

UNIVERSITE DU QUEBEC A CHICOUTIMI

MEMOIRE

PRESENTÉ A

L'UNIVERSITE DU QUEBEC A CHICOUTIMI

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR

ANNIE MOISAN

PETROCHIMIE DES GRES DE LA FORMATION DE BORDELEAU,

CHIBOUGAMAU, QUEBEC

MARS 1992



### **Mise en garde/Advice**

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

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

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

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

## RESUME

L'étude pétrographique des turbidites grèseuses de la Formation de Bordeleau, Chibougamau, Québec, révèlent que ce sont des litharénites feldspathiques pauvres en quartz et riches en fragments volcaniques felsiques (FVF). Les grès du Bordeleau ont une source d'origine volcanique possiblement dérivée de coulées pyroclastiques felsiques. Les variations dans les proportions du quartz ainsi que la présence d'amphiboles observées dans quelques lits de la formation suggèrent deux classes de compositions distinctes et une troisième classe qui montre des compositions intermédiaires entre les deux premières. Ces trois classes se distinguent aussi géochimiquement et sur tous les diagrammes pétrographiques, géochimiques et de provenance tectonique. Cette différence de composition au sein de la formation semble être produite par une différence dans la composition de la source qui pourrait correspondre soit à deux sources différentes ou à une seule et même source montrant une différenciation primaire ou qui se serait différenciée au cours des processus sédimentaires menant à la formation du Bordeleau. La classe 3 semble correspondre à un niveau stratigraphique particulier qui pourrait s'expliquer par la présence à la source d'une coulée pyroclastique de composition légèrement différente.

Le tri a joué un rôle important dans la distribution des minéraux et des éléments chimiques. Le quartz est enrichi dans les portions à grains grossiers et les phyllosilicates (surtout la séricite) sont enrichis dans les portions à grains fins. De même, on note un enrichissement en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Rb, Ba, Cs, Zr, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et un appauvrissement en SiO<sub>2</sub> dans les granulométries fines. Il n'y a cependant pas un enrichissement marqué en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et MgO dans les granulométries fines et donc les phyllosilicates ferromagnésiens semblent avoir subit l'effet du tri de façon moins importante. La présence de lits de grès amalgamés massifs vient un peu perturber les patrons de distribution des éléments chimiques, surtout pour les éléments qui sont associés avec les minéraux ferromagnésiens, car ils montrent un patron de distribution contraire à celui des lits normalement granoclassés.

Les diagrammes pétrographiques de provenance tectonique classent les grès du Bordeleau dans un environnement d'arc magmatique alors que les diagrammes géochimiques les classent plutôt dans des environnements d'îles en arc océaniques, mais aussi d'îles en arc continentales et de marges continentales actives. C'est la différence de composition au sein de la formation qui produit cette diversité dans la provenance tectonique géochimique.

**TABLE DES MATIERES**

|  |     |
|--|-----|
| RESUME.....  | ii  |
| TABLE DES MATIERES.....                            | iii |
| LISTE DES FIGURES.....                             | vi  |
| LISTE DES TABLEAUX.....                            | ix  |
| LISTE DES ANNEXES.....                             | x   |
| INTRODUCTION.....                                  | 1   |
| CHAPITRE 1: Cadre géologique.....                  | 4   |
| 1.1- Région de Chibougamau-Matagami.....           | 4   |
| 1.2- Formation de Bordeleau.....                   | 7   |
| 1.3- Méthodologie.....                             | 12  |
| 1.3.1- Méthodes analytiques.....                   | 15  |
| CHAPITRE 2: Pétrographie.....                      | 17  |
| 2.1- Description des constituants de la roche..... | 17  |
| 2.1.1- Les fragments lithiques.....                | 18  |
| 2.1.2- Le quartz et les feldspaths.....            | 22  |
| 2.2- Description des grès par classe.....          | 23  |
| 2.2.1- Classe 1 (coupe 1).....                     | 23  |
| 2.2.2- Classe 2 (coupes 2', 10, 11 et 12).....     | 25  |
| 2.2.3- Classe 3 (coupes 1', 7, 8 et 9).....        | 29  |

|  |    |
|--|----|
| 2.3- Tri des grès du Bordeleau.....                                  | 31 |
| 2.4- Classification pétrographique et provenance<br>tectonique.....  | 34 |
| 2.5- Interprétation des résultats pétrographiques....                | 41 |
| <br>   |    |
| CHAPITRE 3: Géochimie.....   | 44 |
| 3.1- Géochimie de la Formation de Bordeleau.....                     | 44 |
| 3.1.1- Le groupe felsique.....                                       | 50 |
| 3.1.2- Le groupe mafique.....  | 56 |
| 3.1.3- Le groupe des REE.....  | 59 |
| 3.2- Géochimie des classes de la Formation de<br>Bordeleau.....      | 61 |
| 3.2.1- Le groupe felsique.....                                       | 62 |
| 3.2.2- Le groupe mafique.....  | 65 |
| 3.2.3- Le groupe des REE.....  | 67 |
| 3.3- Tri des grès de la Formation de Bordeleau.....                  | 70 |
| 3.3.1- Tri général des grès du Bordeleau.....                        | 70 |
| 3.3.1.1- Le groupe felsique.....                                     | 71 |
| 3.3.1.2- Le groupe mafique.....                                      | 74 |
| 3.3.1.3- Le groupe des REE.....                                      | 77 |
| 3.3.2- Tri observé à l'intérieur de lits<br>individuels.....         | 79 |
| 3.3.2.1- Comportement 1-Lits 07 et 105... ..                         | 81 |
| 3.3.2.2- Comportement 2-Lits 115 et 116.. ..                         | 86 |
| 3.4- Provenance tectonique géochimique des grès du<br>Bordeleau..... | 88 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| CHAPITRE 4: Discussion..... | 97  |
| CONCLUSION.....             | 105 |
| REMERCIEMENTS.....          | 108 |
| REFERENCES.....             | 109 |
| ANNEXES.....                | 114 |

L I S T E   D E S   F I G U R E S

|   |    |
|---|----|
| Figure 1: Carte géologique régionale de la ceinture de Chibougamau-Matagami.....  | 5  |
| Figure 2: Schéma tectonostratigraphique simplifié de la région de Chibougamau.....  | 6  |
| Figure 3: Carte géologique montrant la Formation de Bordeleau et son environnement avec les trois sites de l'échantillonnage..... | 8  |
| Figure 4: Comparaison d'un dépôt idéal de turbidite et d'une section généralisée de la Formation de Bordeleau.....                | 10 |
| Figure 5: Carte de la portion Est de la Formation de Bordeleau.....   | 13 |
| Figure 6: Carte de la portion centrale de la Formation de Bordeleau.....  | 14 |
| Figure 7: Photo des grès de la classe 1.....  | 26 |
| Figure 8: Photo des grès de la classe 3.....  | 26 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 9: Diagrammes de classification pétrographique.....   | 37 |
| Figure 10: Diagrammes de provenance tectonique.....  | 39 |
| Figure 11: Diagrammes de provenance tectonique.....  | 40 |
| Figure 12: Diagrammes géochimiques des éléments du groupe<br>felsique.....                         | 52 |
| Figure 13: Diagrammes géochimiques des éléments du groupe<br>mafique.....                          | 57 |
| Figure 14: Diagrammes géochimiques des éléments du groupe<br>des REE.....                          | 60 |
| Figure 15: Diagrammes géochimiques des classes pour les<br>éléments du groupe felsique.....        | 64 |
| Figure 16: Diagrammes géochimiques des classes pour les<br>éléments du groupe mafique.....         | 66 |
| Figure 17: Diagrammes géochimiques des classes pour les<br>éléments du groupe des REE.....         | 68 |
| Figure 18: Diagrammes géochimiques des éléments du groupe<br>felsique montrant l'effet du tri..... | 72 |

|   |    |
|---|----|
| Figure 19: Diagrammes géochimiques des éléments du groupe mafique montrant l'effet du tri.....  | 76 |
| Figure 20: Diagrammes géochimiques des éléments du groupe des REE montrant l'effet du tri.....  | 78 |
| Figure 21: Diagrammes géochimiques des éléments des trois groupes pour les échantillons des lits AM-07 et AM-105 (comportement 1).....  | 82 |
| Figure 22: Diagrammes géochimiques des éléments des trois groupes pour les échantillons des lits AM-115 et AM-116 (comportement 2)..... | 87 |
| Figure 23: Diagrammes de Roser et Korsch (1986).....  | 90 |
| Figure 24: Diagrammes géochimiques de provenance tectonique.....  | 92 |
| Figure 25: Diagrammes géochimiques de provenance tectonique des classes de la Formation de Bordeleau.....                               | 94 |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| TABLEAU 1: Principaux paramètres pétrographiques.....  | 19 |
| TABLEAU 2: Critères pétrographiques et géochimiques<br>de regroupement des trois classes.....                        | 24 |
| TABLEAU 3: Principaux paramètres de classification et de<br>provenance tectonique.....                               | 34 |
| TABLEAU 4: Données géochimiques des grès de la Formation<br>de Bordeleau.....  | 45 |
| TABLEAU 5: Position verticale et latérale des lits de la<br>Formation de Bordeleau.....                              | 63 |
| TABLEAU 6: Comportement de quelques éléments chimiques<br>dans les lits de grès de la Formation de<br>Bordeleau..... | 80 |

**LISTE DES ANNEXES**

|  |     |
|--|-----|
| ANNEXE 1: Tableau de correspondance des termes<br>caractérisant les échantillons.....                                    | 114 |
| ANNEXE 2: Matrice de corrélation.....  | 117 |
| ANNEXE 3: Composition moyenne de quelques oxydes et<br>éléments contenus dans les minéraux des grès du<br>Bordeleau..... | 120 |
| ANNEXE 4: Composition modale moyenne de chaque lit.....  | 121 |

## INTRODUCTION

Les dépôts sédimentaires archéens font l'objet d'études détaillées concernant les analyses de faciès (Erikson, 1978; Hyde, 1980; Mueller et Dimroth, 1987), la reconstruction d'un paléoenvironnement (Dimroth et al., 1982) et ils ont aussi été étudiés comme indicateur pour l'influence de la tectonique des plaques (Percival, 1989). Il existe quelques travaux effectués sur des sédiments clastiques de l'Archéen concernant l'influence sur ceux-ci du type de roche source, de l'altération et du tri (Sawyer, 1986) des descriptions pétrographiques des sédiments archéens (Hyde, 1978; Mueller, 1986), ou encore des analyses chimiques sans corrélation avec leur composition pétrographique (Teal, 1979). De façon générale, les aspects géochimiques de ces dépôts ont été négligés.

Parallèlement, des études ont été faites sur des roches sédimentaires plus récentes. Ainsi, les travaux pétrographiques de Dickinson et Suczek (1979) et de Dickinson et al. (1983) ont permis de classifier des grès de différentes compositions du Phanérozoïque en fonction de leur environnement tectonique. Valloni et Mezzadri (1984) ont effectué les mêmes travaux sur des sables de fond océanique du Quaternaire. Bhatia (1983) et Roser et Korsch (1986) ont quant à eux classifié des grès paléozoïques selon leur provenance tectonique, en se basant sur leur composition

géochimique. Floyd et Leveridge, (1987) ont fait une comparaison entre la provenance tectonique déterminée pétrographiquement et celle déterminée géochimiquement sur des grès turbiditiques du Dévonien. Cependant, l'existence de la tectonique des plaques au Précambrien n'est pas encore établie, et ces provenances tectoniques ne peuvent pas caractériser des sédiments archéens. Toutefois, il est possible d'utiliser ces classifications pour confirmer la nature de la source des roches sédimentaires du Précambrien.

Il y a aussi des travaux plus spécifiques concernant la discrimination chimique des composants des sédiments clastiques, c'est-à-dire par exemple, l'étude de la distribution des minéraux et éléments chimiques au sein de lits de grès épiclastiques granoclassés (Argast et Donnelly, 1987; Roser et Korsch, 1986; Sawyer et Korneliussen, 1989). De tels travaux peuvent permettre de voir quelles influences ont les mécanismes de mise en place des sédiments, tels les écoulements laminaires ou de turbidité, sur la distribution des minéraux et des éléments chimiques au sein de lits de grès granoclassés. Or, une telle étude n'a jamais été effectuée sur des grès volcanogéniques archéens.

La Formation de Bordeleau (Caty, 1979) dans la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, région de Chibougamau (Daigneault et Allard, 1983, 1989; Dimroth et al., 1983; Mueller, 1986) est une séquence de grès volcanogéniques peu étudiée et idéale pour une telle étude. Ce sont des

sédiments qui ont été déposés par des courants de turbidité avec lesquels il est possible de faire une étude sur la distribution des minéraux et des éléments chimiques par rapport à la granulométrie.

Le présent travail se veut donc une étude pétrographique et géochimique de la Formation de Bordeleau. Celle-ci traitera des aspects suivants: 1- la source des sédiments et 2- les mécanismes de déposition qui impliquent généralement le tri. L'aspect altération ne sera abordé que très brièvement.

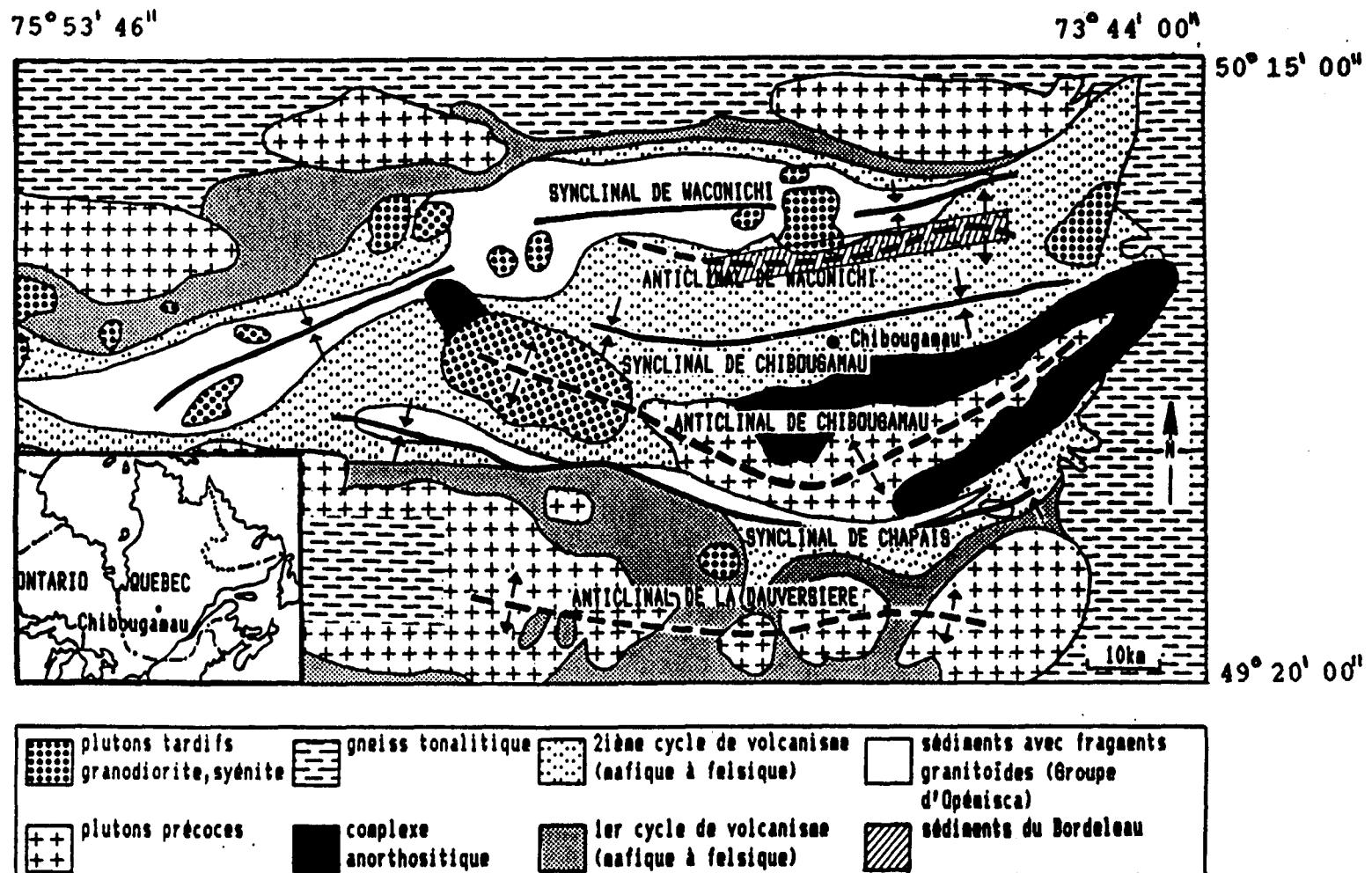
Cette étude permettra de déterminer s'il existe des variations de composition latérales et verticales au sein de la formation. Cette partie fait référence à la source des sédiments. De même, il sera possible de déterminer la relation qui existe entre la distribution des constituants minéralogiques et chimiques, et la granulométrie des volcanoclastites du Bordeleau. Cette partie se rapporte au tri. Enfin, cette étude apportera une information supplémentaire sur le mode de mise en place de ces sédiments et sur leur environnement tectonique.

## 1- CADRE GEOLOGIQUE

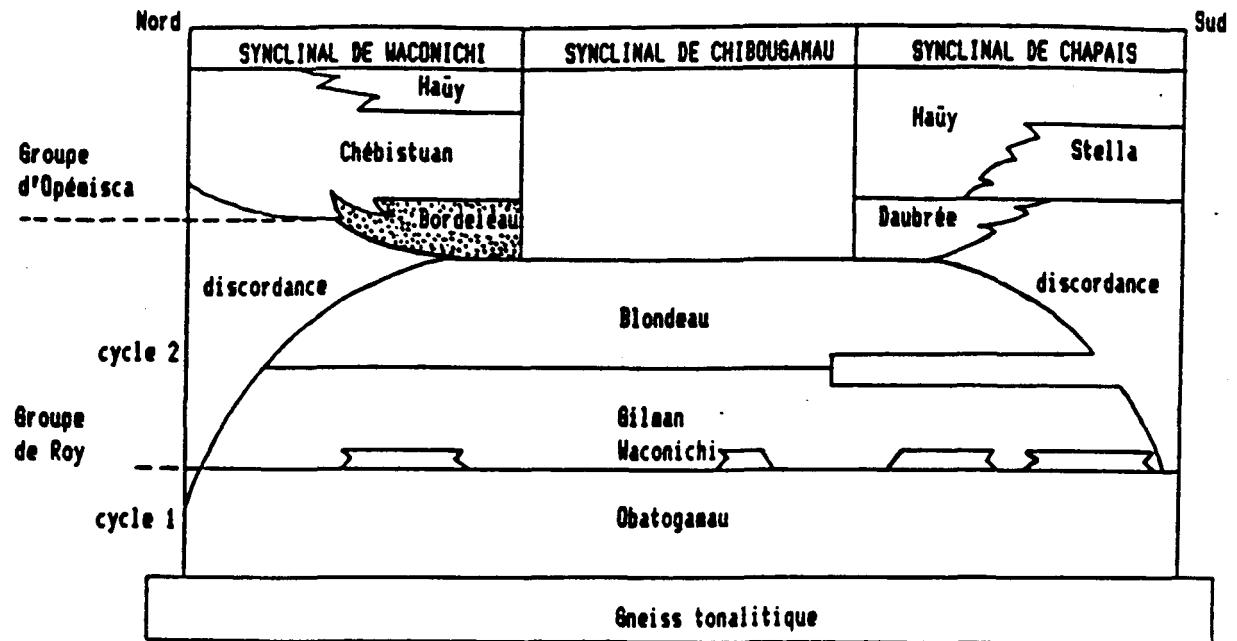
### 1.1-Région de Chibougamau

La région de Chibougamau (Fig. 1) se situe dans la portion Nord-Est de la grande ceinture de roches vertes de l'Abitibi, laquelle renferme des roches intrusives (parfois gneissiques), de même que des roches volcaniques et sédimentaires. La région de Chibougamau a subi trois périodes majeures de déformation. Ses roches ont été métamorphisées au faciès des schistes verts durant l'orogenèse Kénoréenne (2700 à 2650 Ma.). Cependant, à proximité des intrusions ainsi qu'en bordure du front de la province de Grenville, le métamorphisme atteint parfois le faciès amphibolite (Allard et Gobeil, 1984; Daigneault et Allard, 1984, 1989; Dimroth et al, 1982, 1983, 1984; Ludden et al, 1983, 1984, 1986).

Dans cette région, les roches consistent en deux cycles volcaniques mafiques à felsiques qui appartiennent au Groupe de Roy, surmontés en discordance par une séquence volcano-sédimentaire, le Groupe d'Opémisca (Fig. 2). Le Groupe de Roy est constitué de la Formation d'Obatogamau (cycle 1) qui se trouve au-dessus du gneiss tonalitique et qui est surmontée par les Formations de Waconichi, de Gilman et de Blondeau (cycle 2). La Formation de Daubrée dans le synclinal de Chapais est corrélable avec la Formation de Bordeleau qui se trouve dans le synclinal de Waconichi. Ces



**Fig.1:** Carte géologique régionale de la ceinture de Chibougamau qui montre les principales lithologies et les principaux plis E-O de la région. L'encadré au N-E représente la Formation de Bordeleau. Modifiée d'après Daigneault et Allard, 1989.

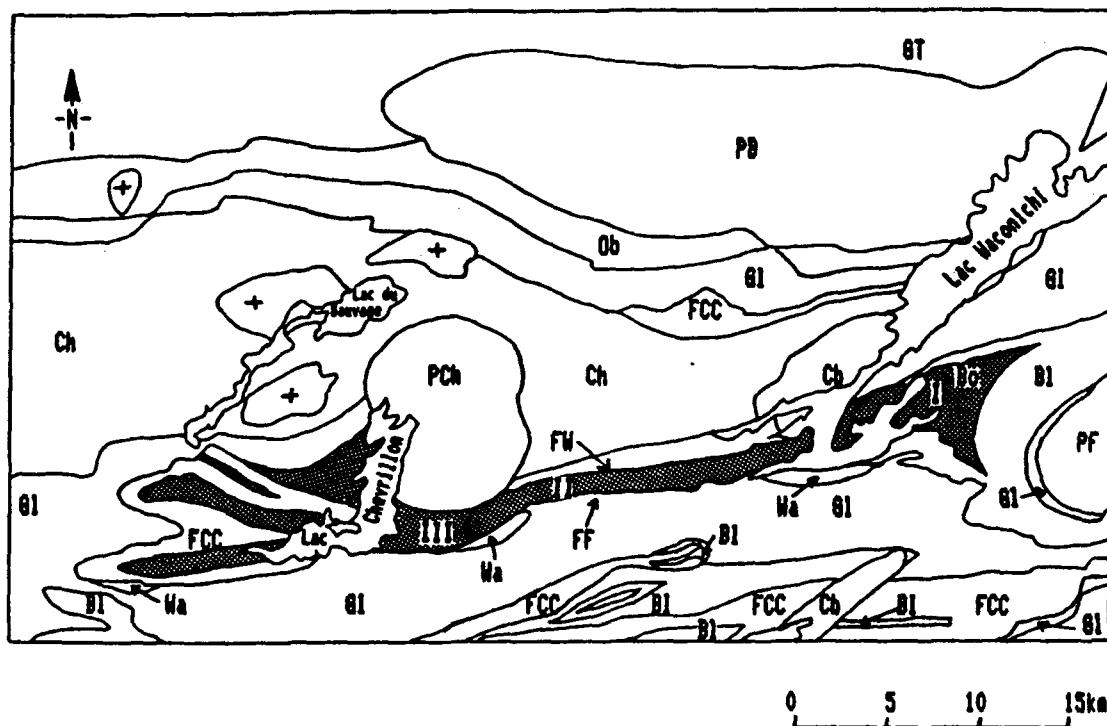


**Fig. 2:** Schéma tectonostratigraphique simplifié de la région de Chibougamau. Les intrusions n'apparaissent pas sur ce schéma. Modifié d'après Daigneault et Allard, 1989.

deux formations sont constituées principalement de grès volcanogéniques et d'argilites (Caty, 1979). Les trois dernières formations, Chébistuan, Stella et Haüy, font partie du Groupe d'Opémisca et sont constituées de conglomérats et de grès volcanogéniques et d'un peu d'argilite (Daigneault et Allard, 1989; Mueller, 1986).

### 1.2-Formation de Bordeleau

La présente étude porte exclusivement sur la Formation de Bordeleau (Caty, 1979). Celle-ci se trouve au sommet du Groupe de Roy (Fig. 2), en transition avec le Groupe d'Opémisca (Dimroth et al., 1983). Elle a été décrite par plusieurs auteurs (Allard et Gobeil, 1984; Beullac, 1987; Caty, 1977; 1979; Daigneault et Allard, 1983; 1989; Dimroth et al., 1983; Jutras, 1983; Mueller, 1986). Elle se situe au-dessus de la Formation de Blondeau et correspond à la fin du deuxième cycle volcanique, lequel a été marqué par une période de soulèvement et d'érosion (Dimroth et al., 1984). Sa position stratigraphique est toutefois difficile à établir entre autre à cause des nombreuses failles qui la limitent et la découpent (Fig. 3). Dans la partie Est, les roches du Bordeleau reposent en concordance ou sont en contact de faille avec celles du Blondeau. Dans sa partie centrale, la formation est coincée entre deux failles: la faille Faribault au Sud et la faille Winsh au Nord. Ces failles la mettent en contact avec les laves de la Formation de Gilman. Dans sa



#### Protérozoïque

Cb Fa. de Chibougamau

#### Archéen

PB Pluton de Barlow (précoces, tonalitiques)

PCh Pluton de Chevillion (tardifs, granodioritiques)

PF Pluton de France (tardif, granodioritique)

GT Gneiss tonalitique

FCC Complexe de Cummings

+ Plutons tardifs

|    |                   |
|----|-------------------|
| Ch | Fa. de Chébistuan |
| Ob | Fa. de Bordeléau  |
| Bl | Fa. de Blondeau   |
| G1 | Fa. de Gilman     |
| Wa | Fa. de Waconichi  |
| Ob | Fa. d'Obatogamau  |
| FF | Faille Faribault  |
| FW | Faille Winsch     |

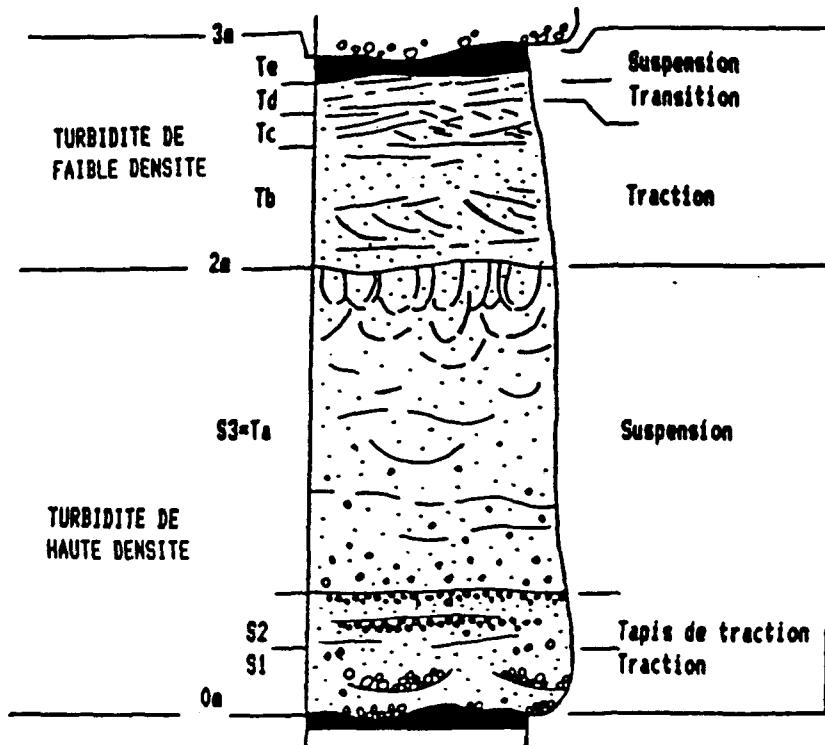
**Fig. 3:** Carte géologique montrant la Formation de Bordeleau et son environnement avec les trois sites de l'échantillonnage. Les figures 5 et 6 sont des agrandissements plus détaillés de chacun des sites. Le site I contient les coupes 1, 1', 2', 10, 11, 12 et 13. Le site II contient les coupes 7 et 8 et le site III contient la coupe 9. Modifiée d'après Daigneault et Allard, 1989.

partie Ouest, le Bordeleau est en contact discordant avec des intrusions gabbroïques non-différenciées du Bourbeau (Complexe de Cummings) et en contact de faille avec des laves du Gilman. C'est une séquence homoclinale dans ses parties Est et centrale mais qui montre quelques plis dans sa partie Ouest (Beullac, 1987).

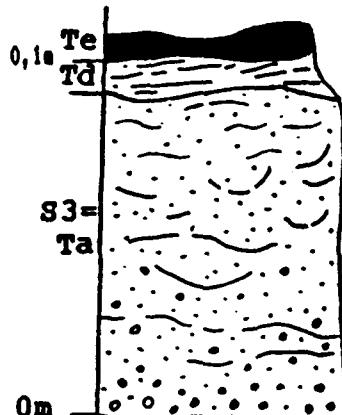
Les roches de la Formation de Bordeleau ont été décrites comme des sédiments volcanogéniques et des tufs de composition intermédiaire (Daigneault et Allard, 1990). Les roches sédimentaires sont divisées en deux faciès principaux, soit le faciès des turbidites et le faciès des grès massifs (Jutras, 1983).

Le faciès des turbidites est constitué de grès granoclassé et d'argilite dont l'ensemble des divisions du cycle de Bouma (Lowe, 1982) est incomplet (Fig. 4). La succession de division la plus commune est Ta, Td et Te (Jutras, 1983) (Fig. 4b). Celles-ci correspondent à une séquence de grès granoclassé grossier à fin (Ta) suivie de grès fin à très fin avec ou sans laminations parallèles (Td) et d'un horizon d'argilite avec des laminations parallèles (Te). Il en existe aussi différentes variantes, par exemple Ta-c-d-e ou Ta-b-d (Jutras, 1983). La succession dominante des divisions Ta-d-e de ces turbidites porte Jutras (1983) à les classer comme étant des turbidites plutôt proximales. Ces grès ont été placés dans un environnement de cône sous-marin (Walker, 1984).

a)



b)



**Fig. 4:** Comparaison d'un dépôt idéal de turbidite et d'une section généralisée de la Formation de Bordeleau. a) Dépôt idéal d'un courant de turbidité de haute densité montrant les divisions S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> du stage de haute densité et T<sub>b</sub>, T<sub>c</sub>, T<sub>d</sub> et T<sub>e</sub> du stage plus tardif de faible densité. S<sub>1</sub>= grès grossier à lamination planes et stratifications entrecroisées avec parfois des lits en forme de dunes. S<sub>2</sub>= grès grossier à moyen avec un granoclassement inverse. S<sub>3</sub> ou T<sub>a</sub>= grès moyen à grossier avec un granoclassement normal ou non granoclassé qui montre parfois des structures d'échappement d'eau. T<sub>b</sub>= grès moyen à fin avec des lamination planes et parfois des lamination entrecroisées à grande échelle à la base qui ne font pas partie de la séquence normale de Bouma. T<sub>c</sub>= grès fin à lamination entrecroisées, T<sub>d</sub>= grès très fins à lamination parallèles et T<sub>e</sub>= argilite laminée ou non. Modifié d'après Lowe, 1982. b) représente une section généralement rencontrée dans la Formation de Bordeleau.

Le faciès des grès massifs ou des lits de grès amalgamés est caractérisé par un manque de structures internes. Le grès est généralement moyen à grossier. Les lits ont en moyenne 2m d'épaisseur, un maximum de 15m et un minimum de 2cm (Jutras, 1983). Dans ces lits, on note la présence d'intraclastes d'argilite en forme de lentilles discontinues qui sont des évidences de l'amalgamation des lits (Jutras, 1983). Pour ce type de grès, on peut supposer qu'avec la force d'écoulement qui caractérise ce faciès, il peut y avoir eu érosion du sédiment du lit inférieur qui est le plus souvent composé de matériel fin. La présence de petits chenaux et de ce que Jutras (1983) a appellé des traces d'érosion différentielle appuie cette hypothèse. Pour les lits de grès massif qui ne montre pas d'évidences de l'amalgamation des lits, Jutras (1983) suggère, d'après un mécanisme de Bailes (1980) que ces séquences de grès massif seraient des dépôts résultant d'un écoulement de grains de forte densité qui dépose sa charge presqu'instantanément plutôt que progressivement.

