anciennes précèdent l'injection d'une mangérite à ca. 1130 Ma (Emslie et Hunt, 1990).

**A) Stade précoce**



- ① Groupe de Wakeham, entre 1,6 et 1,5 Ga (U/Pb)
- ② Complexe gneissique, entre 1,5 et 1,2 Ga (U/Pb)
- ③ Dykes et filons-couches de gabbro, 1,18 Ga (U/Pb)

**B) Stade mature**



**Figure 5.1** Modèle paléotectonique de la mise en place de la Suite mafique de la Robe-Noire aux environs de 1,18 Ga dans la partie orient de la Province de Grenville. A) Début de la perturbation thermique qui cause une légère remontée magmatique. La fusion partielle du magma se fait sous forte pression et profondeur pour produire un magma picritique alcalin. B) Evolution du système, l'aminçissement de la lithosphère entraîne une remontée adiabatique de la zone de fusion partielle produisant une élévation du taux de fusion partielle ce qui se traduit par la perte du caractère alcalin des magmas picritiques ainsi formés.

## Chapitre 6

### Conclusions

Les principales conclusions de cette étude sont:

1) Les roches métagabbroïques de la région d'étude affleurent suivant deux modes contrastants qui, à première vue, peuvent signaler des origines divergentes. Ceux de la Suite mafique de la Robe-Noire se présentent sous forme de filons-couches et de dykes de grande taille, intercalés dans la séquence sédimentaire du Groupe de Wakeham. Par contre, les métagabbros du Complexe d'Aguanish se présentent généralement sous forme de dykes boudinés de taille et d'abondance trop modestes pour être reportés sur les cartes.

2) Les métagabbros du secteur du lac Musquaro présentent deux patrons de distribution contrastés, dont l'un rappelle celui des dykes de la Suite de Lillian. Aucun trait pétrographique, métamorphique ou géochimique ne permet cependant d'individualiser ce groupe, ouvrant la possibilité que les différences dans les patrons de distribution soient d'origine structurale, plutôt que de signaler l'intrusion de deux essaims temporellement distincts.

3) Les roches métagabbroïques de la région d'étude partagent les mêmes traits métamorphiques et pétrographiques. Elles sont amphibolitisées de manière pénétrante, la préservation de minéraux reliques ignés étant rare. L'assemblage hornblende-plagioclase est invariablement accompagné de quartz et biotite, en quantité accessoire, et de traces de pyrite, apatite et titanite. Les minéraux reliques ignés sont le plagioclase et le clinopyroxène et l'orthopyroxène sont d'incidence locale.

4) Le degré de préservation des textures et structures ignées des dykes et filons-couches de métagabbro de la région d'étude est en relation directe avec la taille des corps intrusifs étudiés. Les corps d'épaisseur sub-métrique montrent rarement de telles structures. Par contre, des textures reliques ophitiques et sub-ophitiques sont omniprésentes dans les corps de taille décamétrique, et le litage igné modal et la texture ignée sont bien préservés à de nombreux endroits. Aucune structure diagnostique de volcanisme basaltique ou andésitique n'a été reconnue dans la région couverte par la présente étude.

5) La caractérisation détaillée des signatures géochimiques des roches métagabbroïques de la région d'étude ne permet pas d'individualiser de sous-ensembles ayant des signatures contrastantes et mutuellement exclusives.

6) La géochimie permet cependant de distinguer plusieurs tendances importantes:

- a. La norme CIPW ainsi que la géochimie des éléments majeurs montrent que l'alcalinité des roches gabbroïques tend à augmenter en s'éloignant de la synforme de Davy.
- b. Le degré de fractionnement des métagabbros est en relation avec le taux de fusion partielle du magma parental. Ainsi, les échantillons prélevés dans la synforme de Davy (ensemble RN), où les filons-couches et les dykes sont très abondants, montrent des évidences d'un taux de fusion partielle plus élevé que ceux provenant du Complexe d'Aguanish (ensembles Agh, Mus et Rom).
- c. La profondeur de la source mantellique a vraisemblablement variée dans le temps. Elle était d'au moins 150 km au stade précoce pour permettre l'extraction des magmas alcalins. D'autre part, les magmas tholéïtiques formés au stade mature ont été extraits d'une sources moins profonde, mais localisée à une profondeur de plus de 100 km.

7) Un groupe d'échantillons se distingue néanmoins par la présence d'une anomalie négative en Nb-Ta sur les spectres des diagrammes multiéléments normalisés au manteau primitif. Ces échantillons proviennent exclusivement du Complexe d'Aguanish. Certains parmi eux proviennent d'affleurements renfermant également des échantillons sans anomalie équivalente en Nb-Ta. L'origine de cette anomalie demeure incertaine. Cependant, le couplage intime de ces échantillons avec ceux qui en sont dépourvus, et l'absence d'association avec des roches d'affinité calco-alcaline éliminent la possibilité d'une mise en place dans un contexte d'arc.

8) La grande conformité montrée par les signatures géochimiques des échantillons analysés par le MRN dans les secteurs NE et NO du domaine de Natashquan et ceux de la présente étude suggèrent que l'ensemble des roches métagabbroïques du domaine de Natashquan partagent le même héritage pétrogénétique.

9) Le continuum dans les signatures géochimiques des roches métagabbroïques de la région d'étude indique un héritage pétrogénétique commun. De plus, l'étendue des variations compositionnelles fines qui séparent les échantillons est attribuable aux processus d'évolution magmatique normaux qui accompagnent la mise en place des suites gabbroïques intraplaques.

10) Les signatures géochimiques des roches gabbroïques de la Suite de Robe-Noire et du Complexe d'Aguanish démontrent que ces roches représentent la l'équivalent intrusive des basaltes intraplaques de type plateau continental. N'oublions pas que des basaltes ont déjà été identifiés dans le Grenville est (Martignole et al., 1992).

## **ÉPILOGUE**

Pour l'essentiel, cette étude démontre que les roches métagabbroïques du domaine de Natashquan partagent des signatures géochimiques semblables, et qu'elles ont vraisemblablement été mises en place dans un contexte géodynamique intraplaque comme celui associé aux basaltes des plateaux continentaux. Cependant, il est important de rappeler que notre étude, qui se base essentiellement sur la géochimie, ne permet pas de rejeter l'hypothèse de l'existence de plusieurs suites gabbroïques pétrogénétiquement semblables mais séparées dans le temps. En effet, la présence de plusieurs essaims de dykes gabbroïques temporellement distincts est une des caractéristiques de nombreuses régions des boucliers précambriens. Notons cependant que, dans ces cas, chacun des essaims est généralement bien individualisé par sa signature géochimique propre. De plus, nos observations de terrain n'ont pas mis en lumière des relations intrusives de recoupement claires supportant l'hypothèse de la présence de plus d'un essaim. Ainsi, à la lumière de la présente étude et dans l'éventualité de la confirmation par une méthode indépendante de la présence d'une seule suite gabbroïque, nous proposons d'étendre le nom de Suite mafique de la Robe-Noire à l'ensembles des roches métagabbroïques du domaine de Natashquan, exception faites de quelques petites intrusions gabbroïques clairement tardives et bien individualisées dont les gabbros de Kapanien et de Le Doré.

Il apparaît donc nécessaire, pour lever toute incertitude, de confirmer notre conclusion quant à l'existence d'une seule suite gabbroïque par une isotopie des gabbros. À cet effet, la confirmation de l'âge d'intrusion de ces roches par l'acquisition de nouveaux âges précis de cristallisation ignée apparaît comme primordiale, notamment pour des métagabbros du Complexe d'Aganish. Rappelons que l'âge présumé de la mise en place de la Suite mafique de la Robe-Noire est basé sur une seule détermination obtenue d'une masse de métagabbro du secteur nord de la synforme de Davy. La Suite mafique de la Robe-Noire qui, selon les évidences présentées dans cette étude, s'applique à l'ensemble des roches métagabbroïques du domaine de Natasquan

De plus, la confirmation de l'âge d'intrusion de la Suite de Robe-Noire à ca. 1177 Ma (Martignole et al., 1994), c'est à dire tout au plus quelques dizaines de millions d'années avant le début de la mise en place de la Suite anorthositique de Havre-Saint-Pierre, suggère un lien géodynamique direct entre ces deux événements. Finalement, la confirmation de la présence d'intrusions de la Suite de Robe-Noire à la fois dans le Groupe de Wakeham et le Complexe d'Aganish démontrera que le collage tectonique de ces ensembles, si collage il y a eu, s'est produit avant 1177 Ma, et que le transport tectonique grenvillien entre ces ensembles est modeste.

## Références

- ARNDT, N.T. et CRHISTENSEN, U., 1992, The role of Lithospheric mantle in continental flood volcanism: thermal and geochemical constraints. *Journal of Geophysical Research*, volume 97, no. B7, pages 10 967-10 981.
- BAKSI, A.J., 2001, Search for a deep-mantle component in mafic lavas using a Nb-Y-Zr plot. *Revue canadienne des Sciences de la Terre*, volume 38, pages 813-824.
- BLEIN, O., LAFLÈCHE, M.R. et CORRIVEAU, L., 2003, Geochemistry of the granulitic Bondy gneiss complex: a 1,4 Ga arc in the Central Metasedimentary Belt, Grenville Province, Canada. *Precambrian Research*, volume 120, no. 3-4, pages 193-217.
- BONIN, B., 1998, *Pétrologie endogène*. Dunod éd. France, Série Géosciences, 336 pages.
- BONNET, A-L. et CORRIVEAU, L., 2003, Caractérisation structurale et métamorphique de la marge sud-est du Groupe de Wakeham, régions du lac Musquaro et de La Romaine, Province de Grenville (Québec, Canada). Commission géologique du Canada, Rapport de recherches en cours, Étude 2003-C17, 11 pages.
- BOUGAULT, H., 1980, Contribution des éléments de transition à la compréhension de la Genèse des basaltes océaniques. Thèse Doctorat, Université Paris VII, 220 pages.
- BUCHER, K. et FREY, M., 1994, *Petrogenesis of metamorphic rocks*, 6<sup>ième</sup> édition. Berlin, Springer-Verlag, 318 pages.
- BRIDGWATER, D., ESCHER, A., et WATHERSON, J., 1973a, Dyke swarms and the persistence of major geological boundaries in the Greenland. *dans: The Precambrian of Scotland and related rocks of Greenland*, R.G. Park and J. Tarney, éd. University of Keele, Keele, p.137-141.
- BRIDGWATER, D., ESCHER, A., et WATHERSON, J., 1973b, Tectonic displacement and thermal activity in two contrasting Proterozoic mobile belts from Greenland, *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*, volume A 273, pages 513-533.
- BRIGGS, R.M. et McDONOUGH, W.F., 1990, Contemporaneous convergent margin and intraplate magmatism, North Island, New Zealand. *Journal of Petrology*, volume 31, partie 4, pages 813-851.
- CAMPBELL, I.H., 2001, Identification of ancient mantle plumes. *dans: Ernst, R.E. et Buchan, K.L., éd. Mantle plumes : their identification through time: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 352*, pages 5-21.
- CARLSON, R.W., LUGMAIR, G.W. et MACDOUGALL, J.D., 1981, Columbia River volcanism: the question of mantle heterogeneity or crustal contamination. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, volume 45, pages 2483-2499.
- CAMION, E., 1991, Évolution métamorphique et tectonique du Supergroupe de Wakeham (Province de Grenville, Québec). Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, 99 pages.
- CLARK, T. et MACHADO, N., 1995, New U-Pb dates from the Wakeam Terrane and its basement : preliminary result. *dans: Lithobrobe, Abitibi-Grenville Project, Result from a combined meeting on the Grenville Province with the ESCOOT transect, report 49*, pages 29-35.
- CORRIVEAU, L. et BONNET, A-L., 2001, Volcanisme pyroclastique protérozoïque dans le Groupe de Wakeham, région des lacs Musquaro et d'Auteuil, Province de Grenville, Basse-Côte-Nord, Québec. Commission géologique du Canada, Recherche en Cours, Étude 2001-D18, 27 pages.

CORRIVEAU, L., BROUILLETTE, P., SCHERRER, G. et BONNET, A.-L., 2002, Extension orientale des roches volcaniques du Groupe de Wakeham et intrusion litée troctolitique de Musquaro, Province de Grenville, Basse-Côte-Nord, Québec. Commission géologique du Canada, Recherche en Cours, Étude 2002-C29.

CORRIVEAU, L., BONNET, A.-L., VAN BREEMEN, O., et PILOTE, P., 2003, Tracking the Wakeham Group volcanics and associated Cu-Fe-oxydes hydrothermal activity from La Romaine eastward, Eastern Grenville Province, Québec. Commission géologique du Canada, Recherches en Cours, Étude 2003-C12, 11 pages.

DAVIDSON, A., 1998, An overview of Grenville province geology, Canadian shield. *dans*: Geology of the Precambrian superior and Grenville provinces and Precambrian fossils in North America. Lucas, S. B. et St-Onge M. R. coord., Commission géologique du Canada, no. 7, pages 205-270.

DICKIN, A.P., 2000, Crustal formation in the Grenville Province : Nd-isotope evidence. *Revue canadienne des Sciences de la Terre*, volume 37, pages 165-181.

DIMROTH, E., WOUSSEN, G., et ROY, D.W., 1981, Geologic history of the Saguenay region, Québec (Central Granulite Terrain of the Grenville Province), a working hypothesis, *Revue canadienne des sciences de la terre*, volume 18, pages 1506-1522.

EMSLIE, R.F. et HUNT, A.P., 1990, Ages and petrogenetic significance of igneous mangerite-charnockites suites associated with massif anorthosite, Grenville Province. *Journal of Geology*, volume 98, pages 213-233.

FITTON, J.G., SAUNDER, A.D., NORRY, M.J., HARDARSON, B.S., et TAYLOR, R.N., 1997, Thermal and chemical structure of the Iceland plume. *Earth and Planetary Science Letters*, volume 153, pages 197-208.

GERVAIS, F., 2003, Évaluation structurale des dômes orthogneissiques du Complexe d'Aguanish, Province de Grenville orientale. Mémoire de maîtrise, INRS-ETE, 77 pages, sous presse.

GOBEIL, A., BRISEBOIS, D., CLARK, T., VERPAELST, P., WODICKA, N., MADORE, L. et CHEVÉ, S., 2003, Géologie de la région de Manitou-Wakeham, Province de Grenville, Québec. *dans*: Synthèse géologique et métallogénique de la partie est de la Province de Grenville, Brisebois, D. et Clark, T., coord. Ministère des Ressources naturelles, DV 2002-03, sous presse.

GIBSON, I.L., SINHA, M.N. et FAHRIG, W.F., 1987, The geochemistry of the Mackenzie dyke swarm, Canada. *dans*: Hall, H.C. et Fahrig, W.F., éd. Mafic Dyke Swarms. Geological Association of Canada Special Paper 34, pages 109-121.

GROMET, P.L., DYMEK, R.F., HASKIN, L.A., et KOROTEV, R.L., 1984, The North American shale composite: its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, volume 48, pages 2469-2482.

HANMER, S., MENGEL, F., CONNELLY, J., et GOOL, J., 1997, Significance of crustal-scale shear zones synkinematic mafic dykes in the Nagssugtoqidian orogen, SW Greenland: a re-examination, *Journal of Structural Geology*, volume 19, pages 59-75.

INDARÈS, A. et MARTIGNOLE, J., 1993, Étude régionale du Supergroupe de Wakeham, Moyenne-Côte-Nord. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, MB 91-21, 73 pages.

IRVINE, T.N. et BARAGAR, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Revue canadienne des Sciences de la Terre*, volume 8, pages 523-548.