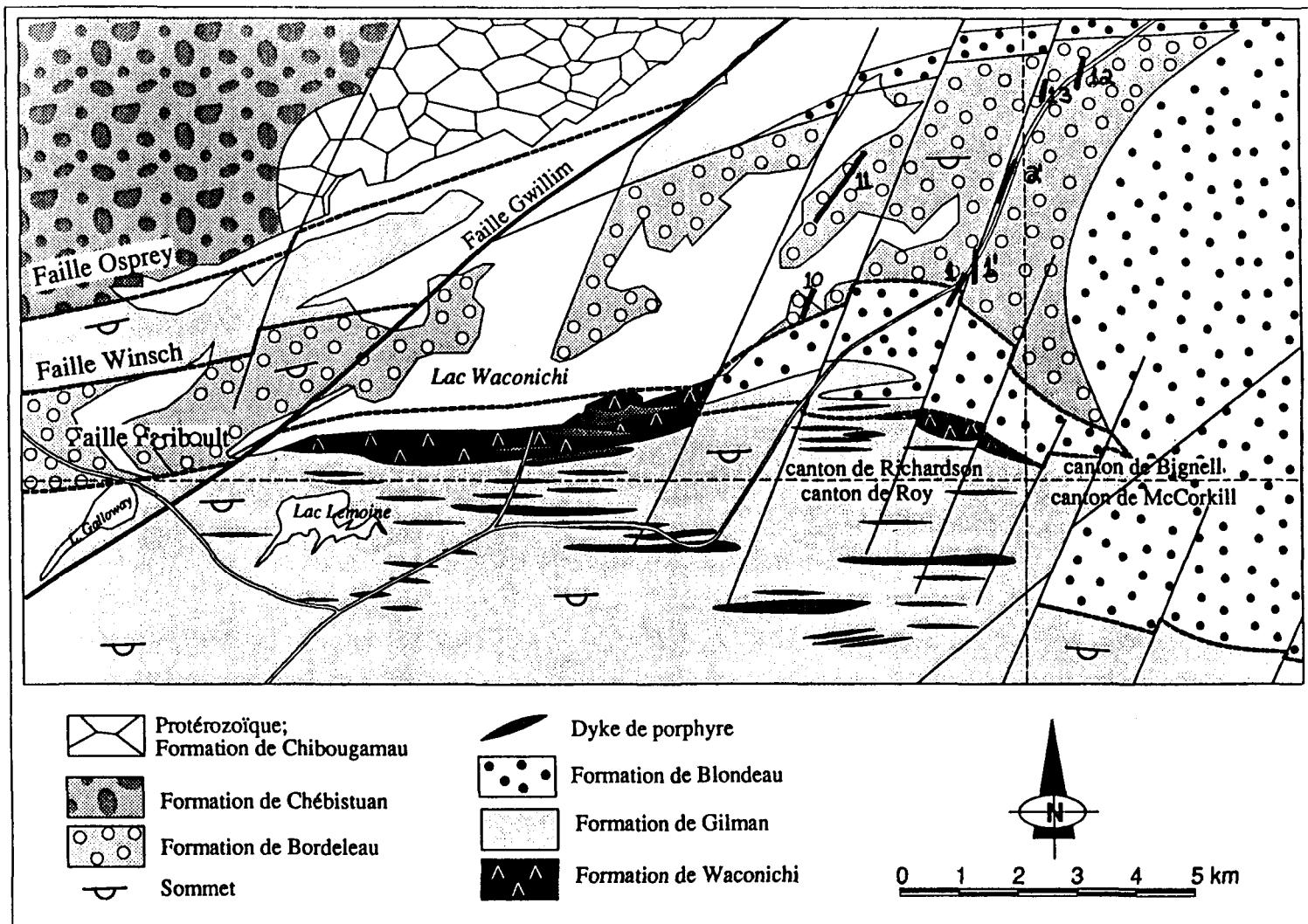
Selon Jutras (1983), l'association des faciès de turbidites et de grès massifs correspond à des turbidites proximales. Cependant, les lits de turbidites ne sont pas très épais, 10cm en moyenne avec un maximum de 0,6m et un minimum de 2cm. Il y a aussi une absence de conglomérat (divisions S1 et S2, figure 4a) dans ces faciès. De plus, le rapport grès/shale des lits estimé qualitativement sur le

terrain est plutôt moyen (2:1) et le faciès des turbidites semble être en proportion plus élevée que celui des grès amalgamés. Ceci porte à croire que ce ne sont pas des turbidites proximales (Walker, 1967). Cependant, il n'y a pas assez de données disponibles pour spécifier la nature de ces turbidites.

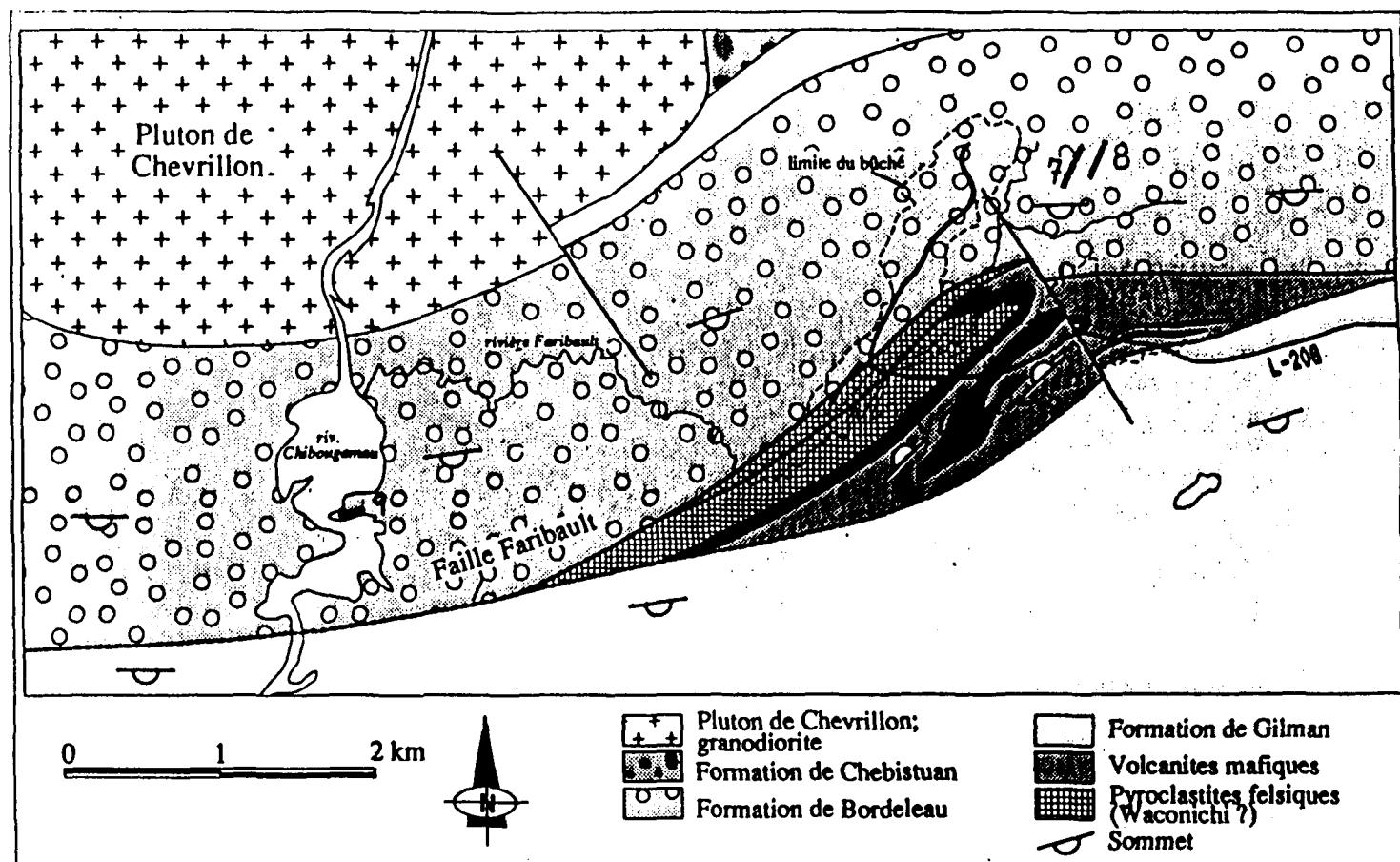
### 1.3-Méthodologie

Des lits complets de grès granoclassés ont été échantillonnés le long de certaines coupes afin d'obtenir l'éventail granulométrique le plus complet possible. Un total de 21 lits ont été échantillonnés à divers niveaux stratigraphiques entre la base et le sommet de la formation, et latéralement sur une distance d'environ 30km entre la bordure Est de la formation et le lac Chevrillon à l'Ouest (Fig. 3, sites I, II, III).

Le site I se trouve dans la portion Est de la formation. L'échantillonnage de cette partie s'est fait le long de la route 167 qui mène de Chibougamau au Lac Albanel et comprend les coupes 1, 1', 2, 12 et 13 qui sont en bordure de la route et les coupes 10 et 11 qui sont accessibles à partir de celle-ci (Fig. 5). Le site II se trouve plus au centre de la formation. Il comprend les coupes 7 et 8 qui sont accessibles à partir de la route L-208 et du chemin du bucher Faribault (Fig. 6). Le site III (coupe 9) est dans la partie centre-Ouest de la formation, sur les rives de la



**Fig. 5:** Carte de la portion Est de la Formation de Bordeleau montrant l'emplacement des coupes du site I (coupes 1, 1', 2', 10, 11, 12 et 13). (Modifiée d'après Daigneault, 1989).



**Fig. 6:** Carte de la portion centrale de la Formation de Bordeleau montrant l'emplacement des coupes des sites II (coupes 7 et 8) et III (coupe 9). (Modifiée d'après Daigneault, 1989).

rivière Chibougamau (Fig. 6).

Ensuite, pour la préparation des lames-minces et des poudres, ces lits ont été débités en tranches parallèles au litage. Ainsi les différentes granulométries, c'est-à-dire grès grossier, moyen, fin, très fin et silt ont été traitées séparément. Un total de 39 échantillons ont fait l'objet d'une étude pétrographique. La composition de ceux qui étaient constitués de grès très fin et renfermaient trop de matrice (grains inférieurs à 0.06mm) a été estimée visuellement. Les autres (22 échantillons) ont fait l'objet d'un comptage de points (500 points par lame-mince répartis sur une grille régulière).

#### 1.3.1-Méthodes analytiques

Il y a 52 échantillons qui ont été analysés géochimiquement. Pour la préparation des poudres, les échantillons ont été sciés en tranches puis débitées en petits morceaux de 1cm de section au broyeur à mâchoires de porcelaine. Ils ont ensuite été réduits en poudre soit à l'aide d'un pulvérisateur (shatter box) en carbure de tungsten pour l'analyse des éléments majeurs, soit d'un pulvérisateur en aluminium pour les éléments traces et les éléments des terres rares (REE). Toutes ces manipulations ont été faites avec la plus grande précaution afin de réduire les risques de contamination. Un certain nombre d'analyses pour les éléments majeurs ont été effectuées par fluorescence-X

par le Caleb Brett Laboratories Limited d'Angleterre (échantillons AM-01 à AM-22) en utilisant la méthode des pastilles de verre, le reste des échantillons ont été analysés par la même méthode à l'Université McGill de Montréal. Les éléments traces As, Co, Cr, Cs, Hf, Sb, Sc, Se, Ta, Th, U, W, Zn, les REE et le Na<sub>2</sub>O ont été analysés par activation neutronique à l'Université du Québec à Chicoutimi en utilisant les méthodes décrites dans Bédard et Barnes (1990). Les autres éléments traces (Ba, Nb, Ni, Rb, Sr, Y, Zr) ont été analysés par fluorescence-X à l'Université McGill de Montréal par la méthode des pastilles de poudre pressée.

## 2-PETROGRAPHIE

Dans ce chapitre, les grès de la Formation de Bordeleau seront décrits. La pétrographie générale sera présentée, puis les variations latérales et verticales rencontrées au sein de la formation seront traitées. De plus, il sera question de l'effet du tri sur la distribution des minéraux de ces grès. Enfin, à l'aide des données pétrographiques, les échantillons seront situés sur des diagrammes de classification pétrographique et de provenance tectonique.

### 2.1-Description des constituants de la roche

Jutras (1983), Moisan (1988), Caty (1977) et Dimroth et al. (1983) ont décrits pétrographiquement les grès du Bordeleau. Ces descriptions sont assez brèves et peu détaillées, mais correspondent assez bien à celle présentée dans ce travail.

En général, les grès de la Formation de Bordeleau sont gris verdâtre altérés brunâtre et oxydés par endroits. Ils contiennent du quartz variant en proportion de traces à 13%, des feldspaths plagioclases de 20 à 42%, des fragments lithiques de 35 à 66% dont les plus communs sont les fragments volcaniques felsiques aphanitiques (L1) qui représentent 90% et plus de la totalité des fragments lithiques. Certains de ces grès contiennent des amphiboles (hornblende verte et trémolite-actinote) jusqu'à 25%. Ils ont

une matrice de séricite et/ou chlorite et contiennent quelques minéraux accessoires tels le sphène, l'apatite, le zircon (en inclusion dans la biotite) et la pyrite. Ces grès sont aussi constitués d'un peu de ciment de carbonates interstitiels atteignant exceptionnellement 14% (Tableau 1). Il y a occasionnellement des petites veinules de carbonates, quartz, feldspaths et chlorite. Ils ont un tri moyen.

#### 2.1.1-Les fragments lithiques

Il y a cinq principaux types de fragments lithiques dans les grès de la Formation de Bordeleau (L1, L2, L3, L4 et L5). Les cinq types se retrouvent rarement dans un même lit. Chaque type de fragments ne diffère pas beaucoup d'un échantillon à l'autre à l'intérieur d'un même lit.

##### (L1) Fragment volcanique felsique aphanitique

Ce type de fragments est composé presqu'uniquement de quartz et de feldspaths plagioclases en grains microcristallins avec moins de 20% de séricite, chlorite, epidote et sphène. Certains de ces fragments contiennent des phénocristaux de quartz, de plagioclases idiomorphes et plus rarement d'amphiboles. Ces fragments aphanitiques sont probablement des fragments de verre volcanique felsique dévitrifié et recristallisé. Ils sont généralement de forme allongée ou aplatie, plus rarement trapus et se moulent aux autres grains ou fragments.

TABLEAU 1

## PRINCIPAUX PARAMETRES PETROGRAPHIQUES

|   |   | No de l'échan. | No de la classe | Qm  | Qp  | F    | Amp/ Biot | L1   | L2  | L3  | L4  | L5  | A   | C    | M    | Granulométrie du grès |
|---|---|----------------|-----------------|-----|-----|------|-----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----------------------|
| : | : | AM-06 (C)      | 1               | 9.6 | 2.4 | 33.2 | -         | 43.8 | 0.4 | -   | 1.4 | 1.0 | 1.6 | 3.0  | 3.6  | moyen à gros          |
| : | : | AM-07 (C)      | 1               | 6.6 | 2.6 | 39.4 | -         | 39.4 | 0.2 | 0.2 | 1.6 | 0.8 | 1.6 | 4.4  | 3.2  | moyen à gros          |
| : | : | AM-08 (C)      | 1               | 9.4 | 0.8 | 37.8 | -         | 37.0 | -   | 0.2 | -   | -   | 2.0 | 10.6 | 2.2  | moyen                 |
| : | : | AM-09 (C)      | 1               | 8.8 | 0.2 | 36.6 | -         | 35.0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.2 | 2.4 | 14.0 | 1.6  | moyen                 |
| : | : | AM-01 (C)      | 1               | 8.4 | 2.8 | 41.2 | -         | 35.0 | 2.2 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 2.2 | 5.4  | 1.8  | moyen                 |
| : | : | AM-02 (C)      | 1               | 8.2 | 2.4 | 34.2 | -         | 41.2 | -   | 0.2 | 0.2 | 0.8 | 2.4 | 7.2  | 3.2  | moyen                 |
| : | : | AM-03 (C)      | 1               | 8.2 | 1.6 | 39.0 | -         | 36.0 | -   | 0.2 | -   | 0.6 | 1.6 | 10.0 | 2.8  | moyen                 |
| : | : | AM-04 (E)      | 1               | 7.0 | -   | 30.0 | -         | 47.0 | 1.0 | -   | -   | -   | 2.0 | 4.0  | 9.0  | fin à très fin        |
| : | : | AM-05 (E)      | 1               | 6.0 | -   | 28.0 | -         | 49.0 | -   | -   | -   | -   | 1.0 | 4.0  | 12.0 | très fin              |
| : | : | AM-10 (C)      | 1               | 8.2 | 2.2 | 35.7 | -         | 41.2 | 0.5 | -   | -   | -   | 2.3 | 4.0  | 6.0  | fin                   |
| : | : | AM-11 (C)      | 1               | 7.0 | 2.0 | 37.0 | -         | 44.0 | 1.4 | -   | -   | -   | 1.4 | 1.4  | 5.8  | fin                   |
| : | : | AM-12 (C)      | 1               | 8.8 | 2.2 | 33.2 | -         | 45.6 | 1.2 | -   | -   | 0.6 | 3.0 | 0.8  | 4.6  | fin                   |
| : | : | AM-13 (E)      | 1               | 8.0 | 1.5 | 34.0 | -         | 46.0 | T   | -   | -   | T   | 2.5 | T    | 6.5  | très fin              |
| : | : | AM-14 (E)      | 1               | 8.0 | 1.5 | 35.0 | -         | 43.4 | T   | -   | -   | T   | 2.5 | 4.2  | 5.0  | très fin              |
| : | : | AM-15 (E)      | 1               | 7.0 | 1.5 | 32.8 | -         | 47.5 | T   | -   | -   | -   | 1.5 | 1.5  | 8.0  | très fin à silt       |
| : | : | AM-28 (C)      | 1               | 8.0 | 1.8 | 34.2 | -         | 45.6 | 0.2 | 0.2 | -   | -   | 1.4 | 4.4  | 4.2  | moyen à fin           |
| : | : | AM-29 (E)      | 1               | 7.0 | -   | 32.0 | -         | 48.1 | T   | -   | -   | T   | 1.5 | 4.0  | 7.0  | très fin              |
| : | : | AM-31 (C)      | 1               | 8.8 | 1.3 | 22.7 | -         | 47.0 | 0.5 | -   | -   | -   | 1.7 | 14.2 | 3.8  | moyen                 |
| : | : | AM-33 (C)      | 1               | 9.3 | 3.8 | 33.3 | -         | 37.8 | 4.3 | 0.7 | 1.2 | 0.3 | 1.5 | 1.0  | 6.7  | moyen                 |
| : | : | AM-34 (C)      | 1               | 8.3 | 2.3 | 32.8 | -         | 40.7 | 3.8 | -   | 0.7 | 0.7 | 1.3 | 5.0  | 4.3  | moyen à fin           |

TABLEAU 1  
(suite)

|   | No de l'échan. | No de la classe | Qm  | Qp  | F    | Amp/ | L1   | L2  | L3  | L4  | L5  | A   | C   | M   | Granulométrie  |
|---|----------------|-----------------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|
|   |                |                 |     |     |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     | du grès        |
| : | AM-16 (E)      | 3               | 0.8 | 0.2 | 26.0 | 13.0 | 54.0 | -   | -   | -   | -   | 1.0 | 3.0 | 2.0 | moyen à gros   |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-17 (E)      | 3               | 0.3 | 0.2 | 27.0 | 13.0 | 53.0 | -   | 0.5 | -   | -   | 1.0 | 3.0 | 2.0 | grossier       |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-18 (E)      | 3               | 0.8 | 0.2 | 27.0 | 13.0 | 53.0 | -   | 0.5 | -   | -   | 1.0 | 2.5 | 2.0 | moyen          |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-19 (E)      | 3               | 0.8 | 0.2 | 27.0 | 12.0 | 54.0 | 0.5 | 0.5 | -   | -   | 1.0 | 2.0 | 2.0 | moyen          |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-20 (E)      | 3               | 0.8 | 0.2 | 25.0 | 12.0 | 55.0 | 1.0 | -   | -   | -   | 1.0 | 3.0 | 2.0 | fin            |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-21 (E)      | 3               | 0.8 | 0.2 | 26.0 | 13.0 | 54.0 | 0.5 | -   | -   | -   | 1.0 | 2.5 | 2.0 | fin            |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-22 (E)      | 3               | 0.8 | 0.2 | 26.0 | 13.0 | 52.0 | 0.5 | 2.0 | -   | -   | 1.0 | 2.5 | 2.0 | fin            |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-36 (C)      | 3               | 0.8 | 0.6 | 26.6 | 24.0 | 45.4 | -   | -   | -   | -   | 1.6 | 0.6 | 0.4 | fin            |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-37 (C)      | 2               | 5.6 | 0.2 | 26.0 | 15.0 | 47.0 | 0.2 | -   | -   | -   | 1.0 | 2.8 | 2.2 | moyen          |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-38a(C)      | 2               | 4.6 | 0.2 | 29.4 | 7.6  | 52.2 | -   | 0.2 | -   | -   | 0.8 | 3.4 | 1.6 | moyen          |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-38b(C)      | 2               | 3.2 | 0.2 | 27.8 | 15.4 | 46.6 | -   | 0.6 | -   | -   | 1.4 | 2.8 | 2.0 | grossier       |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-40 (C)      | 2               | 5.3 | 0.8 | 41.8 | 5.0  | 40.8 | -   | 1.3 | 0.2 | -   | 1.7 | 0.3 | 2.7 | grossier       |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-46 (C)      | 2               | 5.6 | 1.4 | 21.6 | -    | 59.0 | -   | -   | -   | 0.4 | 2.4 | 5.2 | 4.4 | moyen          |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-47 (C)      | 2               | 6.4 | 1.0 | 32.0 | -    | 46.0 | -   | 3.0 | -   | 3.0 | 2.6 | 0.6 | 5.4 | moyen          |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-49 (E)      | 2               | 4.0 | 1.0 | 27.5 | -    | 58.0 | -   | -   | -   | -   | 1.5 | 1.0 | 7.0 | très fin       |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-50 (C)      | 2               | 0.2 | 1.0 | 35.6 | 25.2 | 36.4 | -   | -   | -   | -   | 0.4 | -   | 1.2 | fin            |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-57 (E)      | 3               | 0.6 | 0.4 | 20.0 | 18.0 | 60.0 | -   | -   | -   | -   | 0.3 | 0.4 | 0.3 | fin à très fin |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-61 (E)      | 3               | 1.0 | 0.2 | 28.0 | 12.0 | 57.0 | -   | -   | -   | -   | 1.0 | 0.1 | 1.0 | fin            |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |
| : | AM-63 (E)      | 3               | 0.8 | 0.2 | 25.0 | -    | 66.0 | -   | -   | -   | -   | 0.4 | 2.0 | 6.0 | moyen à fin    |
| : |                |                 | :   | :   | :    | :    | :    |     |     |     |     | :   | :   | :   | :              |

(C) : Comptage de points (500)

L4 : Fragments granophyriques

(E) : Pourcentage estimé

L5 : Fragments volcaniques mafiques

Qm : Quartz monocrystallin

A : Minéraux secondaires (sphène, pyrite, apatite)

Qp : Quartz polycristallin

C : Ciment (surtout carbonates)

F : Feldspaths

M : Matrice (séricite, chlorite)

Amp : Amphiboles (ou reliques), dans AM-50, c'est de la biotite.

- : non observé

L1 : Fragments volcaniques felsiques

N.B : chaque séparation horizontale  
représente un lit différent

L2 : Fragments sédimentaires

L3 : Fragments volcaniques microlitiques

### (L2) Fragment sédimentaire

Ce type de fragments ressemble beaucoup au fragment volcanique felsique (L1) mais il contient beaucoup plus de séricite (40 à 80%) laquelle a une orientation préférentielle. Il est plus foncé en lumière naturelle et contient aussi un peu d'épidote, souvent en amas, et du sphène. Etant donné cette forte proportion de séricite et malgré qu'il ne présente pas ou peu de textures sédimentaires reliques, sauf de très fines lamines occasionnelles, il est classé parmi les fragments sédimentaires. Il s'agit probablement d'un fragment de métapélite. Il est généralement en forme de fuseau allongé et suit le contour des autres fragments. Lorsque ce fragment est présent dans les parties fines du grès, il est très difficile à différencier de la matrice de séricite, ce qui contribue probablement à une légère sur-évaluation du pourcentage de la matrice.

### (L3) Fragment volcanique microlitique

Ce fragment est composé à 85% et plus de bâtonnets de feldspaths plagioclases enchevêtrés les uns dans les autres, formant ainsi une texture microlitique ou trachytique. Ces bâtonnets sont généralement peu altérés. Le fragment lui-même a une forme plutôt trapue. Il contient parfois des carbonates ou des amas d'épidotes en interstice des plagioclases. D'après la proportion des bâtonnets et la texture de ce type de fragments, il est classé parmi les

fragments volcaniques intermédiaires microlitiques.

#### (L4) Fragment granophyrique

Le fragment granophyrique est composé de quartz et de feldspaths, ces derniers étant parfois altérés en epidote. Il montre des textures d'exsolution typiques des roches platoniques granophyriques. Il n'est présent que dans quelques échantillons et est plutôt trapu.

#### (L5) Fragment volcanique mafique

Le dernier type de fragments rencontré est composé presqu'uniquement de chlorite avec parfois un peu de quartz microcristallin, d'épidote, de sphène, de carbonates et d'opales. La chlorite forme des amas trapus dont les bordures sont difficiles à déterminer. C'est probablement un fragment volcanique mafique ou une relique de minéraux mafiques comme des amphiboles ou des pyroxènes.

#### 2.1.2- Le quartz et les feldspaths

Les grains de quartz sont généralement monocristallins, sub-anguleux à sub-arrondis, à extinction roulante et parfois polycristallins. Ces derniers ont été recristallisés et montrent une texture polygonale plus ou moins bien développée. Il y a certains grains de quartz qui montrent une texture de résorption. C'est donc probablement du quartz volcanique.

Les feldspaths sont des plagioclases très altérés en séricite et epidote mais parfois on perçoit encore les mâcles de l'albite. Ils sont hypidiomorphes à idiomorphes, mais souvent sub-arrondis. La coloration au cobaltrinitrite de sodium indique l'absence de feldspaths potassiques dans les grès de la Formation de Bordeleau. Les seuls feldspaths potassiques rencontrés se présentent sous forme de veinules.

## 2.2-Description des grès par classe

Les différentes coupes dans lesquelles les échantillons ont été pris (Figs. 5 et 6) ont été regroupés en 3 classes distinctes sur une base pétrographique et géochimique. Les critères de regroupement sont présentés au tableau 2. Le tableau de l'annexe 1 montre la correspondance des différents termes employés dans ce texte.

### 2.2.1-Classe 1 (coupe 1)

La classe 1 contient essentiellement les échantillons de la coupe 1 (site I, fig. 5; annexe 1). Vingt échantillons représentant 5 lits ont été traités pétrographiquement dans cette coupe (tableau 1). Cinq d'entre-eux (AM-28, AM-29, AM-31, AM-33 et AM-34), qui font partie de 3 lits différents (annexe 1), ont été pris à la limite sud de la formation, près de la faille Faribault (Fig. 5). Etant donné que cette limite n'est pas bien définie, il se peut que ces échantillons fassent plutôt partie de la Formation de

TABLEAU 2

Critères pétrographiques et géochimiques  
de regroupement des trois classes

|                                      | : Classe 1 : Classe 2 : Classe 3 :         |
|--------------------------------------|--|
| :-----:                              | -----:                                     |
| :Quartz                              | : 6 à 13% : 1 à 7% : Tr. à 1.4% :          |
| :(moyenne)                           | : 9.7 : 5.1 : 1.0 :                        |
| :                                    | : : : :                                    |
| PETROGRAPHIE                         | :Amphiboles : - : quelques lits: partout : |
| :                                    | : : : (5 à 15.4%) : (12 à 24%) :           |
| :(moyenne)                           | : : : 8.5 : 13.0 :                         |
| :                                    | : : : : :                                  |
| :Matrice                             | : séricite : séricite et : chlorite :      |
| :                                    | : : : chlorite : :                         |
| -----:                               | -----:                                     |
| :SiO <sub>2</sub>                    | : 58 à 73% : 56 à 69% : 54 à 64% :         |
| GEOCHIMIE                            | : (moyenne) : 66.7 : 62.8 : 57.9 :         |
| :                                    | : : : : :                                  |
| :Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO | : 3 à 8% : 2 à 10% : 6 à 12% :             |
| :(moyenne)                           | : 4.8 : 7.0 : 9.8 :                        |
| -----:                               | -----:                                     |
| - : non observé                      |  |
| Tr: traces                           |  |

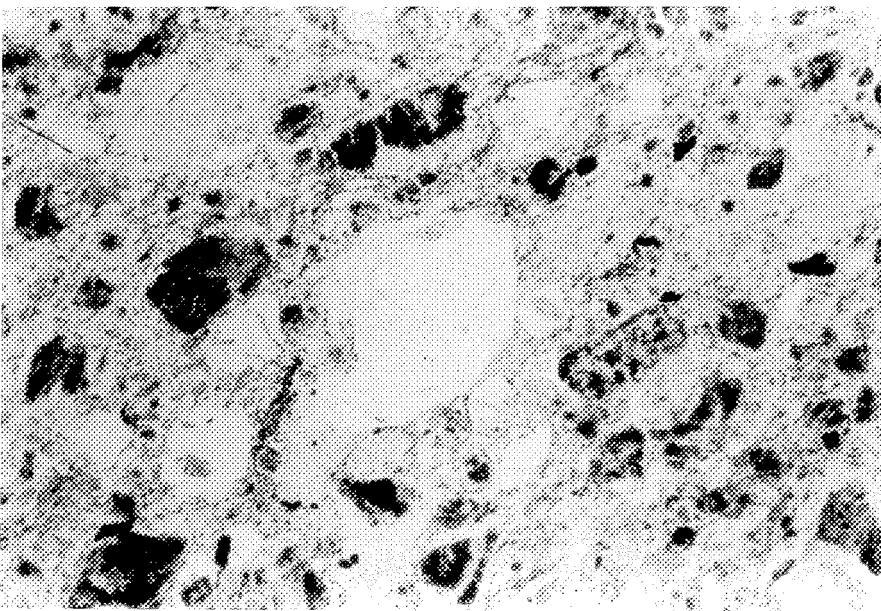
Blondeau. Ils seront toutefois considérés, dans ce travail, comme appartenant au Bordeleau, car ils se comportent pétrographiquement et géochimiquement comme les échantillons de cette formation.

Les lits de cette coupe appartiennent au faciès des turbidites (divisions Ta, Td et Te) (annexe 1). Les portions à grains moyens à grossiers (0,2 à 1mm) peuvent être granoclassées ou non mais ne montrent pas de laminations. Les portions à grains fins (0,1 à 0,25mm) peuvent aussi être granoclassées ou non mais montrent parfois des lamination floues. Les parties très fines à silt (0,1mm et moins) sont très souvent laminées avec la présence fréquente de lamination convolutées (slumps).

Pétrographiquement, l'ensemble des granulométries de ces grès montre une plus grande proportion de quartz, de 6 à 13%, que les grès des autres classes, une forte proportion de feldspaths plagioclases et de fragments lithiques, et une absence d'amphiboles (Tableau 1). Les fragments sédimentaires de shale peuvent atteindre 6mm dans certains échantillons. La matrice est constituée de séricite et de chlorite (Fig. 7).

#### 2.2.2-Classe 2 (coupes 2', 10, 11 et 12)

La classe 2 regroupe les échantillons des coupes 2', 10, 11 et 12 (site I, fig. 5). Huit échantillons représentant 7 lits ont été traités pétrographiquement



ECHELLE:  
0mm 0.2mm

Figure 7: Quartz résorbé volcanique, échantillon du lit AM-07, classe 1, lumière naturelle, 2.5X.



ECHELLE:  
0mm 0.3mm

Figure 8: Echantillon du lit AM-04 montrant des amphiboles, lumière polarisée, 10X, classe 3.

(Tableau 1). On retrouve les deux faciès (turbidites et grès massifs) dans cette classe. Ainsi, les lits de la coupe 2' sont des grès amalgamés, tandis que les lits des coupes 10 et 11 sont des turbidites avec les divisions Ta, Td et Te. Les lits de la coupe 12 sont des turbidites (divisions Ta, Td et Te) mais plusieurs lits de cette coupe s'apparentent plutôt au faciès des grès massifs. L'échantillon utilisé dans ce travail fait toutefois partie du faciès des turbidites (annexe 1).

Les grès de la coupe 2' sont moyens à grossiers, massifs, sans granoclassement, et sont parfois en contact net avec de l'argilite laminée ou non. Les grès des coupes 10 et 11 contiennent du grès granoclassé de grossier à fin avec de l'argilite au sommet. Les contacts entre les lits sont nets. Les granulométries fines contiennent parfois des laminations parallèles. La roche est très schisteuse, surtout pour la coupe 11. Celle-ci semble être à proximité d'une faille. Dans la coupe 12, le grès est massif ou granoclassé de moyen à fin et l'argilite est souvent laminée. Les grès de cette coupe semblent avoir subit un tectonisme élevé car ils sont assez schisteux. Il y a donc possiblement une faille à proximité.

Pétrographiquement, les grès de ces coupes, sur l'ensemble de leurs granulométries, sont généralement composés d'une plus faible proportion de quartz (1 à 7%) que ceux de la classe 1, de même que d'une plus faible proportion de feldspaths plagioclases. De plus, ces grès contiennent

légèrement plus de fragments lithiques et certains échantillons contiennent des amphiboles (tableau 2). Ainsi, dans les grès de la coupe 2', il y a des amphiboles, mais elles sont difficiles à identifier car elles sont très déformées et sont partiellement ou complètement remplacées par des amas de chlorite et biotite avec un peu d'épidote et de quartz. La matrice des grès de cette coupe est constituée de chlorite. Par contre, les échantillons des coupes 10 et 11 ne contiennent pas d'amphiboles, mais il se pourrait que les fragments mafiques (amas chloriteux) soient des reliques d'amphiboles complètement altérées. La matrice est constituée de chlorite et de séricite.

L'échantillon (AM-50) analysé dans la coupe 12 (annexe 1) est pétrographiquement différent des échantillons de toutes les autres coupes du Bordeleau, car il contient une forte proportion de biotite rouge qui atteint 25.2%. La biotite rouge a été classée avec les amphiboles pour une question pratique (tableau 1) mais il n'y a aucune relique d'amphiboles observée dans ce grès. Toutefois, la chimie de cet échantillon se rapproche de celle des échantillons des autres coupes de cette classe. C'est pourquoi il a été classé avec ceux-ci. Il contient très peu de quartz et celui-ci est surtout polycristallin. La biotite se présente en amas de petites baguettes qui se situent entre les grains et fragments des autres phases minéralogiques et épousent souvent les contours de ceux-ci. Elle est orientée

préférentiellement et forme alors une schistosité bien marquée. Elle est parfois partiellement altérée en chlorite.

Cette biotite est possiblement en remplacement des amphiboles. Le pourcentage de la biotite qui correspond assez bien à celui des amphiboles dans les échantillons concernés (tableau 1), ainsi que la chimie très semblable de tous ces échantillons appuient cette hypothèse. Toutefois, il se pourrait aussi que cette biotite corresponde à la matrice mais son très fort pourcentage favorise plutôt la première hypothèse, bien qu'il n'y ait pas de reliques d'amphiboles qui aient été observées. La matrice se présente sous forme de biotite en très petits grains isolés et qui sont difficiles à distinguer des amas de biotite. Cet échantillon semble avoir subit un métamorphisme un peu plus élevé que la moyenne des autres échantillons.

#### 2.2.3-Classe 3 (coupes 1', 7, 8 et 9)

Malgré que ces coupes ne se situent pas près l'une de l'autre dans la formation (coupe 1' du site I, coupes 7 et 8 du site II et coupe 9 du site III) (Figs. 5 et 6), leurs grès se comportent très semblablement pétrographiquement et géochimiquement. De plus, leur composition se distingue de celle des autres coupes de la formation. Ils ont donc été réunis sous une troisième classe et seront traités ensemble. Il y a dix échantillons représentant 5 lits qui ont été traités dans ces quatres coupes (Tableau 1). Les lits de ces

coupes sont des turbidites avec les divisions Ta, Td et Te (annexe 1). Le plus souvent, les lits sont constitués de grès moyens à grossiers granoclassés jusqu'à de l'argilite. Ce changement de granulométrie dans le lit est graduel mais le contact entre les lits est net. Le grès fin montre parfois des lames parallèles floues et l'argilite est souvent laminée.

Ces grès sont caractérisés par une très faible proportion de quartz (traces à 1,4%) pour l'ensemble des granulométries. Les feldspaths plagioclases sont très épidotisés et sont souvent brisés et incomplets. Dans les échantillons de ces coupes, les plagioclases sont difficiles à reconnaître car ils se confondent avec les fragments volcaniques felsiques (FVF) qui sont, eux aussi, très épidotisés. Une autre différence caractéristique de ces grès, c'est la présence d'amphiboles. Elles sont de deux types; de la hornblende verte et de la trémolite-actinote. Dans certains échantillons, elles sont facilement reconnaissables montrant de belles formes idiomorphes, parfois hypidiomorphes lorsqu'elles sont brisées. Elles sont parfois mâclées. Dans ce cas, la hornblende verte est légèrement altérée en biotite verte et en chlorite (échantillons AM-36, AM-57 et AM-61). Par contre, dans les échantillons AM-16 à 22 (lit 04), on observe plutôt des amas de biotite verte et chlorite avec parfois des reliques d'amphiboles. Ces amas ont alors des formes moins bien

définies. Les fragments volcaniques mafiques n'ont pas été observés (tableau 1). Les FVF sont très altérés en épidote et les bordures de fragments sont difficiles à définir. Ils forment une texture qui a un aspect uni et qui ressemble à une volcanite très épidotisée dans laquelle baignent des fragments de quartz, feldspaths et amphiboles (Fig. 8). La matrice est constituée de séricite, de chlorite et d'un peu de biotite orientées préférentiellement.

La présence d'une différence de composition des grès du Bordeleau illustrée par les différentes classes pourrait très bien s'expliquer par une différence de composition à la source. Cependant, il y a aussi d'autres hypothèses pouvant expliquer cette différentiation et celles-ci seront vues plus en détail dans la section 2.5.

### 2.3- Tri des grès du Bordeleau

A l'aide des résultats pétrographiques présentés au tableau 1, il est possible de vérifier si on peut percevoir l'effet du tri sur la distribution des minéraux, de façon assez distincte pétrographiquement.

En prenant des lits complets granoclassés qui montrent toute l'étendue des granulométries, comme par exemple le lit 07 qui contient les échantillons AM-01 à AM-09, on observe que le tri est assez apparent. De la base au sommet du lit, on retrouve les échantillons AM-06, 07, 08, 09, 01, 02, 03, 04 et 05. Ainsi, les échantillons qui se retrouvent à la base

du lit sont plus riches en quartz que ceux au sommet, passant de 12% à 6%. De même, on peut noter une nette augmentation de la matrice à partir de la base du lit (3.6%) jusqu'au sommet (12.0%). De façon moins évidente, les feldspaths plagioclases diminuent légèrement de la base au sommet et les fragments lithiques augmentent, mais de façon assez irrégulière. Cette distribution s'observe aussi dans le lit 06 qui contient les échantillons AM-10 à AM-15.

Cependant, il n'est pas possible de conclure à un comportement général car cette distribution n'est pas vérifiable dans tous les lits. Ainsi, plusieurs lits ne présentent pas une grande étendue de granulométrie et les échantillons de grès très fin et de silt n'ont pu être traités pétrographiquement, ce qui limite l'interprétation en ce qui concerne l'influence du tri sur la distribution des minéraux. Il est donc plus prudent, pour cette étape du travail, de parler d'une tendance de distribution pour les grès du Bordeleau. Donc les grès grossiers ont tendance à contenir plus de quartz et moins de matrice (phyllosilicates) que les grès fins et les silts.

Cette distribution correspond bien à celle observée par Sawyer et Korneliussen (1989), sur des lits de turbidites des Formations Rombaksbotn et Gautelis qui font partie de la séquence du Rombak window (protérozoïque inférieur). Argast et Donnelly (1987) ont aussi observé le même patron de distribution dans des roches silicoclastiques de 6 localités

des sections Taconiques et Acadiennes de New York et Québec. De même, Roser et Korsch (1986) se base sur cette même distribution pour établir leurs diagrammes de provenance tectonique.

#### 2.4- Classification pétrographique et provenance tectonique

Pour classifier les grès du Bordeleau, les paramètres conventionnels Qt, F, et L ont été déterminés (tableau 3). Sur les diagrammes de classification de Folk (1968), la grande majorité des échantillons tombent dans le champ des litharénites feldspathiques (Fig. 9). Ces grès sont pauvres en quartz et montrent un faible étalement de la composition. Cette variation de la composition correspond aux diverses classes précédemment décrites. Ainsi, les échantillons de la classe 1 (site I) occupent un champ plus riche en quartz que les échantillons des autres classes (tableau 2). Ils ont des proportions de feldspaths et fragments lithiques assez variables, mais qui chevauchent la ligne entre les deux champs, soit celui des litharénites feldspathiques et celui des arkoses lithiques. Les échantillons de la classe 3 (coupes 1', 7, 8, et 9) sont les plus pauvres en quartz et les plus riches en fragments lithiques (Fig. 9). Les échantillons de la classe 2 (coupes 2', 10, 11 et 12) occupent une position intermédiaire entre les deux classes précédentes. On remarque donc une légère augmentation de la proportion des fragments lithiques ainsi qu'une diminution de

## PRINCIPAUX PARAMETRES DE CLASSIFICATION

| : | No de l'échan. | : No de la classe | Qt :   | F :    | L :    | : | No de l'échan. | : No de la classe | Qt :   | F :    | L :    |
|---|----------------|-------------------|--------|--------|--------|---|----------------|-------------------|--------|--------|--------|
| : | AM-01 (C)      | : 1               | : 12.3 | : 45.5 | : 42.2 | : | AM-16 (E)      | : 3               | : 1.2  | : 32.1 | : 66.7 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-17 (E)      | : 3               | : 0.6  | : 33.3 | : 66.1 |
| : | AM-02 (C)      | : 1               | : 12.2 | : 39.2 | : 48.6 | : | AM-18 (E)      | : 3               | : 1.2  | : 33.1 | : 65.6 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-19 (E)      | : 3               | : 1.2  | : 32.5 | : 66.3 |
| : | AM-03 (C)      | : 1               | : 11.4 | : 45.6 | : 43.0 | : | AM-20 (E)      | : 3               | : 1.2  | : 30.5 | : 68.3 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-21 (E)      | : 3               | : 1.2  | : 31.9 | : 66.9 |
| : | AM-04 (E)      | : 1               | : 8.2  | : 35.3 | : 56.5 | : | AM-22 (E)      | : 3               | : 1.2  | : 31.9 | : 66.9 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-36 (C)      | : 3               | : 1.9  | : 36.2 | : 61.9 |
| : | AM-05 (E)      | : 1               | : 7.2  | : 33.7 | : 59.1 | : | AM-37 (C)      | : 2               | : 7.3  | : 32.9 | : 59.7 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-38a(C)      | : 2               | : 5.5  | : 33.9 | : 60.5 |
| : | AM-06 (C)      | : 1               | : 13.1 | : 36.2 | : 50.7 | : | AM-38b(C)      | : 2               | : 4.3  | : 35.5 | : 60.2 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-40 (C)      | : 2               | : 6.8  | : 46.3 | : 46.9 |
| : | AM-07 (C)      | : 1               | : 10.1 | : 43.4 | : 46.5 | : | AM-46 (C)      | : 2               | : 8.0  | : 24.5 | : 67.5 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-47 (C)      | : 2               | : 8.1  | : 35.0 | : 56.9 |
| : | AM-08 (C)      | : 1               | : 12.0 | : 44.4 | : 43.6 | : | AM-49 (E)      | : 2               | : 5.5  | : 30.4 | : 64.1 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-50 (C)      | : 2               | : 1.6  | : 48.6 | : 49.7 |
| : | AM-09 (C)      | : 1               | : 11.0 | : 44.6 | : 44.4 | : | AM-57 (E)      | : 3               | : 1.2  | : 24.7 | : 74.1 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-61 (E)      | : 3               | : 1.7  | : 32.4 | : 65.9 |
| : | AM-10 (C)      | : 1               | : 11.8 | : 40.7 | : 47.5 | : | AM-63 (E)      | : 3               | : 0.7  | : 27.3 | : 72.0 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | M : toutes     | : 7.2             | : 36.1 | : 56.7 | :      |
| : | AM-11 (C)      | : 1               | : 9.8  | : 40.5 | : 49.7 | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | AM-12 (C)      | : 1               | : 12.0 | : 36.2 | : 51.7 | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | AM-13 (E)      | : 1               | : 10.5 | : 37.6 | : 51.9 | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | AM-14 (E)      | : 1               | : 10.8 | : 39.6 | : 49.6 | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | AM-15 (E)      | : 1               | : 9.6  | : 36.9 | : 53.5 | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | AM-28 (C)      | : 1               | : 10.9 | : 38.0 | : 51.1 | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | AM-29 (E)      | : 1               | : 8.0  | : 36.6 | : 55.4 | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | AM-31 (C)      | : 1               | : 12.6 | : 28.3 | : 59.1 | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | AM-33 (C)      | : 1               | : 14.5 | : 36.7 | : 48.8 | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | AM-34 (C)      | : 1               | : 11.9 | : 36.7 | : 51.4 | : | :              | :                 | :      | :      | :      |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :      | :      | :      |

(C) : Comptage de points (500)

(E) : Pourcentage estimé

Qt : Quartz total (monocristallin + polycristallin)

F : Feldspaths

L : Fragments lithiques totals ( L1 + L2 + L3 + L4 + L5)

M : Composition moyenne

# recalculé sur une base  
de 100%, à partir des  
données du tableau 1.

TABLEAU 3  
(suite)

35

## PRINCIPAUX PARAMETRES POUR LA PROVENANCE TECTONIQUE

| : | No de l'échan. | : No de la classe | Qm     | F      | Lt     | : | No de l'échan. | : No de la classe | Qm    | F      | Lt     |
|---|----------------|-------------------|--------|--------|--------|---|----------------|-------------------|-------|--------|--------|
| : | AM-01 (C)      | : 1               | : 9.3  | : 45.5 | : 45.2 | : | AM-16 (E)      | : 3               | : 1.0 | : 32.1 | : 66.9 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-17 (E)      | : 3               | : 0.4 | : 33.3 | : 66.3 |
| : | AM-02 (C)      | : 1               | : 9.4  | : 39.2 | : 51.4 | : | AM-18 (E)      | : 3               | : 1.0 | : 33.1 | : 65.9 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-19 (E)      | : 3               | : 1.0 | : 32.5 | : 66.5 |
| : | AM-03 (C)      | : 1               | : 9.6  | : 45.6 | : 44.8 | : | AM-20 (E)      | : 3               | : 1.0 | : 30.5 | : 68.5 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-21 (E)      | : 3               | : 1.0 | : 31.9 | : 67.1 |
| : | AM-04 (E)      | : 1               | : 8.2  | : 35.3 | : 56.5 | : | AM-22 (E)      | : 3               | : 1.0 | : 31.9 | : 67.1 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-36 (C)      | : 3               | : 1.1 | : 36.2 | : 62.7 |
| : | AM-05 (E)      | : 1               | : 7.2  | : 33.7 | : 59.1 | : | AM-37 (C)      | : 2               | : 7.1 | : 32.9 | : 60.0 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-38a(C)      | : 2               | : 5.3 | : 33.9 | : 60.7 |
| : | AM-06 (C)      | : 1               | : 10.5 | : 36.2 | : 53.3 | : | AM-38b(C)      | : 2               | : 4.1 | : 35.5 | : 60.4 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-40 (C)      | : 2               | : 5.9 | : 46.3 | : 47.8 |
| : | AM-07 (C)      | : 1               | : 7.3  | : 43.4 | : 49.3 | : | AM-46 (C)      | : 2               | : 6.4 | : 24.5 | : 69.1 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-47 (C)      | : 2               | : 7.0 | : 35.0 | : 58.0 |
| : | AM-08 (C)      | : 1               | : 11.0 | : 44.4 | : 44.6 | : | AM-49 (E)      | : 2               | : 4.4 | : 30.4 | : 65.2 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-50 (C)      | : 2               | : 0.3 | : 48.6 | : 51.1 |
| : | AM-09 (C)      | : 1               | : 10.7 | : 44.6 | : 44.6 | : | AM-57 (E)      | : 3               | : 0.7 | : 24.7 | : 74.6 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | AM-61 (E)      | : 3               | : 1.2 | : 32.4 | : 66.5 |
| : | AM-10 (C)      | : 1               | : 9.3  | : 40.7 | : 50.0 | : | AM-63 (E)      | : 3               | : 0.4 | : 27.3 | : 72.3 |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | AM-11 (C)      | : 1               | : 7.7  | : 40.5 | : 51.8 | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | AM-12 (C)      | : 1               | : 9.6  | : 36.2 | : 54.2 | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | AM-13 (E)      | : 1               | : 8.8  | : 37.6 | : 53.6 | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | AM-14 (E)      | : 1               | : 9.1  | : 39.6 | : 51.3 | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | AM-15 (E)      | : 1               | : 7.9  | : 36.9 | : 55.2 | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | AM-28 (C)      | : 1               | : 8.9  | : 38.0 | : 53.1 | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | AM-29 (E)      | : 1               | : 8.0  | : 36.6 | : 55.4 | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | AM-31 (C)      | : 1               | : 10.9 | : 28.3 | : 60.8 | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | AM-33 (C)      | : 1               | : 10.3 | : 36.7 | : 53.0 | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | AM-34 (C)      | : 1               | : 9.3  | : 36.7 | : 54.0 | : | :              | :                 | :     | :      |        |
| : | :              | :                 | :      | :      | :      | : | :              | :                 | :     | :      |        |

(C) : Comptage de points (500)

(E) : Pourcentage estimé

Qm : Quartz monocrystallin

F : Feldspaths

Lt : Fragments lithiques totals + Quartz polycristallin

TABLEAU 3  
(suite)

## PRINCIPAUX PARAMETRES POUR LA PROVENANCE TECTONIQUE

|   | No de l'échan. | No de la classe | Qp  | Lv    | Ls  |   | No de l'échan. | No de la classe | Qp  | Lv   | Ls  |
|---|----------------|-----------------|-----|-------|-----|---|----------------|-----------------|-----|------|-----|
| : | AM-01 (C)      | 1               | 6.9 | 87.7  | 5.4 | : | AM-16 (E)      | 3               | 0.4 | 99.6 | -   |
| : | AM-02 (C)      | 1               | 5.4 | 94.6  | -   | : | AM-17 (E)      | 3               | 0.4 | 99.6 | -   |
| : | AM-03 (C)      | 1               | 4.2 | 95.8  | -   | : | AM-18 (E)      | 3               | 0.4 | 99.6 | -   |
| : | AM-04 (E)      | 1               | -   | 97.9  | 2.1 | : | AM-19 (E)      | 3               | 0.4 | 98.7 | 0.9 |
| : | AM-05 (E)      | 1               | -   | 100.0 | -   | : | AM-20 (E)      | 3               | 0.4 | 97.9 | 1.7 |
| : | AM-06 (C)      | 1               | 5.1 | 94.1  | 0.8 | : | AM-21 (E)      | 3               | 0.4 | 98.7 | 0.9 |
| : | AM-07 (C)      | 1               | 6.0 | 93.5  | 0.5 | : | AM-22 (E)      | 3               | 0.4 | 98.7 | 0.9 |
| : | AM-08 (C)      | 1               | 2.1 | 97.9  | -   | : | AM-36 (C)      | 3               | 1.3 | 98.7 | -   |
| : | AM-09 (C)      | 1               | 0.6 | 98.9  | 0.6 | : | AM-37 (C)      | 2               | 0.4 | 99.2 | 0.4 |
| : | AM-10 (C)      | 1               | 5.0 | 93.9  | 1.1 | : | AM-38a(C)      | 2               | 0.4 | 99.6 | -   |
| : | AM-11 (C)      | 1               | 4.2 | 92.8  | 3.0 | : | AM-38b(C)      | 2               | 0.4 | 99.6 | -   |
| : | AM-12 (C)      | 1               | 4.4 | 93.2  | 2.4 | : | AM-40 (C)      | 2               | 1.9 | 98.1 | -   |
| : | AM-13 (E)      | 1               | 3.1 | 95.9  | 1.0 | : | AM-46 (C)      | 2               | 2.3 | 97.7 | -   |
| : | AM-14 (E)      | 1               | 3.3 | 96.2  | 0.5 | : | AM-47 (C)      | 2               | 1.9 | 98.1 | -   |
| : | AM-15 (E)      | 1               | 3.1 | 96.5  | 0.4 | : | AM-49 (E)      | 2               | 1.7 | 98.3 | -   |
| : | AM-28 (C)      | 1               | 3.8 | 95.8  | 0.4 | : | AM-50 (C)      | 2               | 2.7 | 97.3 | -   |
| : | AM-29 (E)      | 1               | -   | 99.6  | 0.4 | : | AM-57 (E)      | 3               | 0.7 | 99.3 | -   |
| : | AM-31 (C)      | 1               | 2.7 | 96.3  | 1.0 | : | AM-61 (E)      | 3               | 0.4 | 99.6 | -   |
| : | AM-33 (C)      | 1               | 8.1 | 82.7  | 9.2 | : | AM-63 (E)      | 3               | 0.4 | 99.7 | -   |
| : | AM-34 (C)      | 1               | 4.8 | 87.2  | 8.0 | : |                |                 |     |      |     |
| : |                |                 |     |       |     |   |                |                 |     |      |     |

(C) : Comptage de points (500)

(E) : Pourcentage estimé

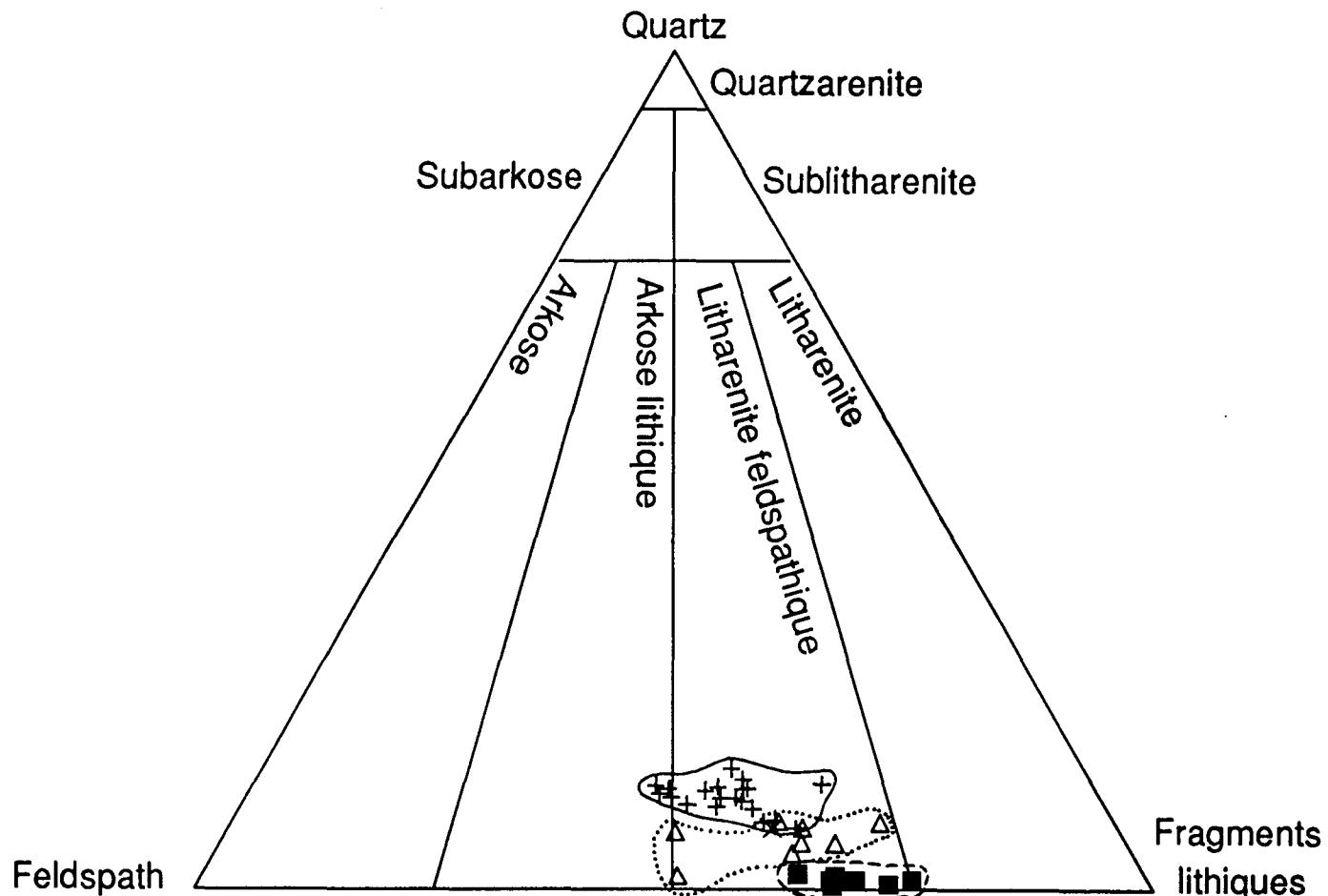
Qp : Quartz polycristallin

Lv : Fragments volcaniques

Ls : Fragments sédimentaires

- : non observé

## **CLASSIFICATION DES GRES**



**Fig. 91** Diagramme de classification pétrographique (Folk, 1968). Le diagramme représente tous les échantillons de la Formation de Bordelieu analysés pétrographiquement, le X représente la composition moyenne pondérée de ces échantillons, le champ limité par une ligne pleine représente les échantillons de la classe 1 (coupe 1) identifiés par des croix, le champ limité par une ligne pointillée représente ceux de la classe 2 (coupes 2', 10, 11 et 12) identifiés par des triangles, le champ limité par une ligne tiretée représente ceux de la classe 3 (coupes 1', 7, 8 et 9) identifiés par des carrés.

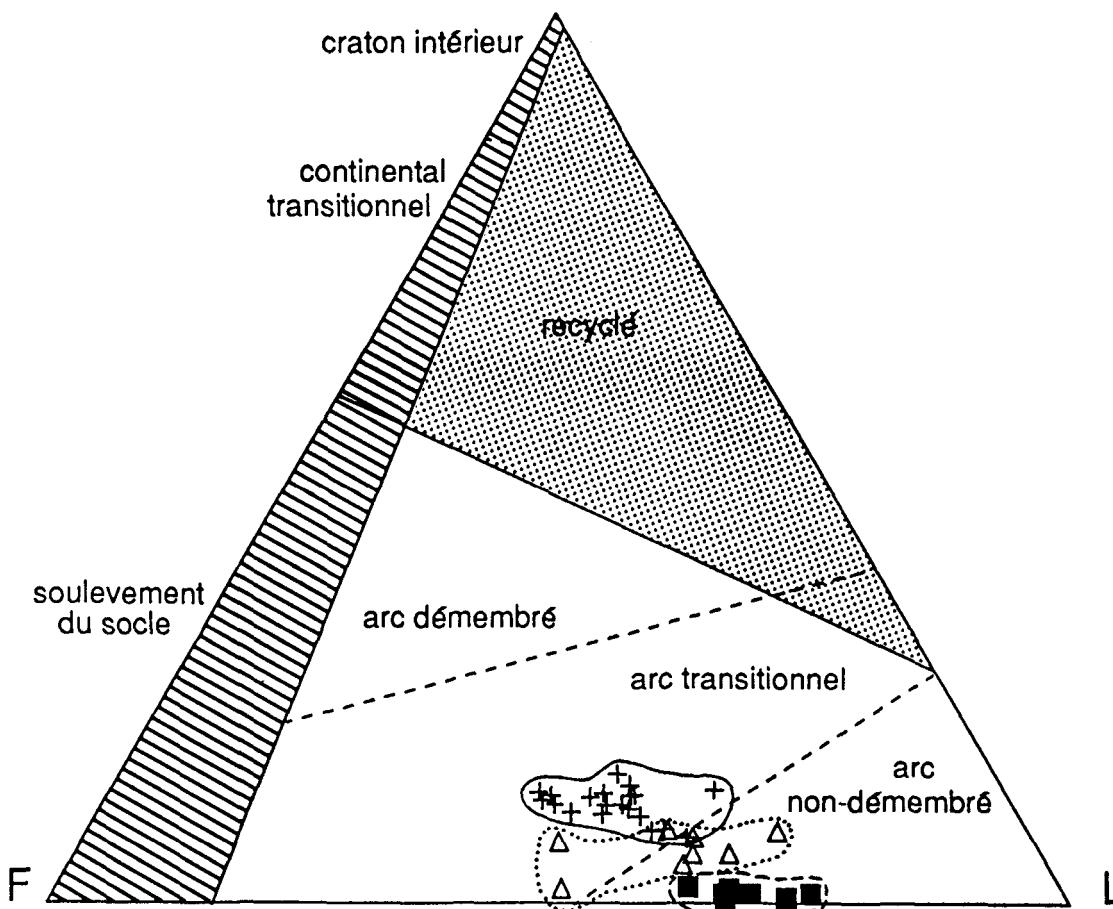
la proportion de quartz de la classe 1 vers la classe 3.

Les grès archéens du Bordeleau n'ont jamais été mis sur des diagrammes de provenance tectonique. De telles études ont déjà été réalisées sur des roches sédimentaires plus récentes (ex: Floyd et Leveridge (1987) sur des turbidites du Dévonien). Cependant, la présence de la tectonique des plaques à l'Archéen n'est pas encore établie. Toutefois, à l'aide des diagrammes de Dickinson et Suczek (1979), Dickinson et al. (1983) et Valloni et Mezzadri (1984), il est possible de mettre les grès du Bordeleau dans un contexte moderne afin de préciser la nature de leur source.

Sur le diagramme de Dickinson et al. (1983), (Fig. 10), les grès tombent dans un environnement d'arc magmatique. Sur un diagramme Qp-Lv-Ls (Dickinson et Suczek, 1979) (Fig. 11a), la très forte proportion des composantes volcaniques de ces grès dénote leur grande immaturité minéralogique. Sur la figure 11b, les échantillons du Bordeleau tombent tous dans un environnement volcanique, soit d'arc volcanique (LV) ou de ceinture orogénique volcanique (FL).

On remarque aussi une différentiation des sous-environnements en fonction des classes. Sur le graphique de la figure 10, les échantillons de la classe 1 se situent dans le sous-environnement d'arc transitionnel tandis que ceux de la classe 3 se retrouvent dans le sous-environnement d'arc non-démembré. Les échantillons de la classe 2 chevauchent les deux sous-environnements. Sur la figure 11b, les

## PROVENANCE TECTONIQUE Qt



**Fig. 10:** Diagramme des provenances tectoniques des grès (Dickinson et al., 1983, modifié d'après Dickinson et Suczek, 1979). Il y a trois catégories de provenances: pointillé = orogénies recyclées; barré = blocs continentaux et blanc = arcs magmatiques. Qt = Quartz total, F = Feldspaths, L = Fragments lithiques, le champ limité par une ligne pleine représente les échantillons de la classe 1 (coupe 1) identifiés par une croix, le champ limité par une ligne pointillée représente ceux de la classe 2 (coupes 2', 10, 11 et 12) identifiés par des triangles, le champ limité par une ligne tiretée représente ceux de la classe 3 (coupes 1', 7, 8 et 9) identifiés par des carrés.

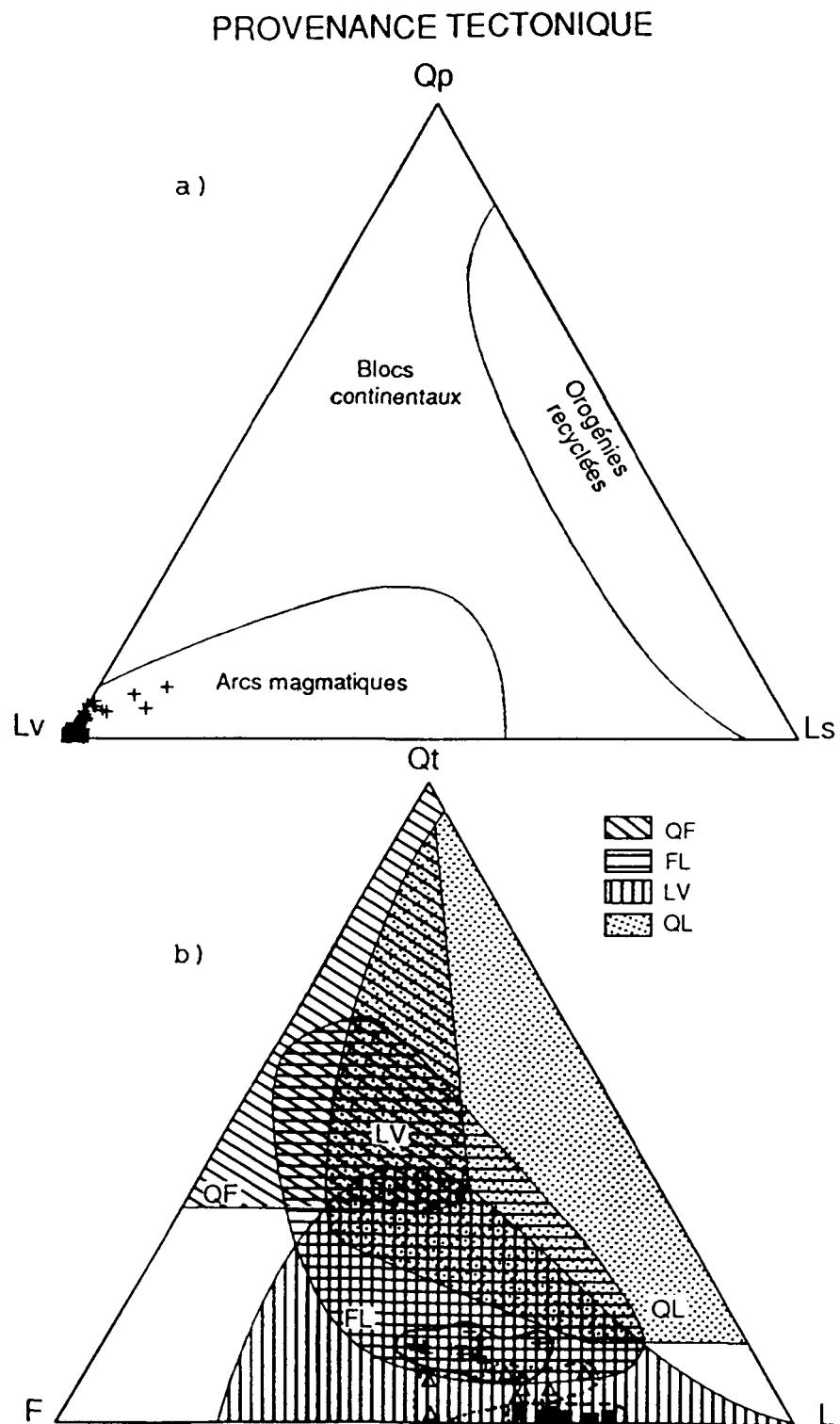


Fig. 11: a) Diagramme de provenances tectoniques (d'après Dickinson et Suczek, 1979). Qp = Quartz polycristallin, Lv = Fragments volcaniques et Ls = Fragments sédimentaires. b) Diagramme de provenances tectoniques (d'après Valloni et Mezzadri, 1984). QF représente entre autre les blocs cratoniques, QL représente entre autre une ceinture orogénique sédimentaire, FL représente entre autre une ceinture orogénique volcanique et LV représente entre autre un arc volcanique.

échantillons de la classe 1 se trouvent à la fois dans le champ de ceinture orogénique volcanique et dans celui d'arc volcanique tandis que les échantillons des autres classes ne se retrouvent que dans le champ d'arc volcanique.

### 2.5- Interprétation des résultats pétrographiques

Sur pratiquement tous les diagrammes pétrographiques, on note une différence dans la composition des grès du Bordeleau qui correspond aux différentes classes précédemment définies. Cependant, il ne semble pas y avoir de relations entre ces différentes classes et une position verticale ou latérale particulière au sein de la formation. Il n'y a que les échantillons de la classe 3 qui s'étendent latéralement à travers la formation et qui pourraient correspondre à un niveau stratigraphique particulier. Toutefois, seuls des travaux plus poussés pourraient vérifier cette hypothèse.

Cette différentiation au sein de la formation peut s'expliquer soit par le fait qu'il y a eu plus d'une source pour les grès du Bordeleau, soit qu'il y ait eu une seule source avec des zones de compositions différentes, ou que la nature de la source a changée au cours de la déposition de ces grès. Dans le premier cas, ceci impliquerait des mouvements de soulèvement différentiels assez importants, à divers endroits autour du bassin; ainsi, la source se serait déplacée en suivant les mouvements de soulèvement. Cette hypothèse expliquerait bien la présence de la classe de

transition (classe 2) qui chevauche à la fois la classe 1 et la classe 3. Cette classe correspondrait au moment où ni l'une ni l'autre des deux sources (correspondant aux classes 1 et 3) n'était dominante. De plus, si ces deux sources montraient un degré d'altération différent, ceci pourrait expliquer, d'une part, la présence d'amphiboles très peu altérées dans certains lits (classe 3), et d'autre part, la présence d'amphiboles très altérées (les fragments volcaniques mafiques) dans d'autres lits (classe 1).

Cependant, cette différence du degré d'altération visible surtout sur les amphiboles, pourrait aussi provenir de la même source. Dans ce deuxième cas d'une source unique, il se peut qu'à la source, une petite différence de composition, par exemple un niveau plus riche en amphiboles, ait été amplifiée lors du transport, par une concentration de ces amphiboles de plus en plus prononcée, qui expliquerait l'augmentation d'amphiboles qu'on observe de la classe 1 vers la classe 3.

Les grès du Bordeleau se sont mis en place par des processus de courants de turbidités et/ou de coulées de débris (Jutras, 1983). En effet, le tri hydraulique d'une coulée de turbidite génère le granoclassement (Ta) qu'on observe à la base des lits du faciès des turbidites. Ceci favorise une distribution de certains minéraux (séricite, biotite, chlorite, quartz) en fonction de leur densité et de leur granulométrie. Ainsi, on observe cette distribution

pétrographiquement dans les lits complets granoclassés du Bordeleau, par une plus grande concentration du quartz à la base des lits, et une plus grande concentration de la matrice (séricite, chlorite, biotite) au sommet des lits. La comparaison du patron de distribution des minéraux entre les lits de grès granoclassés de turbidite et des lits massifs de coulés de débris serait très intéressante. Cependant, dans ce travail, les lits massifs ne sont pas nombreux et ne contiennent pas assez d'échantillons pour pouvoir effectuer une telle comparaison.

Les diagrammes de provenances tectoniques confirment l'étude pétrographique conventionnelle et permettent tous de conclure à une source d'arc magmatique pour les grès de la Formation de Bordeleau. En effet, la présence importante de FVF, l'abondance de feldspaths plagioclases, la présence de quartz volcanique et d'amphiboles ainsi que la presque totale absence de matériel plutonique reflète assez bien une source volcanique felsique pour les grès de la Formation de Bordeleau. Cette source peut provenir de l'explosion d'un magma hydraté, ce qui pourrait expliquer la présence d'amphiboles dans ces grès (Dimroth et al., 1983), et donc possiblement de coulées pyroclastiques. Ces dernières ont pu être déposées dans un bassin primaire, puis remaniées en turbidites par la suite.