- JENSEN, L.S., 1976, A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Department of Mines, Miscellaneous Paper 66.
- JORON, J-L. et TREUIL, M., 1989, Hygromagmaphile element distribution in oceanic basalts as fingerprints of partial melting and mantle heterogeneities : a specific approach and proposal of an identification and modelling method. *dans*: Saunders, A.D., et Norry, M.J., éd. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society Special Publication no 42. Blackwell Scientific Publications, pages 277-299.
- KELEMEN, P.B., JOHNSON, K.T.M., KINZLER, R.J. et IRVING, A.J., 1990, High-field-strength element depletions in arc basalts due to mantle-magma interaction. *Nature*, volume 35, pages 521-524.
- KETCHUM, J.W.F. et DAVIDSON, A., 2000, Crustal architecture and tectonic assembly of the Central Gneiss Belt, southwestern Grenville Province, Canada : a new interpretation. *Revue canadienne des Sciences de la Terre*, volume 37, pages 217-234.
- KRETZ, R., 1991, Petrology of veined gneisses of the Otter Complex, southern Grenville Province. *Revue canadienne des Sciences de la Terre*, volume 35, partie 5, pages 835-851.
- LAFLÈCHE, M.R., DUPUY, C. et BOUGAULT, H., 1992, Geochemistry and petrogenesis of Archean mafic volcanic rocks of the southern Abitibi Belt, Québec. *Precambrian Research*, volume 57, pages 207-241.
- LAFLÈCHE, M.R., CAMIRÉ, G. et JENNER, G.A., 1996, Geochemistry of post-Acadian, Carboniferous continental intraplaque basalts from the Maritimes Basin, Magdalen Islands, Québec, Canada. *Chemical Geology*, volume 148, pages 115-136.
- LÉPINE, I., 1998, Étude pétrographique des métagabbros du lac Le Doré, est de la Province de Grenville. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, 157 pages.
- LIGHTFOOT, P.C., HAWKESWORTH, C.J., DEVEY, C.W., ROGERS, N.W. et VAN CALSTEREN P.W.C., 1990, Source and differentiation of Deccan Trap lavas: implication of geochemical and mineral chemical variations. *Journal of Petrology*, volume 31, partie 5, pages 1165-1200.
- LUDDEN, J. (éd.) et HYNES, A. (éd.), 2000, *Revue canadienne des Sciences de la Terre*. numéro spécial : Le transect d'Abitibi-Grenville du projet Lithoprobe, volume 37, no. 2/3.
- MADORE, L., VERPAELS, P., BRISEBOIS, D., CHOINIÈRE, J., DION, D.J. et DAVID, J., 1997a, Géologie de la région du lac Cormier (SRNC 12N/04). Ministère des Ressources naturelles, Québec, RG 97-08, 31 pages.
- MADORE, L., VERPAELST, P., CHOINIÈRE, J., DION, D.J., DAVID, J., LEFEBVRE, D., MARQUIS, R. et HOCQ, M., 1997b, Géologie de la région du lac Briend (SNRC 12N/05). Ministère des Ressources naturelles, Québec, RG 96-05, 30 pages.
- MAHONEY, J., MACDOUGALL, J.D., LUGMAIR, G.W., MURALI, A.V., SANKAR DAS, M. et GOPALAN, K., 1982, Origin of the Deccan Trap flows at Mahabaleshwar inferred from Nd and Sr isotopic and chemical evidence. *Earth and Planetary Science Letters*, volume 60, pages 47-60.
- MAHONEY, J., SHETH, H.C., CHANDRASEKHARAM, D., et PENG, Z.X., 2000, Geochemistry of flood basalts of the Toanmal Sektion, Northern Deccan Traps, India: implications for regional Deccan stratigraphy. *Journal of Petrology*, volume 41, numéro 7, pages 1099-1120.
- MARTIGNOLE, J., MACHADO, N. et INDARÈS, A., 1994, The Wakeham terrane : a Mesoproterozoic terrestrial rift in the eastern part of the Grenville Province. *Precambrian Research*, volume 68, pages 291-306.

- MARTIGNOLE, J., INDARÈS, A., et DESJARDINS, D., 1992, Géologie de la région des lacs Arthur et Ruffin, Moyenne-Côte-Nord. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, MB 91-20, 74 pages, 1 carte.
- PEARCE, J.A., 1996, A user's guide to basalt discrimination diagrams. *dans*: Wyman, D.A., éd. Trace element geochemistry of volcanic rocks : application for massive sulphide exploration. Geological Association of Canada, Short Course Notes, volume 12, pages 79-113.
- PEARCE, T.H., GORMAN, B.E. et BIRKETT, T.C., 1997, The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, volume 36, pages 121-132.
- RIVERS, T., MARTIGNOLE, J., GOWER, C.F. et DAVIDSON, A., 1989, New tectonic division of Grenville Province, southeast Canadian Shield. *Tectonics*, volume 8, pages 63-84.
- ROLLINSON, H.R., 1993, *Using Geochemical Data : Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific & Technical copublished in the United States with John Wiley & Sons, New York. 351 pages.
- RUDNICK, R.L., McLENNAN, S.M. et TAYLOR, S.R., 1985, Large ion lithophile elements in rocks from high-pressure granulite facies terrains. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, volume 49, pages 1645-1655.
- SAUNDERS, A.D., STOREY, M., KENT, R.W. et NORRY, M.J., 1992, Consequences of plume-lithosphere interactions. *dans*: Storey, B.C., Alabaster, T. et Pankhurst, R.J., éd. *Magmatism and the Causes of Continental Break-Up*, Geological Society Special Publication, no. 68, pages 41-60.
- SUN, S.S. et McDONOUGH, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts : implications for mantle composition and processes. *dans*: Saunders, A.D., and Norry, M.J., éd. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society special publication no 42, Blackwell Scientific Publications, pages 313-345.
- TAYLOR, S.R. et McLENNAN, S.M., 1985, *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, 312 pages.
- THOMPSON, R.N., 1984, Dispatches from the basalt front; 1, Experiments. *Proceedings of the Geologists' Association*. no. 95, Part 3, pages 249-262.
- VAN BREEMEN, O. et HIGGINS, M.D., 1993, U-Pb zircon age of the southwest lobe of Havre-Saint-Pierre Anorthosite Complex, Grenville Province, Canada. *Revue canadienne des Sciences de la Terre*, volume 30, pages 1453-1457.
- VERPAELST, P., MADORE, L., BRISEBOIS, D., CHOINIÈRE, J., DION, D.J. et DAVID, J., 1997a, Géologie de la région du lac Bohier (SNRC 12N03). Ministère des Ressources naturelles, Québec, RG 97-02, 29 pages.
- VERPAELST, P., MADORE, L., CHOINIÈRE, J., DION, D.J., DAVID, J., LÉPINE, I., PERRAULT, S., LEFEBVRE, D. et HOCQ, M., 1997b, Géologie de la région du lac Le Doré (SNRC 12N/06). Ministère des Ressources naturelles, Québec, RG 96-02, 29 pages.
- VERPAELST, P., MADORE, L., BRISEBOIS, D., HOCQ, M. et DION, D.J., 1999, Géologie de la région du lac Jérôme, du lac Sanson et de la petite rivière de l'Abbé-Huard (SNRC 12L/13, 12L/14, 12M/03). Ministère des Ressources naturelles, Québec, RG 98-02, 38 pages.
- WILSON, M., 1988, *Igneous petrogenesis: a global tectonic approach*. London, Unwin Hyman, 466 pages.
- WINCHESTER, J.A. et FLOYD, P.A., 1977, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, volume 20, pages 325-343.

WOOD, D.A., 1980, The application of Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lava of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, volume 50, pages 11-30.

WODICKA, N., DAVID, J., PARENT, M., GOBEIL, P. et VERPAELST, P., 2003, Géochronologie U-Pb et Pb-Pb de la région de Sept-Îles-Natashquan, Province de Grenville, Moyenne-Côte-Nord. *dans*: Synthèse géologique et métallogénique de la partie est de la Province de Grenville, Brisebois, D. et Clark, T., coord. Ministère des Ressources naturelles, DV 2002-03, sous presse.

WYLLIE, P. et WOLF, M., 1993, Amphibolite dehydration-melting: sorting out the solidus. *dans*: Prichard, H.M., Alabaster, T., Harris, N.B.W. et Neary, C.R., éd. *Magmatic processes and plate tectonics: Geological Society Special Publication*, no. 76, pages 405-416.

WYNNE-EDWARDS, H.R., 1972, The Grenville Province; Geological Association of Canada, Special Paper 11, pages 265-334

YODER, H.S. Jr. et TILLEY C.E., 1962, Origin of basalt magmas : an experimental study of natural and synthetic rock systems. *Journal of Petrology*, volume 3, pages 392-532.

ZALESKI, E. et PATTISON, D.R.M., 1993, Metasomatism in the generation of granulite veins; mass balance, mass transfer and reference frames. *Journal of Petrology*, volume 34, partie 6, pages 1303-1323.

ZHAO, J.X. et McCULLOCH, M.T., 1993, Melting of subduction-modified continental lithospheric mantle : Evidence from Late Proterozoic mafic dike swarms in central Australia. *Geology*, volume 21, pages 463-466.



## **Appendice A**

### **Coordonnées des échantillons**

**Tableau des coordonnées des échantillons**

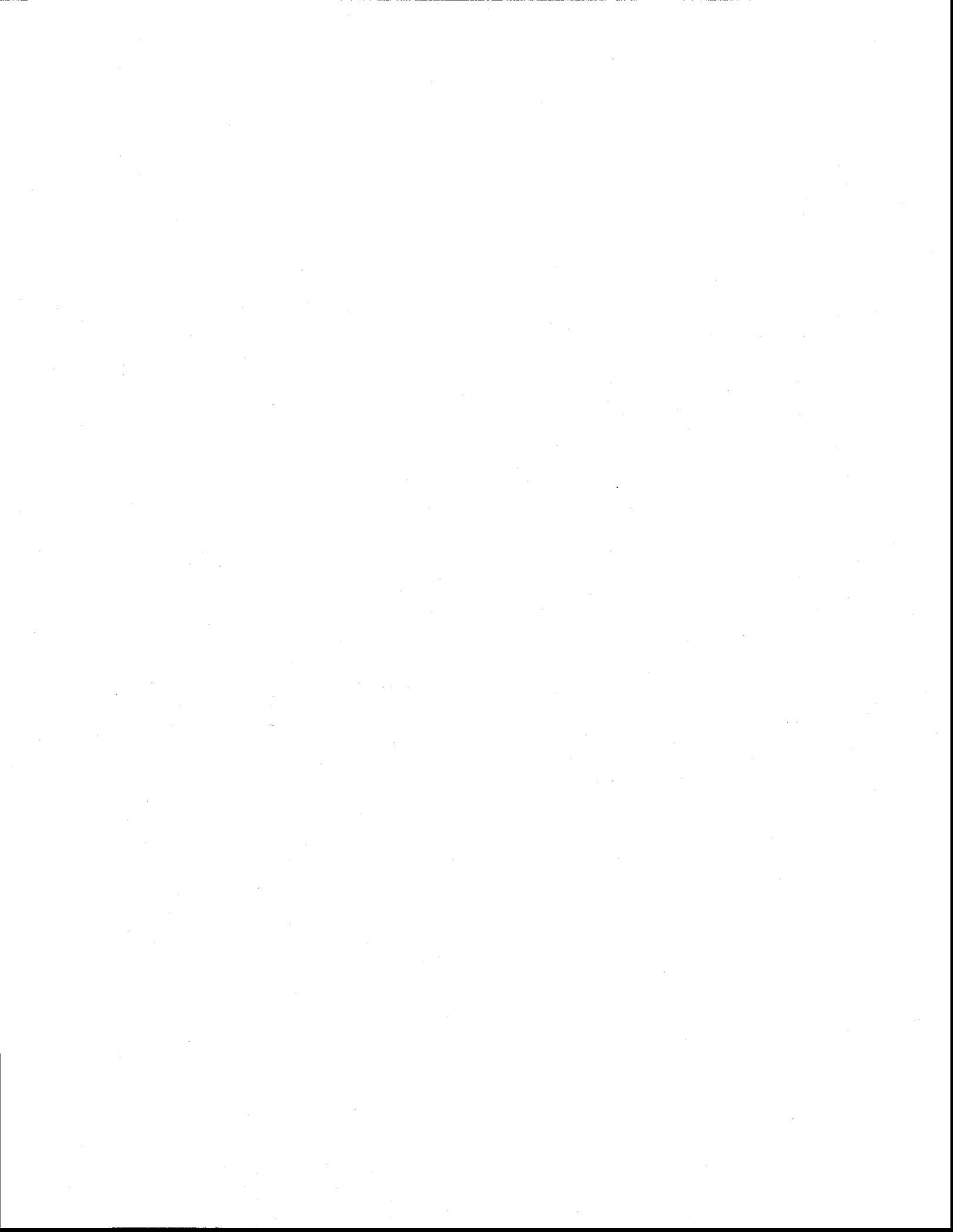
<b>Site</b>	<b>Numéro de l'échantillon</b>	<b>NTS</b>	<b>Estant*</b>	<b>Nordant*</b>
1	NKL-00-205	12L06	494244	5572577
2	NKL-00-226A	12L06	497970	5574219
3	NKL-00-226B	12L06	497970	5574219
4	NKL-00-204	12L06	498344	5574327
5	NKL-00-203	12L07	500533	5573502
6	NKL-00-202	12L07	501619	5572727
7	NKL-00-201A	12L07	502051	5572094
8	NKL-00-201B	12L07	502051	5572094
9	NKL-00-38	12L07	513079	5570008
10	NKL-00-130A	12L07	516239	5573727
11	NKL-00-130D	12L07	516239	5573727
12	NKL-00-131D	12L07	517301	5573708
13	NKG-01-077	12L07	517329	5573684
14	NKG-01-076	12L07	519777	5574297
15	NKL-00-161	12L07	517281	5569691
16	NKL-00-2B	12L07	519242	5567722
17	NKL-01-471A	12L07	520930	5568325
18	NKL-01-471B	12L07	520930	5568325
19	NKL-01-471C	12L07	520930	5568325
20	NKL-01-463	12L07	521851	5567999
21	NKL-00-190	12L07	524151	5572427
22	NKL-00-185	12L07	525018	5571713
23	NKL-00-183	12L07	525786	5571360
24	NKL-00-181	12L07	526452	5570827
25	NKL-00-178A	12L07	526867	5570444
26	NKL-00-172B	12L07	528434	5569947
27	NKL-00-141A	12L07	529136	5570027
28	NKL-00-135	12L07	531059	5568947
29	NKF-01-125A	12L08	535512	5567807
30	NKL-01-478	12L07	535460	5567761
31	NKL-01-401A	12L08	536872	5567965
32	NKL-00-109	12L08	536141	5570551
33	NKL-00-115	12L08	542700	5571812
34	NKL-00-221	12L08	543050	5571878
35	NKL-00-220	12L08	543050	5571778
36	NKL-00-219	12L08	543050	5571728
37	NKL-00-218	12L08	543020	5571683
38	NKL-00-217	12L08	544850	5570303
39	NKL-00-216	12L08	545740	5570128
40	NKL-00-215	12L08	546665	5570203
41	NKL-00-213	12L08	548390	5569153
42	NKG-01-53	12L08	548142	5568724
43	NKG-01-046	12L08	549415	5566951
44	NKL-00-117	12L08	550638	5568514
45	NKL-00-212	12L01	563550	5564508
46	NKL-01-301B	12L01	568677	5564041
47	NKL-00-210	12L01	569870	5563888
48	NKL-00-209A	12K04	571490	5562453
49	NKL-00-208	12K04	572500	5563261
50	NKL-00-207	12K04	573563	5564728

\* NAD 83, UTM 20

Tableau des coordonnées des échantillons (suite)

Site	Numéro de l'échantillon	NTS	Estant*	Nordant*
51	CQA-01-412E	12K03	638313	5559996
52	CQA-01-414C	12K03	638250	5561274
53	CQA-01-400B	12K03	641582	5564249
54	CQA-01-350H	12K02	654147	5562794
55	CQA-01-503A	12K02	659807	5565445
56	CQA-01-355A	12K02	660212	5564648
57	CQA-01-359A	12K02	661568	5564898
58	CQA-01-1379D1	12K02	661725	5564651
59	CQA-01-522A	12K02	661683	5564217
60	CQA-01-1552A	12K02	667536	5565429
61	CQA-01-1629A	12K02	667477	5563314
62	CQA-01-393C	12K02	673137	5563975
63	CQA-01-445I	12K01	684465	5564052
64	CQA-01-1610C	12K01	697564	5566159
65	CQA-01-1617A	12K01	698851	5567068
66	CQA-01-1382A	12k02	666390	5564021
67	CQA-01-1531A	12K07	656351	5571082
68	CQA-01-1430A	12K07	653615	5585834
69	CQA-01-1435A	12k07	655463	5585736
70	CQA-00-1223A	12K06	633252	5592457
71	CQA-00-1218A	12K06	636882	5593757
72	CQA-00-1185A	12K06	636433	5595358
73	CQA-00-223B	12K06	634770	5595571
74	CQA-00-1208K	12K11	641216	5598109
75	CQA-00-1132E	12K11	641736	5599512
76	CQA-00-122F	12K11	639782	5601780
77	CQA-00-125I	12K11	641410	5607216
78	CQA-00-083A	12K11	636266	5604349
79	CQA-00-124A	12K11	640584	5604288
80	CQA-00-147F	12K11	641268	5607743
81	CQA-00-1088B	12K10	643912	5613526
82	CQA-00-177A	12K10	642796	5617474
83	CQA-00-1032G3	12K11	635806	5618019
84	CQA-00-007M16	12K14	634835	5624676
85	CQA-00-111H	12K11	632757	5617658
86	CQA-00-110P	12K11	632579	5617377
87	CQA-00-102D	12K11	632005	5616277
88	CQA-00-102K	12K11	632005	5616277
89	CQA-00-101A	12K11	631930	5616262
90	CQA-00-101D	12K11	631930	5616262
91	CQA-00-051B	12K11	626601	5618544
92	CQA-00-092A	12K11	626898	5613715
93	CQA-00-298C	12K11	623257	5607334
94	CQA-00-274B	12K11	620277	5614822
95	CQA-00-270D	12K11	620539	5615408
96	CQA-00-254A	12K11	617538	5617018