### 3- GEOCHIMIE

Dans ce chapitre, l'analyse grossière des résultats géochimiques sera faite à partir d'une matrice de corrélation, et ce dans le but d'établir la relation entre la pétrographie et la géochimie, c'est-à-dire de vérifier quels minéraux contrôlent quels éléments chimiques. Ensuite, les classes déjà définies dans le chapitre pétrographique seront aussi étudiées géochimiquement, afin de mettre encore plus en évidence les différences ou particularités au sein de la formation, soit verticalement ou latéralement. Puis il sera question de déterminer la relation entre la distribution des éléments chimiques et la granulométrie, et ce, en comparant entre-eux les échantillons de même granulométrie, mais provenant de divers lits de grès à travers la formation. L'existence de cette même relation à l'échelle des lits individuels granoclassés de la base au sommet sera aussi vérifiée. Enfin, la provenance tectonique des grès du Bordeleau sera vérifiée géochimiquement. Les résultats des analyses géochimiques sont présentés au tableau 4.

#### 3.1- Géochimie de la Formation de Bordeleau

A partir d'une matrice de corrélation présentée à l'annexe 2, il a été possible de déterminer les éléments qui montrent une bonne corrélation positive entre-eux, ce qui a permis de les corrélérer graphiquement. Ces éléments ont été

TABLEAU 4- DONNEES GEOCHIMIQUES DES GRES DE LA FORMATION DE BORDELEAU

| # Echant.                      | AM-06    | AM-07    | AM-08   | AM-09   | AM-01   | AM-02   | AM-03   | AM-04     | AM-05   | AM-10   | AM-11   | AM-12   |
|--------------------------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| Granulo.                       | GRES M-G | GRES M-G | GRES M. | GRES F-FF | GRES FF | GRES F. | GRES F. | GRES F. |
| Lits                           | (07)     | (07)     | (07)    | (07)    | (07)    | (07)    | (07)    | (07)      | (07)    | (06-B)  | (06-B)  | (06-B)  |
| Classe (%)                     | 1        | 1        | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       | 1         | 1       | 1       | 1       | 1       |
| SiO <sub>2</sub>               | 67.29    | 68.21    | 64.61   | 66.01   | 67.94   | 66.89   | 66.29   | 64.80     | 60.29   | 68.72   | 69.60   | 67.86   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.13    | 16.28    | 16.59   | 16.24   | 16.31   | 15.87   | 15.40   | 18.23     | 20.45   | 17.45   | 17.03   | 17.56   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.28     | 3.00     | 2.60    | 3.11    | 2.95    | 3.14    | 4.17    | 3.94      | 5.17    | 2.23    | 2.15    | 2.89    |
| * Na <sub>2</sub> O            | 6.44     | 6.65     | 7.19    | 7.03    | 7.12    | 6.76    | 6.52    | 6.27      | 5.40    | 5.34    | 5.27    | 5.05    |
| K <sub>2</sub> O               | 0.77     | 0.86     | 0.74    | 0.72    | 0.76    | 0.77    | 0.60    | 2.06      | 3.19    | 2.35    | 2.06    | 2.12    |
| CaO                            | 2.10     | 2.77     | 6.19    | 4.67    | 2.55    | 4.15    | 4.07    | 1.52      | 1.18    | 2.54    | 2.65    | 2.91    |
| MgO                            | 2.10     | 1.51     | 1.35    | 1.45    | 1.61    | 1.65    | 2.00    | 2.50      | 3.45    | 0.85    | 0.78    | 1.05    |
| MnO                            | 0.05     | 0.04     | 0.08    | 0.06    | 0.05    | 0.05    | 0.05    | 0.04      | 0.07    | 0.04    | 0.03    | 0.07    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.70     | 0.57     | 0.52    | 0.59    | 0.58    | 0.60    | 0.74    | 0.45      | 0.53    | 0.38    | 0.36    | 0.37    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.13     | 0.11     | 0.13    | 0.11    | 0.13    | 0.11    | 0.15    | 0.19      | 0.28    | 0.10    | 0.08    | 0.12    |
| Total                          | 100.00   | 100.00   | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00    | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  |
| S                              | 0.36     | 0.10     | 0.09    | 0.22    | 0.06    | 0.08    | 0.40    | 0.02      | 0.01    | 0.08    | 0.05    | 0.05    |
| CO <sub>2</sub>                | 0.55     | 1.04     | 3.39    | 2.55    | 0.80    | 1.71    | 1.95    | 0.47      | 0.28    | 0.57    | 0.21    | 0.16    |
| PAF                            | 0.88     | 0.74     | 0.91    | 0.43    | 1.45    | 1.19    | 0.67    | 1.83      | 2.48    | 0.86    | 1.02    | 1.29    |
| F+M                            | 6.38     | 4.51     | 3.95    | 4.56    | 4.56    | 4.79    | 6.17    | 6.44      | 8.62    | 3.07    | 2.93    | 3.94    |
| N+C                            | 8.54     | 9.42     | 13.38   | 11.70   | 9.66    | 10.92   | 10.58   | 7.79      | 6.58    | 7.88    | 7.92    | 7.96    |
| (ppm)                          |          |          |         |         |         |         |         |           |         |         |         |         |
| * La                           | 25       | 24       | 18      | 23      | 24      | 23      | 26      | 28        | 30      | 18      | 18      | 20      |
| * Ce                           | 50       | 47       | 38      | 48      | 48      | 48      | 54      | 56        | 57      | 37      | 36      | 42      |
| * Nd                           | 27       | 25       | 19      | 24      | 26      | 26      | 29      | 31        | 33      | 21      | 20      | 22      |
| * Sm                           | 3.2      | 3.0      | 2.6     | 3.0     | 3.2     | 3.1     | 3.6     | 3.9       | 4.0     | 2.6     | 2.5     | 2.9     |
| * Eu                           | 1.1      | 1.1      | 1.0     | 1.1     | 1.2     | 1.1     | 1.4     | 1.0       | 1.1     | 0.9     | 1.0     | 1.0     |
| * Tb                           | 0.31     | 0.24     | 0.26    | 0.26    | 0.37    | 0.30    | 0.28    | 0.35      | 0.26    | 0.34    | 0.19    | 0.39    |
| * Yb                           | 0.55     | 0.56     | 0.65    | 0.68    | 0.62    | 0.76    | 0.66    | 0.76      | 0.76    | 0.68    | 0.55    | 0.61    |
| * Lu                           | 0.10     | 0.11     | 0.14    | 0.11    | 0.12    | 0.11    | 0.10    | 0.13      | 0.14    | 0.12    | 0.13    |         |
| * As                           | 5        | 2        | 1       | 3       | 1       | 1       | 3       | <1        | <1      | 2       | 5       | 6       |
| Ba                             | 250      | 268      | 233     | 235     | 226     | 246     | 210     | 704       | 1217    | 476     | 437     | 465     |
| * Co                           | 53       | 34       | 29      | 42      | 30      | 30      | 42      | 23        | 13      | 55      | 52      | 51      |
| * Cr                           | 29       | 27       | 27      | 29      | 28      | 27      | 31      | 17        | 25      | 23      | 22      | 22      |
| * Cs                           | 1        | <1       | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       | 2         | 3       | 1       | 1       | 1       |
| * Hf                           | 3.4      | 2.9      | 2.7     | 2.9     | 6.0     | 5.3     | 5.4     | 5.3       | 5.4     | 5.8     | 2.4     | 3.8     |
| Nb                             | 7        | 3        | 3       | 5       | 6       | 5       | 4       | 5         | 7       | 5       | 6       | 5       |
| Ni                             | 13       | 11       | 9       | 8       | 10      | 11      | 9       | 18        | 26      | 8       | 8       | 9       |
| Rb                             | 19       | 18       | 16      | 19      | 16      | 18      | 13      | 50        | 76      | 54      | 48      | 48      |
| * Sb                           | 0.19     | 0.12     | 0.17    | 0.16    | 0.12    | 0.11    | 0.15    | 0.11      | 0.10    | 0.13    | 0.16    | 0.21    |
| * Sc                           | 6.30     | 6.17     | 5.67    | 6.44    | 6.47    | 6.28    | 6.73    | 6.97      | 7.41    | 5.67    | 5.46    | 6.26    |
| * Se                           | 7        | 6        | 7       | 8       | 5       | 7       | 6       | 5         | 6       | 12      | 10      | 8       |
| Sr                             | 409      | 434      | 411     | 404     | 406     | 385     | 384     | 256       | 193     | 619     | 698     | 731     |
| * Ta                           | 1.79     | 1.93     | 1.41    | 1.86    | 2.03    | 1.75    | 1.86    | 1.47      | 1.13    | 3.26    | 2.93    | 2.65    |
| * Th                           | 2.06     | 2.16     | 2.01    | 2.01    | 1.89    | 1.80    | 1.82    | 4.69      | 5.45    | 2.01    | 1.94    | 2.34    |
| * U                            | 0.74     | 0.69     | 0.66    | 0.75    | 0.54    | 0.71    | 0.93    | 0.93      | 1.15    | 0.60    | 0.56    | 0.60    |
| * W                            | 395      | 441      | 337     | 390     | 425     | 397     | 376     | 248       | 137     | 826     | 691     | 620     |
| Y                              | 6        | 8        | 9       | 8       | 11      | 11      | 10      | 9         | 8       | 7       | 5       | 8       |
| * Zn                           | 163      | 143      | 139     | 153     | 109     | 112     | 125     | 117       | 135     | 59      | 54      | 61      |
| Zr                             | 125      | 99       | 103     | 105     | 108     | 107     | 123     | 148       | 185     | 92      | 91      | 102     |

TABLEAU 4 (suite)

| Echant.                        | AM-13   | AM-14   | AM-15     | AM-28    | AM-29   | AM-30   | AM-31   | AM-33   | AM-34    | AM-35   | AM-37   | AM-38   |
|--------------------------------|---------|---------|-----------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| Granulo.                       | GRES FF | GRES FF | GRES FF-S | GRES F-M | GRES FF | SILT    | GRES M. | GRES M. | GRES M-F | GRES FF | GRES M. | GRES G. |
| Lits                           | (06-B)  | (06-B)  | (06-B)    | (101-A)  | (101-A) | (101-A) | (104-A) | (105)   | (105)    | (105)   | (114)   | (115)   |
| Classe                         | 1       | 1       | 1         | 1        | 1       | 1       | 1       | 1       | 1        | 1       | 2       | 2       |
| (%)                            |         |         |           |          |         |         |         |         |          |         |         |         |
| SiO <sub>2</sub>               | 67.34   | 67.85   | 62.21     | 67.54    | 63.95   | 72.55   | 70.10   | 70.08   | 69.83    | 57.65   | 62.70   | 58.60   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17.85   | 16.58   | 19.26     | 16.97    | 18.45   | 14.30   | 15.62   | 16.33   | 16.59    | 22.32   | 17.91   | 19.16   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.87    | 2.44    | 5.13      | 2.70     | 4.49    | 2.91    | 2.38    | 2.63    | 2.37     | 5.79    | 4.70    | 6.50    |
| * Na <sub>2</sub> O            | 5.06    | 5.68    | 4.53      | 5.72     | 4.22    | 4.50    | 5.98    | 4.96    | 5.37     | 2.31    | 5.08    | 4.38    |
| K <sub>2</sub> O               | 2.26    | 1.67    | 2.55      | 1.45     | 2.24    | 1.87    | 1.43    | 1.48    | 1.54     | 4.10    | 2.26    | 1.57    |
| CaO                            | 2.95    | 4.26    | 3.38      | 4.21     | 4.10    | 2.37    | 3.26    | 3.04    | 2.91     | 4.88    | 4.37    | 6.01    |
| MgO                            | 1.07    | 0.83    | 2.11      | 0.78     | 1.71    | 0.89    | 0.72    | 0.89    | 0.84     | 2.17    | 2.26    | 2.92    |
| MnO                            | 0.06    | 0.04    | 0.08      | 0.05     | 0.07    | 0.05    | 0.05    | 0.05    | 0.05     | 0.08    | 0.08    | 0.11    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.43    | 0.50    | 0.53      | 0.46     | 0.52    | 0.37    | 0.36    | 0.44    | 0.39     | 0.55    | 0.46    | 0.55    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.12    | 0.15    | 0.21      | 0.12     | 0.24    | 0.19    | 0.09    | 0.10    | 0.11     | 0.15    | 0.18    | 0.20    |
| Total                          | 100.00  | 100.00  | 100.00    | 100.00   | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00   | 100.00  | 100.00  | 100.00  |
| S                              | 0.05    | 0.03    | 0.04      | 0.07     | 0.09    | 0.04    | 0.11    | 0.10    | 0.03     | 0.09    | 0.01    | 0.01    |
| CO <sub>2</sub>                | 0.09    | 1.18    | 0.17      | 0.72     | 0.18    | 0.27    | 1.21    | 0.37    | 0.20     | 0.42    | 0.25    | 0.17    |
| PAF                            | 1.39    | 1.01    | 1.91      | 0.78     | 1.63    | 0.76    | 0.74    | 0.87    | 1.14     | 2.54    | 1.16    | 1.95    |
| F+M                            | 3.93    | 3.27    | 7.24      | 3.48     | 6.20    | 3.80    | 3.10    | 3.52    | 3.21     | 7.96    | 6.96    | 9.42    |
| N+C                            | 8.01    | 9.94    | 7.91      | 9.93     | 8.31    | 6.88    | 9.25    | 8.00    | 8.28     | 7.19    | 9.45    | 10.39   |
| (ppm)                          |         |         |           |          |         |         |         |         |          |         |         |         |
| * La                           | 21      | 26      | 29        | 21       | 28      | 27      | 17      | 20      | 21       | 48      | 26      | 35      |
| * Ce                           | 43      | 52      | 58        | 42       | 62      | 59      | 36      | 42      | 43       | 94      | 56      | 73      |
| * Nd                           | 24      | 29      | 32        | 24       | 37      | 31      | 20      | 23      | 23       | 50      | 31      | 44      |
| * Sm                           | 2.9     | 4.1     | 4.3       | 3.0      | 4.5     | 3.7     | 2.5     | 2.7     | 2.9      | 5.9     | 4.1     | 5.4     |
| * Eu                           | 1.0     | 1.2     | 1.4       | 1.1      | 1.3     | 1.1     | 0.9     | 1.0     | 1.0      | 1.6     | 1.3     | 1.5     |
| * Tb                           | 0.30    | 0.49    | 0.42      | 0.31     | 0.45    | 0.39    | 0.29    | 0.27    | 0.30     | 0.53    | 0.41    | 0.53    |
| * Yb                           | 0.75    | 0.95    | 0.89      | 0.66     | 0.90    | 0.73    | 0.59    | 0.61    | 0.61     | 1.27    | 1.11    | 1.44    |
| * Lu                           | 0.13    | 0.16    | 0.14      | 0.12     | 0.16    | 0.13    | 0.11    | 0.10    | 0.10     | 0.22    | 0.17    | 0.25    |
| * As                           | 5       | 4       | 1         | 4        | 2       | 4       | 4       | 2       | 5        | 9       | 2       | 5       |
| Ba                             | 513     | 357     | 598       | 469      | 774     | 574     | 449     | 464     | 526      | 1321    | 1709    | 858     |
| * Co                           | 43      | 42      | 23        | 7        | 9       | 7       | 8       | 7       | 7        | 12      | 10      | 16      |
| * Cr                           | 26      | 29      | 27        | 19       | 22      | 14      | 24      | 26      | 22       | 46      | 40      | 47      |
| * Cs                           | 1       | 1       | 2         | 1        | 2       | 1       | 2       | 2       | 2        | 3       | 1       | 2       |
| * Hf                           | 3.9     | 4.7     | 4.9       | 2.7      | 4.5     | 3.1     | 2.3     | 2.4     | 2.3      | 4.7     | 3.0     | 4.0     |
| Nb                             | 5       | 5       | 7         | n.d.     | n.d.    | 5       | 5       | n.d.    | n.d.     | n.d.    | n.d.    | 5       |
| Ni                             | 12      | 9       | 18        | 24       | 21      | 19      | 13      | 24      | 11       | 26      | 26      | 19      |
| Rb                             | 52      | 38      | 59        | 29       | 51      | 38      | 38      | 39      | 40       | 109     | 46      | 31      |
| * Sb                           | 0.14    | 0.17    | 0.15      | 0.26     | 0.31    | 0.10    | 0.17    | 0.22    | 0.25     | 0.46    | 0.14    | 0.13    |
| * Sc                           | 7.21    | 7.05    | 8.52      | 6.12     | 7.67    | 5.20    | 5.32    | 5.45    | 5.43     | 11.59   | 7.73    | 9.31    |
| * Se                           | 9       | 10      | 6         | 2        | 2       | 1       | 2       | n.d.    | 1        | 4       | 1       | 2       |
| Sr                             | 703     | 700     | 737       | 786      | 820     | 496     | 509     | 686     | 634      | 1079    | 1524    | 1437    |
| * Ta                           | 1.73    | 2.39    | 1.01      | 0.25     | 0.47    | 0.27    | 0.29    | 0.36    | 0.22     | 0.46    | 0.43    | 0.67    |
| * Th                           | 2.31    | 2.02    | 3.95      | 1.85     | 3.52    | 3.57    | 2.19    | 2.10    | 2.00     | 6.90    | 2.85    | 4.35    |
| * U                            | 0.55    | 0.58    | 1.29      | 0.55     | 1.34    | 0.90    | 0.64    | 0.61    | 0.57     | 2.09    | 1.06    | 1.15    |
| * W                            | 443     | 545     | 227       | 17       | 16      | 10      | 16      | 6       | 5        | 4       | 18      | 27      |
| Y                              | 8       | 10      | 11        | 10       | 12      | 11      | 8       | 8       | 9        | 16      | 14      | 18      |
| * Zn                           | 61      | 50      | 74        | 106      | 52      | 65      | 112     | 34      | 21       | 74      | 64      | 72      |
| Zr                             | 118     | 125     | 159       | 129      | 171     | 139     | 110     | 123     | 120      | 201     | 146     | 170     |

TABLEAU 4 (suite)

| # Echant.                      | AM-39  | AM-40   | AM-41  | AM-46   | AM-47   | AM-48   | AM-49   | AM-50   | AM-51   | AM-52   | AM-54   | AM-55    |
|--------------------------------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Granulo.                       | SILT   | GRES G. | SILT   | GRES M. | GRES M. | SILT    | GRES FF | GRES F. | GRES F. | GRES F. | GRES F. | GRES F-M |
| Lits                           | (115)  | (116)   | (116)  | (165-1) | (161-5) | (118-1) | (118-1) | (142-1) | (142-1) | (142-1) | (142-1) | (148-3)  |
| Classe (%)                     | 2      | 2       | 2      | 2       | 2       | 2       | 2       | 2       | 2       | 2       | 2       | 2        |
| SiO <sub>2</sub>               | 69.40  | 64.29   | 69.29  | 64.67   | 66.59   | 55.64   | 58.62   | 59.50   | 57.20   | 62.90   | 69.43   | 59.55    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.51  | 17.81   | 16.95  | 17.64   | 16.76   | 19.60   | 18.89   | 19.51   | 19.75   | 18.34   | 15.63   | 18.14    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.83   | 4.43    | 1.75   | 4.44    | 4.31    | 7.29    | 6.60    | 5.68    | 6.69    | 4.41    | 3.23    | 6.65     |
| * Na <sub>2</sub> O            | 2.87   | 6.16    | 6.25   | 5.43    | 5.45    | 2.53    | 4.58    | 3.80    | 3.44    | 3.79    | 3.81    | 4.03     |
| K <sub>2</sub> O               | 3.17   | 1.05    | 1.94   | 1.38    | 1.09    | 2.11    | 1.33    | 1.93    | 2.26    | 1.94    | 1.34    | 1.75     |
| CaO                            | 3.28   | 3.53    | 2.56   | 4.32    | 3.74    | 9.69    | 6.43    | 5.81    | 6.17    | 5.64    | 4.31    | 5.78     |
| MgO                            | 1.44   | 2.05    | 0.68   | 1.31    | 1.20    | 1.65    | 2.42    | 3.00    | 3.62    | 2.11    | 1.52    | 2.95     |
| MnO                            | 0.05   | 0.07    | 0.03   | 0.08    | 0.07    | 0.09    | 0.10    | 0.08    | 0.09    | 0.06    | 0.05    | 0.11     |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.31   | 0.50    | 0.35   | 0.59    | 0.64    | 0.87    | 0.74    | 0.53    | 0.60    | 0.58    | 0.44    | 0.76     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.14   | 0.12    | 0.20   | 0.14    | 0.15    | 0.54    | 0.28    | 0.15    | 0.17    | 0.22    | 0.13    | 0.28     |
| Total                          | 100.00 | 100.00  | 100.00 | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00   |
| S                              | 0.01   | 0.00    | 0.01   | 0.08    | 0.71    | 0.45    | 0.15    | 0.02    | 0.03    | 0.06    | 0.01    | 0.03     |
| CO <sub>2</sub>                | 0.01   | 0.17    | 0.01   | 1.14    | 0.40    | 0.44    | 0.30    | 1.95    | 0.34    | 0.23    | 0.29    | 0.16     |
| PAF                            | 1.52   | 1.33    | 0.82   | 1.01    | 0.30    | 1.44    | 1.62    | -0.34   | 1.43    | 1.06    | 0.41    | 1.73     |
| F+M                            | 4.27   | 6.48    | 2.43   | 5.75    | 5.51    | 8.93    | 9.03    | 8.68    | 10.31   | 6.52    | 4.86    | 9.59     |
| N+C                            | 6.15   | 9.68    | 8.81   | 9.75    | 9.19    | 12.22   | 11.01   | 9.61    | 9.62    | 9.43    | 8.12    | 9.81     |
| (ppm)                          |        |         |        |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| * La                           | 31     | 29      | 30     | 24      | 25      | 59      | 32      | 21      | 23      | 33      | 23      | 34       |
| * Ce                           | 65     | 59      | 70     | 47      | 49      | 124     | 68      | 42      | 47      | 74      | 50      | 74       |
| * Nd                           | 35     | 31      | 40     | 28      | 29      | 71      | 42      | 28      | 31      | 39      | 27      | 42       |
| * Sm                           | 3.9    | 3.8     | 4.7    | 3.1     | 3.3     | 9.1     | 5.1     | 3.3     | 4.0     | 4.4     | 3.2     | 5.4      |
| * Eu                           | 0.9    | 1.1     | 1.5    | 1.1     | 1.1     | 2.5     | 1.7     | 1.2     | 1.3     | 1.4     | 1.0     | 1.7      |
| * Tb                           | 0.34   | 0.37    | 0.47   | 0.30    | 0.32    | 0.90    | 0.52    | 0.34    | 0.49    | 0.42    | 0.32    | 0.51     |
| * Yb                           | 0.85   | 0.92    | 1.03   | 0.61    | 0.61    | 1.73    | 0.91    | 0.67    | 0.90    | 1.01    | 0.67    | 1.00     |
| * Lu                           | 0.17   | 0.16    | 0.18   | 0.11    | 0.10    | 0.30    | 0.16    | 0.12    | 0.14    | 0.16    | 0.12    | 0.18     |
| * As                           | 4      | 3       | 1      | 7       | 4       | 3       | 2       | 1       | 1       | 1       | 1       | <1       |
| Ba                             | 1713   | 726     | 1039   | 607     | 358     | 1110    | 745     | 564     | 683     | 585     | 496     | 615      |
| * Co                           | 6      | 11      | 3      | 12      | 11      | 32      | 17      | 14      | 16      | 14      | 10      | 13       |
| * Cr                           | 21     | 45      | 11     | 22      | 22      | 17      | 10      | 34      | 33      | 32      | 24      | 26       |
| * Cs                           | 2      | 1       | 1      | 1       | 1       | 1       | 1       | 3       | 3       | 2       | 2       | 1        |
| * Hf                           | 3.2    | 3.4     | 3.5    | 2.6     | 2.6     | 5.5     | 3.1     | 1.9     | 2.0     | 3.9     | 2.9     | 3.6      |
| Nb                             | 5      | 5       | n.d.   | n.d.    | n.d.    | 5       | 6       | n.d.    | n.d.    | n.d.    | 5       | 6        |
| Ni                             | 10     | 22      | n.d.   | 22      | 14      | 12      | 21      | 31      | 28      | 26      | 15      | 23       |
| Rb                             | 73     | 18      | 39     | 32      | 24      | 45      | 27      | 48      | 57      | 51      | 32      | 38       |
| * Sb                           | 0.08   | 0.07    | 0.10   | 0.19    | 0.18    | 0.18    | 0.12    | 0.13    | 0.15    | 0.12    | 0.10    | 0.09     |
| * Sc                           | 5.34   | 7.68    | 5.26   | 6.77    | 7.14    | 12.11   | 7.98    | 9.40    | 11.49   | 9.33    | 6.82    | 10.74    |
| * Se                           | 3      | 2       | 2      | 1       | 1       | 3       | 3       | 1       | 1       | 1       | 2       | 2        |
| Sr                             | 914    | 899     | 559    | 926     | 832     | 1595    | 1005    | 1027    | 1043    | 936     | 739     | 974      |
| * Ta                           | 0.63   | 0.36    | 0.31   | 0.23    | 0.33    | 0.61    | 0.36    | 0.20    | 0.18    | 0.29    | 0.33    | 0.39     |
| * Th                           | 4.94   | 3.03    | 3.86   | 2.26    | 2.47    | 5.52    | 3.07    | 1.26    | 1.42    | 3.85    | 3.37    | 3.58     |
| * U                            | 1.48   | 0.59    | 0.84   | 0.60    | 0.63    | 1.30    | 0.74    | 0.18    | 0.54    | 0.82    | 0.99    | 0.83     |
| * W                            | 4      | 12      | 18     | 38      | 24      | 34      | 25      | 8       | 37      | 22      | 20      | 3        |
| Y                              | 11     | 12      | 14     | 9       | 9       | 22      | 14      | 10      | 12      | 12      | 9       | 15       |
| * Zn                           | 54     | 64      | 25     | 69      | 50      | 54      | 90      | 94      | 107     | 61      | 47      | 94       |
| Zr                             | 135    | 145     | 155    | 124     | 131     | 233     | 149     | 105     | 108     | 160     | 130     | 167      |

TABLEAU 4 (suite)

| # Echant.                      | AM-56   | AM-57     | AM-58   | AM-59   | AM-60   | AM-61   | AM-62   | AM-63    | AM-16    | AM-17   | AM-18   | AM-19   |
|--------------------------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|
| Granulo.                       | GRES FF | GRES F-FF | SILT    | GRES F. | GRES FF | GRES F. | GRES F. | GRES F-M | GRES M-6 | GRES G. | GRES M. | GRES M. |
| Lits                           | (150-1) | (60-1)    | (129-1) | (129-1) | (129-1) | (133-1) | (128-B) | (82-1)   | (04-B)   | (04-B)  | (04-B)  | (04-B)  |
| Classe (%)                     | 2       | 3         | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3        | 3        | 3       | 3       | 3       |
| SiO <sub>2</sub>               | 64.38   | 54.80     | 58.06   | 53.79   | 55.03   | 58.92   | 56.31   | 63.67    | 59.86    | 59.41   | 58.93   | 59.64   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18.28   | 19.33     | 20.10   | 20.42   | 21.01   | 17.76   | 19.09   | 17.58    | 17.62    | 17.66   | 17.58   | 17.76   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.24    | 7.49      | 4.74    | 7.48    | 6.53    | 7.01    | 8.40    | 7.32     | 6.35     | 6.49    | 6.88    | 6.51    |
| * Na <sub>2</sub> O            | 4.05    | 4.42      | 7.05    | 5.81    | 6.27    | 4.65    | 5.43    | 2.57     | 4.04     | 3.89    | 3.83    | 4.02    |
| K <sub>2</sub> O               | 2.82    | 0.67      | 1.81    | 1.94    | 2.00    | 0.56    | 1.18    | 2.09     | 1.76     | 1.79    | 1.55    | 1.68    |
| CaO                            | 3.72    | 8.57      | 5.61    | 5.98    | 5.30    | 6.91    | 4.84    | 3.14     | 6.47     | 6.90    | 7.10    | 6.32    |
| MgO                            | 1.55    | 3.60      | 1.50    | 3.33    | 2.68    | 3.06    | 3.32    | 2.79     | 2.68     | 2.64    | 2.88    | 2.85    |
| MnO                            | 0.08    | 0.12      | 0.06    | 0.10    | 0.09    | 0.11    | 0.11    | 0.11     | 0.09     | 0.07    | 0.08    | 0.08    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.55    | 0.70      | 0.74    | 0.83    | 0.77    | 0.74    | 0.90    | 0.56     | 0.81     | 0.82    | 0.84    | 0.83    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.34    | 0.28      | 0.33    | 0.31    | 0.32    | 0.27    | 0.41    | 0.16     | 0.31     | 0.33    | 0.32    | 0.31    |
| Total                          | 100.00  | 100.00    | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00   | 100.00   | 100.00  | 100.00  | 100.00  |
| S                              | 0.33    | 0.06      | 0.17    | 0.07    | 0.09    | 0.04    | 0.03    | 0.01     | 0.10     | 0.05    | 0.11    | 0.08    |
| CO <sub>2</sub>                | 0.56    | 0.16      | 0.48    | 0.38    | 0.31    | 0.23    | 0.80    | 0.25     | 0.52     | 0.93    | 0.87    | 0.33    |
| PAF                            | 0.74    | 1.97      | 0.89    | 1.86    | 1.70    | 1.70    | 2.21    | 2.50     | 0.73     | 1.80    | 1.79    | 1.62    |
| F+M                            | 5.79    | 11.09     | 6.24    | 10.82   | 9.21    | 10.07   | 11.72   | 10.12    | 9.02     | 9.13    | 9.76    | 9.37    |
| N+C                            | 7.76    | 12.99     | 12.66   | 11.79   | 11.57   | 11.56   | 10.27   | 5.71     | 10.51    | 10.79   | 10.94   | 10.34   |
| (ppm)                          |         |           |         |         |         |         |         |          |          |         |         |         |
| * La                           | 39      | 22        | 37      | 38      | 39      | 30      | 44      | 16       | 35       | 36      | 36      | 35      |
| * Ce                           | 89      | 47        | 81      | 79      | 84      | 66      | 97      | 34       | 75       | 77      | 77      | 75      |
| * Nd                           | 51      | 29        | 48      | 48      | 46      | 41      | 60      | 19       | 44       | 44      | 44      | 44      |
| * Sm                           | 6.0     | 4.1       | 6.0     | 6.0     | 6.0     | 5.2     | 7.0     | 2.6      | 6.1      | 6.2     | 6.0     | 5.6     |
| * Eu                           | 1.6     | 1.3       | 1.8     | 1.9     | 1.8     | 1.5     | 2.2     | 0.8      | 1.9      | 1.9     | 1.7     | 1.8     |
| * Tb                           | 0.54    | 0.46      | 0.60    | 0.57    | 0.58    | 0.56    | 0.60    | 0.33     | 0.49     | 0.52    | 0.55    | 0.47    |
| * Yb                           | 1.15    | 1.08      | 1.07    | 1.02    | 1.15    | 0.95    | 0.93    | 0.95     | 0.81     | 0.94    | 1.00    | 0.80    |
| * Lu                           | 0.20    | 0.20      | 0.20    | 0.19    | 0.20    | 0.16    | 0.16    | 0.17     | 0.15     | 0.17    | 0.17    | 0.15    |
| * As                           | 1       | 1         | 1       | <1      | 1       | <1      | <1      | 1        | 1        | 1       | 1       | 1       |
| Ba                             | 927     | 442       | 733     | 725     | 763     | 317     | 746     | 284      | 354      | 304     | 327     | 418     |
| * Co                           | 14      | 19        | 17      | 21      | 21      | 18      | 22      | 19       | 38       | 34      | 44      | 49      |
| * Cr                           | 18      | 40        | 17      | 16      | 20      | 23      | 10      | 60       | 25       | 26      | 26      | 25      |
| * Cs                           | 2       | 1         | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       | 1        | 2        | 1       | 1       | 2       |
| * Hf                           | 4.1     | 2.5       | 3.8     | 3.6     | 4.1     | 3.3     | 3.3     | 2.6      | 4.0      | 3.9     | 4.1     | 3.9     |
| Nb                             | n.d.    | 7         | 5       | 6       | 5       | n.d.    | 7       | 6        | 8        | 6       | 5       | 7       |
| Ni                             | 28      | 38        | n.d.    | 22      | 16      | 26      | 11      | 42       | 20       | 24      | 24      | 20      |
| Rb                             | 63      | 11        | 37      | 40      | 45      | 10      | 34      | 77       | 51       | 41      | 38      | 53      |
| * Sb                           | 0.11    | 0.07      | 0.07    | 0.07    | 0.03    | 0.13    | 0.07    | 0.18     | 0.14     | 0.14    | 0.14    | 0.14    |
| * Sc                           | 9.08    | 11.92     | 10.44   | 11.43   | 10.35   | 11.12   | 10.11   | 13.07    | 9.48     | 9.73    | 9.86    | 9.37    |
| * Se                           | 2       | 2         | <1      | n.d.    | 2       | <1      | 1       | 3        | 9        | 7       | 8       | 9       |
| Sr                             | 702     | 798       | 823     | 873     | 841     | 861     | 846     | 291      | 1252     | 1360    | 1263    | 1213    |
| * Ta                           | 0.39    | 0.40      | 0.49    | 0.37    | 0.60    | 0.36    | 0.26    | 0.42     | 2.26     | 1.86    | 2.22    | 1.64    |
| * Th                           | 4.81    | 1.97      | 3.34    | 3.24    | 3.64    | 2.93    | 3.42    | 1.91     | 3.52     | 3.55    | 3.31    | 3.21    |
| * U                            | 1.11    | 0.45      | 0.62    | 0.74    | 0.68    | 0.75    | 0.61    | 0.51     | 0.71     | 0.74    | 0.70    | 0.77    |
| * W                            | 28      | 7         | 7       | 11      | 6       | 14      | 9       | 15       | 424      | 345     | 404     | 396     |
| Y                              | 15      | 15        | 14      | 14      | 14      | 13      | 15      | 11       | 12       | 13      | 12      | 12      |
| * Zn                           | 78      | 92        | 41      | 97      | 91      | 102     | 99      | 80       | 250      | 252     | 109     | 109     |
| Zr                             | 179     | 128       | 171     | 162     | 180     | 145     | 160     | 124      | 139      | 138     | 136     | 138     |

TABLEAU 4 (suite)

| # Echant.                      | AM-20             | AM-21             | AM-22             | AM-36            |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Granulo.                       | GRES F.<br>(04-A) | GRES F.<br>(04-A) | GRES F.<br>(04-A) | GRES F.<br>(113) |
| Lits                           | 3                 | 3                 | 3                 | 3                |
| Classe<br>(%)                  |                   |                   |                   |                  |
| SiO <sub>2</sub>               | 59.29             | 57.73             | 58.16             | 55.87            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17.79             | 17.83             | 17.59             | 17.86            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6.54              | 7.08              | 7.08              | 7.69             |
| * Na <sub>2</sub> O            | 4.21              | 4.05              | 4.07              | 4.79             |
| K <sub>2</sub> O               | 1.56              | 1.33              | 1.37              | 1.22             |
| CaO                            | 6.67              | 7.84              | 7.41              | 7.92             |
| MgO                            | 2.69              | 2.90              | 2.97              | 3.31             |
| MnO                            | 0.11              | 0.09              | 0.11              | 0.11             |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.81              | 0.84              | 0.89              | 0.89             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.33              | 0.32              | 0.34              | 0.33             |
| Total                          | 100.00            | 100.00            | 100.00            | 100.00           |
| S                              | 0.11              | 0.07              | 0.03              | 0.02             |
| CO <sub>2</sub>                | 0.53              | 0.38              | 0.31              | 0.23             |
| PAF                            | 1.57              | 1.75              | 1.94              | 1.31             |
| F+M                            | 9.23              | 9.97              | 10.05             | 11.00            |
| N+C                            | 10.88             | 11.89             | 11.48             | 12.71            |
| (ppm)                          |                   |                   |                   |                  |
| * La                           | 35                | 35                | 35                | 36               |
| * Ce                           | 76                | 75                | 76                | 79               |
| * Nd                           | 47                | 44                | 45                | 53               |
| * Sm                           | 6.1               | 6.2               | 6.1               | 6.7              |
| * Eu                           | 1.7               | 1.9               | 1.7               | 2.1              |
| * Tb                           | 0.47              | 0.55              | 0.42              | 0.67             |
| * Yb                           | 0.88              | 0.84              | 0.84              | 1.11             |
| * Lu                           | 0.15              | 0.15              | 0.15              | 0.18             |
| * As                           | 1                 | 2                 | 1                 | 1                |
| Ba                             | 436               | 347               | 429               | 518              |
| * Co                           | 43                | 37                | 35                | 20               |
| * Cr                           | 24                | 24                | 24                | 43               |
| * Cs                           | 2                 | 2                 | 2                 | 1                |
| * Hf                           | 4.1               | 4.1               | 3.9               | 3.4              |
| Nb                             | 7                 | 8                 | 6                 | 7                |
| Ni                             | 20                | 19                | 22                | 57               |
| Rb                             | 57                | 49                | 51                | 33               |
| * Sb                           | 0.18              | 0.15              | 0.12              | 0.09             |
| * Sc                           | 9.26              | 9.57              | 9.24              | 12.48            |
| * Se                           | 9                 | 7                 | 5                 | 1                |
| Sr                             | 1259              | 1329              | 1190              | 1061             |
| * Ta                           | 2.34              | 2.21              | 1.79              | 0.35             |
| * Th                           | 3.61              | 3.43              | 3.37              | 3.21             |
| * U                            | 0.89              | 1.04              | 0.73              | 0.66             |
| * W                            | 454               | 402               | 331               | 62               |
| Y                              | 13                | 12                | 11                | 16               |
| * Zn                           | 101               | 227               | 235               | 104              |
| Zr                             | 135               | 143               | 134               | 153              |

## LEGENDE:

\* Données obtenues par activation neutronique,  
les autres données ont été obtenues par fluorescence-X.

PAF = perte au feu

F+M = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO

N+C = Na<sub>2</sub>O+CaO

<1 = plus petit que 1

n.d.= non détecté

séparés en trois groupes principaux, soit le groupe felsique qui réuni les éléments normalement associés aux minéraux felsiques, le groupe mafique qui réuni les éléments normalement associés aux minéraux mafiques, et le groupe des éléments des terres-rares (REE) qui réuni les éléments normalement associés aux minéraux lourds. Les REE sont traités comme un groupe à part mais se comportent toutefois comme ceux du groupe mafique.

Sur les diagrammes de ce chapitre, des minéraux ont été positionnés en prenant une moyenne des compositions publiées dans Deer et al. (1962), car il n'y a aucune analyse de microsonde qui a été effectuée sur les minéraux des échantillons étudiés. Ces compositions moyennes sont présentées à l'annexe 3. La composition moyenne des FVF a été obtenue en prenant la composition de certains dykes felsiques de la région de Chibougamau (annexe 3). Ces dykes sont présumés être la source des grès volcanogéniques du Bordeleau (Ludden et al., 1984).

### 3.1.1-Le groupe felsique

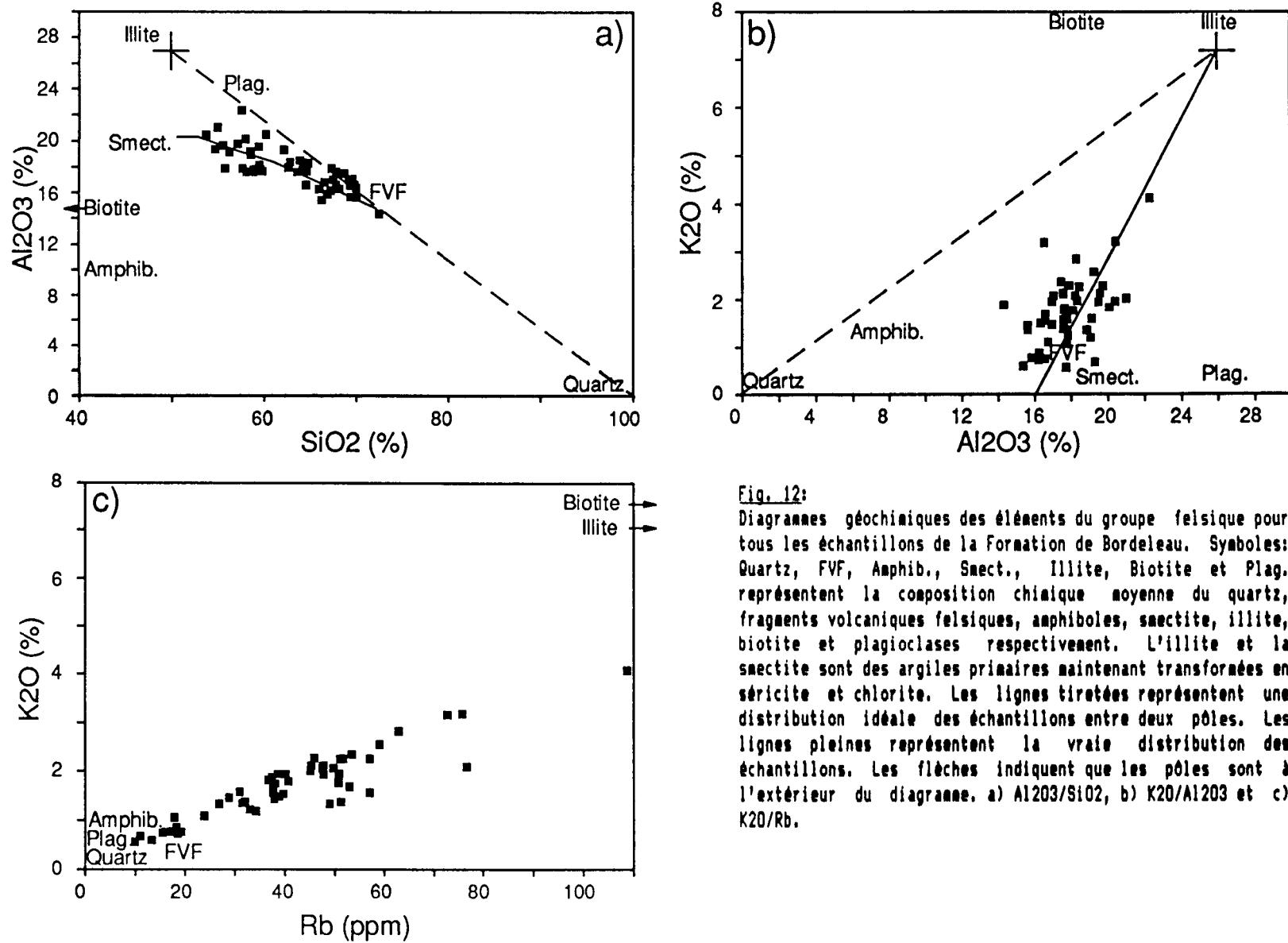
Ce groupe réuni les éléments suivants: K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ba, Rb, Cs, Th, U, Zr et Y. Ceux-ci montrent généralement une bonne corrélation positive entre-eux. Cependant, les éléments Ba, Rb et Cs ont une affinité particulière entre-eux et seront donc traités ensemble. Il n'y aura donc qu'un seul des trois éléments représenté sur les diagrammes, mais sous-entendant que les deux autres se comportent de la

même façon. Il en va de même pour les éléments Zr, Th, U et Y (Annexe 2). L'élément Y se retrouve dans les trois groupes (felsique, mafique et REE). La raison de sa présence dans le groupe felsique s'explique par sa corrélation avec le Th et le Zr (0.5494 et 0.7625 respectivement), et aussi avec le Al2O3 (0.5441) car il ne se corrèle pas avec les autres éléments de ce groupe (annexe 2).

Les corrélations Al2O3 versus SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O versus Al2O<sub>3</sub>, et K<sub>2</sub>O versus Rb ont été analysées (Fig. 12), afin d'expliquer le contrôle qu'exercent certains minéraux sur les éléments du groupe felsique. De tels travaux ont déjà été effectués par Argast et Donnelly (1987) sur des graywackes d'Amérique du Nord et par Sawyer et Korneliussen (1989) sur des turbidites silicoclastiques de Rombak Window, en Norvège.

Ainsi, sur le diagramme a) de la figure 12, on peut observer que les échantillons se situent dans un champ contrôlé d'une part par un pôle qui regroupe le quartz et les FVF, d'autre part par un pôle regroupant les plagioclases et l'illite (maintenant transformée en séricite lors du métamorphisme régional) et finalement par un troisième pôle regroupant la smectite (maintenant transformée en chlorite lors du métamorphisme régional), la biotite et les amphiboles.

Si la distribution du Al2O<sub>3</sub> et du SiO<sub>2</sub> n'avait été que bipolaire, c'est-à-dire contrôlée seulement par le quartz et l'illite par exemple, tous les échantillons se seraient



**Fig. 12:**  
Diagrammes géochimiques des éléments du groupe felsique pour tous les échantillons de la Formation de Bordeleau. Symboles: Quartz, FVF, Amphib., Smect., Illite, Biotite et Plag. représentent la composition chimique moyenne du quartz, fragments volcaniques felsiques, amphiboles, smectite, illite, biotite et plagioclases respectivement. L'illite et la smectite sont des argiles primaires maintenant transformées en séricite et chlorite. Les lignes tiretées représentent une distribution idéale des échantillons entre deux pôles. Les lignes pleines représentent la vraie distribution des échantillons. Les flèches indiquent que les pôles sont à l'extérieur du diagramme. a)  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ , b)  $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  et c)  $\text{K}_2\text{O}/\text{Rb}$ .

positionnés sur la ligne qui relie ces deux pôles (Argast et Donnelly, 1987). Cependant, ce n'est pas le cas pour les grès de la Formation de Bordeleau. D'autres constituants minéralogiques influencent la distribution du Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et du SiO<sub>2</sub>. Les principaux sont la smectite, les amphiboles et la biotite. Ces constituants font dévier les échantillons vers leurs pôles respectifs. Cependant, la smectite, les amphiboles et la biotite ne font pas partie du groupe felsique. Leur influence sur les diagrammes du groupe felsique est causée par le fait que l'aluminium fait partie à la fois du groupe felsique et du groupe mafique.

Il y a deux autres constituants qui ont aussi influencé la distribution du Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et du SiO<sub>2</sub>. Ce sont les plagioclases et les FVF. Les FVF, qui sont présumés correspondre à la source des grès du Bordeleau, sont en effet positionnés à l'origine d'une ligne qui passe par la moyenne des échantillons (ligne pleine). Cette ligne relie les pôles FVF et smectite (Fig. 12a). Donc la distribution des oxydes Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et SiO<sub>2</sub> dans les échantillons de grès a été contrôlée par la majorité des minéraux. On peut cependant noter que le plus grand contrôle du Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se fait par les micas (séricite et chlorite), cependant que le SiO<sub>2</sub> est plutôt contrôlé par les FVF et le quartz. Les autres minéraux tels amphiboles et biotite jouent un rôle plutôt secondaire sur la distribution de ces oxydes. Ainsi, en général, plus le Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> augmente, plus le SiO<sub>2</sub> diminue. Ceci correspond bien à la pétrographie,

où il y a généralement augmentation de la séricite avec une diminution du quartz.

Sur le diagramme 12b), le principal minéral qui influence la distribution du potassium est la séricite (illite), alors que plusieurs autres minéraux influencent plutôt la distribution de l'aluminium et éparpillent les échantillons de part et d'autre de la ligne FVF-illite. Le potassium est donc contrôlé par un système à deux composantes, les FVF et la séricite. Encore ici, on voit que les grès de la Formation de Bordeleau ne suivent pas la ligne Quartz-illite mais plutôt la ligne FVF-illite.

Le diagramme 12c) représente le potassium en fonction de l'élément mineur rubidium. Le barium et le césum montrent la même distribution que le rubidium. Ces éléments se substituent souvent au potassium dans les minéraux comme la séricite et la biotite (Deer et al., 1962, v.3, pp.13 et 61) montrant ainsi une très bonne corrélation avec la K2O. Cependant, ils ne se corrèlent pas avec l'aluminium (annexe 2), et les autres constituants minéralogiques ne montrent pas d'influence sur leur distribution, ce qui appuie le fait que ces éléments ne sont contrôlés que par les micas potassiques.

La matrice de corrélation révèle que le K2O a une affinité avec Th et U. De même le Al2O3 se corrèle bien avec Zr et Y (annexe 2). Ces éléments traces entrent surtout dans la composition du zircon et du sphène (Deer et al., 1962, v.1, pp. 61 et 70), et aussi dans l'apatite (Deer et al.,

1962, v.5, p.326). Ces trois minéraux accessoires peuvent contenir du Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et du K<sub>2</sub>O, mais en très faible proportion (Deer et al., 1962, v.1, pp.62 et 72 et v.5, p.325). C'est pourquoi les valeurs de corrélation de ces éléments traces avec les oxydes majeurs du groupe felsique ne sont pas très élevées (0.6333 et moins). Cela signifie qu'ils ne font pas partie d'un seul et même minéral. Des analyses de tous ces minéraux à la microsonde révèleraient d'avantage la distribution des éléments Zr, Th, U et Y. Cependant, selon la matrice de corrélation, il est possible de déterminer que ces éléments traces entrent dans la composition du zircon, car ils ont de bons facteurs de corrélation avec Zr, mais ils se corrèlent aussi bien avec le phosphore qui est contenu dans l'apatite (annexe 2).

La relation de ces éléments traces avec les oxydes majeurs du groupe felsique peut s'expliquer par la présence du zircon qui est généralement en inclusion dans les micas potassiques, surtout la biotite. La très faible valeur de corrélation du K et du Zr est probablement due au fait que la biotite est en proportion beaucoup plus faible que la séricite, qui elle ne contient peu ou pas de zircon en inclusion. Ceci contribue à diminuer la valeur de corrélation entre le K<sub>2</sub>O et le Zr.

Donc, c'est surtout la séricite qui a joué un rôle important dans la distribution des éléments du groupe felsique. Ainsi, l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a été contrôlé surtout par la

séricite (illite), le SiO<sub>2</sub> par les FVF et le quartz, les éléments K<sub>2</sub>O, Rb, Ba et Cs ont été contrôlés principalement par la séricite et la biotite, et les éléments Th, U, Zr et Y ont été contrôlés en partie par le zircon qui se trouve en inclusion dans la biotite.

### 3.1.2-Le groupe mafique

Ce groupe réuni les oxydes suivants: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO et TiO<sub>2</sub>. Il regroupe aussi comme éléments traces le Ni, Sc, Sr et Y. Les oxydes Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO et TiO<sub>2</sub> ont une très bonne corrélation entre-eux (annexe 2) et seront traités ensemble ainsi que les éléments Sc, Sr et Y. Tous ces oxydes et éléments entrent dans la composition des amphiboles (Deer et al., 1962, v.2). Leur distribution dépendra donc surtout de la proportion de ces minéraux dans les échantillons.

Pour ce groupe, les diagrammes CaO versus Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versus Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Sc versus Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ont été analysés. Sur le diagramme 13a, on remarque que les échantillons se distribuent autour d'une ligne qui relie les pôles FVF et amphiboles. Donc, le principal minéral qui contrôle la distribution du CaO et du Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est l'amphibole. Cependant, la biotite et la chlorite (smectite) sont des minéraux qui se retrouvent surtout en altération des amphiboles dans les grès du Bordeleau. Donc, ces minéraux contrôlent aussi, de façon plus secondaire, la distribution des oxydes ferromagnésiens (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO, TiO<sub>2</sub>). Ils font dévier quelques échantillons vers le bas de la ligne FVF-amphiboles. Il y a

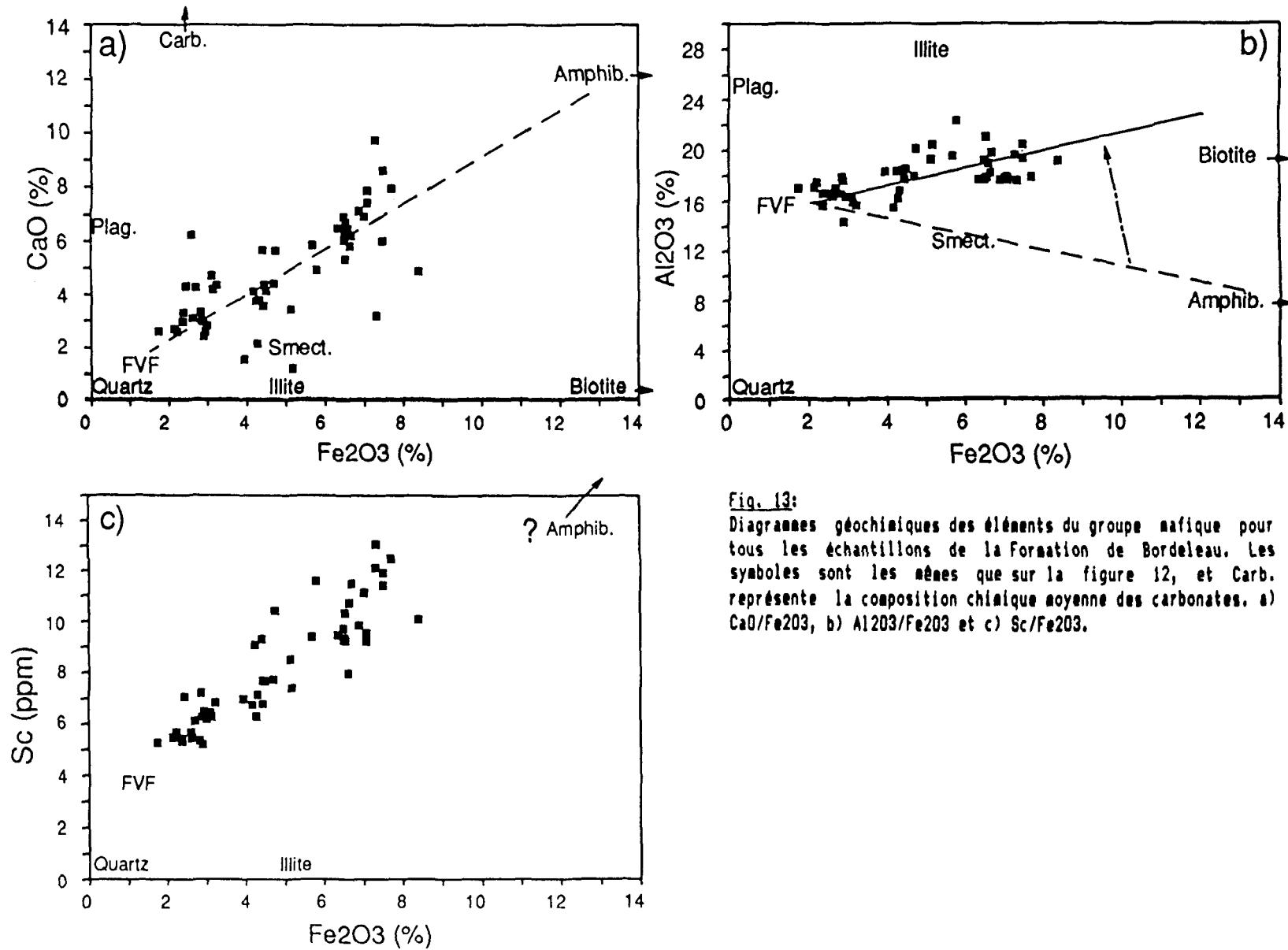


Fig. 13:  
Diagrammes géochimiques des éléments du groupe mafique pour tous les échantillons de la Formation de Bordeleau. Les symboles sont les mêmes que sur la figure 12, et Carb. représente la composition chimique moyenne des carbonates. a) CaO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et c) Sc/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

d'autres minéraux qui contrôlent surtout, cette fois-ci, la distribution du CaO, ce sont les plagioclases et les carbonates. Cette influence, lorsque la roche est carbonatisée, explique la distribution quelque peu aléatoire des valeurs sur ce diagramme, surtout en ce qui concerne les valeurs du CaO qui varient de 1 à 10%, et qui éparpillent les échantillons vers le haut de la ligne FVF-amphiboles.

Le diagramme de la figure 13b) fait intervenir le Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, aussi présent dans le groupe felsique. On voit clairement que les échantillons sont déviés du pôle amphiboles par la présence de l'illite et des plagioclases. Ainsi, ces minéraux felsiques jouent aussi un rôle sur la distribution des éléments du groupe mafique, par l'intermédiaire du Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ce sont donc les minéraux tels les amphiboles, la chlorite et la biotite qui contrôlent le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mais ceux-ci ont une plus faible influence sur le Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Bien que les amphiboles ne soient pas présentes dans tous les échantillons (Tableau 1), la distribution linéaire des éléments du groupe mafique sur les diagrammes suggère que les amas chloriteux pourraient bien être des fragments volcaniques mafiques riches en minéraux ferromagnésiens. Ils auraient donc une influence semblable à celle des amphiboles.

Les éléments mineurs du groupe mafique se corrèlent assez bien avec le Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et le CaO mais surtout avec le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO, TiO<sub>2</sub>. Le diagramme 13c) montre bien cette

relation. Ces éléments mineurs (Sc, Ni, Sr, Y) sont surtout contrôlés par les amphiboles.

Donc les principaux minéraux qui contrôlent les éléments du groupe mafique sont surtout les amphiboles (avec la biotite et la chlorite) et de façon un peu plus secondaire les plagioclases et les carbonates.

### 3.1.3-Le groupe des REE

Les REE montrent une bonne corrélation avec les éléments suivants: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO, TiO<sub>2</sub>, Th, U, Zr, Y, Sc et Sr. Tous ces éléments entrent dans la composition soit des amphiboles, du zircon ou de l'apatite (Deer et al., 1962). Etant donné qu'une bonne partie de ces oxydes et éléments chimiques ont déjà été étudiés soit dans le groupe mafique ou dans le groupe felsique, les diagrammes Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versus La, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> versus La, Zr versus La et CaO versus Eu seulement seront utilisés pour expliquer le contrôle des minéraux sur les REE. Les diagrammes ne font intervenir que les REE légères représentées par le lanthane. Les REE moyennes et lourdes ont généralement le même comportement.

Sur le diagramme 14a), on remarque que la distribution des REE en fonction des éléments majeurs représentés par le fer est contrôlée principalement par les amphiboles. Les REE sont donc en partie contrôlées par un système à deux composantes majeures, dont les pôles sont les amphiboles et les FVF. Cependant, on remarque un certain étalement des échantillons de part et d'autre de la ligne FVF- amphiboles,

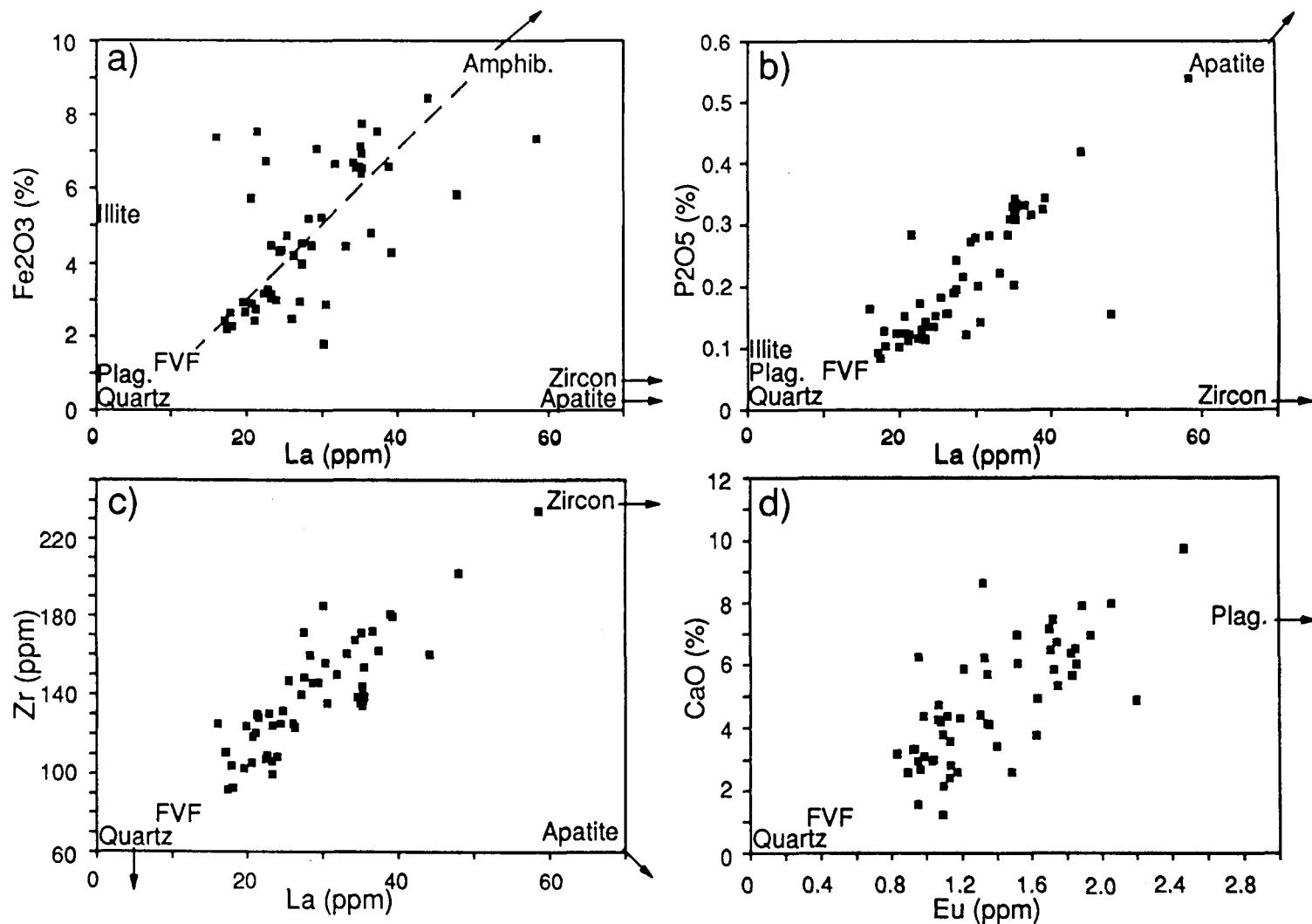


Fig.14:

Diagrammes géochimiques des éléments de groupe des REE pour tous les échantillons de la Formation de Bordeleau.  
Les symboles sont les mêmes que pour la figure 12. a) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/La, b) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/La, c) Zr/La et d) CaO/Eu.

selon que ces échantillons sont riches ou pauvres en apatite et zircon. Ces deux minéraux ont donc aussi influencé la distribution des REE. Cette influence s'observe sur les diagrammes b) et c) de la figure 14, et confirme l'importance des REE dans le fractionnement de l'apatite et du zircon.

Dans le groupe des REE, il y a l'europium qui a une affinité particulière avec le calcium et qui se retrouve très souvent associé aux plagioclases (Drake, 1976; Sun et Hanson, 1976). Cette corrélation est bien connue et ne fait pas exception pour les grès de la Formation de Bordeleau, (Fig. 14d).

Sur les diagrammes de cette première partie géochimique, les éléments du groupe felsique sont surtout contrôlés par un système à deux composantes, soit les FVF et le quartz, et la séricite. Ceux du groupe mafique sont contrôlés principalement par le système à deux composantes FVF-amphiboles. Pour les REE, ils font intervenir des minéraux accessoires tels l'apatite et le zircon, en plus des amphiboles et des plagioclases (pour le Eu).

### 3.2- Géochimie des classes de la Formation de Bordeleau

Afin de faire ressortir quelques particularités au sein de la formation, les échantillons ont été regroupés en classes distinctes géochimiquement. Ces classes géochimiques correspondent aux classes déterminées pétrographiquement, c'est-à-dire qu'elles regroupent exactement les mêmes coupes

que les classes pétrographiques. Ceci confirme le lien entre la composition pétrographique et la géochimie de ces roches. Sur le tableau 4, on peut voir la position verticale et latérale de ces lits dans la formation.

### 3.2.1-Le groupe felsique

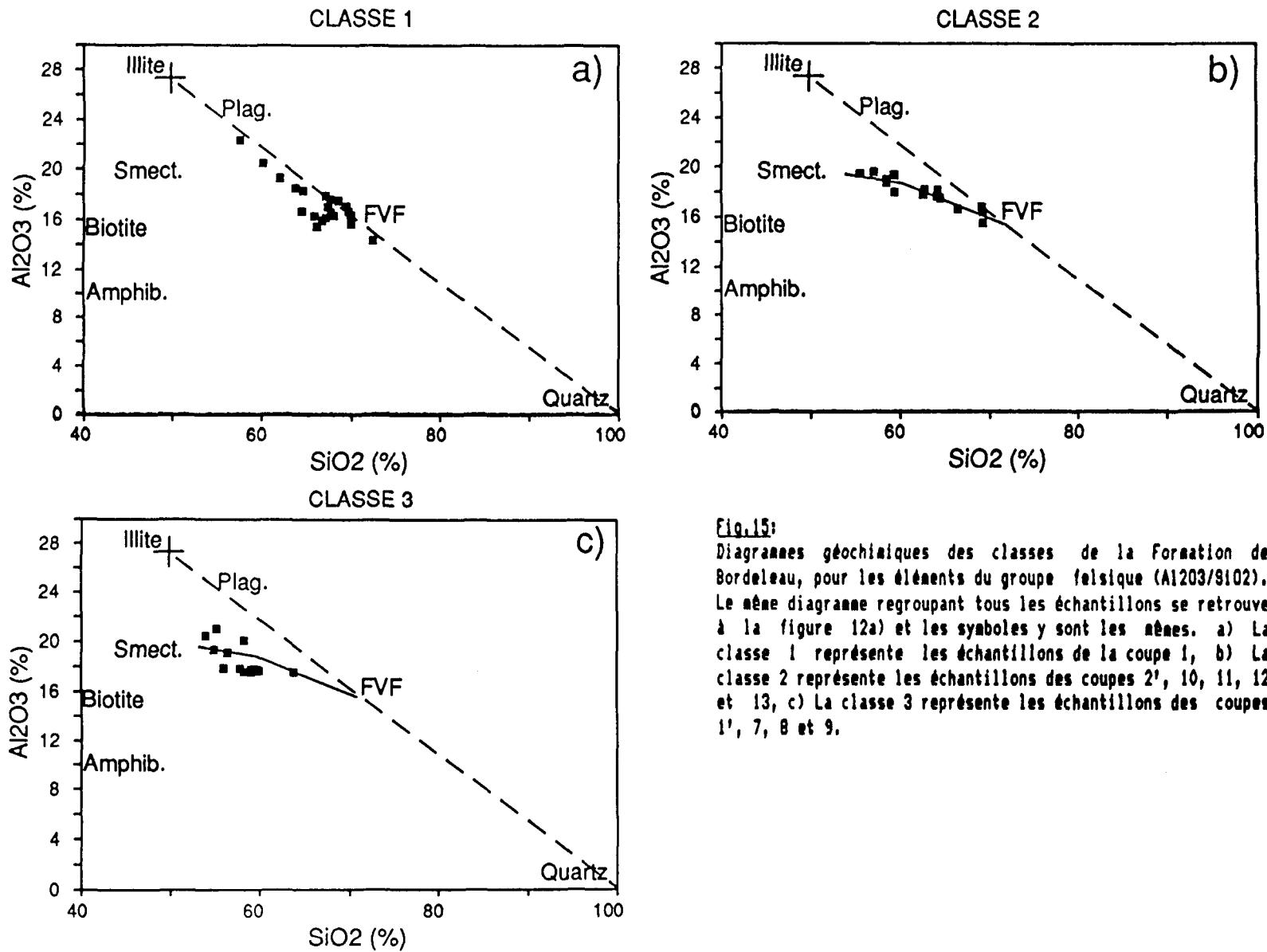
Le diagramme de la figure 12a) représente la composition en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et SiO<sub>2</sub> de tous les échantillons du Bordeleau. Les diagrammes de la figure 15 sont les mêmes mais les échantillons ont été séparés en classes. Sur le diagramme 15a), les échantillons de la classe 1 (coupe 1) sont peu influencés par le pôle amphiboles et en général, ils se distribuent principalement le long de la ligne Quartz-illite. Ces échantillons ne contiennent pas d'amphiboles mais ils contiennent des fragments volcaniques mafiques qui pourraient être responsables de l'étalement des valeurs de quelques échantillons. Les échantillons de cette coupe sont situés au sommet de la formation, dans sa partie Est (site I, Fig. 5 et tableau 4).