\* NAD 83, UTM 20



## **Appendice B**

### **Tableau synthèse de la pétrographie**

Tableau pétrographique synthèse des roches mafiques du secteur HSP-Natasquan

Site	Relation texturale	BO	BO-CL	HB	OP	PG	GZ	Autre
	Commentaires							
1	Texture relique ignée grenue à granoblastique Titanite associée à biotite et opaques, en plage	4		60	2	35	5	AP, CL, SN, ZC
2	Grano-nématoblastique Hornblende plus gros que les autres minéraux, biotite regroupée en plage	14		60	2	25		
3	Grano-nématoblastique Hornblende plus gros que les autres minéraux, hornblende automorphe à l'intérieur de plage xénomorphe.			50	2	40	8	
4	Anitophyllite recoupe hornblende Bonne foliation			0	0	0		
5	Texture ignée préservée, grands prismes rectangulaires de plagioclase	1		60	3	55		
6	Grano-épidoblastique Biotite intragranulaire	5		60	5	20	10	
7	Granoblastique Présence de damourite			55	10	25	10	
8	Texture ignée Chlorite associée à biotite et hornblende	5		60	5	20	10	
9	Granoblastique, complètement recristallisée Légère orientation préférentielle sur Bo et Hb	4		41	5	40	10	AP, ZC
10	Texture poeciloblastique des Hornblendes Pas d'orientation préférentielle	1		60	4	45		ZC, SC
11	hétérogranulaire Forte foliation, pseudo rubanement causé par des niveaux de plagioclases non continus			65	1	34		SN, ZC
12	Poeciloblastique, plagioclase			60	1	34		
13	Granoblastique Présence de damourite			60	1	35		AP, CC
14	Granoblastique, relique de plagioclase entièrement recristallisé Foliation, niveaux de granulométrie différente	2		55	0	20		
15	Les gros hornblendes sont poeciloblastiques les petits ne le sont pas.	20		60	5	10	5	
16	Granoblastique, texture poeciloblastique suggère que la granulométrie de Hb reflète la granulométrie initiale des pyroxènes. Foliation discrète, peu de damouritisation	2		60	4	29	5	AP, ZC
17	Granoblastique Damouritisation prononcée			70	3	20	3	SN
18	Granoblastique Pas de foliation, présence de damourite			60	1	39		
19	Némato-épidoblastique Hornblende automorphe dans plage de hornblende xénomorphe, forte damouritisation			60	2	25		ZC
20	Porphyroblastique, prisme de plagioclase 2-4 mm avec hornblend et biotite à l'intérieur Forte damouritisation, hornblende grains fins.	2		55	1	40		CL
21	Granoblastique Pas d'orientation préférentielle	5		60	5	20	10	
22	Grano-épidoblastique Porphyroblaste de hornblende poecilifitrique contenant titanite, phénocristaux de plagioclase granoblastique	15		15	7	50	5	SN
23	Granoblastique, 2 générations de Hb une automorphe, l'autre recristallisée. Orientation préférentielle de la biotite.	5		50	4	40		AP, SN, ZC
24	Granoblastique Certain hornblende sont allongé, d'autre sont idiomorphe.		3	60	5	30		BO-CL

Tableau pétrographique synthèse des roches mafiques du secteur HSP-Natesquan (suite)

		2	60	3	25	10	SN
25	Granoblastique						
	Damourite						
26	Texture relique ignée	1	60	1	38		BO-CL
27	Granoblastique		55	2	40	3	CL, SN
	Présence de damourite, titanite (sphène) est associé aux opaques.						
28	Granoblastique à grenu, prisme de plagioclase.	1	59	1	39		
	La biotite est altérée en chlorite, présence de damourite						
29							
30	Homogène à grain fin		70	4	25		
	Opaques en petits grains 0,2mm répartis dans toute la lame						
31	Porphyroblastique	25	25	2	38	5	RL, SN
	Porphyroclaste de plagioclase avec lamelle de biotite						
32	Granoblastique, gros hb encore présent.	4	0	4	0	0	AP
	Présence de damourite, pas d'orientation préférentielle						
33	texture lepidoblastique, hétérogranulaire, les HB sont plus gros que les autres minéraux.	5	56	4	35		AP, ZC
	Damourite sur les plagioclases, orientation préférentielle sur biotite.						
34	Granoblastique, homogène à grain fin, cristaux dans tous les sens.		58	3	38		
	Pas d'orientation préférentielle						
35	Hornblende plus gros que les autres minéraux	5	70	3	22		
	Pas d'orientation préférentielle, damourite						
36	Hétérogranulaire, zones lepidoblastiques	5	50	3	42	10	
	Pas d'orientation préférentielle, damourite						
37	Grano-nématoblastique, homogène	4	50	3	43		
	Forte foliation, hornblende plus grosse que les autres minéraux.						
38	Nématoblastique, plagioclase anguleux	24	40	1	35		
	Foliation marquée par la biotite, damouritisation des plagioclases, hornblende fraîche.						
39	Texture relique ignée préservée.	0	0	0	0		
	Pas d'orientation préférentielle, granulométrie hétérogène						
40	Lépidoblastique	4	60	1	32		MV
	Hornblende fraîche, petite biotites recoupent hornblende, forte d'amouritisation.						
41	Granoblastique folié	8	55		33		
	Pas d'altération						
42	Nématoblastique	20	30	1	40	5	AP, ZC
	Damouritisation prononcée						
43	Grano-nématoblastique, hétérogène	2	59	2	30	1	CC
	Damouritisation prononcée						
44	Lépidoblastique, hb fraîche pas de texture poecilitique.	20	25	5	50		
	Présence de damourite						
45	Granoblastique folié	5	60	5	25	5	
	Foliation marquée par la biotite, pas de damouritisation.						
46	Granoblastique, les gros grains sont poeciloblastiques	5	60	0	30		AP, ZC
	Foliée						
47	Granoblastique texture grenue homogène, reliques ignées de plagioclases	5	45	2	45		AP, CL, ZC
	Pas d'orientation préférentielle, damouritisation.						
48	Granoblastique homogène, grains inférieur à 1 mm, hornblende poeciloblastique et hornblende automorphe à hypidiomorphe.	4	58	4	42		AP, SN, ZC
49	Granoblastique, homogène, grains 1 mm et moins sauf quelques grains de hornblende.	6	45	4	45		AP
	Trace de damouritisation, foliation exprimée par la biotite.						
50	Granoblastique, partiellement recristallisé, hornblende 2 génération une symplectique.	5	45	5	45		AP, ZC
	Foliation marquée par la biotite						

BO= Biotite; HB= Hornblende; SN= Sphène-titanite; PG= Plagioclase; AP= Apatite; ZC= Zircon; MV= Muscovite; OP= Opaques; SC= Scapolite; RL= Rutil; QZ= Quartz; PC= Pistachite; IR= trace

Tableau pétrographique synthèse des roches mafiques du secteur Musquaro-La Romaine

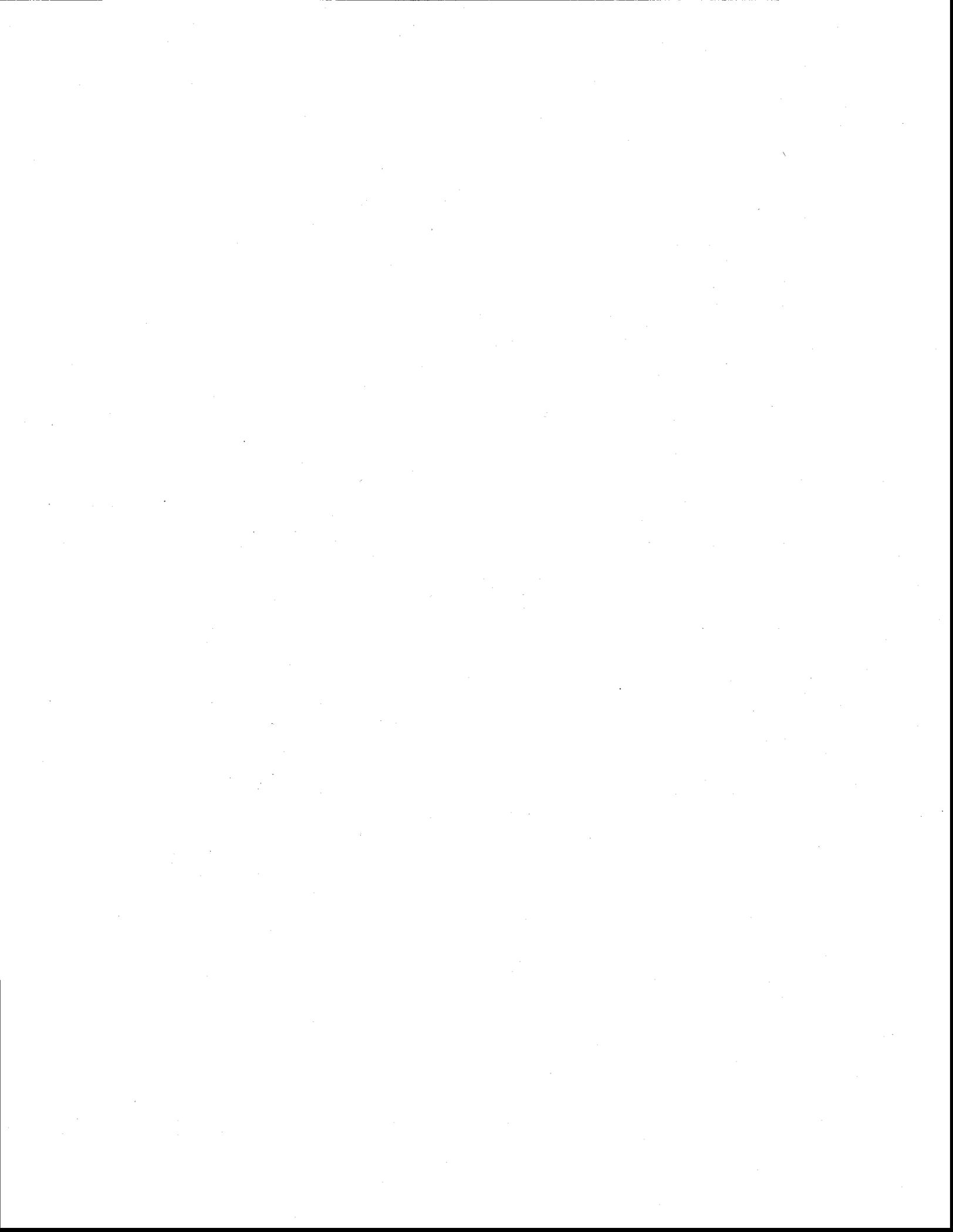
Site	Relation texturale Commentaires	BO	BO-CL	HB	OP	PG	QZ	Autre
51	Texture lépidoblastique Légère damouritisation des plagioclases, fabrique marqué par Bo et Hb	15		50	3	30		ZC, PC, AP
52	Némato-lépidoblastique, homogène.	15		45	3	35		ZC, AP
53	Grano-nématoblastique, homogène. Légère damouritisation, bonne foliation	10		40		40		
54	Pas de damouritisation, bonne foliation.							
55								
56								
57	Némato-lépidoblastique, hétérogène. Plagioclase de légèrement à moyennement damourisé.	10		60	1	25		SN
58								
59	Texture ignée, grenue. Peu de damouritisation, Présence de petits feuillets de biotite légèrement chloritisée.	1	1	45		45		ZC, AP
60								
61								
62								
63								
64	Grenue Foliation marquée par la biotite	10		40	tr	45		ZC, AP
65								
66								
67								
68								
69								
70	Nématoblastique Très forte damouritisation.			0	tr	0		SN, AP
71	Lépidoblastique. Forte damouritisation, bonne foliation.	4	1	65	3	35		AP
72								
73	Homogène, grain très fin avec porphyroblaste de biotite. Grande quantité de minéraux opaques.	0		0	4	0		
74								
75	Némato-lépidoblastique, homogène, grain grossier. Forte damouritisation, bonne foliation.	30		50		15		SN
76	Texture grenue, les gros hornblende sont poecilittiques. Légère damouritisation, foliation marqué sur la biotite	5		50	1	40		RL, SN
77	Texture ignée, grain grossiers, des grains de hornblende de 1 mm et plus Chlorite (biotite chloritisée), opaques associés à hornblende, localement les plagioclases damouritisés	10		45	2	45		ZC, AP

Tableau pétrographique des roches mafiques du secteur Musquaro-La Romaine (suite)

		5	45	5	45
78	Hétérogène, hétérogranulaire, porphyroblaste de Hb. Légère damouritisation				
79					
80	Nématoblastique Peu de damourite.		50		45
81	Grano-lépidoblastique. Moyenne damouritisation, les titanites ont un coeur formé de minéraux opaques (ilménite)	5	40	3	40
82	Homogène, texture ignée. Très peu de damouritisation, pas de fabrique.	3	50	tr	45
83					
84					
85	Porphyroblastique, porphyroclaste de plagioclase avec texture poecilitique, les hornblendes sont également poecilitiques				SN, MV
86	Cartographié comme lamprophyte.				
87	Grano-lépidoblastique, quelques hornblende sont poeciloblastique. Faible damouritisation, bonne foliation sur biotite.	10	45	2	40
88	Granoblastique à lépidoblastique, Orientation sur les biotite et hornblende. La titanite forme des petites gouttelettes dans la lame.	10	40	0	45
89	Texture ignée. Hb poeciloblastique, opaques concentrés HB. micas en feuillets tardifs. Légère orientation préférentielle sur BO.	40	45	2	10
90					
91	Nématoblastique, forte foliation tous est orienté, très homogène. Foliation sur biotite et hornblende, forte damouritisation par endroit.	10	tr	45	5
92					
93	Lépidoblastique, porphyroblaste de hornblende poecilitique. Forte damouritisation, bonne foliation	40	40	1	19
94	Lépidoblastique, homogène Faible damouritisation, bonne structure (foliation).	10	45	4	40
95	Grano-lépidoblastique, homogène, grain fin. Très faible damouritisation.	4	2	45	2
96	Grano-lépidoblastique, grain fin, homogène, les HB sont légèrement poeciloblastiques Très peu de damouritisation. Bonne fabrique.	4	1	43	2
		4	1	43	2

BO= Biotite  
 BC-CL= Biotite-chloritisée  
 HB= Hornblende  
 SN= Sphène-titanite  
 PG= Plagioclase  
 AP= Apatite  
 ZC= Zircon

MV= Muscovite  
 OP= Opaques  
 SC= Scapolite  
 RL= Rutile  
 QZ= Quartz  
 PC= Pistachite  
 tr= En trace



## Appendice C

### Tableau des compositions des éléments majeurs

Tableau des compositions des éléments majeurs (% poids)

Site	Échantillon	Groupes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	Total	Paf
1	NKL-00-205	RN II	47,01	12,77	16,83	0,25	6,22	9,30	2,23	0,78	0,51	3,43	99,8	0,3
2	NKL-00-226A	RN I	46,29	16,83	12,57	0,17	8,17	10,23	2,51	0,42	0,11	1,33	99,4	0,6
3	NKL-00-226B	RN I	46,15	17,32	12,39	0,16	10,03	10,11	1,88	0,21	0,10	1,22	100,4	0,7
4	NKL-00-204	RN I	45,44	19,42	10,28	0,14	9,32	10,79	2,07	0,17	0,07	0,89	99,5	0,8
5	NKL-00-203	RN II	46,14	18,84	11,98	0,15	5,43	9,44	3,17	0,62	0,23	1,83	98,8	0,8
6	NKL-00-202	RN I	46,49	17,17	12,35	0,17	8,71	10,01	2,25	0,36	0,12	1,29	99,7	0,7
7	NKL-00-201A	RN II	44,97	14,28	16,23	0,22	4,54	9,12	2,66	0,76	0,64	3,75	97,4	0,1
8	NKL-00-201B	RN II	44,65	13,68	17,44	0,26	5,24	8,61	2,53	1,15	0,67	3,94	98,5	0,1
9	<u>NKL-00-38</u>	<u>RN III</u>	45,99	13,44	16,02	0,23	5,89	9,34	1,74	0,83	0,39	3,30	98,1	0,7
10	NKL-00-130A	RN II	45,48	15,19	14,37	0,24	6,26	9,52	2,75	0,50	0,16	2,00	97,0	0,4
11	NKL-00-130D	RN II	46,77	16,33	13,37	0,20	6,06	10,19	2,77	0,47	0,17	1,82	98,6	0,3
12	NKL-00-131D	RN I	46,58	14,98	14,12	0,23	6,81	10,14	2,41	0,36	0,19	2,05	98,4	0,4
13	NKG-01-077	RN I	47,47	16,86	13,31	0,22	7,71	9,96	2,35	0,71	0,12	1,59	101,6	1,1
14	NKG-01-076	RN I	47,98	16,87	12,73	0,18	9,48	8,10	3,12	1,47	0,10	1,43	103,0	1,4
15	NKL-00-161	RN III	47,24	14,01	14,64	0,26	5,91	8,42	3,06	0,92	0,50	2,84	98,2	0,2
16	NKL-00-2B	RN II	47,10	13,88	15,33	0,23	5,02	8,62	3,02	0,76	0,27	2,53	97,2	0,3
17	NKL-01-471A	RN I	47,15	15,87	12,45	0,19	8,35	10,80	2,06	0,65	0,05	1,09	99,6	0,8
18	NKL-01-471B	RN I	48,20	15,80	12,29	0,19	7,83	10,69	2,86	0,39	0,06	1,25	100,2	0,5
19	NKL-01-471C	RN II	55,27	16,65	15,52	0,20	7,37	8,77	2,39	1,16	0,22	2,31	99,4	0,8
20	NKL-00-190	RN II	47,12	15,58	15,12	0,19	5,71	8,56	2,23	1,00	0,42	3,05	99,6	0,4
21	NKL-00-185	<u>RN III</u>	53,14	15,01	13,23	0,18	2,19	4,13	3,56	3,71	1,15	1,64	98,7	0,5
22	NKL-00-183	RN III	47,47	16,74	13,61	0,19	4,43	8,86	3,16	0,94	0,42	2,45	98,7	0,3
23	NKL-00-181	RN II	46,67	16,28	13,80	0,20	6,52	9,20	2,75	0,97	0,25	2,31	99,5	0,4
24	NKL-00-178A	RN II	46,88	13,13	15,43	0,22	5,98	10,07	2,30	0,56	0,22	2,38	97,7	0,4
25	NKL-00-172B	RN II	47,20	16,13	10,76	0,16	8,13	10,10	2,16	0,94	0,09	1,05	98,1	1,2
26	NKL-00-141A	Lil I	47,82	12,28	16,07	0,23	5,28	8,57	2,39	0,93	0,35	2,72	97,2	0,4
27	NKL-00-135	Lil II	46,61	15,85	10,39	0,16	8,64	11,41	1,92	0,51	0,06	0,88	97,5	1,0
28	NKL-01-125A	Lil III	48,02	15,50	15,71	0,19	5,79	8,45	2,77	1,34	0,43	2,97	101,2	-0,3
29	NKL-01-478	Lil II	49,34	12,51	18,52	0,25	4,93	9,17	2,16	0,64	0,35	3,52	101,8	0,1
30	NKL-01-401A	Lil II	53,27	15,66	10,91	0,12	3,41	5,63	3,92	2,90	0,46	2,82	100,2	0,9
31	NKL-00-109	Lil II	45,27	17,44	12,22	0,16	7,02	9,65	2,68	0,48	0,18	1,63	97,3	0,5
32	NKL-00-115	Lil II	43,87	15,12	15,99	0,19	6,01	7,67	3,27	1,11	0,53	2,97	97,4	0,5
33	NKL-00-221	Lil II	47,40	16,78	11,62	0,16	8,17	10,28	1,81	0,22	0,10	1,19	98,3	0,4
34	NKL-00-220	Lil I	46,91	16,62	10,81	0,16	8,32	10,39	2,16	0,80	0,10	1,05	98,4	0,9
35	NKL-00-219	Lil III	45,86	16,65	13,96	0,19	6,14	7,45	3,19	1,27	0,61	2,19	98,2	0,5
36	NKL-00-218	Lil I	46,12	16,86	11,47	0,16	8,28	9,75	2,33	0,66	0,09	1,13	97,9	0,9
37	NKL-00-217	Lil II	44,66	14,67	15,31	0,20	6,25	7,99	3,14	1,93	0,39	2,69	97,9	0,5
38	NKL-00-216	Lil III	45,83	13,28	17,29	0,20	5,04	8,30	2,73	1,71	0,47	4,69	99,9	0,1
39	NKL-00-215	Lil III	45,95	16,28	14,88	0,16	7,54	7,91	2,42	1,62	0,28	1,86	99,9	0,9

Perte au feu

Tableau des compositions des éléments majeurs (suite)

Site	Echantillon	Groupe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	Total	Paf
41	NKL-00-213	Lil I	47,19	16,38	12,31	0,17	8,46	10,33	2,25	0,59	0,09	1,21	99,8	0,7
42	NKG-01-53	Lil III	47,04	15,18	15,43	0,18	6,13	7,18	2,76	1,90	0,42	2,73	100,5	1,3
43	NKG-01-046	Lil III	46,34	14,83	17,19	0,22	4,88	8,50	3,24	1,02	0,59	3,33	101,5	0,9
44	NKL-00-117	Lil III	46,59	17,45	12,07	0,14	7,59	8,48	2,50	0,92	0,23	1,47	98,4	0,7
45	NKL-00-212	Lil II	45,74	14,90	15,01	0,20	7,16	9,41	2,65	0,68	0,33	2,21	99,0	0,5
46	NKL-01-301B	Lil II	45,59	14,74	15,90	0,21	5,64	8,14	2,92	1,74	0,42	2,96	99,1	0,6
47	NKL-00-210	Lil III	45,88	16,39	15,51	0,19	5,90	7,50	3,43	1,18	0,51	2,82	99,7	0,2
48	NKL-00-209A	Lil III	43,42	14,07	16,24	0,19	5,78	7,94	2,30	2,29	1,27	3,98	98,4	0,8
49	NKL-00-208	Lil III	46,93	16,03	14,22	0,18	6,04	7,83	2,47	1,80	0,43	2,51	99,1	0,5
50	NKL00-207	Lil III	46,48	15,92	14,93	0,19	5,42	7,76	2,21	1,66	0,45	2,75	98,5	0,7
51	CQA-01-412E	Rom I	46,52	14,46	17,58	0,23	5,56	7,95	3,23	2,75	0,45	3,18	102,4	0,3
52	CQA-01-414C	Rom I	46,70	15,06	16,03	0,22	6,10	8,27	3,08	2,32	0,38	2,88	102,1	0,8
53	CQA-01-400B	Rom I	47,16	17,43	13,88	0,18	6,51	8,70	3,57	1,29	0,23	2,31	101,6	0,1
54	CQA-01-350H	Rom II	46,28	14,27	17,01	0,26	6,65	9,73	3,15	1,45	0,58	2,87	102,9	0,4
55	CQA-01-503A	Rom I	46,79	15,08	15,91	0,20	5,43	8,53	2,82	1,14	0,46	3,04	99,6	-0,1
56	CQA-01-355A	Rom II	49,61	18,85	10,69	0,16	6,51	9,44	3,05	1,74	0,22	1,29	102,9	1,1
57	CQA-01-359A	Rom I	45,51	13,80	19,09	0,23	6,28	8,15	2,54	2,02	0,46	3,31	101,8	0,1
58	CQA-01-1379D1	Rom I	43,10	15,51	16,69	0,18	6,86	9,49	2,47	0,79	0,37	3,24	99,9	0,6
59	CQA-01-522A	Rom II	48,36	16,14	11,78	0,16	7,86	10,14	2,78	0,58	0,14	1,19	100,0	0,7
60	CQA-01-1552A	Rom I	45,12	15,09	17,70	0,20	6,03	8,04	2,93	1,11	0,36	3,32	100,0	-0,1
61	CQA-01-1629A	Rom I	45,97	14,06	18,52	0,23	4,59	9,46	3,02	0,97	0,54	3,77	101,1	-0,4
62	CQA-01-393C	Rom II	47,38	18,85	12,92	0,20	5,39	9,05	3,82	1,59	0,28	1,29	101,9	0,8
63	CQA-01-445I	Rom II	45,56	14,72	15,87	0,21	6,74	8,76	3,37	2,05	0,63	2,46	101,2	0,5
64	CQA-01-1610C	Rom II	45,50	15,84	14,74	0,21	6,66	7,70	3,34	2,89	0,36	2,05	99,8	0,4
65	CQA-01-1617A	Rom I	46,99	15,89	15,23	0,18	5,95	9,06	2,90	1,57	0,41	2,89	101,7	0,4
66	CQA-01-1382A	Rom II	46,46	16,75	13,39	0,17	7,04	9,23	3,27	0,67	0,47	2,47	100,4	0,2
67	CQA-01-1531A	Rom II	49,90	15,46	12,64	0,18	6,95	8,51	3,14	1,26	0,23	1,29	100,3	0,5
68	CQA-01-1430A	Rom II	47,58	16,92	13,04	0,17	4,65	9,36	3,67	1,10	0,35	2,03	99,9	0,8
69	CQA-01-1435A	Rom II	46,35	17,71	12,79	0,16	7,27	9,49	3,04	0,80	0,25	1,57	100,5	0,9
70	CQA-00-1223A	Mus II	46,54	16,99	13,15	0,17	8,10	9,08	3,02	0,82	0,30	1,56	101,7	1,8
71	CQA-00-1218A	Mus II	45,81	15,23	15,45	0,19	6,25	8,07	3,49	1,06	0,74	3,01	100,6	1,0
72	CQA-00-1185A	Mus II	47,06	16,51	13,54	0,17	6,70	8,91	3,56	0,76	0,42	2,24	100,9	0,8
73	CQA-00-223A	Mus I	44,60	15,16	18,49	0,22	5,56	8,49	2,97	0,34	0,70	4,43	101,9	0,2
74	CQA-00-1208K	Mus I	36,13	19,42	15,90	0,17	8,52	8,60	1,23	1,58	1,93	5,80	101,5	2,0
75	CQA-00-1132E	Mus I	45,16	11,05	13,87	0,32	12,88	7,55	1,15	3,53	0,17	1,67	99,9	2,3
76	CQA-00-122F	Mus I	45,92	14,31	16,10	0,25	6,61	8,73	2,63	2,44	0,34	2,92	101,3	0,8
77	CQA-00-125I	Mus I	41,98	12,03	18,98	0,26	9,25	8,37	1,00	3,13	0,56	3,72	101,5	2,0
78	CQA-00-83A	Mus I	46,20	17,77	15,63	0,18	4,92	8,33	3,13	1,03	0,34	2,90	101,5	0,7
79	CQA-00-124A	Mus II	47,87	16,16	14,18	0,17	7,50	8,39	2,89	1,21	0,61	2,36	102,8	1,2
80	CQA-00-147F	Mus I	45,04	15,63	15,71	0,18	8,01	8,99	2,07	1,79	0,34	2,32	102,4	2,1

Tableau des compositions des éléments majeurs (suite)

Site	Échantillon	Groupe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	Total	Paf
81	CQA-00-1088B	Mus II	45,21	15,24	14,79	0,19	6,67	8,12	2,68	2,86	0,40	2,14	99,9	1,3
82	CQA-00-177A	Mus II	45,25	14,71	15,91	0,19	8,84	7,66	2,99	0,95	0,64	2,58	100,9	0,8
83	<u>CQA-00-1032G3</u>	<u>Mus I</u>	<u>50,51</u>	<u>15,87</u>	<u>15,69</u>	<u>0,27</u>	<u>3,85</u>	<u>6,81</u>	<u>0,70</u>	<u>3,59</u>	<u>1,22</u>	<u>2,96</u>	<u>102,3</u>	<u>0,6</u>
84	<u>CQA-00-007m16</u>	<u>Mus I</u>	<u>41,59</u>	<u>11,44</u>	<u>17,35</u>	<u>0,21</u>	<u>9,65</u>	<u>10,88</u>	<u>0,47</u>	<u>1,31</u>	<u>0,50</u>	<u>4,43</u>	<u>100,2</u>	<u>1,9</u>
85	<u>CQA-00-111H</u>	<u>Mus II</u>	<u>47,74</u>	<u>15,15</u>	<u>17,04</u>	<u>0,23</u>	<u>5,92</u>	<u>7,29</u>	<u>0,57</u>	<u>3,19</u>	<u>0,54</u>	<u>2,94</u>	<u>101,8</u>	<u>0,9</u>
86	<u>CQA-00-110P</u>	<u>Mus II</u>	<u>49,30</u>	<u>13,29</u>	<u>16,85</u>	<u>0,28</u>	<u>6,13</u>	<u>6,22</u>	<u>0,43</u>	<u>2,48</u>	<u>0,48</u>	<u>2,01</u>	<u>100,9</u>	<u>2,9</u>
87	CQA-00-102D	Mus II	44,70	15,55	15,25	0,18	6,70	7,37	3,12	2,11	0,64	2,84	99,7	0,9
88	CQA-00-102K	Mus II	47,49	15,34	13,75	0,23	7,06	6,90	2,95	2,92	0,36	1,74	99,8	0,8
89	CQA-00-101A	Mus II	44,83	15,68	14,97	0,18	6,69	7,66	3,45	1,64	0,70	2,90	99,8	0,8
90	CQA-00-101D	Mus I	43,66	14,06	15,66	0,27	5,18	7,12	2,64	4,30	2,60	3,70	100,4	0,8
91	CQA-00-51B	Mus II	46,41	15,46	14,18	0,19	6,87	8,04	2,89	2,29	0,59	2,46	101,0	1,3
92	<u>CQA-00-92A</u>	<u>Mus II</u>	<u>36,92</u>	<u>14,36</u>	<u>21,61</u>	<u>0,60</u>	<u>9,84</u>	<u>3,98</u>	<u>0,57</u>	<u>6,69</u>	<u>0,52</u>	<u>2,29</u>	<u>99,2</u>	<u>1,6</u>
93	CQA-00-298C	Mus II	42,39	17,00	16,42	0,28	7,23	6,13	2,16	5,42	0,43	2,37	101,5	1,3
94	CQA-00-274B	Mus II	46,16	15,78	14,43	0,20	7,66	8,07	3,10	2,30	0,36	1,96	101,0	0,8
95	CQA-00-270D	Mus I	45,33	15,88	14,89	0,19	7,08	8,70	2,76	1,78	0,33	2,73	100,4	0,5
96	CQA-00-254A	Mus II	47,63	15,96	14,52	0,20	7,38	9,51	2,96	1,10	0,30	1,77	102,5	0,8
MRNQ														
100	1997016227	RN-mmq	41,5	21,7	9,65	0,12	10,3	8,07	2,46	0,17	0	0,89	0	0,89
101	1997013471	RN-mmq	46,1	11,7	16,9	0,43	4,49	10,3	2,44	0,52	1,16	5,29	100,9	0,8
102	1997013457	RN-mmq	46	16,1	13,7	0,18	8,05	8,04	2,74	1,08	0,32	1,89	100,9	0,8
103	1997013472	RN-mmq	44,6	12,2	18,9	0,27	5,36	9,49	2,56	0,82	0,28	5,12	100,9	0,8
104	1997013473	RN-mmq	45,8	14,1	15,1	0,23	8,21	9,13	2,61	0,69	0,12	1,94	100,9	0,8
105	1997016244	RN-mmq	45,5	19,7	9,75	0,13	9,6	10,1	2,28	0,36	0	0,84	0	0,84
106	1997013476	RN-mmq	42,1	14,8	18,9	0,24	7,51	8,71	2,9	0,31	0,16	4,01	100,9	0,8
107	1997013474	RN-mmq	47,6	16,2	11,3	0,19	8,78	9,46	2,52	1,08	0	1,05	100,9	0,8
108	1996009622	Lil-mmq	47,3	16	13,7	0,17	5,34	7,06	3,97	1,73	0,65	2,9	100,9	0,8
109	1996009623	Lil-mmq	43,4	15,8	17,5	0,23	6,08	4,31	2,94	3,65	0,62	3,19	100,9	0,8
110	1996009644	Lil-mmq	41,8	15,6	18,3	0,22	5,45	6,1	3,34	1,53	0,81	5,63	100,9	0,8
111	1996009643	Lil-mnrq	34,2	12,8	25,4	0,21	10,5	5,25	1,9	1,03	0,19	5,43	100,9	0,8
112	1996009601	Lil-mnrq	46,8	16,3	14,7	0,17	5,4	7,54	3,77	1,42	0,6	2,6	100,9	0,8
113	1996009617	Lil-mnrq	46,3	15,4	15,7	0,22	4,81	7	3,79	1,97	0,73	3,2	100,9	0,8
114	199600971	Lil-mnrq	49,6	13,8	12	0,14	4,19	6,58	3,41	2,03	0,95	3,14	100,9	0,8
115	1996009621	Lil-mnrq	47,4	17,7	13	0,19	4,58	3,63	3,42	3,67	0,58	2,53	100,9	0,8
116	1996009723	Lil-mnrq	45,3	16,6	14,4	0,17	6,18	8,44	3,17	0,94	0,56	2,57	100,9	0,8
117	1996009631	Lil-mnrq	45,7	15,8	14,6	0,2	6,19	8,55	2,83	1,1	0,41	2,66	100,9	0,8