Sur le diagramme 15b), on peut observer que les échantillons de la classe 2 (coupes 2', 10, 11, 12 et 13) sont un peu plus influencés par les pôles smectite, biotite et amphiboles que les échantillons de la classe 1. Ceci est confirmé pétrographiquement. Les échantillons des coupes 2' et 12 contiennent des amphiboles, de la biotite ainsi que de la chlorite en quantité assez importante (tableau 1). Ils s'éparpillent plutôt sur une ligne qui relie les pôles FVF et

Tableau 5

| Echantillons : Lits : Coupes : |        |        | Classe 1 : (turbidites) | Classe 2 : (lits amalg.) | Classe 3 : (turbidites) | Position Stratigraphique : |
|--------------------------------|--------|--------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| :                              | :      | :      |                         |                          |                         |                            |
| : AM-01 à AM-09:               | 07     | 1      | X                       |                          |                         | sommet-Est                 |
| :                              | :      | :      |                         |                          |                         |                            |
| : AM-10 à AM-15:               | 06     | 1      | X                       |                          |                         | sommet-Est                 |
| :                              | :      | :      |                         |                          |                         |                            |
| : AM-33 à AM-35:               | 105    | 1      | X                       |                          |                         | sommet-Est                 |
| :                              | :      | :      |                         |                          |                         |                            |
| : AM-28 à AM-30:               | 101-A: | 1      | X                       |                          |                         | sommet-Est                 |
| :                              | :      | :      |                         |                          |                         |                            |
| : AM-37                        |        | 114    | 2'                      |                          | X                       | sommet-Est                 |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-38, AM-39                 |        | 115    | 2'                      |                          | X                       | sommet-Est                 |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-40, AM-41:                | 116    | 2'     |                         |                          | X                       | sommet-Est                 |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-46                        |        | 165-1: | 10                      |                          | X                       | sommet-Est                 |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-47                        |        | 161-5: | 10                      |                          | X                       | sommet-Est                 |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-48, AM-49:                | 118-1: | 11     |                         |                          | X                       | centre-Est                 |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-50 à AM-54:               | 142-1: | 12     |                         |                          | X                       | base-Est                   |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-55                        |        | 148-3: | 13                      |                          | X                       | base-Est                   |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-56                        |        | 150-1: | 13                      |                          | X                       | base-Est                   |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-16 à AM-22:               | 04     | 1'     |                         |                          | X                       | sommet-Est                 |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-36                        |        | 113:   | 1'                      |                          | X                       | sommet-Est                 |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-57                        |        | 60-1:  | 7                       |                          | X                       | centre-centre              |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-58 à AM-60:               | 129-1: | 8      |                         |                          | X                       | centre-centre              |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-61                        |        | 133-1: | 8                       |                          | X                       | centre-centre              |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-62                        |        | 128-B: | 8                       |                          | X                       | centre-centre              |
| :                              | :      | :      | :                       |                          |                         |                            |
| : AM-63                        |        | 82-1:  | 9                       |                          | X                       | centre-Ouest               |

Position stratigraphique: verticale - latérale (se référer aux figures 3, 5 et 6)



**Fig.15:**

Diagrammes géochimiques des classes de la Formation de Bordelau, pour les éléments du groupe felsique ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ). Le même diagramme regroupant tous les échantillons se retrouve à la figure 12a) et les symboles y sont les mêmes. a) La classe 1 représente les échantillons de la coupe 1, b) La classe 2 représente les échantillons des coupes 2', 10, 11, 12 et 13, c) La classe 3 représente les échantillons des coupes 1', 7, 8 et 9.

smectite. Les coupes de la classe 2 ne proviennent d'aucun niveau stratigraphique particulier dans la formation et sont assez distensées latéralement (site I, Fig. 5). Leurs échantillons ont un comportement intermédiaire entre ceux de la classe 1 et ceux de la classe 3.

Sur le diagramme 15c), on remarque un étalement des valeurs moins grand pour les échantillons de la classe 3 (coupes 1', 7, 8 et 9) que sur les autres diagrammes de la figure 15. Ils se retrouvent le long d'une ligne reliant les pôles smectite et FVF, mais sont plus près des pôles smectite, biotite et amphiboles que les échantillons des autres classes. Pétrographiquement, ce sont eux qui contiennent les plus fortes proportions d'amphiboles et de chlorite, et le moins de quartz et de FVF. Les coupes 7, 8 et 9 se retrouvent dans la partie centrale de la formation (sites II et III, Fig.6) et la coupe 1' est au sommet stratigraphique de la partie Est du Bordeleau (site I, Fig.5 et tableau 4).

### 3.2.2-Le groupe mafique

On retrouve les mêmes classes pour le groupe mafique que celles déjà définies dans le groupe felsique. Le diagramme a) de la figure 13 montre la composition en CaO et Fe2O3 de tous les échantillons du Bordeleau. La présence de carbonates dans les échantillons carbonatisés accroît la dispersion des valeurs. Tous les échantillons s'éparpillent autour de la ligne FVF-Amphiboles. Ceux de la classe 1

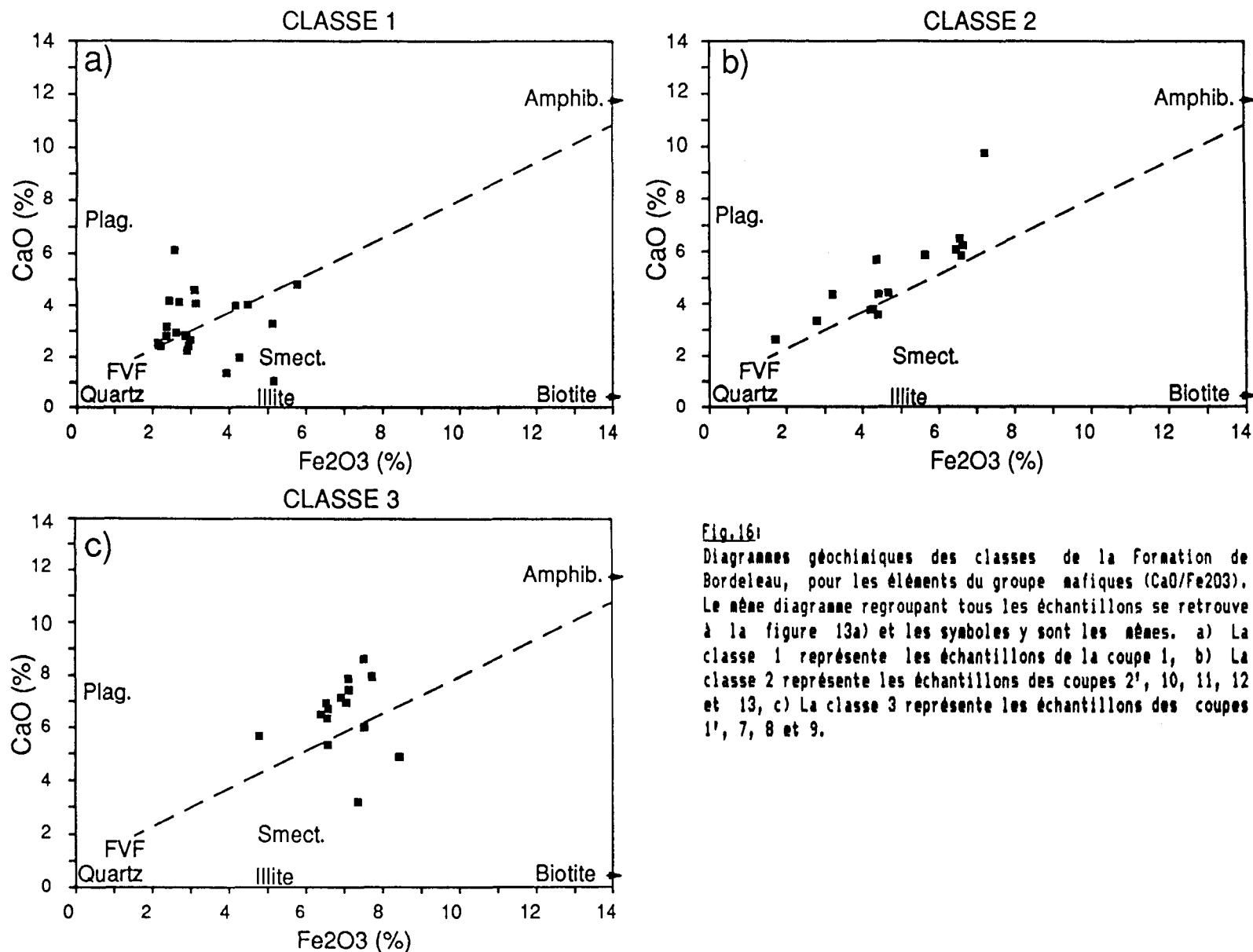


Fig.16:

Diagrammes géochimiques des classes de la Formation de Bordeleau, pour les éléments du groupe mafiques (CaO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Le même diagramme regroupant tous les échantillons se retrouve à la figure 13a) et les symboles y sont les mêmes. a) La classe 1 représente les échantillons de la coupe 1, b) La classe 2 représente les échantillons des coupes 2', 10, 11, 12 et 13, c) La classe 3 représente les échantillons des coupes 1', 7, 8 et 9.

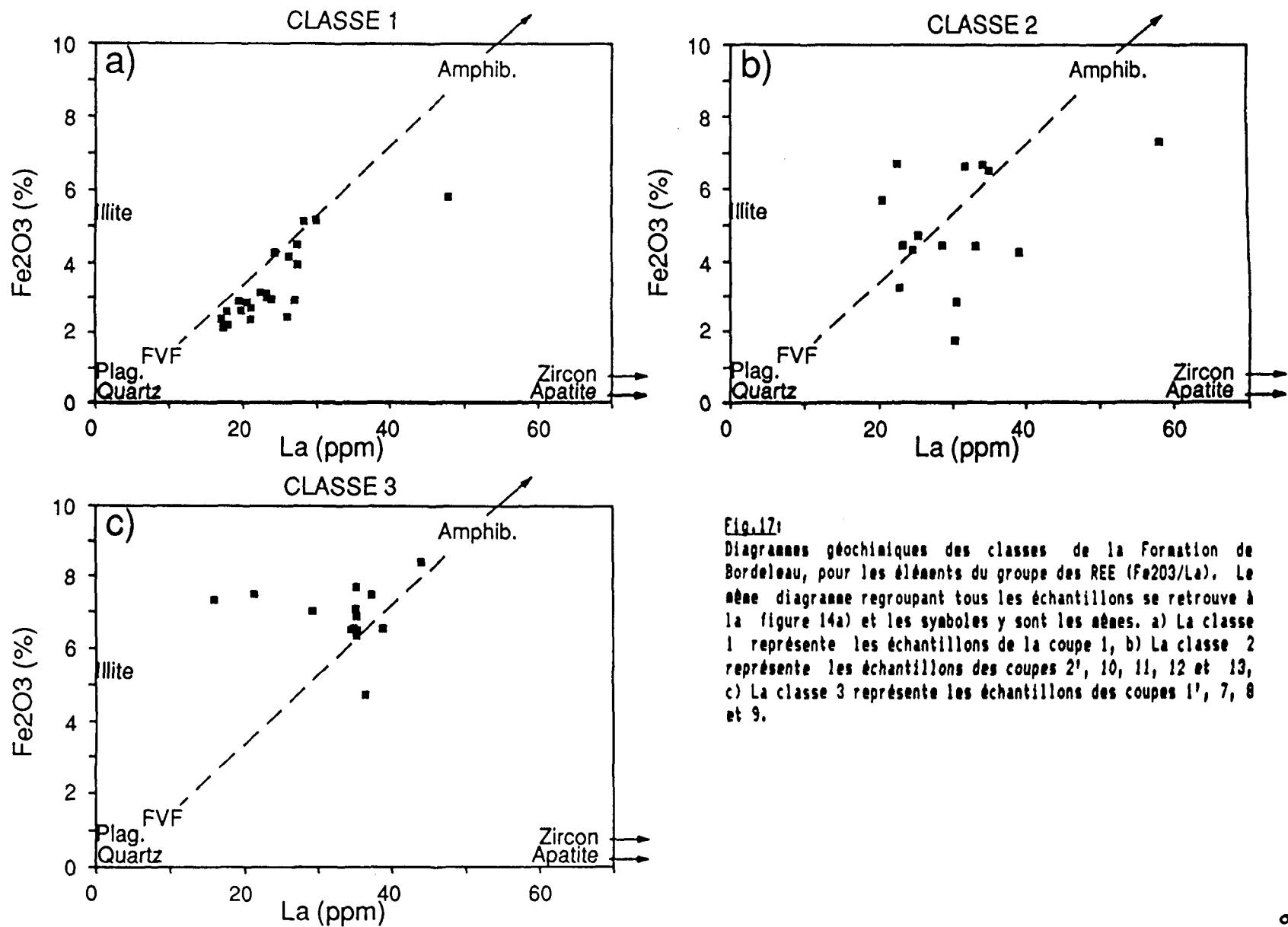
(diagramme 16a), qui sont dépourvus d'amphiboles, montrent un certain regroupement vers le pôle FVF. Sur le graphique 16c), les échantillons de la classe 3 se regroupent plus près du pôle amphiboles et s'éloignent du pôle quartz, ce qui s'explique par leur composition minéralogique, certains échantillons contenant jusqu'à 24% d'amphiboles. Les échantillons de la classe 2 sont intermédiaires entre ceux de la classe 1 et ceux de la classe 3 (Fig. 16b).

### 3.2.3-Le groupe des REE

Pour le groupe des REE, la différence entre les classes est encore plus évidente. Le diagramme a) de la figure 14 montre la distribution du Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versus La de tous les échantillons. Pour les échantillons de la classe 1 (Fig. 17a), on remarque encore un regroupement vers le pôle FVF et ceux-ci sont éparpillés autour de la ligne qui relie les pôles FVF et Amphiboles.

Sur le diagramme 17b), les échantillons de la classe 2 sont encore plus éparpillés autour de la ligne FVF-Amphiboles. C'est un peu normal car ce sont cinq coupes qui ne proviennent pas de la même zone dans la formation, et qui ont des compositions intermédiaires entre les classes 1 et 3. Mais cette différence n'apparaissait pas autant sur les diagrammes précédents.

Sur le diagramme 17c), on voit très nettement le regroupement et le rapprochement des échantillons de la classe 3 vers le pôle amphiboles.



**Fig.17:**  
Diagrammes géochimiques des classes de la Formation de Bordeleau, pour les éléments du groupe des REE ( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{La}$ ). Le même diagramme regroupant tous les échantillons se retrouve à la figure 14a) et les symboles y sont les mêmes. a) La classe 1 représente les échantillons de la coupe 1, b) La classe 2 représente les échantillons des coupes 2', 10, 11, 12 et 13, c) La classe 3 représente les échantillons des coupes 1', 7, 8 et 9.

Cette étude géochimique appuie la division en trois classes basée sur la pétrographie pour la Formation de Bordeleau. Ces trois classes se distinguent autant dans le groupe felsique, mafique ou des REE. Les mêmes hypothèses que pour la partie pétrographique peuvent être émises pour expliquer cette différentiation au sein de la formation, soit: 1) par le fait qu'il y a eu plus d'une source ponctuelle pour ces grès, 2) que la source comportait des niveaux de compositions différentes, ou 3) que la source, représentée par les FVF, n'a pas été altérée de façon régulière, ne libérant pas toujours des amphiboles, de l'illite et du quartz en quantités semblables à travers le bassin. De plus, la concentration des amphiboles a pu augmenter lors du transport de façon plus importante de la classe 1 vers la classe 3.

La forte ressemblance de composition chimique et minéralogique entre les échantillons de la coupe 1' située à l'Est et ceux des coupes 7, 8 et 9 situés au centre de la formation porte à suggérer qu'il y a possiblement un niveau stratigraphique distinct qui s'étend d'Est en Ouest à travers la Formation de Bordeleau. Cette unité se distingue du reste de la formation par la présence assez importante d'amphiboles et par une faible quantité de quartz (classe 3). Il y a d'autres variations de composition à travers la formation, mais elles se détectent surtout par la pétrographie et ne sont pratiquement pas distinguables par la composition

chimique. Ainsi, à la base de la formation, les échantillons de la coupe 12 (classe 2) sont marqués par l'apparition assez abondante de biotite rouge que l'on ne retrouve pas dans les autres coupes. Cependant, cette différence n'isole pas cette coupe des autres coupes de la même classe au niveau de la chimie. Ceci résulterait donc probablement d'une différence de grade métamorphique.

### 3.3- Tri des grès de la Formation de Bordeleau

Sur tous les diagrammes de cette partie, les grès grossiers à moyens ont été séparés des grès fins et silts afin de voir si la distribution des éléments en cause a été influencée par le tri. Plus la séparation entre ces deux groupes de granulométrie est importante, plus le tri a eu une influence marquée sur la distribution des éléments. Cette influence sera étudiée de façon générale sur les grès de toute la formation, et aussi à plus grande échelle, c'est-à-dire à l'intérieur de lits montrant un bon étalement de la granulométrie de la base au sommet.

#### 3.3.1- Tri général des grès du Bordeleau.

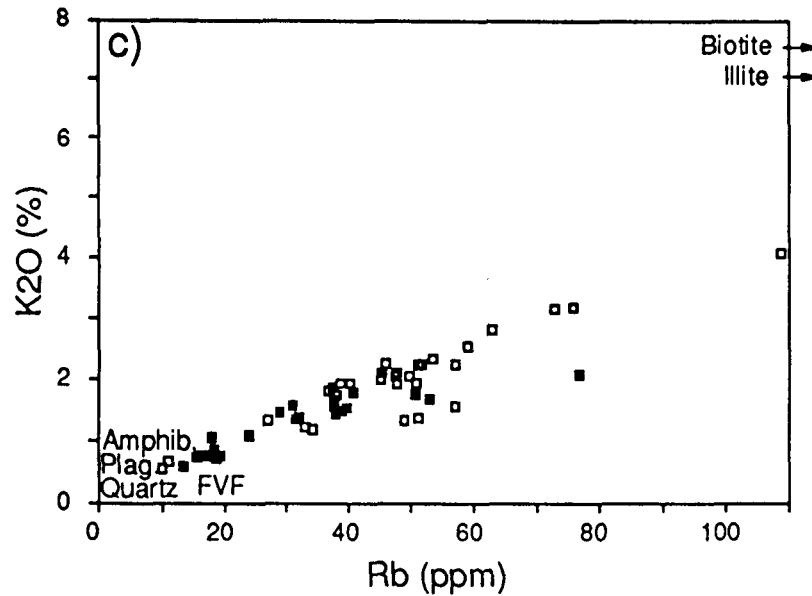
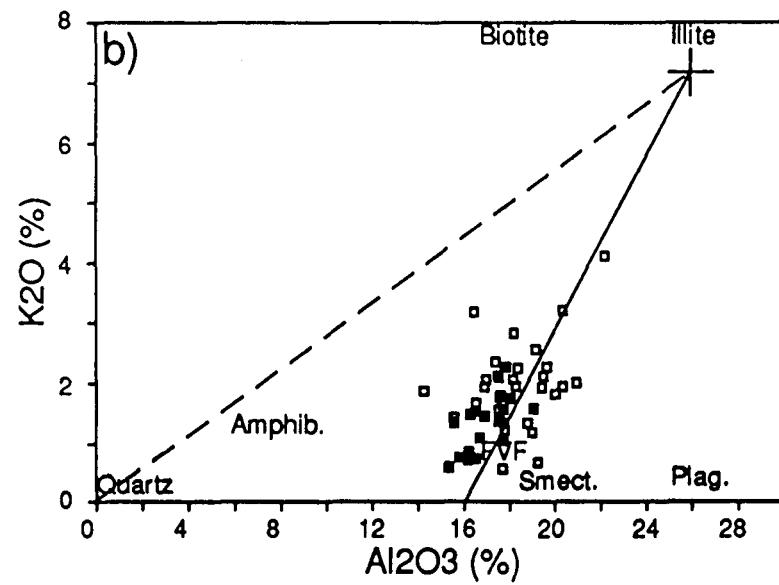
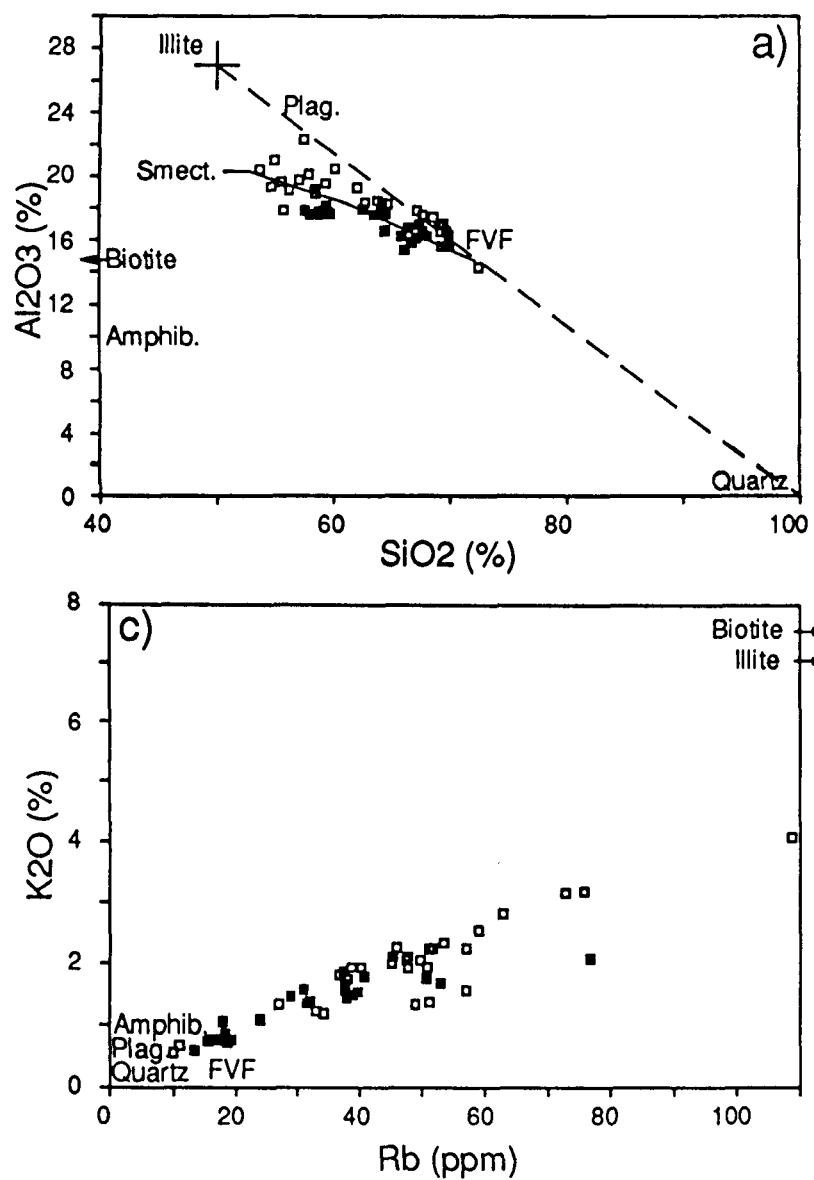
La composition détritique des sédiments granoclassés peut être vue comme des mélanges de deux ou plusieurs composants sédimentaires différentiables. Un composant sédimentaire est défini comme un minéral ou un groupe de minéraux qui se sépare des autres composants sédimentaires (Argast et Donnelly, 1987). Cette différentiation des composants sédimentaires résulte habituellement en une

séparation des éléments chimiques qui constituent ces composants. Les séparations typiques sont un enrichissement en K<sub>2</sub>O et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dans les fractions fines riches en phyllosilicates, et un enrichissement en SiO<sub>2</sub> et Na<sub>2</sub>O dans les fractions plus grossières riches en tectosilicates (Argast et Donnelly, 1987).

En reprenant les diagrammes analysés à la section 3.1 de ce chapitre, il est possible de vérifier quelle influence a eu le processus du tri sur la distribution des minéraux pour les grès du Bordeleau. Connaissant la distribution des éléments chimiques à travers ces minéraux (section 3.1), il est possible de vérifier l'influence qu'a eu ce tri sur la distribution des éléments chimiques.

### 3.3.1.1-Le groupe felsique

L'altération à la source des feldspaths et des FVF a produit l'illite maintenant transformée en séricite suite au métamorphisme régional. A cause de la morphologie de leurs grains, les phyllosilicates dominent habituellement dans les portions à grains fins, et le quartz ou un mélange de quartz et feldspaths dominent les portions à grains plus grossiers (Argast et Donnelly, 1987). Ainsi, la séricite des grès du Bordeleau s'est concentrée dans les grès fins et les silts par le processus du tri. Les minéraux non altérés, plus lourds que la séricite se sont plutôt concentrés dans les parties plus grossières des lits. C'est ce qu'on observe sur les diagrammes a) et b) de la figure 18. Le diagramme 18a)



**Fig.18:**  
Diagrammes géochimiques des éléments du groupe felsique pour tous les échantillons de la Formation de Bordelau, montrant l'effet qu'exerce le tri sur la distribution des éléments. Les diagrammes et les symboles sont les mêmes qu'en figure 12. Les carrés pleins représentent les grès grossiers à moyens et les carrés vides représentent les grès fins et les silts.

montre qu'en général, les grès grossiers à moyens sont plus riches en quartz et FVF et plus pauvres en illite (séricite) et plagioclases que les grès fins et les silts. Le tri a donc influencé de façon assez marquée la distribution de la séricite, du quartz et des FVF dans les lits de grès granoclassés du Bordeleau. Il y a donc un enrichissement en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dans les grès fins et les silts, mais aussi une diminution du SiO<sub>2</sub> dans ces mêmes fractions. Cette distribution est causée par le tri.

Il est difficile de dire sur ce diagramme (18a) si les plagioclases ont subit l'effet du tri, car de par leur composition primaire, ils se situent naturellement près du pôle illite. Cependant, sur le diagramme 18b), on peut remarquer un enrichissement en plagioclases chez certains grès fins et silts qui les fait dévier vers la droite de la ligne qui relie les pôles FVF et illite. Toutefois, cet enrichissement n'a pas été confirmé par l'analyse pétrographique des échantillons concernés. Ce diagramme montre nettement le tri exercé sur la séricite et il y a donc un enrichissement assez important en K<sub>2</sub>O et un peu moins marqué en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> chez les grès fins et les silts.

D'autres minéraux ont été influencés par le tri et donc ont influencé la distribution des éléments chimiques dans les diagrammes 18a) et 18b). Ce sont la smectite, la biotite et les amphiboles. Toutefois, ce sont des minéraux qui appartiennent au groupe mafique. Leur influence sur ces

diagrammes n'est marquée que pour le Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> qui appartient à la fois au groupe felsique et au groupe mafique.

Les éléments mineurs Rb, Ba, Cs ont aussi été marqués par le tri, car ils se retrouvent dans les micas potassiques, associés au K<sub>2</sub>O. Ces minéraux ont subit l'effet du tri de façon assez importante. Ainsi sur le diagramme c) de la figure 18, les grès fins et les silts se trouvent enrichis en K<sub>2</sub>O, Rb, Ba et Cs. Donc par l'intermédiaire de la séricite et de la biotite, la distribution des éléments Ba, Rb, Cs a été influencée par le tri. Pour cette partie de l'étude, les éléments Zr, Th, U et Y seront analysés avec le groupe des REE.

En résumé pour le groupe felsique, il y a deux constituants sédimentaires principaux qui ont contrôlé la distribution des éléments felsiques, ce sont la séricite (illite), et le quartz-FVF. Ces deux constituants sédimentaires ont subit l'effet du tri et montrent bien la relation entre la distribution des éléments et la granulométrie.

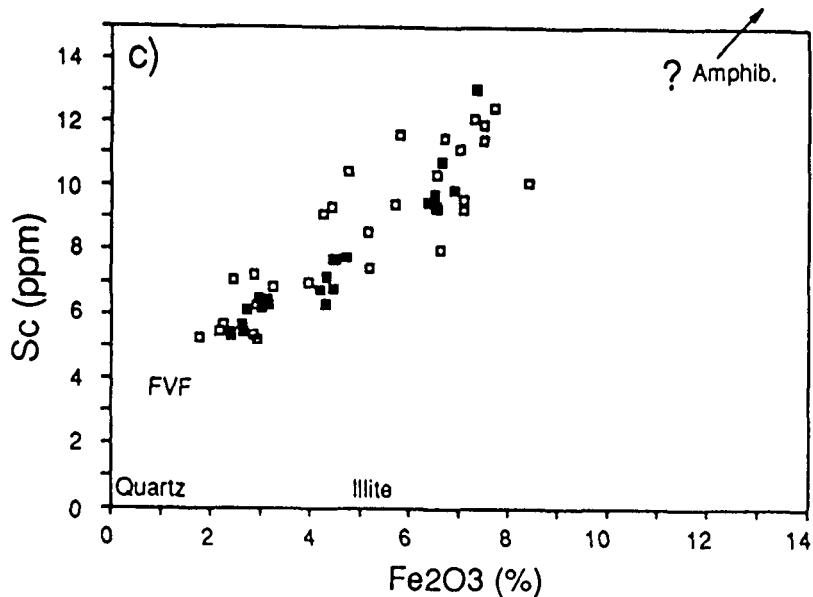
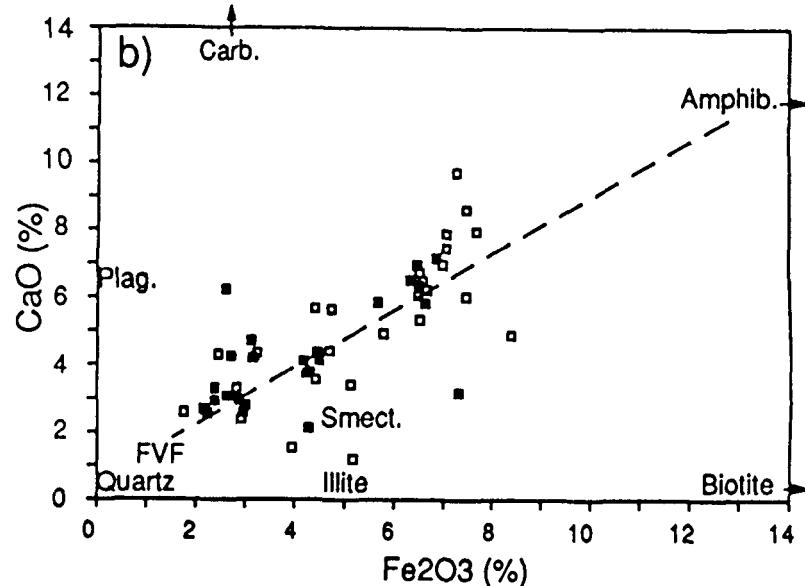
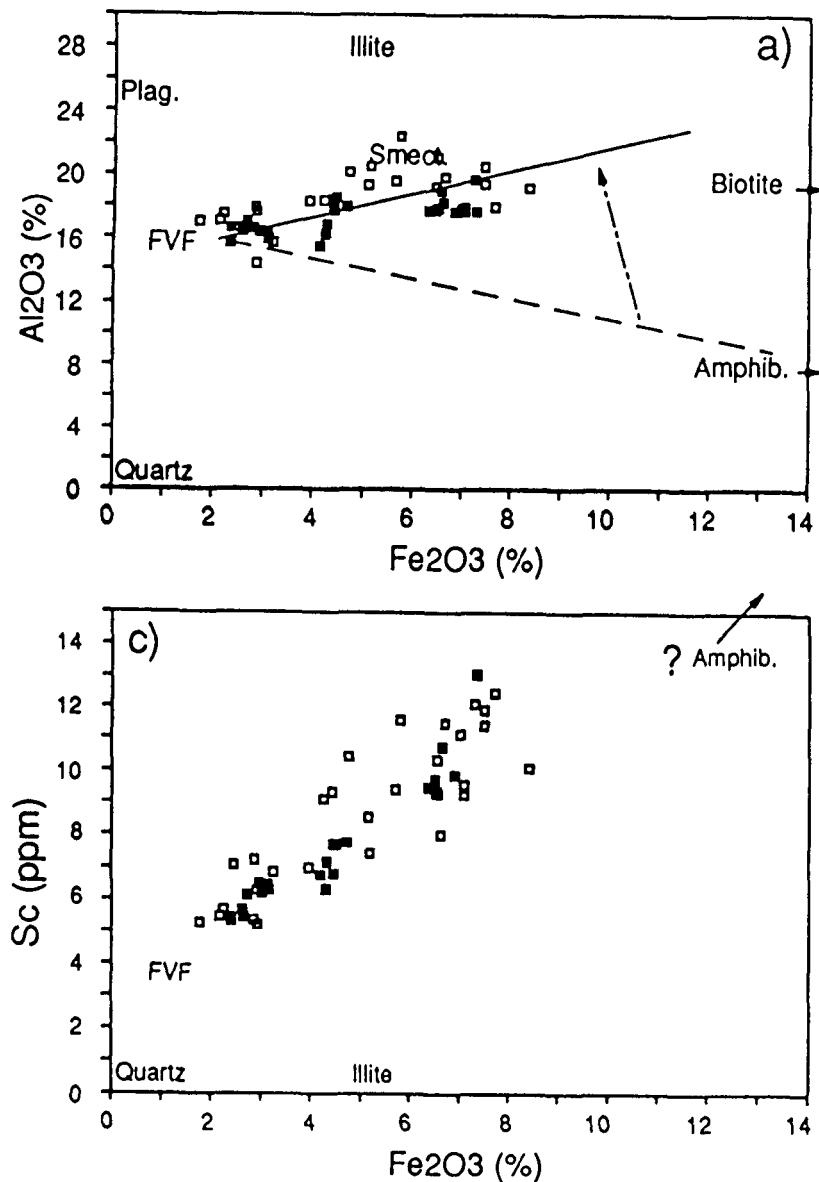
### 3.3.1.2-Le groupe mafique

L'altération à la source des minéraux mafiques comme les amphiboles a produit de la chlorite (smectite) et de la biotite. Ces micas, lors de la déposition des grès, ont pu se concentrer dans les portions fines des lits par le mécanisme du tri. Les portions d'amphiboles non-altérées, plus lourdes, se seraient donc concentrées dans les granulométries

plus grossières. Cependant, ce phénomène du tri sur les minéraux mafiques ne s'observe pas pétrographiquement. Il y a en effet autant d'amphiboles dans les grès fins que dans les grès grossiers pour les échantillons concernés. Ceci s'observe aussi dans la géochimie.

Ainsi, sur le diagramme 19a), le tri qu'on observe sur les lits de grès du Bordeleau ne concerne que les minéraux felsiques. Les grès fins et les silts sont clairement enrichis en séricite et plagioclases, tandis que les grès plus grossiers sont plus riches en quartz et FVF. Ce tri ne s'observe que sur la distribution du Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> par l'intermédiaire des minéraux felsiques. Il ne semble pas avoir influencé la distribution du Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, car il y a autant de grès grossiers à moyens près du pôle FVF que près des pôles amphiboles, chlorite et biotite. C'est la même chose pour les grès fins et les silts. Les constituants mafiques (amphiboles, chlorite et biotite) semblent donc avoir été influencés par le tri de façon beaucoup moins importante que les constituants felsiques (quartz, FVF et séricite).

Le diagramme 19b) ne fait pas intervenir le Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. On voit clairement que le tri entre les fractions grossières et fines est peu apparent. Ce diagramme appuie donc cette observation, c'est-à-dire que le tri a eu moins d'effet sur les minéraux mafiques contenant du fer et du calcium (amphiboles surtout) que sur les minéraux felsiques. Ceci s'observe aussi sur le diagramme 19c), où le tri n'est pas



**Fig. 19:**  
Diagrammes géochimiques des éléments du groupe mafique pour tous les échantillons de la Formation de Bordeleau, montrant l'effet qu'exerce le tri sur la distribution des éléments. Les diagrammes et les symboles sont les mêmes qu'en figure 13. Les carrés pleins représentent les grès grossiers à moyens et les carrés vides représentent les grès fins et les silts.

plus évident pour les éléments mineurs Sc, Ni, Sr et y que pour les oxydes mafiques Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub> et MnO.