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>T représente la somme des oxydes de fer; les échantillons soulignés représentent ceux qui sont susceptibles d'avoir subi une altération quelconque

## Appendice D

### Tableau des valeurs des minéraux normatifs CIPW

Tableau des valeurs des minéraux normatifs CIPW

Site	Echantillon	Q	OR	AB	AN	LC	NE	C	AC	DI	DIWO	DIEN	DIFS	HYEN	HYFS	OLFA	MT	HM	IL	AP	HY	OL	
1	NKL-00-205	1	5	19	23	0	0	0	0	17	9	4	4	12	11	0	0	4	0	7	1	23	0
2	NKL-00-226A	0	3	22	34	0	0	0	0	14	7	4	3	2	2	10	7	3	0	3	0	4	18
3	NKL-00-226B	0	1	16	39	0	0	0	0	9	5	3	2	9	5	10	6	3	0	2	0	14	15
4	NKL-00-204	0	1	18	44	0	0	0	0	8	4	3	1	3	2	13	7	2	0	2	0	5	20
5	NKL-00-203	0	4	28	36	0	0	0	0	9	4	2	2	0	0	8	8	3	0	4	1	0	16
6	NKL-00-202	0	2	19	37	0	0	0	0	11	6	3	2	6	4	9	6	3	0	3	0	10	15
7	NKL-00-201A	0	5	23	26	0	0	0	0	15	7	3	4	7	9	1	1	5	0	7	1	16	2
8	NKL-00-201B	0	7	22	23	0	0	0	0	14	7	3	4	6	7	3	4	5	0	8	2	13	6
9	NKL-00-38	2	5	15	27	0	0	0	0	15	8	4	4	12	11	0	0	4	0	7	1	23	0
10	NKL-00-130A	0	3	24	29	0	0	0	0	16	8	4	4	3	3	6	7	4	0	4	0	6	13
11	NKL-00-130D	0	3	24	32	0	0	0	0	16	8	4	4	4	3	5	5	3	0	4	0	7	11
12	NKL-00-131D	0	2	21	30	0	0	0	0	17	9	5	4	8	7	3	3	4	0	4	0	15	7
13	NKL-01-077	0	4	20	33	0	0	0	0	13	7	4	3	5	4	7	6	3	0	3	0	9	13
14	NKG-01-076	0	9	22	28	0	2	0	0	10	5	3	2	0	0	14	9	3	0	3	0	0	24
15	NKL-00-161	0	6	27	23	0	0	0	0	15	7	4	3	7	7	3	3	4	0	6	1	14	6
16	NKL-00-2B	0	5	27	23	0	0	0	0	17	8	4	5	7	8	2	2	4	0	5	1	15	4
17	NKL-01-471A	0	4	18	33	0	0	0	0	18	9	5	3	6	4	7	6	3	0	2	0	9	13
18	NKL-01-471B	0	2	25	29	0	0	0	0	20	10	6	4	2	1	9	7	3	0	3	0	3	15
19	NKL-01-471C	0	7	21	29	0	0	0	0	12	6	3	3	1	1	10	10	4	0	5	0	2	20
20	NKL-01-463	4	8	33	24	0	0	0	0	6	3	2	2	10	9	0	0	2	0	2	0	19	0
21	NKL-00-190	1	6	19	30	0	0	0	0	9	4	2	2	12	12	0	0	4	0	6	1	24	0
22	NKL-00-185	3	23	31	14	0	0	0	0	0	0	0	0	6	14	0	0	3	0	3	3	20	0
23	NKL-00-183	0	6	27	29	0	0	0	0	11	6	3	3	5	6	3	3	4	0	5	1	11	6
24	NKL-00-181	0	6	24	30	0	0	0	0	13	6	3	3	3	3	7	6	4	0	4	1	6	13
25	NKL-00-178A	0	3	20	25	0	0	0	0	22	11	5	5	10	10	0	0	4	0	5	1	20	1
26	NKL-00-172B	0	6	19	33	0	0	0	0	15	8	5	3	7	4	7	4	3	0	2	0	11	11
27	NKL-00-141A	2	6	21	21	0	0	0	0	18	9	4	5	10	11	0	0	4	0	5	1	21	0
28	NKL-00-135	0	3	17	35	0	0	0	0	20	10	6	3	6	3	7	4	3	0	2	0	10	11
29	NKF-01-125A	0	8	24	26	0	0	0	0	11	6	3	3	7	7	3	4	4	0	6	1	14	7
30	NKL-01-478	5	4	19	22	0	0	0	0	18	9	4	5	9	12	0	0	5	0	7	1	21	0
31	NKL-01-401A	2	17	34	17	0	0	0	0	7	4	2	2	7	7	0	0	3	0	5	1	14	0
32	NKL-00-109	0	3	24	36	0	0	0	0	11	6	3	2	2	2	9	7	3	0	3	0	4	16
33	NKL-00-115	0	7	27	24	0	1	0	0	10	5	3	3	0	0	9	10	4	0	6	1	0	19
34	NKL-00-221	0	1	16	38	0	0	0	0	11	6	3	2	16	10	1	1	3	0	2	0	25	2
35	NKL-00-220	0	5	19	34	0	0	0	0	15	8	5	3	5	3	8	5	3	0	2	0	8	13
36	NKL-00-219	0	8	28	28	0	0	0	0	5	3	1	1	2	2	9	9	4	0	4	1	4	17
37	NKL-00-218	0	4	21	35	0	0	0	0	12	6	4	2	4	3	10	6	3	0	2	0	7	16
38	NKL-00-217	0	12	20	21	0	4	0	0	15	7	4	3	0	0	9	9	4	0	5	1	0	18
39	NKL-00-216	0	10	24	19	0	0	0	0	16	8	4	4	4	4	3	4	5	0	9	1	8	7
40	NKL-00-215	0	10	21	29	0	0	0	0	7	4	2	2	2	2	10	10	4	0	4	1	4	20

Tableau des valeurs des minéraux normatifs CIPW (suite)

Site	Echantillon	Q	OR	AB	AN	LC	NE	C	AC	DI	DIWO	DIEN	DIFS	HYEN	HYSO	FOOL	FA	MT	HM	IL	AP	HY	OL
41	NKL-00-213	0	4	19	34	0	0	0	0	15	8	4	3	6	4	8	6	3	0	2	0	10	14
42	NGK-01-53	0	12	24	24	0	0	0	0	8	4	2	2	5	4	6	7	4	0	5	1	9	13
43	NGK-01-046	0	6	27	23	0	0	0	0	13	7	3	4	3	4	5	7	5	0	6	1	6	11
44	NKL-00-117	0	6	22	35	0	0	0	0	6	3	2	1	7	5	7	6	3	0	3	1	12	13
45	NKL-00-212	0	4	23	28	0	0	0	0	15	8	4	3	3	3	8	7	4	0	4	1	6	15
46	NKL-01-301B	0	10	25	23	0	0	0	0	13	7	3	3	0	0	8	9	4	0	6	1	0	17
47	NKL-00-210	0	7	29	26	0	0	0	0	7	4	2	2	0	0	9	10	4	0	5	1	0	19
48	NKL-00-209A	0	14	20	22	0	0	0	0	9	5	2	2	3	2	7	7	5	0	8	3	5	14
49	NKL-00-208	0	11	21	28	0	0	0	0	8	4	2	2	7	6	5	5	4	0	5	1	13	9
50	NKL-00-207	0	10	19	29	0	0	0	0	7	3	2	2	11	11	1	1	4	0	5	1	21	3
51	CQA-01-412E	0	16	18	17	0	5	0	0	16	8	4	4	0	0	7	9	5	0	6	1	0	16
52	CQA-01-414C	0	14	20	21	0	3	0	0	15	8	4	4	0	0	8	9	4	0	6	1	0	17
53	CQA-01-400B	0	8	24	27	0	4	0	0	12	6	3	3	0	0	9	8	4	0	4	1	0	18
54	CQA-01-350H	0	8	20	20	0	4	0	0	20	10	5	5	0	0	8	9	4	0	5	1	0	17
55	CQA-01-503A	0	7	24	26	0	0	0	0	12	6	3	3	6	7	3	4	4	0	6	1	13	7
56	CQA-01-355A	0	10	25	32	0	1	0	0	11	5	3	2	0	0	9	7	3	0	2	0	0	16
57	CQA-01-359A	0	12	21	21	0	0	0	0	14	7	3	4	0	0	9	11	5	0	6	1	1	20
58	CQA-01-1379D1	0	5	20	29	0	1	0	0	14	7	4	3	0	0	10	10	4	0	6	1	0	19
59	CQA-01-522A	0	4	24	30	0	0	0	0	16	8	5	3	4	3	8	6	3	0	2	0	7	13
60	CQA-01-1552A	0	7	25	25	0	0	0	0	11	5	3	3	2	2	8	9	5	0	6	1	4	17
61	CQA-01-1629A	0	6	25	22	0	0	0	0	18	9	4	5	2	2	4	7	5	0	7	1	4	11
62	CQA-01-393C	0	9	20	30	0	6	0	0	11	6	3	3	0	0	8	9	3	0	2	1	0	16
63	CQA-01-445I	0	13	16	19	0	7	0	0	18	9	5	4	0	0	9	9	4	0	5	1	0	18
64	CQA-01-1610C	0	18	13	20	0	8	0	0	14	7	4	3	0	0	9	9	4	0	4	1	0	19
65	CQA-01-1617A	0	9	24	26	0	0	0	0	14	7	4	3	0	0	8	8	4	0	6	1	0	16
66	CQA-01-1362A	0	4	27	29	0	1	0	0	12	6	3	2	0	0	10	8	4	0	5	1	0	18
67	CQA-01-1531A	0	8	27	25	0	0	0	0	14	7	4	4	3	6	5	6	3	0	3	1	10	11
68	CQA-01-1430A	0	7	28	27	0	2	0	0	16	8	4	4	0	0	6	7	3	0	4	1	0	13
69	CQA-01-1435A	0	5	24	33	0	1	0	0	11	6	3	2	0	0	11	9	3	0	3	1	0	20
70	CQA-00-1223A	0	5	24	31	0	1	0	0	11	5	3	2	0	0	12	9	3	0	3	1	0	21
71	CQA-00-1218A	0	6	29	23	0	0	0	0	11	6	3	3	0	0	9	9	4	0	6	2	0	18
72	CQA-00-1185A	0	5	28	27	0	1	0	0	12	6	3	3	0	0	9	8	3	0	4	1	0	18
73	CQA-00-223B	0	2	25	27	0	0	0	0	9	5	2	2	6	6	4	5	5	0	8	2	12	9
74	CQA-00-1208K	0	10	11	32	0	4	0	0	18	10	6	3	0	0	13	6	5	0	11	4	4	20
75	CQA-00-1132E	0	22	7	15	0	2	0	0	18	10	6	3	0	0	19	10	4	0	3	0	0	29
76	CQA-00-122F	0	15	17	20	0	3	0	0	18	9	5	4	0	0	8	9	4	0	6	1	0	17
77	CQA-00-125I	0	19	6	20	0	1	0	0	16	8	5	3	0	0	13	11	5	0	7	1	0	24
78	CQA-00-83A	0	6	27	32	0	0	0	0	7	3	2	2	2	2	6	8	4	0	6	1	4	15
79	CQA-00-124A	0	7	24	27	0	0	0	0	9	4	2	2	5	4	8	6	4	0	4	1	9	14
80	CQA-00-147F	0	11	17	28	0	0	0	0	12	6	3	3	0	0	12	10	4	0	4	1	0	22

Tableau des valeurs des minéraux normatif CIPW (suite)

Site	Q	OR	AB	AN	LC	NE	C	AC	DI	DIWO	DIEN	DIFS	HYEN	HYFS	OLFO	OLFA	MT	HM	IL	AP	HY	OL	
81	COA-00-1088A	0	17	14	22	0	5	0	0	14	7	4	3	0	0	9	9	4	0	4	1	0	19
82	COA-00-177A	0	6	26	24	0	0	0	0	9	4	2	2	1	1	13	10	4	0	5	1	2	24
83	COA-00-1032G3	9	21	6	27	0	0	1	0	0	0	0	0	10	15	0	0	4	0	6	3	24	0
84	COA-00-007m16	0	8	4	26	0	0	0	0	22	11	7	4	10	6	6	3	5	0	9	1	16	9
85	COA-00-111H	3	19	5	30	0	0	0	0	3	2	1	1	14	16	0	0	4	0	6	1	30	0
86	COA-00-110P	8	15	4	28	0	0	0	0	1	0	0	0	16	18	0	0	4	0	4	1	34	0
87	COA-00-102D	0	13	21	23	0	3	0	0	9	5	2	2	0	0	10	10	4	0	6	1	0	20
88	COA-00-102K	0	18	21	20	0	2	0	0	10	5	3	2	0	0	11	10	3	0	3	1	0	20
89	COA-00-101A	0	10	23	23	0	4	0	0	10	5	3	2	0	0	10	9	4	0	6	2	0	19
90	COA-00-101D	0	26	16	14	0	4	0	0	5	3	1	1	0	0	8	9	4	0	7	6	0	18
91	COA-00-51B	0	14	21	23	0	2	0	0	12	6	3	3	0	0	10	9	4	0	5	1	0	19
92	COA-00-92A	0	0	0	17	32	3	0	0	0	0	0	0	0	0	18	20	5	0	5	1	0	38
93	COA-00-298C	0	18	0	21	11	10	0	0	6	3	2	1	0	0	12	12	4	0	5	1	0	24
94	COA-00-274B	0	14	17	23	0	5	0	0	13	7	4	3	0	0	11	9	4	0	4	1	0	21
95	COA-00-270D	0	11	19	26	0	3	0	0	13	7	4	3	0	0	10	9	4	0	5	1	0	19
96	COA-00-254A	0	7	24	27	0	1	0	0	15	8	4	3	0	0	10	9	4	0	3	1	0	19
100	1997016227 <sup>m</sup>	0	1	20	43	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	19	9	2	0	2	0	0	27
101	1997013471 <sup>m</sup>	4	3	24	20	0	0	0	0	20	11	5	5	6	7	0	0	5	0	10	3	12	0
102	1997013457 <sup>m</sup>	0	7	21	29	0	0	0	0	7	4	2	2	3	2	11	8	4	0	4	1	5	18
103	1997013472 <sup>m</sup>	0	5	22	20	0	0	0	0	21	11	5	6	5	5	3	3	5	0	10	1	9	5
104	1997013473 <sup>m</sup>	0	4	23	26	0	0	0	0	15	9	5	4	2	2	10	8	4	0	4	0	3	17
105	1997016244 <sup>m</sup>	0	2	20	44	0	0	0	0	5	3	2	1	1	0	15	8	2	0	2	0	0	22
106	1997013476 <sup>m</sup>	0	2	21	27	0	2	0	0	12	7	4	3	0	0	11	11	5	0	8	0	0	20
107	1997013474 <sup>m</sup>	0	6	7	25	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	19	18	7	0	11	0	0	36
108	1996009622 <sup>m</sup>	0	10	31	21	0	2	0	0	8	5	2	2	0	0	8	8	4	0	6	1	0	14
109	1996009623 <sup>m</sup>	0	22	18	18	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	11	13	5	0	6	1	0	24
110	1996009644 <sup>m</sup>	0	9	27	24	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	9	9	5	0	11	2	0	18
111	1996009643 <sup>m</sup>	0	7	22	31	0	0	0	0	13	7	4	3	2	1	11	7	3	0	2	0	3	18
112	1996009601 <sup>m</sup>	0	9	30	24	0	1	0	0	8	5	2	2	0	0	8	9	4	0	5	1	0	17
113	1996009617 <sup>m</sup>	0	12	28	20	0	2	0	0	8	5	2	3	0	0	7	9	4	0	6	2	0	16
114	1996009741 <sup>m</sup>	2	13	30	17	0	0	0	0	8	5	2	2	9	8	0	0	3	0	6	2	15	0
115	1996009621 <sup>m</sup>	0	23	30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	7	8	4	0	5	1	4	13
116	1996009723 <sup>m</sup>	0	6	28	29	0	0	0	0	8	4	2	2	0	0	9	9	4	0	5	1	0	18
117	1996009631 <sup>m</sup>	0	7	25	28	0	0	0	0	9	6	3	3	3	3	7	7	4	0	5	1	4	13

Q= quartz; SiO<sub>2</sub>  
OR= orthoclase; K<sub>2</sub>O \* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> \* 6SiO<sub>2</sub>  
AB= albite; Na<sub>2</sub>O \* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> \* 6SiO<sub>2</sub>  
AN= anorthite; CaO \* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> \* 4SiO<sub>2</sub>  
LC= leucite; K<sub>2</sub>O \* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> \* 4SiO<sub>2</sub>  
NE= néphéline; Na<sub>2</sub>O \* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> \* 2SiO<sub>2</sub>  
Le calcul de la norme CIPW a été effectué avec le logiciel Minpet 2.02, selon la norme de Irvine et Baragar, 1971.  
<sup>m</sup> Analyses obtenues du MNRQ

C= corindon; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
AC= acmite; Na<sub>2</sub>O \* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> \* 4SiO<sub>2</sub>  
DI= clinopyroxène total  
DIW= pôle carbonaté; CaO \* SiO<sub>2</sub>  
DIEN= pôle magnésien; MgO \* SiO<sub>2</sub>  
DIFS= pôle ferreux; FeO \* SiO<sub>2</sub>  
C= corindon; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
HY= orthopyroxène total  
HYEN= pôle magnésien; MgO \* SiO<sub>2</sub>  
HYFS= pôle ferreux; FeO \* SiO<sub>2</sub>  
OL= Olivine totale  
OLFO= olivine forstérite; 2MgO \* SiO<sub>2</sub>  
OLFA= olivine fayalite; 2FeO \* SiO<sub>2</sub>  
MT= magnétite; FeO \* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
HM= hématite; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
IL= ilménite; FeO \* TiO<sub>2</sub>  
AP= apatite; 3P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> \* 5CaO

## Appendice E

### Tableau des compositions des éléments traces

Tableau des compositions en éléments traces (ppm)

Site	Groupe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Sc	Sr	V	Zn	Rb	Y	Zr	Nb	Cs	La	Ce
1	RN II	60,5	159,8	5,5	54,1	153,3	78,4	70,7	43,3	211,0	461,0	143,9	34,7	56,4	285,1	19,2	8,1	21,1	53,3
2	RN I	93,0	66,9	6,6	61,5	118,9	60,8	99,3	29,4	260,2	212,3	105,3	44,2	19,6	71,3	5,4	11,2	6,2	15,8
3	RN I	92,1	26,7	7,1	68,8	85,2	20,8	174,5	23,3	253,9	180,3	88,7	7,3	16,5	63,9	4,8	1,4	4,9	12,5
4	RN I	80,8	14,0	5,0	61,4	97,7	51,3	159,5	18,5	318,6	151,2	77,2	3,3	13,7	49,3	3,7	0,5	4,2	10,7
5	RN II	85,5	113,1	4,9	46,4	63,1	30,8	61,5	18,1	352,5	142,0	82,7	13,5	28,1	118,6	10,7	0,8	7,7	19,2
6	RN I	75,0	45,0	4,9	61,7	121,4	33,7	127,3	27,1	270,3	223,6	99,9	6,3	19,6	74,2	5,5	0,7	5,5	13,9
7	RN II	59,9	123,3	5,0	43,7	56,9	158,7	47,1	35,8	291,5	419,3	128,7	6,5	54,7	325,0	22,3	0,2	24,0	59,8
8	RN II	59,9	166,5	5,1	48,2	99,9	48,3	72,2	35,1	250,1	406,0	147,7	48,2	56,9	318,5	24,9	10,0	24,5	59,8
9	RN III	63,0	166,2	5,2	47,8	166,7	82,2	58,8	41,2	193,8	371,0	120,4	26,2	54,3	255,4	18,8	2,4	20,6	51,1
10	RN II	59,4	81,4	4,9	55,1	137,6	131,2	45,3	38,9	281,0	340,2	106,3	5,3	28,7	105,1	8,0	0,2	9,3	21,4
11	RN II	63,5	49,7	4,9	52,1	126,7	4,9	52,6	34,1	266,5	293,0	110,9	4,8	26,6	104,5	7,7	0,2	7,7	19,4
12	RN I	58,4	91,0	4,9	59,4	130,5	49,0	59,3	37,1	250,5	311,3	90,7	3,4	30,5	117,5	8,9	0,0	8,9	22,3
13	RN I	60,9	111,8	20,3	59,6	136,0	159,6	111,5	32,6	334,9	248,8	104,5	21,4	23,9	92,4	6,5	4,2	6,2	16,6
14	RN I	62,2	210,4	20,7	58,5	163,2	26,1	182,8	34,2	236,1	241,0	96,7	90,5	18,7	75,6	6,3	25,0	5,2	13,1
15	RN III	58,4	516,8	4,9	49,2	144,7	4,9	154,4	32,5	356,0	319,7	197,2	51,3	40,7	160,6	7,1	2,8	13,7	33,3
16	RN II	64,1	176,4	5,3	45,3	56,4	141,8	52,6	35,3	207,7	324,9	115,8	11,3	48,9	218,1	17,9	0,2	16,4	40,6
17	RN I	63,1	56,1	21,0	50,1	332,7	5,3	158,4	39,6	291,6	243,0	105,4	11,5	18,1	56,0	4,9	0,2	3,7	9,7
18	RN I	61,7	33,5	20,6	48,2	281,9	49,0	143,0	40,7	325,1	267,6	102,3	2,0	21,2	85,9	5,1	0,0	4,2	10,8
19	RN II	60,5	296,4	20,2	59,7	80,5	19,8	151,3	27,2	271,5	207,1	133,5	41,0	30,3	173,4	20,4	4,2	16,5	38,1
20	RN III	62,5	203,4	20,8	32,1	104,6	46,1	79,9	13,7	380,4	120,8	92,0	129,0	17,9	94,6	5,5	22,3	9,0	20,5
21	RN II	62,1	187,2	4,9	49,6	148,2	52,0	89,8	33,7	272,4	313,3	99,4	61,9	42,7	231,4	21,9	11,4	20,8	49,5
22	RN III	75,1	984,5	5,0	18,4	34,3	8,5	9,9	18,8	204,9	41,8	176,1	147,4	88,3	113,4	49,0	5,6	84,7	183,8
23	RN III	79,5	367,6	4,9	43,3	106,8	225,0	45,0	30,6	380,1	289,8	151,4	19,8	39,7	214,8	12,5	0,6	22,6	52,0
24	RN II	59,5	240,4	5,0	53,6	91,9	5,0	101,3	28,0	372,0	261,8	117,5	31,8	26,4	143,6	20,6	1,5	13,5	31,8
25	RN II	58,3	87,5	4,9	50,3	130,2	170,6	63,1	43,5	181,3	416,7	110,9	9,1	36,4	147,7	16,1	0,6	11,7	29,4
26	Agh I	59,5	126,8	5,0	52,9	183,6	53,4	146,9	31,8	299,2	222,4	75,4	20,4	18,8	73,2	5,4	0,8	6,1	14,3
27	Agh II	60,3	129,9	5,0	44,4	110,9	120,8	40,5	41,2	191,0	351,7	125,4	9,3	57,2	263,8	23,2	0,3	20,5	48,4
28	Agh I	59,5	36,4	5,0	52,4	346,6	78,8	175,2	34,7	210,5	219,7	87,1	15,8	16,3	53,8	4,3	0,9	5,1	12,0
29	Agh III	62,7	508,5	20,9	49,9	91,8	34,5	85,5	29,0	447,2	259,9	139,7	25,5	38,4	236,8	22,3	0,3	26,5	60,1
30	Agh II	62,7	127,7	20,9	46,6	64,0	101,4	54,7	44,9	206,0	466,4	146,2	3,0	62,0	280,0	24,8	0,1	18,8	46,3
31	Agh II	63,8	344,4	21,3	28,4	43,0	30,4	38,8	7,4	721,7	168,1	133,2	262,9	16,2	229,5	25,2	17,4	25,1	55,8
32	Agh II	63,6	150,5	5,1	52,6	80,5	64,4	114,7	24,6	277,0	207,6	88,2	8,9	24,1	112,4	13,3	0,7	10,9	25,6
33	Agh II	63,8	395,8	5,3	53,7	67,3	140,9	85,3	25,1	328,9	228,1	116,1	19,9	35,2	216,2	17,9	0,5	20,2	47,8
34	Agh I	60,4	30,1	5,0	55,5	169,0	5,0	163,7	29,6	419,4	239,3	82,9	2,4	18,7	65,6	6,2	0,0	6,0	14,8
35	Agh I	75,8	94,7	5,0	55,0	183,1	5,0	173,9	30,4	242,1	230,4	78,4	21,7	18,2	59,0	5,0	2,3	5,4	13,2
36	Agh III	73,5	493,6	5,0	49,7	62,7	27,2	78,5	19,0	434,2	189,0	116,4	23,5	25,9	104,8	6,3	2,9	14,8	35,7
37	Agh I	64,5	118,4	5,1	57,1	137,2	76,2	178,2	27,2	239,8	221,9	79,5	15,6	17,4	66,7	6,0	1,5	6,2	14,9
38	Agh II	60,0	264,6	5,0	56,4	115,5	113,5	109,9	27,5	336,4	293,7	131,4	127,2	32,2	175,3	16,9	5,7	17,8	43,5
39	Agh III	86,2	567,1	13,5	50,4	38,3	68,1	37,3	39,4	341,5	424,7	151,6	47,7	37,6	231,5	22,8	1,8	28,6	64,9
40	Agh III	93,1	468,8	9,5	64,4	48,4	4,8	121,1	17,6	471,0	156,9	131,3	29,5	21,4	131,2	12,8	5,0	16,2	36,4

Tableau des compositions en éléments traces (suite)

Site	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Sc	Sr	V	Zn	Rb	Y	Zr	Nb	Cs	La	Ce
41	Agh I	95,7	122,5	6,9	61,8	107,9	64,1	179,1	29,1	244,3	201,4	95,5	19,1	18,6	62,3	6,5	3,3	15,0
42	Agh III	62,8	542,1	20,9	50,0	92,7	33,2	89,3	26,1	409,0	236,3	142,3	40,2	35,7	227,3	20,0	1,9	59,4
43	Agh III	62,3	428,8	20,8	49,1	110,5	206,3	60,5	35,6	348,4	296,3	150,5	17,8	45,1	236,2	21,0	0,3	57,9
44	Agh III	53,8	304,8	4,8	56,9	172,3	25,1	170,0	18,1	499,9	148,7	101,2	16,4	20,3	108,7	10,8	1,6	33,8
45	Agh II	70,0	236,7	6,1	57,7	21,1	117,1	64,6	31,7	454,6	301,5	125,6	12,7	25,5	148,0	17,1	1,0	38,4
46	Agh II	63,6	267,7	21,2	47,5	104,0	64,2	99,9	28,5	320,9	285,7	134,8	59,4	40,2	207,4	19,9	3,7	49,2
47	Agh III	92,9	684,6	10,4	58,3	125,4	25,3	65,1	19,6	558,6	270,2	158,5	26,1	29,3	130,2	13,4	2,1	41,7
48	Agh III	59,8	294,7	5,3	47,0	139,6	53,0	78,2	26,4	284,7	272,4	156,4	175,4	50,5	402,5	32,5	25,9	102,7
49	Agh III	62,7	447,9	5,0	53,6	145,4	24,9	110,5	24,3	445,3	249,2	133,9	43,7	33,1	206,4	17,0	5,8	58,1
50	Agh III	74,0	500,1	5,0	49,6	166,8	10,8	73,1	25,1	465,5	274,0	153,3	53,3	34,3	208,6	18,2	10,1	58,6
51	Rom I	62,6	313,6	20,9	52,0	43,0	5,2	70,6	28,2	285,3	303,5	200,9	113,3	39,3	194,6	30,6	8,0	62,5
52	Rom I	61,6	427,5	20,5	49,8	54,5	58,6	70,5	29,0	393,4	289,6	178,7	77,3	37,6	188,1	32,9	4,2	55,7
53	Rom I	63,1	183,0	21,0	52,5	43,8	26,2	72,4	23,4	583,6	228,1	119,9	36,1	22,6	134,1	18,8	3,1	30,8
55	Rom II	61,9	478,8	20,6	46,3	146,4	34,1	97,1	29,8	399,7	247,8	162,1	49,5	40,0	242,1	21,4	1,9	70,4
57	Rom I	60,5	652,3	20,2	57,1	144,4	24,5	79,3	31,9	358,4	304,2	177,4	65,9	45,1	265,3	25,1	5,8	70,0
58	Rom II	62,0	130,5	20,7	67,0	39,3	251,5	94,3	30,3	334,4	327,1	114,7	14,2	38,8	175,2	28,6	0,5	46,9
60	Rom I	63,0	431,1	21,0	60,8	206,5	17,2	79,2	26,5	422,3	382,6	157,4	29,6	36,2	240,9	21,7	3,1	53,5
61	Rom I	62,8	258,9	20,9	44,7	135,8	74,9	51,7	41,7	408,0	299,3	167,6	5,4	50,8	315,7	28,5	0,1	79,4
65	Rom II	60,7	363,6	20,2	44,6	186,5	25,2	105,4	31,6	408,0	248,9	138,5	20,5	40,4	236,4	21,4	0,5	59,0
54	Rom I	62,2	280,0	20,7	50,5	161,5	18,0	53,5	41,3	217,4	274,4	159,2	41,3	49,0	252,8	10,5	1,2	50,1
56	Rom I	60,9	281,5	20,3	40,6	228,7	72,1	113,6	23,0	482,0	179,8	89,2	153,5	23,0	74,5	4,0	28,0	21,9
59	Rom II	61,0	279,5	20,3	45,3	385,2	71,0	115,1	35,5	414,8	188,2	97,2	5,4	17,9	64,5	3,8	1,2	19,2
62	Rom II	60,6	328,3	20,2	30,9	32,8	176,8	25,5	29,6	561,6	266,3	140,4	46,0	29,1	66,5	7,2	0,7	44,7
63	Rom II	62,9	415,6	21,0	48,8	141,1	74,6	132,4	33,0	303,5	294,4	146,3	105,7	43,4	168,0	9,1	12,7	51,3
64	Rom I	62,2	227,7	20,7	47,2	89,7	5,2	104,4	28,1	304,4	245,3	220,1	271,4	28,1	114,6	4,7	13,9	28,6
66	Rom II	61,9	274,4	20,6	43,4	167,6	22,1	158,3	27,0	560,5	199,9	100,3	15,2	28,7	122,3	5,8	2,5	31,8
67	Rom II	61,7	303,1	20,6	43,2	197,1	42,3	100,5	32,3	258,7	203,4	118,3	36,5	31,1	110,7	8,6	0,5	46,3
68	Rom II	63,0	421,7	21,0	35,6	104,6	48,8	73,1	30,5	483,6	257,0	112,7	14,7	33,5	131,9	5,5	0,1	34,0
69	Rom II	63,1	449,0	21,0	48,8	114,3	44,0	148,7	25,1	482,3	200,7	95,2	23,8	26,1	88,3	3,9	0,7	23,0
70	Mus II	62,3	164,9	5,2	52,9	89,0	16,1	131,8	23,3	545,4	199,2	99,4	21,5	22,0	86,7	3,2	0,5	23,6
71	Mus II	63,9	584,7	5,3	49,3	99,5	34,8	64,5	25,3	539,3	229,9	108,0	20,5	35,4	163,3	6,4	1,1	43,7
72	Mus II	63,2	365,5	5,3	43,2	120,2	75,6	96,0	22,9	613,5	206,8	116,6	15,8	25,9	116,9	4,7	1,2	30,5
73	Mus I	62,7	77,9	5,2	56,1	42,7	204,2	14,7	15,7	539,8	169,3	148,7	5,7	31,9	309,6	47,1	0,4	87,5
74	Mus I	63,6	878,9	5,5	53,6	45,9	11,1	47,5	32,3	788,1	183,2	114,4	116,6	87,5	722,7	65,8	2,7	160,9
75	Mus I	62,2	260,2	5,2	62,6	753,2	5,2	376,0	32,8	65,5	254,4	170,2	198,7	24,3	116,0	15,1	6,8	33,5
76	Mus I	61,1	672,6	5,1	50,2	66,1	14,0	69,8	23,1	361,5	271,2	177,6	103,2	27,5	174,4	23,8	8,2	50,8
77	Mus I	61,3	275,8	5,1	70,1	157,7	6,5	212,7	20,7	183,7	272,1	209,0	310,2	25,7	185,1	38,1	38,7	70,6
78	Mus I	62,7	292,2	5,2	52,0	63,8	72,6	46,7	19,7	603,4	316,8	134,7	17,7	21,9	124,7	13,1	3,2	33,1
79	Mus II	63,2	553,2	15,8	51,4	45,8	27,1	116,8	19,9	558,4	179,6	95,6	13,6	26,4	132,1	5,1	2,2	36,6
80	Mus I	60,4	321,0	5,0	63,2	54,4	30,3	154,7	22,3	466,4	239,2	206,5	130,5	19,6	112,0	11,7	4,4	30,8