Les éléments du groupe mafique montrent donc une distribution moins marquée en fonction de la granulométrie que ceux du groupe felsique. Ceci peut être dû à la plus faible concentration des minéraux mafiques dans les grès du Bordeleau. Le tri étant moyen, il est possible qu'il ait été atténué, ou un peu masqué par ces faibles proportions, car en général, le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et le MgO sont aussi enrichis dans les fractions fines, s'ils sont d'abondants constituants des phyllosilicates (Argast et Donnelly, 1987).

### 3.3.1.3-Le groupe des REE.

Sur les diagrammes a), b) et c) de la figure 20, le tri entre les fractions grossières et fines est encore une fois moins évident que pour les diagrammes du groupe felsique. Cependant, sur le diagramme 20a), les échantillons qui sont déviés vers les pôles apatite et zircon sont des grès fins et des silts. De même, sur les diagrammes 20b) et c), ces mêmes pôles attirent un peu plus les grès fins et les silts que les grès grossiers à moyens. Cette faible déviation des granulométries plus fines vers ces pôles peut suggérer que les grès fins et les silts contiennent plus d'apatite et de zircon que les grès grossiers à moyens. Cependant, ceci n'a pas été observé dans l'analyse pétrographique. L'apatite ne semble pas nettement plus abondante dans les fractions fines que dans les fractions grossières. Mais étant donné que

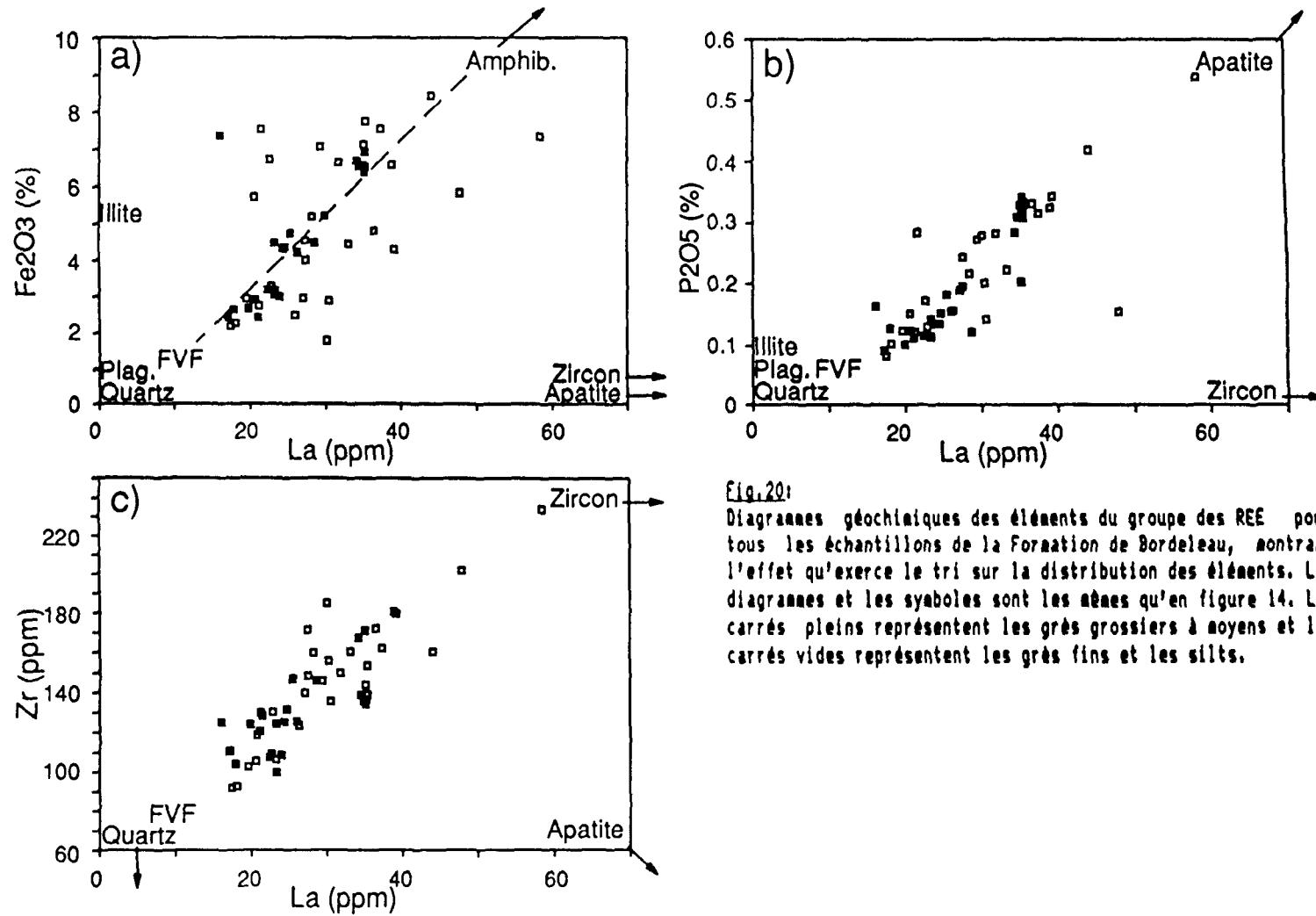


Fig. 20:  
Diagrammes géochimiques des éléments du groupe des REE pour tous les échantillons de la Formation de Bordeleau, montrant l'effet qu'exerce le tri sur la distribution des éléments. Les diagrammes et les symboles sont les mêmes qu'en figure 14. Les carrés pleins représentent les grès grossiers à moyens et les carrés vides représentent les grès fins et les silts.

celle-ci est en très faible proportion, une faible augmentation, difficilement détectable en lame-mince, pourrait quand même provoquer la distribution observée au diagramme 20b).

Le zircon est en grande partie en inclusion dans la biotite. Ceci est confirmé par les valeurs de corrélation positives mais assez faibles des éléments Zr, Th, U, Y et REE avec les autres éléments du groupe mafique (annexe 2). Ces faibles valeurs montrent que le zircon est simplement associé aux micas parce qu'il se trouve en inclusion dans ces minéraux. La distribution du zircon dépend donc de celle des micas (biotite surtout). Ces minéraux, un peu plus abondants chez les grès fins, influencent donc la distribution du Zr et des REE (Fig. 20c).

### 3.3.2- Tri observé à l'intérieur de lits individuels.

Dans cette section, la distribution des principaux éléments chimiques de chaque groupe (felsique, mafique et REE) sera analysée en fonction de la granulométrie, dans quatre lits particuliers qui montrent une différence de granulométrie assez importante de la base au sommet. Ces lits ont été choisis uniquement pour leur grand étalement granulométrique. Pour cette raison, seuls les lits des classes 1 et 2 sont traités dans cette partie. Le tableau 6 montre le comportement de quelques éléments dans chaque lit. Il y a deux types de comportement différents. Le premier regroupe les lits 07 (échantillons AM-01 à AM-09) et 105

Tableau 6

|                                | Comportement 1: Comportement 2: |   |   |
|--------------------------------|---------------------------------|---|---|
| Lits                           | : 07 : 105                      |   |   |
| Echantil-                      | :AM-01 à:AM-33 à:AM-38, :AM-40, |   |   |
| lons                           | :AM-09 :AM-35 :AM-39 :AM-41     |   |   |
| Classes                        | 1                               | 1 | 2 |
| SiO <sub>2</sub>               | →                               | → | → |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | →                               | → | → |
| K <sub>2</sub> O               | →                               | → | → |
| MgO                            | →                               | → | → |
| CaO                            | →                               | → | → |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | →                               | → | → |
| Na <sub>2</sub> O              | →                               | → | → |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | →                               | → | → |
| Zr                             | →                               | → | → |
| La                             | →                               | → | → |

Légende:

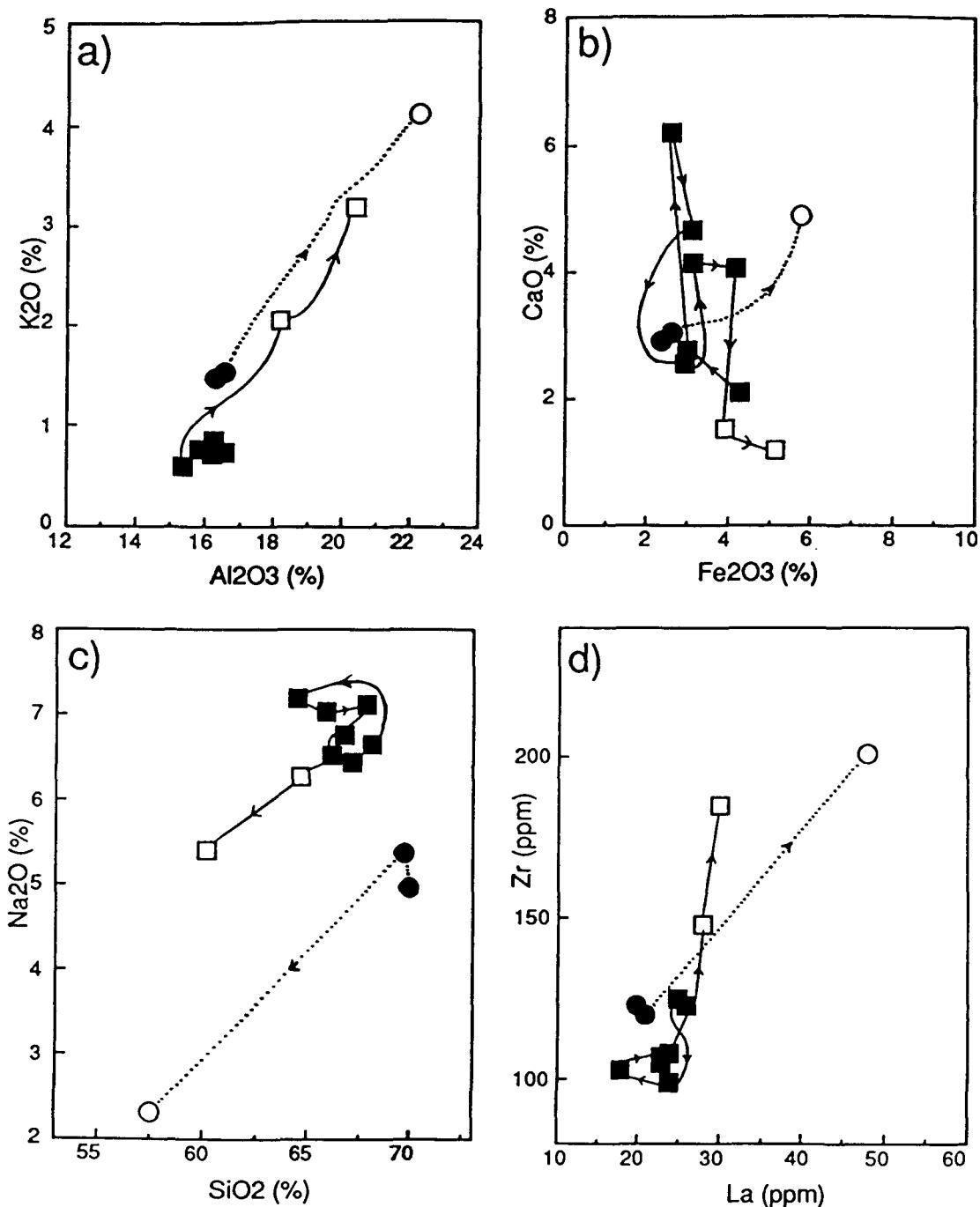
- ↗ augmentation de la base au sommet du lit
- ↘ diminution de la base au sommet du lit
- pas de changement appréciable de la base au sommet du lit

(échantillons AM-33, AM-34 et AM-35) qui sont des turbidites de la classe 1. Le deuxième type de comportement comprend les lits 115 (échantillons AM-38 et AM-39) et 116 (échantillons AM-40 et AM-41) qui sont des grès amalgamés de la classe 2. Ces derniers ne sont pas granoclassés mais contiennent parfois des petites lentilles de silt au sommet de leur lit, qui est une évidence de l'amalgamation de ces lits. Il est donc possible de faire une telle étude en observant la distribution des éléments entre la partie plus grossière non-granoclassée et le silt, dans chaque lit.

### 3.3.2.1-Comportement 1-Lits 07 et 105

Dans ce premier type de comportement, de façon générale, tous les éléments, sauf le SiO<sub>2</sub>, le CaO et le Na<sub>2</sub>O augmentent avec une diminution de la granulométrie (tableau 5). Ceci reflète bien le caractère granoclassé de ces turbidites. En général, les variations dans la distribution des éléments sont appuyées par la pétrographie.

Ainsi, pour le groupe felsique, si on compare les patrons géochimiques de la figure 21 avec la pétrographie du tableau 1, on remarque que l'augmentation du Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et du K<sub>2</sub>O est due principalement à l'augmentation de la matrice de séricite. De plus, ceci correspond à une diminution du pourcentage des feldspaths plagioclases et du quartz qui sont moins riche en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et K<sub>2</sub>O que la séricite. Ces lits montrent donc un tri assez bien marqué qui influence la distribution du Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et du K<sub>2</sub>O (Fig. 21a). Cependant, on

**Fig. 21:**

Diagrammes géochimiques des éléments des trois groupes (felsique, mafique et REE) pour les échantillons des lits AM-07 et AM-105 (comportement 1). Symboles: Les carrés représentent les échantillons du lit AM-07, les cercles représentent ceux du lit AM-105. Les symboles pleins représentent les grès moyens à grossiers et les vides représentent les grès fins et les silt. Les flèches montrent la progression des échantillons du lit à partir de la base vers le sommet. Les lignes pleines relient les échantillons du lit AM-07, les lignes pointillées relient les échantillons du lit AM-105. a) K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, b) CaO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, c) Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub>, d) Zr/La.

peut remarquer la distribution aléatoire des grès grossiers à moyens de la base des lits. Le tri hydraulique n'est donc pas particulièrement efficace à l'intérieur de ces granulométries. Il devient toutefois plus efficace pour séparer les grès fins et les silts des grès moyens à grossiers.

Pour le groupe mafique (Fig. 21b), le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (et le MgO) dans ces lits semblent suivre surtout les variations des fragments volcaniques mafiques, qui remplacent possiblement les amphiboles dans les grès de la classe 1. Ces fragments constitués presqu'uniquement de chlorite se confondent avec la matrice dans les échantillons de grès très fins et les silts. L'augmentation de la matrice contribue donc aussi à l'augmentation du Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (et du MgO) vers le sommet du lit, mais de façon moins marquée que pour le Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et le K<sub>2</sub>O.

Le CaO (Fig. 21b), contrairement aux éléments précédents n'entre pas dans la composition des micas. Son profil est donc très différent de celui des autres éléments. En effet, dans les granulométries grossières à moyennes, le CaO varie considérablement en augmentant et diminuant de façon aléatoire. Puis les granulométries fines à très fines sont appauvries en CaO. Il semble donc y avoir une diminution relative du CaO vers les granulométries fines. Ce patron correspond assez bien à la distribution des plagioclases et probablement aussi à celle des carbonates qui sont présents de façon aléatoire dans les échantillons de ces lits (tableau

1). Il y a aussi le sphène et l'apatite qui contiennent du CaO mais leur proportion est faible et leur variation est négligeable. Ils ne peuvent donc à eux seuls expliquer les variations observées. Les FVF contiennent des plagioclases mais ceux-ci ne semblent pas avoir d'effet sur la distribution du CaO, car ils ont une distribution contraire à celle-ci (Fig. 21b). Il est impossible d'évaluer la composition de ces plagioclases mais on peut supposer, à partir de cette observation, qu'il sont pauvres en CaO. Les fragments volcaniques microlitiques, par contre, peuvent influencer la distribution du CaO. Cependant, ils sont en proportions très faibles dans ces grès.

Le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et surtout le CaO ont subi l'influence de la carbonatisation locale, ce qui explique l'étalement des valeurs sur ce diagramme (Fig. 21b).

Le Na<sub>2</sub>O ne se corrèle pas bien avec les autres éléments. Toutefois, sur le graphique 21c, on peut observer qu'il a tendance à diminuer avec une réduction de la granulométrie. Le Na<sub>2</sub>O est contrôlé surtout par les plagioclases (Deer et al., 1962) et un peu par les fragments volcaniques felsiques et microlitiques. Si on compare le patron chimique avec la pétrographie (tableau 1), les plagioclases semblent contrôler en grande partie la distribution du Na<sub>2</sub>O avec l'aide des fragments microlitiques. Les FVF jouent un faible rôle dans le contrôle de la distribution du Na<sub>2</sub>O, mais leur distribution semble

correspondre à celle du Na<sub>2</sub>O plus qu'à celle du CaO, ce qui appuie le fait que les plagioclases qu'ils contiennent seraient plutôt sodiques que calciques.

Les REE entrent surtout dans la composition de l'apatite et du zircon. Il est difficile de comparer les patrons chimiques de ces éléments avec la pétrographie, car les minéraux accessoires sont en très faible proportion et leur pourcentage a été évalué ensemble (Tableau 1). Cependant, on peut noter que les variations observées à plus petite échelle, c'est-à-dire sur toute la formation, sont encore plus marquées à l'échelle du lit (Fig. 21d). Ainsi on a une augmentation du Zr et La vers les granulométries très fines qui correspond surtout à une augmentation du zircon. Le P205 montre le même patron.

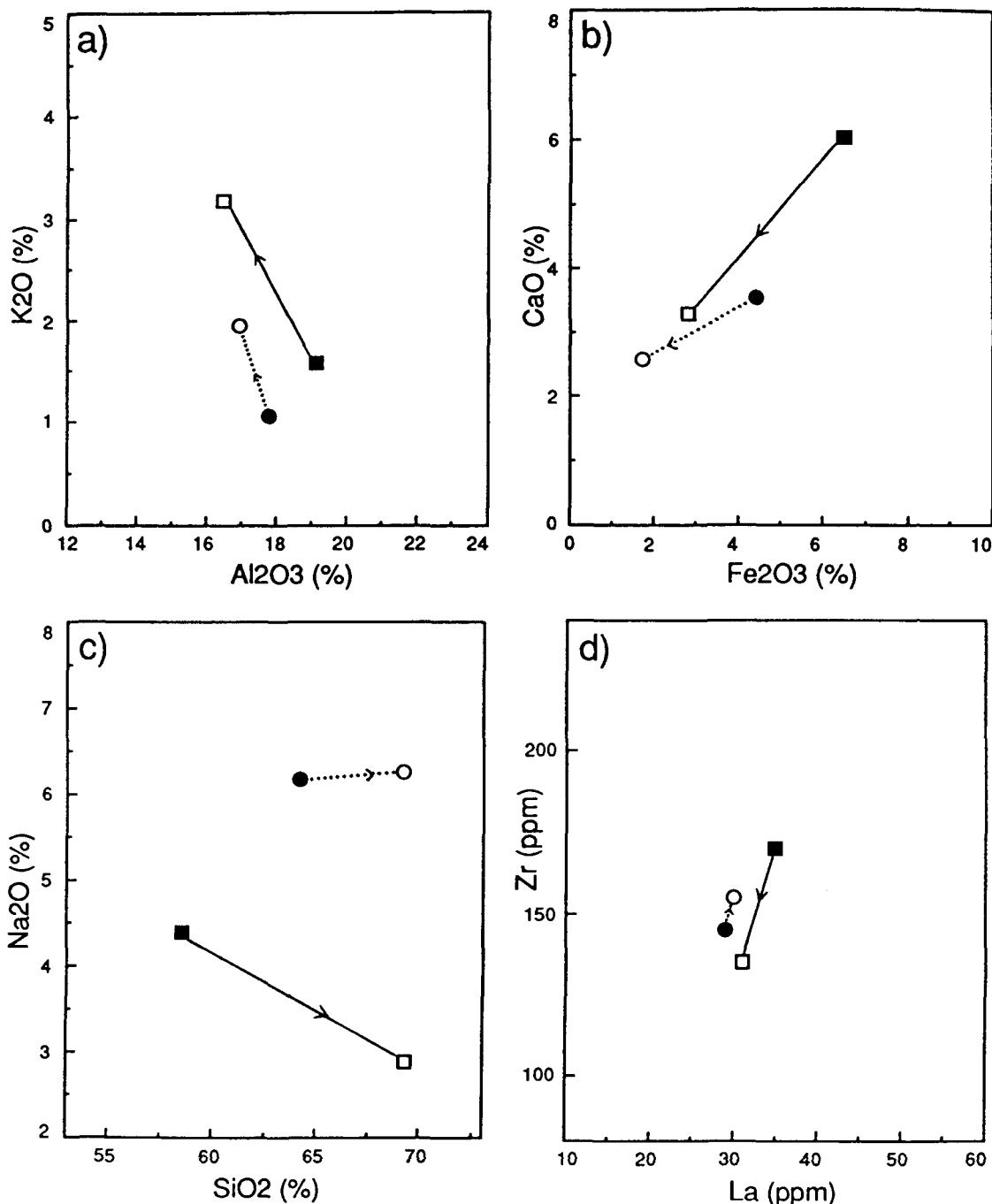
Le dernier échantillon du lit 105 n'a pas été analysé pétrographiquement car c'est un silt. Dans ce lit, la plupart des éléments se comportent de façon similaire et semblent contrôlés par les mêmes minéraux que dans les deux autres lits. Cependant, le CaO ne montre pas une diminution avec la granulométrie mais plutôt une augmentation. C'est un élément difficile à contrôler à cause de la présence possible de carbonates secondaires qui dans ce cas-ci sont probablement en assez fort pourcentage dans le silt. Ce ne sont pas les plagioclases qui provoquent cette augmentation de CaO car le Na<sub>2</sub>O montre une diminution marquée des grès moyens vers les grès très fins.

Pour ce premier type de comportement, il semble y avoir la même relation entre la distribution des éléments chimiques et la granulométrie des lits de turbidites de la classe 1 que celle, plus générale, de tous les échantillons de la formation (section 3.3.1).

### 3.3.2.2-Comportement 2- Lits 115 et 116

Dans le deuxième type de comportement, les patrons de distribution sont contraires à ceux du type précédent. La plupart des éléments montrent un comportement plus aléatoire, avec une diminution générale de leur pourcentage lorsque la granulométrie diminue. Le dernier échantillon de chaque lit est un silt très riche en SiO<sub>2</sub>, ce qui contribue à faire diminuer la majorité des éléments dans cette portion granulométrique (Fig. 22). Cependant, contrairement aux lits précédents, les lits 115 (échantillons AM-38, AM-39), et 116 (échantillons AM-40 et AM-41) contiennent des amphiboles. Ceci ne semble pas influencer la distribution des éléments et c'est surtout l'augmentation du quartz dans le silt (Fig. 22c), qui provoque les patrons observés. Il y a cependant une augmentation du K<sub>2</sub>O dans les deux lits (Fig. 22a) ainsi qu'une augmentation du Zr et La dans le lit 116 (Fig. 22d). Il aurait fallu beaucoup plus d'échantillons dans les lits, et plus de lits aussi pour vraiment voir la tendance dans la distribution des éléments par rapport à la granulométrie, pour ces lits de grès amalgamés.

Le fait qu'il y ait des lits de turbidites assez bien

**Fig. 22:**

Diagrammes géochimiques des éléments des trois groupes (felsique, mafique et REE) pour les échantillons des lits AM-115 et AM-116 (comportement 2). Symboles: Les carrés représentent les échantillons du lit AM-115, les cercles représentent ceux du lit AM-116. Les symboles pleins représentent les grès moyens à grossiers et les vides représentent les grès fins et les silt. Les flèches montrent la progression des échantillons du lit à partir de la base vers le sommet. Les lignes pleines relient les échantillons du lit AM-115, les lignes pointillées relient les échantillons du lit AM-116. a) K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, b) CaO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, c) Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub>, d) Zr/La.

granoclassés et des lits de grès amalgamés dans la formation joue possiblement un rôle sur la faible évidence du tri chez les éléments du groupe mafique. En effet, pour le deuxième comportement (lits amalgamés), le fer et le magnésium diminuent avec une diminution de la granulométrie, ce qui vient perturber la tendance habituelle où on observe une augmentation de ces éléments avec une diminution de la granulométrie (Argast et Donnelly, 1987). Par contre, on observe quand même une augmentation du potassium dans ces lits, qui ne perturbe pas l'évidence de la tendance de distribution de ce élément du groupe felsique.

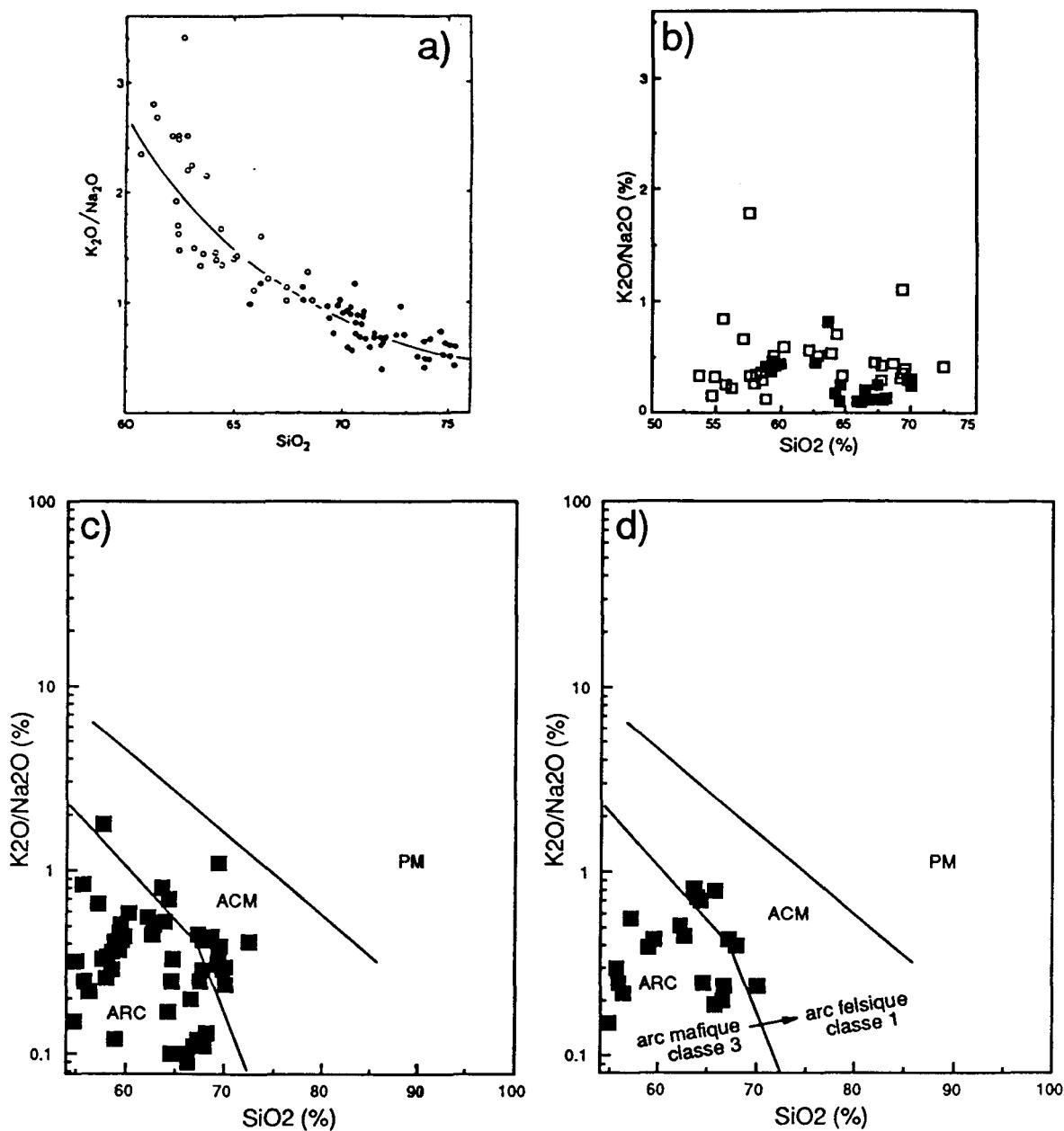
### 3.4- Provenance tectonique géochimique des grès du Bordeleau

Dans cette partie du travail, les termes de provenances tectoniques et d'environnements tectoniques seront utilisés pour garder la même terminologie que celle employée par les auteurs des diagrammes. Toutefois, ces termes ne sont pas appropriés dans le cas des grès du Bordeleau qui sont archéens, et il faut les interpréter comme reflétant la source des sédiments plutôt que l'environnement tectonique en lui-même, car la tectonique des plaques est encore incertaine à l'Archéen.

Des études de Roser et Korsch (1986) et de plusieurs autres auteurs (Bhatia, 1983; Crook, 1974; Maynard et al., 1982; Middleton, 1960; Schwab, 1975; ) ont démontré que les rapports K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O et le contenu en SiO<sub>2</sub> des grès sont de bons

critères pour reconnaître leur environnement tectonique. Ainsi, les diagrammes de Roser et Korsch (1986) ainsi que ceux de Bhatia (1983) seront utilisés pour déterminer ou confirmer une provenance tectonique (ou plutôt une source) qui a déjà été déterminée pétrographiquement.

Il a été montré dans ce travail, et par plusieurs auteurs (Argast et Donnelly, 1987; Roser et Korsch, 1986; Sawyer et Korneliussen, 1989) que la composition d'un sédiment peut varier selon la granulométrie. Lorsque la granulométrie diminue à partir des grès grossiers vers les silts, le quartz, les feldspaths et les fragments lithiques diminuent tandis que la matrice (les phyllosilicates) augmente (Roser et Korsch, 1986). Ceci affecte la composition géochimique car le SiO<sub>2</sub> et le Na<sub>2</sub>O diminue tandis que le K<sub>2</sub>O augmente. Ces changements produisent le patron qu'on observe au diagramme a) de la figure 23. Les rapports K<sub>2</sub>O Na<sub>2</sub>O augmentent lorsque le SiO<sub>2</sub> diminue. Comme le démontre Roser et Korsch (1986), ceci peut affecter la position d'un échantillon sur un diagramme de provenance tectonique selon que c'est un grès grossier ou un silt, même si ces deux échantillons proviennent d'un même lit. Ainsi, un silt peut se retrouver dans un champ tectonique tandis que son compagnon plus grossier se retrouve dans un autre champ (voir Fig.3 de Roser et Korsch, 1986). Il est donc important de prendre une composition moyenne de chaque lit incluant la plus grande étendue granulométrique possible.



**Fig. 23:**  
 a) Variations de composition en  $K_2O/Na_2O$  versus  $SiO_2$  dans des graywackes (cercles pleins) et argillites (cercles vides) de Wellington, Nouvelle-Zélande, (Fig. 1 de Roser et Korsch, 1986). b) Variations de composition en  $K_2O/Na_2O$  versus  $SiO_2$  pour les grès turbiditiques du Bordeleau. Les carrés pleins représentent les grès grossiers à moyens et les carrés vides représentent les grès fins et les silts. c) Diagrammes géochimiques de provenance tectonique pour tous les échantillons du Bordeleau. ARC représente le champ d'îles en arc océaniques, ACM représente celui de marges continentales actives et PM représente celui de marges continentales passives. d) Même diagramme qu'en c) mais avec les compositions moyennes des lits. D'après Roser et Korsch (1986).

Cependant, comme le montre le diagramme b) de la figure 23, les grès du Bordeleau ne sont pas excessivement bien triés. Le tri a certe eu un effet sur la distribution des minéraux et des éléments chimiques, comme le démontre l'étude pétrographique et géochimique de ce travail, mais pas autant que pour les sédiments très bien triés de Roser et Korsch (1986) (Fig. 23a). Toutefois, on perçoit quand même une différence entre la provenance tectonique déterminée sur tous les échantillons du Bordeleau (Fig. 23c) et celle déterminée sur la composition moyenne des lits (annexe 4, Fig. 23d). Dans le premier cas, les échantillons s'éparpillent dans les champs d'îles en arc océaniques (ARC) et de marges continentales actives (ACM). Dans le deuxième cas, les points se rassemblent plus vers le champ d'îles en arc océanique. Les compositions faibles en K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O et en SiO<sub>2</sub> montrent encore ici le côté peu évolué des grès du Bordeleau (Roser et Korsch, 1986), qui se reflète par leur composition riche en fragments lithiques volcaniques. Ceci correspond assez bien à la source déjà déterminée pétrographiquement. Sur les diagrammes c) et d) de la figure 23, on voit bien le passage au sein de la formation, d'une composition plus mafique (classe 3) vers une composition plus felsique (classe 1).

Sur les diagrammes de provenance tectonique de Bhatia (1983) (Fig. 24), les grès du Bordeleau se retrouvent beaucoup plus dispersés dans les champs tectoniques que sur les diagrammes de Roser et Korsch (1986) et sur ceux de

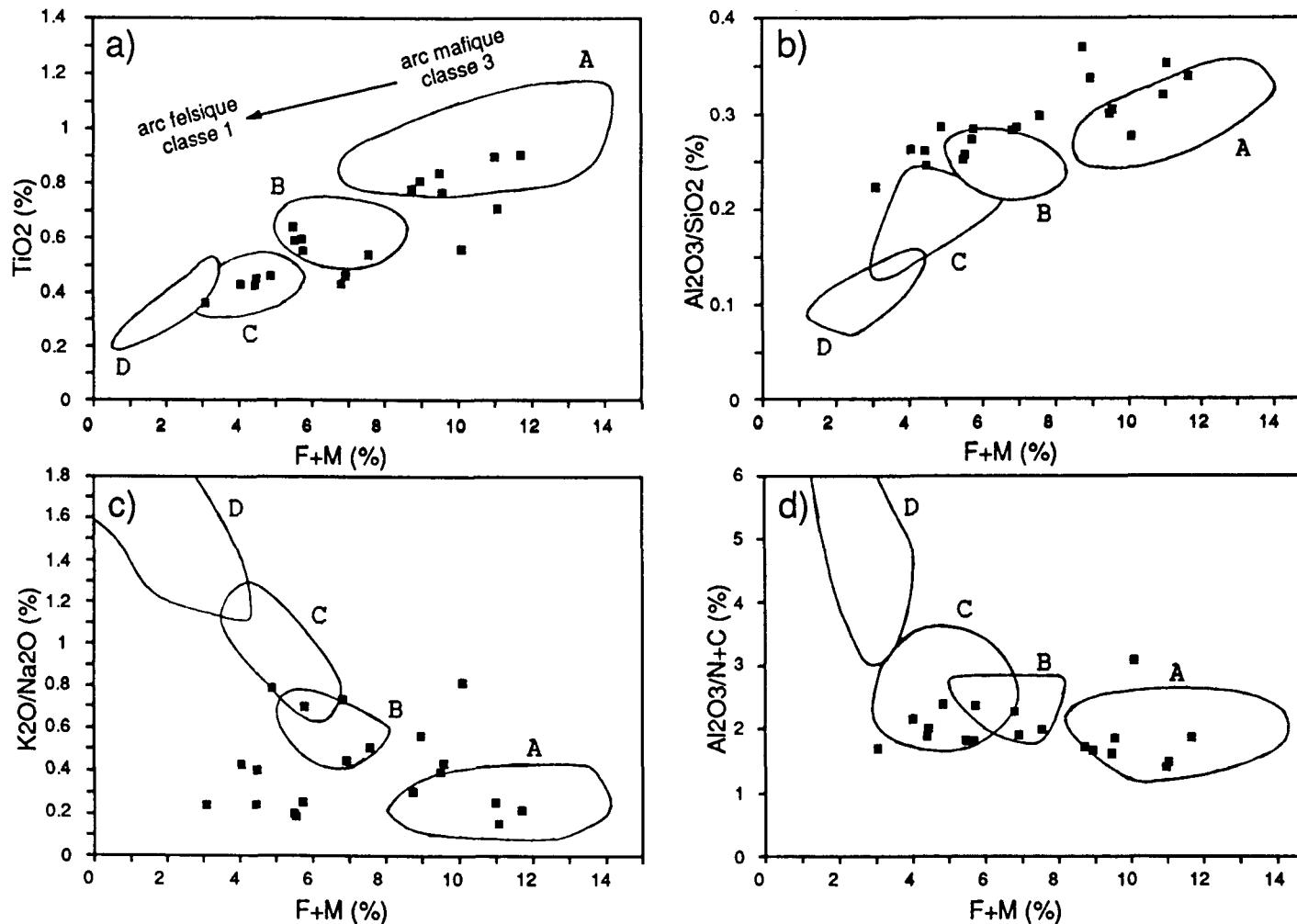


Fig. 24:

Diagrammes géochimiques de provenance tectonique pour les compositions moyennes des lits du Bordelau. Le champ A représente un environnement d'îles en arc océaniques. B représente un environnement d'îles en arc continentales. C représente un environnement de marges continentales actives et D représente un environnement de marges passives.  
 a) TiO<sub>2</sub> versus F+M, b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> versus F+M, c) K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O versus F+M et d) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/N+C versus F+M. D'après Bhateria (1983). F+M = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO et N+C = Na<sub>2</sub>O+CaO.

provenance pétrographique. Ainsi, sur le diagramme a) de la figure 24, les échantillons se retrouvent à la fois dans les champs d'îles en arc océaniques, d'îles en arc continentales et de marges continentales actives, ce que regroupaient grossièrement les champs ARC et ACM de Roser et Korsch (1986). Ceci reflète encore ici le passage, à la source, d'une composition plus mafique (classe 3) vers une composition plus felsique (classe 1).