Tableau des compositions en éléments traces (suite)

Site	Groupe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Sc	Sr	V	Zn	Rb	Y	Zr	Nb	Cs	La	Ce
81	Mus II	62,2	631,5	5,2	50,4	73,3	48,1	73,0	28,3	382,9	263,7	121,7	153,2	31,0	126,9	4,6	8,0	12,4	31,6
82	Mus II	62,4	580,1	5,2	61,9	58,6	44,8	117,7	19,7	624,5	182,9	116,4	19,2	26,8	130,3	5,6	4,1	14,2	35,5
83	Mus I	61,4	610,9	5,1	33,8	104,3	5,1	282,4	18,2	481,5	107,5	187,2	276,9	49,1	426,5	57,3	23,7	54,0	128,3
84	Mus I	63,4	233,1	5,6	67,6	204,6	84,1	216,1	24,4	101,6	333,7	225,2	42,3	32,0	298,0	51,1	1,5	39,9	92,0
85	Mus II	61,0	549,3	5,1	51,2	92,2	42,7	42,1	30,5	326,4	316,1	164,9	212,7	40,7	198,7	8,5	35,4	17,4	43,1
86	Mus II	61,4	193,2	5,1	52,2	146,8	136,3	42,8	47,7	156,0	370,6	217,1	282,6	41,4	133,0	6,8	18,3	15,6	37,8
87	Mus II	62,8	386,6	5,2	49,7	229,4	38,4	90,3	19,8	595,6	227,5	116,2	144,7	28,6	141,7	6,7	31,4	13,8	36,8
88	Mus II	60,7	799,6	5,1	45,3	176,6	5,6	91,7	31,8	283,9	246,6	232,5	262,0	30,0	117,1	4,7	17,6	12,9	30,9
89	Mus II	62,4	643,5	5,2	48,4	57,9	32,1	80,5	21,2	609,4	208,5	118,0	59,2	32,4	161,3	7,1	9,6	15,7	40,8
90	Mus I	62,7	1050,8	5,2	27,2	7,8	5,2	10,4	13,0	1058,3	101,4	250,2	405,6	44,4	309,3	58,1	81,1	57,2	147,6
91	Mus II	62,3	703,2	5,2	44,1	119,6	83,6	89,6	25,9	458,1	220,9	141,5	67,7	29,7	138,7	5,8	3,2	13,6	34,9
92	Mus II	62,9	293,7	5,2	59,4	148,3	7,5	59,1	56,5	14,4	282,7	325,1	534,7	59,7	175,0	8,2	22,9	17,0	41,6
93	Mus II	62,6	1419,0	5,2	56,4	81,3	49,7	81,9	29,2	393,9	256,3	260,1	330,8	33,6	136,1	7,3	9,3	13,2	34,2
94	Mus II	62,3	544,4	5,2	53,5	85,7	5,2	108,3	26,9	432,5	243,0	129,2	99,9	28,2	113,0	4,0	8,3	11,1	28,4
95	Mus I	64,7	331,8	16,2	53,5	102,0	5,4	131,6	24,7	388,9	216,4	115,8	75,8	26,7	150,2	12,2	7,0	14,6	35,0
96	Mus II	61,6	379,2	5,1	53,3	172,7	107,8	107,1	29,6	418,0	257,5	125,6	30,9	26,0	96,8	3,9	2,5	11,4	27,5
MNRO																			
100	RN-mmq		80		65	94		150	18	329	102	75	6	11	57	3	1,3		6
101	RN-mmq		110		46	20		22	46	229	281	117	5	79	631	21	0,5		76
102	RN-mmq		550		54	61		144	23	620	176	178	15	35	120	6	2,9		28
103	RN-mmq		120		54	25		48	49	179	627	166	22	44	186	11	2		34
104	RN-mmq		150		66	220		81	38	199	250	131	23	23	79	4	1,7		14
105	RN-mmq		50		63	66		162	17	320	110	79	5	13	53	3	1		8
106	RN-mmq		120		63	86		91	36	365	201	108	5	19	108	10	0,6		17
107	RN-mmq		240		55	760		77	50	303	235	91	32	17	55	3	1,1		10
108	Lil-mmq		1100		60	33		78	24	400	228	123	51	39	170	17	1,5		46
109	Lil-mmq		3200		103	36		67	27	370	263	299	110	36	150	17	8,9		37
110	Lil-mmq		930		56	20		47	22	570	120	246	62	46	280	25	5		55
111	Lil-mmq		160		111	43		179	12	300	499	205	21	19	78	13	2,9		13
112	Lil-mmq		680		46	160		103	25	480	210	128	25	41	170	16	4,6		45
113	Lil-mmq		840		44	120		71	30	430	234	132	52	40	200	23	3,4		57
114	Lil-mmq		900		40	64		85	13	780	194	150	17	24	260	25	0,5		76
115	Lil-mmq		2100		46	37		74	20	480	176	160	79	28	150	14	1,2		47
116	Lil-mmq		340		55	32		106	20	540	192	123	19	26	120	15	4,7		42
117	Lil-mmq		310		47	62		108	27	510	204	210	24	45	180	17	1,1		40

Tableau des compositions en éléments traces (suite)

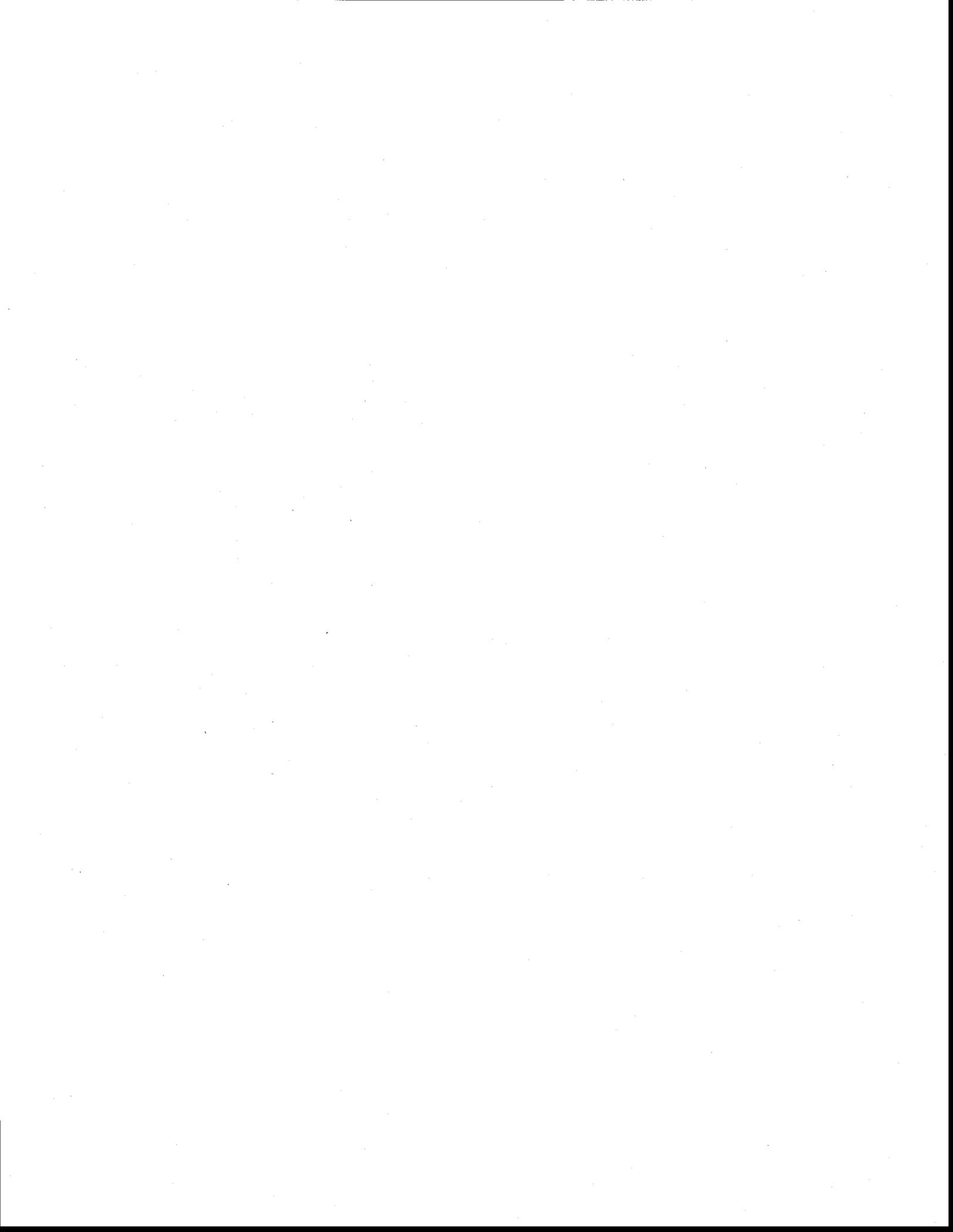
Site	Groupe	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U
1	RN II	7,7	34,3	8,9	2,7	10,0	1,5	10,1	1,9	5,6	0,8	4,8	0,7	6,7	1,1	10,6	2,5	0,8
2	RN I	2,4	11,3	3,0	1,3	4,0	0,6	3,9	0,7	2,1	0,3	1,8	0,3	2,0	0,3	10,9	0,5	0,2
3	RN I	2,0	9,4	2,5	1,0	3,2	0,5	3,2	0,6	1,8	0,2	1,5	0,2	1,7	0,3	6,6	0,4	0,1
4	RN I	1,5	6,8	1,8	0,8	2,2	0,3	2,2	0,4	1,3	0,2	1,1	0,2	1,2	0,2	7,5	0,2	0,1
5	RN II	3,0	14,4	4,0	1,6	5,1	0,8	5,1	1,0	2,9	0,4	2,4	0,4	2,9	0,6	11,0	0,6	0,1
6	RN I	2,2	10,4	2,7	1,1	3,1	0,6	3,4	0,7	2,0	0,3	1,7	0,3	1,8	0,3	8,7	0,4	0,2
7	RN II	8,9	40,0	9,5	3,1	10,8	1,7	10,2	2,0	5,5	0,7	4,6	0,7	7,4	1,3	12,0	3,2	1,2
8	RN II	9,1	40,4	9,7	3,0	11,2	1,6	10,4	2,0	5,6	0,8	4,7	0,7	7,2	1,4	14,8	3,1	1,4
9	<u>RN III</u>	7,3	33,4	8,7	2,8	10,0	1,5	9,7	1,9	5,4	0,8	4,7	0,7	6,5	1,0	14,4	2,5	0,8
10	RN II	3,5	15,7	4,0	1,6	7,0	0,8	5,1	1,0	2,8	0,4	2,3	0,3	2,8	0,5	12,6	0,6	0,4
11	RN II	3,1	14,5	3,9	1,5	4,7	0,8	4,7	0,9	2,7	0,4	2,3	0,3	2,8	0,5	11,0	0,6	0,2
12	RN I	3,5	16,5	4,5	1,6	6,9	0,9	5,5	1,0	3,1	0,4	2,5	0,4	3,1	0,6	9,6	0,7	0,5
13	RN I	2,6	12,7	3,5	1,5	4,3	0,6	4,4	0,9	2,5	0,4	2,2	0,3	2,3	0,4	5,0	0,6	0,5
14	RN I	2,0	9,9	2,7	1,1	3,4	0,5	3,4	0,7	1,9	0,3	1,7	0,3	1,8	0,3	8,1	0,4	0,1
15	RN III	5,2	24,5	6,4	2,0	7,3	1,2	7,2	1,4	4,1	0,6	3,4	0,5	4,1	0,5	14,6	1,2	0,7
16	RN II	5,8	26,6	7,0	2,2	8,1	1,3	8,6	1,7	5,1	0,7	4,4	0,7	5,5	1,0	12,4	1,9	0,5
17	RN I	1,5	7,5	2,2	1,0	2,9	0,4	3,1	0,7	1,8	0,3	1,7	0,2	1,5	0,2	3,8	0,3	0,1
18	RN I	1,7	8,6	2,6	1,1	3,3	0,5	3,7	0,8	2,1	0,3	1,9	0,3	2,2	0,3	5,9	0,4	0,1
19	RN II	5,2	23,2	5,3	1,8	5,8	0,8	5,2	1,1	2,9	0,4	2,6	0,4	4,0	1,1	4,3	2,1	0,6
20	RN III	2,8	13,3	3,4	1,3	3,7	0,5	3,1	0,6	1,6	0,2	1,3	0,2	2,3	0,3	3,5	1,4	0,4
21	RN II	7,2	31,5	7,0	2,3	8,0	1,3	7,8	1,5	4,3	0,6	3,8	0,6	5,5	1,2	13,2	2,9	1,0
22	<u>RN III</u>	24,0	94,0	17,7	4,7	18,3	2,7	15,9	3,1	8,8	1,3	8,0	1,3	2,1	3,0	52,0	18,0	6,3
23	RN III	7,3	31,3	7,0	2,1	7,5	1,2	7,4	1,4	4,1	0,6	3,5	0,5	5,3	0,7	19,6	2,0	0,5
24	RN II	4,6	20,0	5,1	1,8	5,3	0,8	4,9	0,9	2,6	0,4	2,1	0,3	3,5	1,4	13,9	1,3	0,4
25	RN II	4,4	20,0	5,5	1,9	6,6	1,0	6,6	1,3	3,8	0,5	3,2	0,5	3,8	1,1	9,1	1,3	0,4
26	Agh I	2,1	11,5	2,5	1,0	3,2	0,5	3,3	0,7	2,0	0,3	1,6	0,3	2,0	0,4	8,0	0,8	0,2
27	Agh II	7,1	31,9	8,1	2,4	12,3	1,6	10,1	2,0	5,9	0,8	5,0	0,7	6,5	1,4	9,2	2,7	0,8
28	Agh I	1,8	8,0	2,1	0,9	2,6	0,4	2,9	0,6	1,7	0,2	1,5	0,2	1,5	0,3	10,0	0,5	0,2
29	Agh III	8,1	35,5	7,7	2,4	7,7	1,0	6,5	1,3	3,5	0,5	3,1	0,4	5,2	1,1	3,4	3,0	0,5
30	Agh II	6,7	32,0	8,4	2,6	10,2	1,5	10,4	2,2	6,1	0,9	5,6	0,8	6,6	1,4	7,4	2,8	0,8
31	Agh II	7,0	29,3	5,7	1,8	4,9	0,6	3,2	0,5	1,3	0,2	1,0	0,1	4,9	1,5	9,1	2,5	1,9
32	Agh II	3,7	15,9	4,0	1,4	4,2	0,7	4,2	0,8	2,4	0,3	2,1	0,3	2,9	0,8	10,2	1,3	0,4
33	Agh II	6,9	29,8	6,8	2,3	7,0	1,1	6,3	1,2	3,5	0,5	3,0	0,5	5,0	1,1	9,7	1,6	0,5
34	Agh I	2,2	10,3	2,6	1,1	3,2	0,6	3,3	0,7	1,9	0,3	1,7	0,2	1,8	0,4	10,7	0,5	0,2
35	Agh I	2,0	9,2	2,4	0,9	3,0	0,5	3,2	0,6	1,9	0,3	1,7	0,3	1,6	0,3	11,5	0,6	0,2
36	Agh III	5,4	24,2	5,2	2,1	5,4	0,8	4,8	0,9	2,6	0,4	2,1	0,3	2,5	0,3	14,4	0,5	0,2
37	Agh I	2,3	10,4	2,4	1,1	3,1	0,5	3,1	0,6	1,8	0,3	1,6	0,2	1,8	0,4	9,1	0,6	0,2
38	Agh II	6,5	29,1	6,2	2,1	6,5	1,1	5,9	1,1	3,3	0,5	2,7	0,4	4,1	1,0	16,0	1,2	0,6
39	Agh III	9,2	38,9	8,0	2,6	7,9	1,2	7,0	1,4	3,8	0,5	3,2	0,5	5,5	1,3	14,3	3,8	1,3
40	Agh III	5,2	22,1	4,7	1,8	4,6	0,7	4,1	0,8	2,2	0,3	1,9	0,3	3,2	0,7	11,6	1,7	0,3

Tableau des compositions en éléments traces (suite)

Site	Groupe	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U
41	Agh I	2,3	10,3	2,8	1,2	3,4	0,5	3,6	0,7	2,0	0,3	1,7	0,3	1,7	0,4	9,9	0,6	0,2
42	Agh III	8,1	36,2	7,9	2,5	7,8	1,1	6,7	1,4	3,7	0,5	3,3	0,5	5,3	1,0	6,7	3,1	0,6
43	Agh III	8,1	37,7	8,7	2,9	9,3	1,3	8,4	1,7	4,6	0,7	4,2	0,6	5,4	1,1	7,3	1,9	0,6
44	Agh III	4,8	20,2	4,2	1,6	4,2	0,6	3,6	0,7	2,0	0,3	1,7	0,3	2,8	0,6	9,8	1,5	0,3
45	Agh II	5,6	24,5	5,7	2,0	5,9	0,9	5,1	1,0	2,7	0,4	2,2	0,3	3,6	1,0	10,4	1,0	0,4
46	Agh II	6,7	30,7	6,9	2,3	7,4	1,0	6,6	1,3	3,7	0,5	3,3	0,5	4,7	1,1	6,2	2,4	0,8
47	Agh III	6,0	25,5	5,8	2,0	5,8	0,9	5,4	1,0	3,0	0,4	2,4	0,4	3,3	0,7	8,8	0,8	0,4
48	Agh III	14,1	58,6	12,0	3,3	11,2	1,6	9,9	1,9	5,5	0,7	4,5	0,7	8,5	1,8	13,3	2,5	0,7
49	Agh III	7,9	32,8	7,1	2,2	7,1	1,0	6,3	1,2	3,5	0,5	2,9	0,5	5,2	0,9	15,9	2,4	0,4
50	Agh III	8,2	34,7	7,6	2,4	7,4	1,1	6,7	1,3	3,7	0,5	3,1	0,5	5,3	1,0	22,6	2,3	0,4
51	Rom I	8,7	40,4	9,1	2,9	8,9	1,2	7,7	1,5	4,1	0,6	3,6	0,5	5,0	1,7	7,0	1,5	0,7
52	Rom I	7,6	34,7	8,0	2,6	8,2	1,1	7,3	1,5	4,0	0,6	3,5	0,5	4,8	1,8	7,0	1,7	1,2
53	Rom I	4,3	19,8	4,6	1,8	4,9	0,7	4,4	0,9	2,3	0,3	1,9	0,3	3,2	1,1	2,6	0,9	0,3
55	Rom I	9,7	43,2	9,2	2,7	9,4	1,3	8,2	1,7	4,4	0,6	4,0	0,6	6,0	1,2	7,3	2,7	1,0
57	Rom I	9,5	42,2	9,3	2,7	9,1	1,3	7,9	1,6	4,2	0,6	3,7	0,5	6,0	1,2	7,1	1,3	0,4
58	Rom I	6,9	33,2	8,0	2,3	8,2	1,1	7,0	1,4	3,7	0,5	3,2	0,5	4,4	1,5	4,5	0,6	0,2
60	Rom I	7,2	32,2	7,2	2,1	7,1	1,0	6,0	1,2	3,2	0,5	2,9	0,4	5,3	1,1	4,6	0,9	0,3
61	Rom I	10,9	49,4	11,1	3,1	11,0	1,5	9,7	1,9	5,1	0,7	4,6	0,6	7,5	1,5	4,2	1,0	0,3
65	Rom I	8,0	35,7	7,7	2,4	7,8	1,0	6,8	1,4	3,7	0,5	3,3	0,5	5,2	1,1	3,7	1,0	0,3
54	Rom II	7,1	32,8	7,8	2,4	8,8	1,3	8,2	1,7	4,6	0,7	4,2	0,6	5,4	0,5	7,5	1,2	0,3
56	Rom II	3,2	14,8	3,6	1,4	4,0	0,6	3,8	0,8	2,2	0,3	2,1	0,3	1,9	0,2	10,3	0,9	0,5
59	Rom II	2,7	13,1	3,1	1,2	3,5	0,5	3,4	0,7	1,9	0,3	1,7	0,3	1,7	0,2	4,6	0,5	0,2
62	Rom II	6,4	28,6	6,1	1,9	5,6	0,7	4,8	1,0	2,7	0,4	2,4	0,3	3,9	0,3	9,5	1,1	0,8
63	Rom II	7,2	33,1	7,5	2,4	8,0	1,1	7,6	1,6	4,4	0,6	4,0	0,6	3,9	0,5	8,6	1,2	0,6
64	Rom II	4,2	20,7	5,1	1,8	5,6	0,8	5,3	1,1	2,9	0,4	2,6	0,4	2,8	0,2	10,9	0,7	0,3
66	Rom II	4,8	22,8	5,3	2,0	5,6	0,8	5,1	1,0	2,9	0,4	2,5	0,4	2,9	0,3	3,4	0,6	0,2
67	Rom II	6,0	25,0	5,1	1,4	5,2	0,7	5,1	1,1	3,0	0,4	2,9	0,4	2,5	0,4	3,9	1,0	0,3
68	Rom II	4,9	23,5	5,6	2,0	6,1	0,9	6,0	1,2	3,4	0,5	3,0	0,4	3,2	0,3	7,1	1,2	0,5
69	Rom II	3,4	16,5	4,0	1,6	4,5	0,7	4,4	0,9	2,6	0,4	2,4	0,3	2,2	0,2	2,5	0,3	0,1
70	Mus II	3,2	15,5	3,8	1,5	4,0	0,6	3,8	0,8	2,2	0,3	1,8	0,3	2,2	0,2	9,0	0,6	0,2
71	Mus II	6,2	29,7	7,0	2,4	7,0	1,0	6,3	1,2	3,5	0,5	3,0	0,4	3,7	0,4	10,2	0,5	0,2
72	Mus II	4,3	20,0	4,5	1,8	4,6	0,7	4,2	0,8	2,3	0,3	1,9	0,3	2,5	0,3	12,4	0,4	0,1
73	Mus I	11,8	54,4	12,0	3,8	11,2	1,4	8,3	1,4	3,6	0,4	2,6	0,4	7,3	2,7	8,2	3,0	0,9
74	Mus I	20,3	86,3	17,4	4,5	16,2	2,1	13,1	2,5	7,2	1,0	5,7	0,9	13,8	3,5	13,5	4,9	1,2
75	Mus I	4,4	19,3	4,4	1,7	4,4	0,6	4,0	0,8	2,2	0,3	2,0	0,3	2,8	0,8	9,0	1,4	1,7
76	Mus I	7,0	29,6	6,6	2,7	6,7	0,9	5,5	1,0	2,5	0,3	2,1	0,3	4,4	1,5	13,7	1,5	1,7
77	Mus I	10,0	42,0	9,0	3,0	7,8	1,1	5,5	0,9	2,4	0,3	1,7	0,2	4,6	2,2	11,4	1,9	1,7
78	Mus I	4,6	21,1	4,6	1,7	5,0	0,7	3,9	0,8	2,0	0,3	1,7	0,2	2,9	0,7	14,3	0,8	0,3
79	Mus II	5,4	24,5	5,5	2,0	5,7	0,8	5,1	1,0	2,8	0,4	2,3	0,4	3,2	0,3	10,5	0,5	0,2
80	Mus I	4,1	19,2	4,7	2,3	4,6	0,6	4,7	0,8	2,1	0,3	1,7	0,3	2,9	0,7	10,0	0,9	0,5

Tableau des compositions en éléments traces (suite)

Site	Groupe	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U
81	Mus II	4,3	21,0	5,1	1,9	5,6	0,8	5,2	1,0	3,0	0,4	2,5	0,4	2,9	0,2	13,1	0,7	0,2
82	Mus II	5,1	24,8	5,6	1,9	5,7	0,8	5,1	1,0	2,8	0,4	2,4	0,4	3,1	0,3	8,6	0,5	0,1
83	Mus I	15,8	67,5	13,3	3,9	12,3	1,6	9,5	1,7	4,5	0,6	3,5	0,5	8,7	3,1	15,8	3,3	1,2
84	Mus I	11,8	50,6	9,5	3,2	9,9	1,4	7,0	1,1	2,9	0,3	1,8	0,3	7,2	3,1	14,3	2,5	0,9
85	Mus II	6,1	27,6	6,5	2,3	7,0	1,0	6,5	1,3	3,7	0,5	3,1	0,5	4,2	0,4	15,2	1,1	0,4
86	Mus II	5,3	25,0	6,7	2,6	8,0	1,1	7,6	1,6	4,6	0,6	4,3	0,6	3,3	0,2	14,5	0,9	0,4
87	Mus II	5,3	25,1	5,9	2,1	6,5	0,8	5,4	1,0	2,9	0,4	2,5	0,3	3,2	0,4	18,3	0,5	0,3
88	Mus II	4,3	20,3	5,1	1,5	6,0	0,8	5,3	1,1	3,2	0,4	2,7	0,4	2,9	0,2	24,8	0,7	0,4
89	Mus II	5,9	27,6	5,8	2,0	6,4	0,9	5,1	1,0	2,8	0,4	2,3	0,3	3,3	0,4	16,6	0,5	0,2
90	Mus I	20,8	96,3	19,0	6,5	16,7	1,8	9,2	1,5	3,6	0,4	2,4	0,3	6,7	3,3	17,3	2,5	1,2
91	Mus II	5,1	23,7	5,5	1,9	6,2	0,8	5,3	1,1	3,0	0,4	2,6	0,4	3,2	0,3	13,4	0,5	0,2
92	Mus II	6,2	29,0	7,0	1,5	8,1	1,4	8,5	1,8	6,0	0,9	6,2	0,9	4,0	0,3	12,6	1,2	1,9
93	Mus II	4,7	22,7	5,5	2,0	6,0	0,9	5,6	1,1	3,2	0,4	2,6	0,4	3,1	0,3	12,3	0,8	0,3
94	Mus II	3,9	18,9	4,7	1,7	5,1	0,7	4,8	0,9	2,7	0,4	2,3	0,3	2,7	0,2	19,2	0,7	0,1
95	Mus I	4,8	22,4	5,4	1,9	5,6	0,8	5,3	1,0	2,9	0,4	2,4	0,4	3,7	0,7	14,2	1,1	0,3
96	Mus II	3,9	18,5	4,5	1,7	5,0	0,7	4,9	1,0	2,8	0,4	2,4	0,4	2,5	0,2	12,1	0,7	0,2
100	RN-mrnq		8	1,8	0,8		0,4		0,5		4	1,4	0,2	1,5	0,5		0,3	
101	RN-mrnq		47	14	4,4		2,1		5,3		28	7,9	1,1	13	1,7		3,5	
102	RN-mrnq		17	5	1,7		0,8		1		13	2,5	0,3	2,9	0,5		0,9	
103	RN-mrnq		21	7,1	2,3		1,1		3		13	4,9	0,7	4,6	1,5		2,1	
104	RN-mrnq		9	3,5	1,2		0,7		1,5		6	2,4	0,3	2,1	1,2		0,3	
105	RN-mrnq		11	1,9	0,7		0,2		0,5		4	1,1	0,1	1,2	0,5		0,3	
106	RN-mrnq		12	4	1,7		0,4		0,7		6	2,1	0,3	2,5	1		0,4	
107	RN-mrnq		5	2,4	0,8		0,4		0,9		4	1,8	0,2	1,3	0,5		0,4	
108	Agh-mrnq		35	7,4	2,9		1		0,9		23	3,4	0,5	3,9	1,1		1,1	
109	Agh-mrnq		28	6,4	1,6		0,9		1,2		19	3,1	0,4	4,2	1,2		1,2	
110	Agh-mrnq		33	8,3	3		1,1		1,5		25	3,7	0,5	5,7	1,2		1,2	
111	Agh-mrnq		8	2,4	1,2		0,3		0,5		7	0,9	0,1	1,8	0,7		0,4	
112	Agh-mrnq		33	7,1	2,6		0,8		1,3		23	3,5	0,5	3,7	2		1,2	
113	Agh-mrnq		35	8,4	2,5		1,1		1,4		27	4	0,6	4,7	1,3		1,7	
114	Agh-mrnq		44	9,7	2,7		1		1,2		37	1,9	0,3	5,7	1,5		1,4	
115	Agh-mrnq		33	6,5	2,3		0,6		1,1		22	2,7	0,4	4	0,5		1,3	
116	Agh-mrnq		27	6,1	2,1		0,8		0,9		20	2,6	0,4	3,1	0,9		1,2	
117	Agh-mrnq		21	6,3	2,1		0,9		1		18	3	0,4	4,4	1,1		1,2	



## Appendice F

### Tableau des valeurs isotopiques du système Samarium - Néodyme

Tableau des valeurs isotopiques du système Samarium-Néodyme

Echantillon	Groupe	$^{147}\text{Sm}/^{143}\text{Nd}$		$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$		END (T) (1,1 Ga)	F Sm/Nd		T chur		T DM	
		(mesuré)	(calculé)	(mesuré)	(calculé)		calculé	calculé	calculé	calculé		
cqa-01-350h	Rom II	0,1464	0,512224	0,511167001	0,51121856	-1,0085523	-0,256	1,253	1,992			
cqa-01-1382a	Rom II	0,1421	0,512296	0,511270047	0,51121856	1,00713625	-0,278	0,955	1,734			
cqa-01-400b	Rom I	0,1452	0,512474	0,511425665	0,51121856	4,05120001	-0,262	0,486	1,433			
cqa-00-101d	Mus I	0,1222	0,512201	0,511318723	0,51121856	1,95930798	-0,379	0,894	1,523			
cqa-00-83a	Mus I	0,1407	0,512352	0,511336155	0,51121856	2,30028012	-0,285	0,779	1,591			
cqa-00-124a	Mus II	0,1408	0,512308	0,511291433	0,51121856	1,4254685	-0,284	0,900	1,680			
nkl-00-183	RN III	0,1381	0,512214	0,511216926	0,51121856	-0,0319544	-0,298	1,102	1,803			
nkl-00-226b	RN I	0,1689	0,512659	0,511439552	0,51121856	4,32285381	-0,141	-0,116	1,553			
nkl-00-203	RN II	0,169	0,512699	0,51147883	0,51121856	5,09117501	-0,141	-0,337	1,430			
nkl-00-181	RN II	0,1488	0,512457	0,511382673	0,51121856	3,21023328	-0,244	0,577	1,546			
nkl-0-401a	Lil II	0,1188	0,512313	0,511455271	0,51121856	4,6303337	-0,396	0,637	1,298			
nkl-00-209a	Lil III	0,1241	0,512164	0,511268006	0,51121856	0,96721012	-0,369	0,995	1,614			
nkl-00-135	Lil I	0,1761	0,512739	0,511467569	0,51121856	4,87088632	-0,105	-0,752	1,529			
cqa-00-314a	qz sy gneiss Aquanus	0,1103	0,511818	0,511021641	0,51121856	-3,8519585	-0,439	1,444	1,897			
cqa-00-111a	gneiss felsique (volc.) Wakeham	0,1095	0,511807	0,511016417	0,51121856	-3,9541466	-0,443	1,450	1,898			
nkl-00-5	gneiss granitique Bate Johan Beetz	0,1185	0,512008	0,511152437	0,51121856	-1,2934344	-0,398	1,227	1,763			
cqa-00-125a	granite Lac Musquaro (aguanus Gp)	0,1026	0,511782	0,511041234	0,51121856	-3,4686874	-0,478	1,385	1,818			
nkl-00-229	gneiss granitique (bordure du Wakeham)	0,1244	0,512249	0,51135084	0,51121856	2,58753506	-0,368	0,820	1,481			
nkl-00-222	gneiss granitique (bordure du Wakeham)	0,1358	0,512328	0,511347532	0,51121856	2,52284053	-0,310	0,776	1,540			
DM (asthénosphère)		0,217	0,51315	0,511583273	0,51121856	7,13419413	0,103	3,809				

âge 1,1 valeur obtenue sur gabbro dans le Wakeham (Martignole et al., 1994),  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  CHUR = 0,51263 (Hamilton et al., 1983),  $^{147}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$  CHUR = 0,1967 (Jacobson et Wasserburg, 1980),  $^{147}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  DM = 0,217 (Taylor et McLennan, 1985)  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  DM = 0,51315 (Peucat et al., 1988)