Les diagrammes de provenance tectonique pétrographique impliquent les minéraux comme le quartz, les feldspaths et les fragments lithiques. Les grès du Bordeleau contiennent de 42.2 à 74.1% de fragments lithiques et de 24.5 à 48.6% de feldspaths (tableau 1). Ces variations de compositions minéralogiques n'impliquent pas de grands changements en ce qui concerne les champs de provenance tectonique déterminés par Dickinson et al. (1983) (Fig. 10), Dickinson et Suczek (1979) et Valloni et Mezzadri (1984) (Fig. 11).

Dans les quatre diagrammes de Bhatia (1983), il y a plusieurs échantillons qui ne tombent dans aucun champ. Cet éparpillement est surtout causé par la grande étendue des valeurs en fer et magnésium des grès du Bordeleau et reflète les variations dans le contenu en amphiboles de ces grès. Les trois classes se distinguent encore ici et correspondent à des environnements différents (Fig. 25a, b et c). Ainsi, les échantillons de la classe 1 se retrouvent principalement

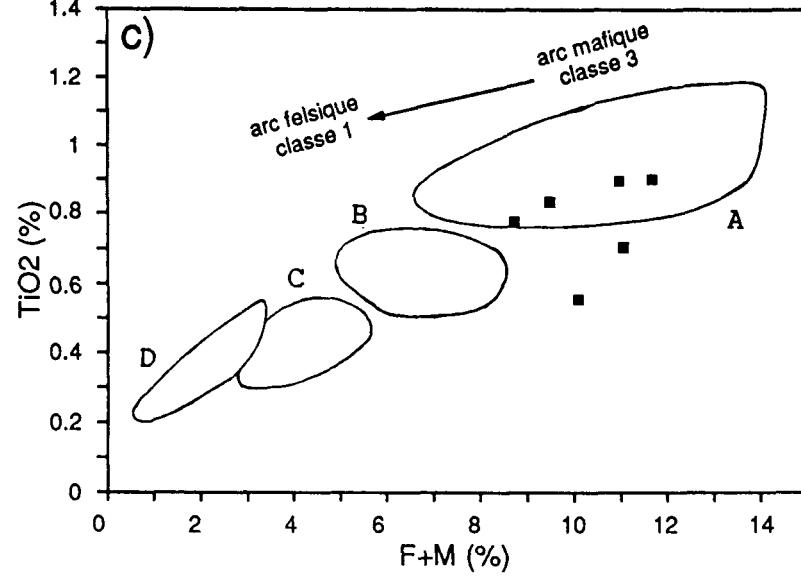
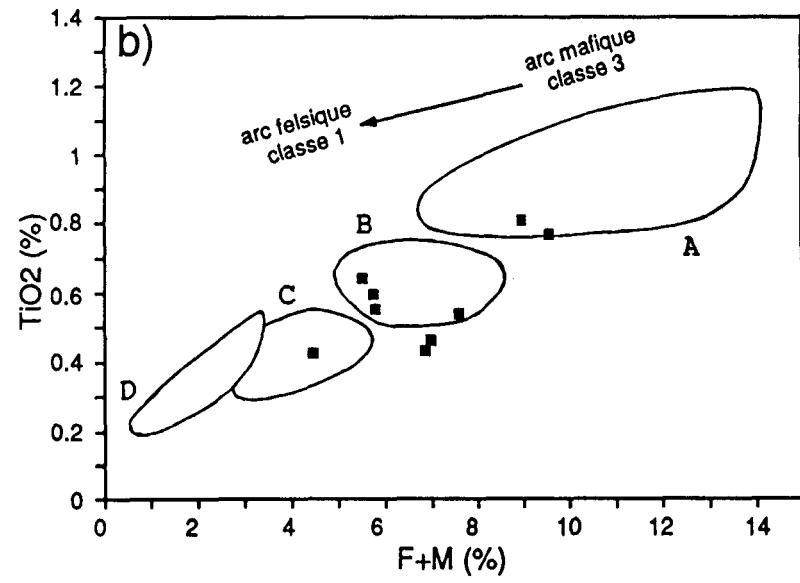
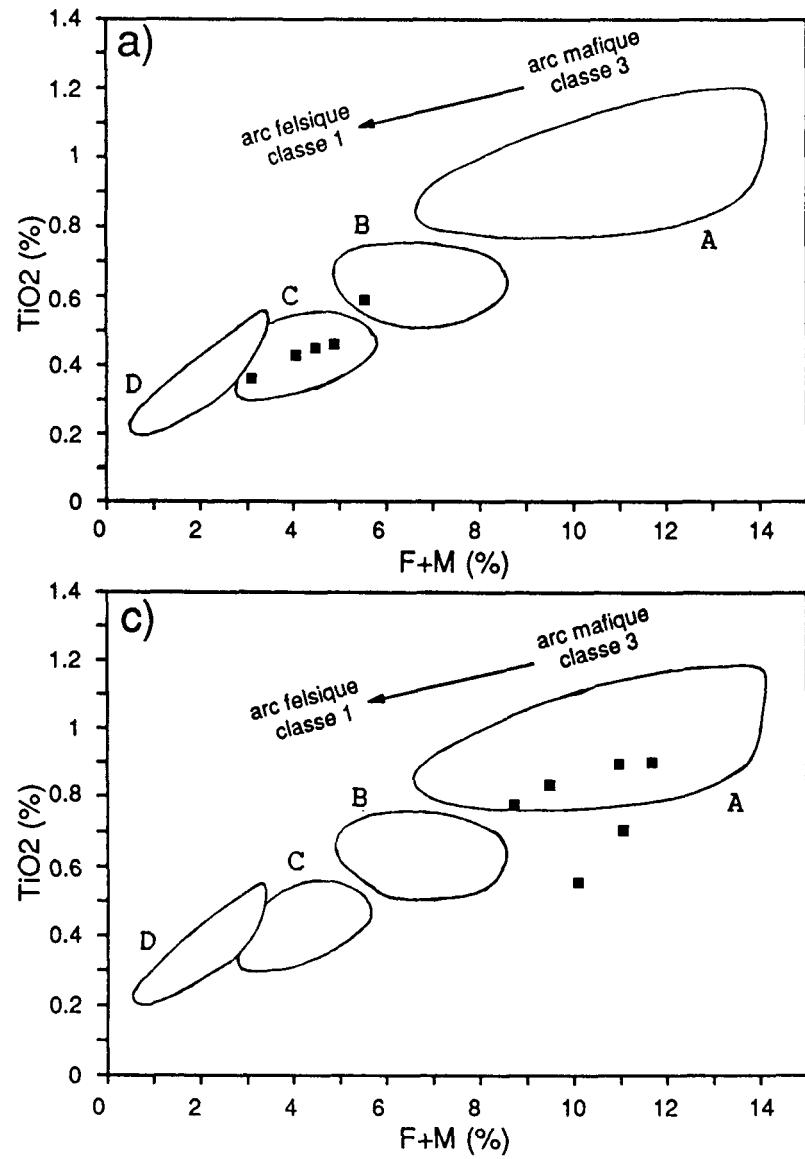


Fig. 25:

Diagrammes géochimiques de provenance tectonique pour les classes 1, 2 et 3 du Bordeleau. Les symboles sont les mêmes qu'en figure 27. a) TiO<sub>2</sub>/F+M pour les lits de classe 1, b) TiO<sub>2</sub>/F+M pour les lits de la classe 2, c) TiO<sub>2</sub>/F+M pour les lits de la classe 3. D'après Bhatia (1983).

dans les champs d'îles en arc continentales et de marges continentales actives (source plus felsique). Les échantillons de la classe 3 par contre se retrouvent presqu'exclusivement dans le champ d'îles en arc océaniques (source plus mafique). Les échantillons de la classe 2, comme toujours, s'éparpillent à travers ces trois champs, car c'est une classe intermédiaire. Les trois classes se distinguent aussi sur les autres diagrammes de Bhatia (1983).

Ces différentes provenances tectoniques pour les trois classes des grès du Bordeleau ne signifie donc pas que ces grès proviennent de trois environnements tectoniques différents. Ils indiquent plutôt des variations d'un même arc magmatique, d'une composition plus mafique (classe 3) vers une composition plus felsique (classe 1). Ces diagrammes viennent donc appuyer les hypothèses déjà mentionnées qu'il y aurait plus d'une source pour les grès du Bordeleau, ou qu'une et même source se serait diversifiée au cours d'une étape qui a mené à la formation des grès du Bordeleau. Ainsi il y aurait une source plus riche en TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> (classe 3 qui contient des amphiboles et très peu de quartz), et une source plus pauvre en TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO, (classe 1 qui ne contient pas d'amphiboles et qui est plus riche en quartz). Le fait que les échantillons de la classe 2 se retrouvent dans les trois environnements tectoniques à la fois vient appuyer la nature intermédiaire de cette classe.

Les diagrammes de Bathia (1983) semblent être moins précis que ceux de Roser et Korsch (1986) pour déterminer une provenance tectonique unique pour les grès du Bordeleau, mais donnent des indications quant à la nature de la source de ces grès. Ils viennent préciser la présence de deux compositions extrêmes (classes 1 et 3) de la (ou des) source (s) et d'une composition intermédiaire (classe 2) qui pourrait refléter le mélange des deux premières compositions.

#### 4- DISCUSSION

Les grès de la Formation de Bordeleau sont des litharénites feldspathiques pauvres en quartz et contenant une grande quantité de FVF. Ces derniers sont des fragments de verre dévitrifié contenant parfois des phénocristaux de quartz, de plagioclases et plus rarement d'amphiboles. Cette composition suggère une source d'origine volcanique felsique qui provient possiblement de coulées pyroclastiques. Dimroth et al. (1983) et Mueller (1986), ont effectué des travaux traitant brièvement de la Formation de Bordeleau et arrivent aux mêmes conclusions. Selon Mueller (1986), les formations de transition que sont celles de Daubrée et de Bordeleau auraient évolué à partir d'îles-en-arc qui auraient produit ces coulées pyroclastiques. Cependant, les sédiments du Bordeleau ne seraient pas des pyroclastites classiques primaires, mais plutôt des coulées pyroclastiques remobilisées et redéposées sous forme de turbidites ou de coulées de débris. La forme plutôt sub-arrondie des grains et les divisions de Bouma observées dans les lits s'expliquent plus facilement ainsi. L'étude pétrographique et géochimique des grès du Bordeleau a révélé deux classes de composition différente et une troisième qui a une composition intermédiaire entre les deux premières. Ceci est très intéressant et révélateur quant à la source de ces sédiments. Du point de vue pétrographique, les trois classes

se distinguent surtout par la présence ou l'absence d'amphiboles et par les proportions du quartz. Du point de vue géochimique, ce sont surtout les proportions de SiO<sub>2</sub> et des oxydes mafiques (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et MgO) qui varient d'une classe à l'autre. Les principales caractéristiques qui distinguent chaque classe sont résumées ici:

|                                      | : Classe 1 : | Classe 2        | : Classe 3 :    |
|--------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| <hr/>                                |              |                 |                 |
| :Quartz                              | : 6 à 13%    | : 1 à 7%        | :Traces à 1.4%: |
| :                                    | :            | :               | :               |
| :Amphiboles                          | : -          | :quelques lits  | : partout       |
| :                                    | :            | : (5 à 15.4%)   | : (12 à 24%)    |
| :Matrice                             | : séricite   | :séri. + chlor. | : chlorite      |
| <hr/>                                |              |                 |                 |
| :SiO <sub>2</sub>                    | : 58 à 73%   | : 56 à 69%      | : 54 à 64%      |
| :                                    | :            | :               | :               |
| :Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO | : 3 à 8%     | : 2 à 10%       | : 6 à 12%       |
| <hr/>                                |              |                 |                 |

Sur tous les diagrammes pétrographiques et géochimiques, les deux classes extrêmes (1 et 3) se distinguent de façon évidente, et la classe intermédiaire (2) chevauche toujours ces deux dernières. Les hypothèses déjà mentionnées peuvent toutes être valables à ce stade de l'étude. Il est difficile de préciser si vraiment, le Bordeleau a eu deux sources distinctes, ou s'il n'y avait

qu'une source avec soit des niveaux de compositions un peu différentes ou que cette source se serait différentiée au cours des processus menant à la formation des grès du Bordeleau. De plus, il n'y a aucune autre étude traitant de cette problématique concernant les grès de la Formation de Bordeleau. Cependant selon Dimroth et al. (1983), chacune des coulées pyroclastiques qui s'est mise en place dans le bassin, possède ses propres caractéristiques pétrographiques. Elles sont possiblement distinctes aussi chimiquement. Cette observation donne un peu de poids à l'hypothèse d'une source unique avec des niveaux de compositions un peu différentes.

L'échantillonnage des grès du Bordeleau pour cette étude a touché différents coins de la formation, mais il y a certaines zones, plus difficiles d'accès qui ont été négligées et qui auraient pu apporter des précisions sur ces compositions distinctes que l'on retrouve dans le Bordeleau. Ainsi, la partie extrême Ouest de la formation n'a pas été échantillonnée ainsi qu'une bonne partie de sa zone centrale. On ne peut pas conclure que la classe 3 correspond à un niveau stratigraphique particulier. Mais si c'est le cas et si celui-ci s'étendait d'Ouest en Est à travers la formation, comme ces premiers travaux le suggèrent, ce niveau stratigraphique particulier pourrait correspondre, à la source, à une ou plusieurs coulées pyroclastiques légèrement plus riches en amphiboles et plus pauvres en quartz.

Les changements de faciès verticaux et latéraux

observés dans la Formation de Chebistuan, qui se trouve stratigraphiquement juste au-dessus du Bordeleau, impliquent un soulèvement rapide des régions sources et/ou une subsidence du bassin (Mueller, 1986). Ces soulèvements ont eu lieu à différents stades dépositionnels. Par exemple, lors de la déposition de cette formation, plusieurs bassins discrets se sont développés (Mueller 1986). Le bassin a pu subir les mêmes bouleversements lors de la mise en place du Bordeleau, qui auraient pu être à l'origine du changement de composition présent dans la formation.

En ce qui concerne le tri, il n'y a pas d'autres études qui ont été faites en ce sens sur les grès du Bordeleau. Cependant, Sawyer et Korneliussen (1989), ont fait ce genre d'étude sur des turbidites du Protérozoïque inférieur du "Rombak Window" (Norvège). De même, Argast et Donnelly (1987) ont étudié la distribution des éléments en fonction de la granulométrie dans des sédiments des sections Taconiques et Acadiennes de New-York et Québec. Roser et Korsch (1986) parle aussi de l'importance de cette distribution sur la composition chimique des diverses fractions granulométriques.

Les patrons de distribution du Bordeleau montrent une augmentation des éléments du groupe felsique ( $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ , Ba, Rb, Cs, Th, U, Zr) et une diminution du  $SiO_2$  avec une diminution de la granulométrie. Ces patrons correspondent bien à l'augmentation des phyllosilicates de la matrice et à la diminution du quartz dans les granulométries fines. C'est

le mécanisme du tri qui est à l'origine de cette distribution. Les auteurs ci-dessus ont observé ce même patron de distribution.

Pour les éléments du groupe mafique tel le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et le MgO, Sawyer et Korneliussen (1989) ainsi que Argast et Donnelly (1987) ont observé une augmentation de ces éléments dans les granulométries fines correspondant à une augmentation des phyllosilicates ferromagnésiens (chlorite, biotite). Les grès du Bordeleau ne montrent pas très clairement cette tendance. Les éléments du groupe mafique ainsi que ceux du groupe des REE semblent avoir été beaucoup moins marqués par le tri que ceux du groupe felsique. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce phénomène. Premièrement, les grès du Bordeleau contiennent en général plus de matrice de séricite (phyllosilicate felsique) que de chlorite (phyllosilicate ferromagnésien). La distribution des éléments du groupe felsique est contrôlée principalement par la séricite, le quartz et les FVF qui ont subit le tri de façon évidente. Par contre, les éléments du groupe mafique sont surtout contrôlés par les amphiboles, qui ne sont pas présentes de façon régulière dans les grès du Bordeleau. Cette présence aléatoire des amphiboles vient atténuer le patron de distribution des éléments du groupe mafique, car les amphiboles n'ont pas subit l'effet du tri. Le tri du Bordeleau n'étant que moyen, la présence de minéraux comme les amphiboles qui ne sont pas bien triées aide à perturber

le patron de distribution habituellement observé chez des turbidites bien triées (Sawyer et Korneliussen, 1989).

Une seconde explication tient du fait que les lits de grès amalgamés, massifs et non granoclassés présents dans la Formation de Bordeleau ont été traités avec les lits de turbidites granoclassées. La distribution des éléments dans les grès massifs n'est pas la même que celle des turbidites. En effet, ces dernières (comportement 1, section 3.3.2) montrent un enrichissement du Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et MgO dans les granulométries fines ce qui a aussi été observé par Argast et Donnelly et Sawyer et Korneliussen (1989), mais les lits de grès amalgamés, non granoclassés (comportement 2) montrent une diminution du Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et du MgO dans les granulométries fines.

Cette distribution anomale chez les grès massifs vient perturber d'avantage le patron de distribution des éléments mafiques. Cette anomalie ne s'observe cependant pas chez le K<sub>2</sub>O et le patron de distribution de cet élément du groupe felsique n'est donc pas affecté par la présence des grès massifs dans l'étude du tri. Même si globalement, on s'attend à observer un enrichissement en K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et MgO chez un grès massif fin, par rapport à un grès massif grossier, il est évident que les lits de turbidites doivent être traités séparément des grès massifs. Il est montré par une étude plus détaillée (lit par lit, section 3.3.2) que ces deux types de lits ont des comportements différents en ce qui

concerne la distribution des éléments par rapport à la granulométrie.

Il serait très intéressant de poursuivre cette étude sur cet aspect et de cerner vraiment la différence des patrons de distribution entre les lits de turbidites et les lits des grès amalgamés. Malheureusement, dans cette étude il y a trop peu de lits amalgamés et trop peu d'échantillons par lits amalgamés pour pouvoir conclure à un comportement général, et chacun de ces lits ne contenait que deux échantillons. Ces grès ont donc été traités avec les turbidites dans la plus grosse partie de cette étude.

Sur pratiquement tous les diagrammes de provenance tectonique, autant pétrographiques que géochimiques, les grès du Bordeleau tombent dans des environnements qui font référence à une source volcanique. Cette source est justifiée par la composition très riche en FVF, la présence de quartz volcanique et de plagioclases et aussi par la présence d'amphiboles. Ces environnements tectoniques sont ceux d'arcs magmatiques pour les diagrammes pétrographiques, d'îles en arcs océaniques, d'îles en arcs continentales et de marges continentales actives pour les diagrammes géochimiques.

La majorité des diagrammes fonctionnent bien car ils ne montrent qu'un seul et même environnement tectonique, soit celui d'arc magmatique, avec des variations de composition à l'intérieur de cet environnement.

Pour les diagrammes de Roser et Korsch (1986) et pour

ceux de Bhatia (1983) aussi, il a été convenu qu'il était important de prendre une moyenne de la composition de chaque lit, car le changement de granulométrie à l'intérieur des lits implique aussi un changement de composition qui peut biaiser les résultats de provenance tectonique (Roser et Korsch, 1986; Sawyer et Korneliussen, 1989). Cette moyenne a été obtenue en faisant une moyenne des échantillons pour chaque lit, ce qui a ramené l'étendu de granulométrie des lits à une granulométrie moyenne, plus représentative de la composition globale du lit. Cependant, il aurait peut-être mieux valu faire cette moyenne lors des premières manipulations de broyage, et inclure un échantillon contenant tout le lit de la base au sommet. Cette moyenne aurait possiblement été plus précise que celle obtenue dans ce travail. Cependant, les résultats vont dans le même sens et appuient la mention de Roser et Korsch (1986) sur l'importance de cette moyenne pour déterminer une provenance tectonique géochimique.

Le diagramme pétrographique de Dickinson et Suczek (1979) (Fig. 11a) montre la grande immaturité minéralogique des grès du Bordeleau par la forte proportion de fragments volcaniques. Cette immaturité se perçoit aussi sur les diagrammes géochimiques de Roser et Korsch (1986) par les compositions faibles en  $K_2O/Na_2O$  et en  $SiO_2$ .

De façon générale, la géochimie vient appuyer les résultats pétrographiques et donne des précisions importantes

qui ne sont pas perceptibles au niveau pétrographique. Il est donc important de compléter une étude pétrographique par une étude géochimique et vice versa. Ce travail a démontré que la géochimie des roches du Bordeleau, qui sont archéennes, donne de bons résultats même si celles-ci sont altérées et ont subi un métamorphisme au faciès des schistes verts. Argast et Donnelly (1987) ont comparé la composition chimique des grès d'Amérique du Nord à des sédiments turbiditiques non lithifiés de la Mer Noire. Les patrons de distribution géochimiques sont similaires dans les deux cas. Ceci indique que l'altération d'enfouissement (métamorphisme de bas grade) ne résulte pas nécessairement en une redistribution à grande échelle des éléments constituants (Argast et Donnelly, 1987), et qu'une étude géochimique est très valable pour ce type de roche. Les grès riches en biotite (échantillon AM-50) de la Formation de Bordeleau appuient aussi cette conclusion, car ils représentent un faciès plus élevé que le reste des échantillons, mais leurs patrons géochimiques demeurent très semblables.

#### CONCLUSION

Le présent travail a permis de faire une étude assez détaillée sur les grès de la Formation de Bordeleau. Etant donné le peu de données pétrographiques et géochimiques disponibles à ce jour sur cette formation, cette étude apporte des renseignements importants et des données assez

détaillées sur celle-ci. Ainsi, il a été possible de déterminer trois classes de compositions pétrographiques et géochimiques distinctes qui correspondent peut-être à des niveaux stratigraphiques particuliers dont la source était un peu différente en composition. Cette observation reste à confirmer par des travaux couvrant une plus grande totalité de la formation, mais les données et interprétations présentées dans ce travail donne le point de départ pour de tels travaux futurs.

De même, il a été possible de déterminer les patrons de distribution des constituants minéralogiques et chimiques en fonction de la granulométrie. Ces patrons ont été produits par le mécanisme du tri dans les turbidites. A l'aide de d'autres études de ce genre (Argast et Donnelly, 1987; Roser et Korsch, 1986 et Sawyer et Korneliussen, 1989) il a été possible de comparer les patrons obtenus pour les grès du Bordeleau avec d'autres patrons similaires, et d'en expliquer les différences et les similitudes. Enfin, il a été possible de préciser l'environnement tectonique de ces grès, soit celui d'arc magmatique de façon très large, qui fait référence à une source volcanique.

En plus des principaux objectifs qui ont été atteints, ce travail a permis de constater une fois de plus l'efficacité d'une étude pétrographique jumelée à une étude géochimique, et ce même dans des grès archéens. Ces travaux viennent confirmer ou appuyer d'autres travaux antérieurs sur le

Bordeleau et d'autres formations de la région de Chibougamau en ce qui concerne la source et l'environnement tectonique (Dimroth et al., 1983; Mueller, 1986; Daigneault et Allard, 1983), mais apporte des renseignements nouveaux quant à la nature de cette source qui peuvent aider à comprendre les conditions de mise en place de la Formation de Bordeleau.

Les objectifs de ce travail pourraient éventuellement s'étendre à d'autres formations de la région de Chibougamau, par exemple la Formation de Daubrée qui contient aussi des turbidites (Caty, 1979), ce qui complèterait le présent travail, car à l'échelle de toute la région, cette étude n'est qu'un point de départ. Il n'a pas été permis de conclure à un patron de distribution pour les lits de grès amalgamés avec les seules données disponibles dans ce travail. Cependant, des travaux en ce sens pourraient être entrepris afin de mieux cerner les patrons de distribution de ce type de dépôts et de les comparer à ceux des turbidites. Ceci apporterait des données supplémentaires en ce qui concerne les modes de mise en place de ces deux dépôts.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, Pierre A. Cousineau de l'Université du Québec à Chicoutimi pour son support professionnel et moral, ainsi que mes correcteurs Wulf Mueller et Sarah Janes Barnes tous deux de l'Université du Québec à Chicoutimi pour leurs précieux conseils. Je remercie aussi Réal Daigneault, Paul Bédard, Jean-Eudes Villeneuve, Yvon Boudreault, Richard Lechasseur et Marcel Lapointe pour leur soutien technique, ainsi que Michel Collard, Bernard Lapointe et Clément Billodeau pour l'aide apportée à l'apprentissage des logiciels informatiques. Merci aussi à la fondation Thomas-Léon Tremblay et au CRSNG pour l'aide financière apportée. Je remercie tout spécialement Michel Collard, Clément Billodeau, Marie-Clod Terrien et mes parents pour leur soutien moral et leur encouragement ininterrompu. A tous ces gens et à ceux que j'oubli, un gros merci!

REFERENCES

- Allard, G.O., et Gobeil, A. 1984. General Geology of the Chibougamau Region. Chibougamau-Stratigraphy and Mineralization, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 34, pp. 5-19.
- Argast, S., et Donnelly, T. 1987. The chemical discrimination of clastic sedimentary components. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57, pp. 813- 823.
- Bailes, A.H. 1980. Origin of early Proterozoic volcaniclastic turbidites, south margin of the Kisseynew sedimentary gneiss belt, File Lake, Manitoba. *Precambrian research*, 12, pp.197-225.
- Bédard, L.P., et Barnes, S.J. 1990. Instrumental neutron activation analysis by collecting only one spectrum: results for international geochemical reference samples. *Geostandards Newsletter*, 14, pp.479-484.
- Beullac, R. 1987. Géologie de la demie Nord du canton de Barlow, région de Chibougamau. Ministère de l'Energie et des Ressources, ET-87-05, 44p.
- Bhatia, M.R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology*, 91, pp. 611-627.
- Caty, J.L. 1977. Demie Est du Canton de Richardson, Comté d'Abitibi-Est. Ministère des Richesses Naturelles, DPV-447, 12p.
- Caty, J.-L. 1979. Demie Ouest du Canton de Bignell, Comté d'Abitibi-Est. Ministère des Richesses Naturelles, DPV-678, 22p.
- Crook, K.A.W. 1974. Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variation in flysch arenites (graywackes). dans Dott, R.H., and Shaver, R.H. eds. Modern and ancient geosynclinal sedimentation: SEPM special publication, 19, pp.304-310.
- Daigneault, R., et Allard, G.O. 1983. Stratigraphie et Structure de la Région de Chibougamau. Ministère de l'Energie et des Ressources, dans Stratigraphie des ensembles Volcano-Sédimentaires Archéens de l'Abitibi: Etat des connaissances, DV 83-11, pp. 1-17.
- Daigneault, R., et Allard, G.O. 1984. Evolution tectonique d'une portion du Sillon de roches vertes de

Chibougamau. Chibougamau-Stratigraphy and Mineralization, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 34, pp. 212-228.

Daigneault, R., et Allard, G.O. 1990. Le Complexe du Lac Doré et son environnement géologique, Région de Chibougamau, sous-province de l'Abitibi. Ministère de l'Energie et des Ressources, MM-89-03, 286p.

Deer, W. A., Howie, R. A. et Zussman, J. 1962. Rock-Forming minerals. Longmans éditeur, en 5 volumes. Vol.1: Ortho- and Ring Silicates, Vol.2: Chain Silicates, Vol.3: Sheet Silicates, Vol.4: Framework Silicates et Vol.5: Non-Silicates.

Dickinson, W.R., et Suczek, C.A. 1979. Plate Tectonics and Sandstone Compositions. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 63, pp. 2164-2182.

Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A., et Ryberg, P.T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. Geological Society of America Bulletin, 94, pp. 222-235.

Dimroth, E., Mueller, W., Archer, P., Gobeil, A., et Allard, G.O. 1982. Evidence for extensive Archean shallow marine sedimentation in the Chibougamau area, Quebec. Current Research, Part A, Geological Survey of Canada, Papier 82-1A, pp. 29-36.

Dimroth, E., Mueller, W., Rocheleau, M., Archer, P., Jutras, P., Piché, M., Simoneau, P., Carignan, J., Chown, E.H., Guha, J., Goulet, N., Allard, G.O., Franconi, A., et Gobeil, A. 1983. Stratigraphie et évolution du bassin de transition entre les Groupes de Roy et d'Opémisca, région de Chibougamau-Chapais. Stratigraphie des Ensembles Volcano-Sédimentaires Archéens de l'Abitibi: Etat des connaissances, Ministère de l'Energie et des Ressources, DV 83-11, pp. 21-33.

Dimroth, E., Rocheleau, M., et Mueller, W. 1984. Paleogeography, Isostasy and Crustal Evolution of the Archean Abitibi Belt: A comparison between the Rouyn-Noranda and Chibougamau-Chapais Areas. Chibougamau-Stratigraphy and Mineralization, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 34, pp. 73-91.

- Dimroth, E., Rocheleau, M., Mueller, W., Archer, P., Brisson, H., Fortin, G., Jutras, M., Lefebvre, C., Piché, M., Pilote, P., et Simoneau, P. 1985. Paleogeographic and paleotectonic response to magmatic processes: a case history from the Archean Sequence in the Chibougamau area, Québec. *Geologische Rundschau*, 75, pp.11-32.
- Drake, M.J. 1976. Plagioclase-Melt equilibria. *Geochemical and Cosmochimical Acta*, 40, pp. 457-466.
- Eriksson, K.A. 1978. Alluvial and destructive beach facies from the Archean Moodies Group, Barbeton Mountain Land, South Africa and Swaziland. *Fluvial Sedimentology*, Canadian Society of Petroleum Geology, Miall, A.D. (editor), Memoire 5, pp. 287-311.
- Floyd, P.A., et Leveridge, B.E. 1987. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *Journal of the Geological Society*, London, 144, pp. 531-542.
- Hyde, R.S. 1978. Sedimentology, volcanology, stratigraphy and tectonic setting of the Archean Timiskaming Group Abitibi Greenstone Belt, northeastern Ontario, Canada. Ph.D. Thesis, McMaster University, Hamilton, non-publiée, 422p.
- Hyde, R.S. 1980. Sedimentary Facies in the Archean Timiskaming Group and their tectonic implications, Abitibi Greenstone Belt, northeastern Ontario, Canada. *Precambrian Research*, 12, 161-195.
- Jutras, M. 1983. Environnement de déposition de la Formation de Bordeleau, dans la demie-Sud du Canton de Richardson. Projet de fin d'études, Université du Québec à Chicoutimi. 99p.
- Lowe, D.R. 1982. Sediment Gravity Flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density currents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52, pp. 279-297.
- Ludden, J., Francis, D., et Allard, G. 1983. Stratigraphie et évolution géochimique des séries volcaniques de la région de Chibougamau. Stratigraphie des Ensembles Volcano-Sédimentaires Archéens de l'Abitibi: Etat des connaissances, Ministère de l'Energie et des Ressources, DV 83-11, pp. 19-20.

- Ludden, J., Francis, D., et Allard, G. 1984. The geochemistry and evolution of the Volcanic Rocks of the Chibougamau region of the Abitibi Metavolcanic Belt. Chibougamau-Stratigraphy and Mineralization, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 34, pp. 20-34.
- Maynard, J.B., Valloni, R., et Yu, H.S. 1982. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins: dans Leggett, J.K. ed., Trench-forearc geology: sedimentation and tectonics on modern and ancient active plate margins. Geological Society, London special publication, 10, pp.551-561.
- Middleton, G.V. 1960. Chemical composition of sandstones. Geological Society of America Bulletin, 71, pp.1011-1026.
- Moisan, A. 1988. Pétrochimie des grès des Formations de Bordeleau et de Daubrée, région de Chibougamau, Québec. Projet de fin d'études, Université du Québec à Chicoutimi, 46p.
- Mueller, W. 1986. Sedimentology, Volcanology, Petrography, and Paleogeographic evolution of the Archean Opemisca Group in the internal zone of the Abitibi Greenstone Belt, Chibougamau, Québec, Canada. Thèse de Doctorat, 308p.
- Mueller, W., et Dimroth, E. 1987. A terrestrial-shallow marine transition in the Archean Opemisca Group east of Chapais, Québec. Precambrian Research, 37, pp.29-55.
- Percival, J.A., et Williams, H.R. 1989. Late Archean Quetico accretionary complex, Superior province, Canada. Geology, 17, pp. 23-25.
- Roser, B.P., et Korsch, R.J. 1986. Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones: a discussion. (Discussion and Reply), Journal of Geology, 93, pp. 81-84.
- Sawyer, E.W. 1986. The influence of source rock type, chemical weathering and sorting on the geochemistry of clastic sediments from the Quetico Metasedimentary Belt, Superior Province, Canada. Chemical Geology, 55, pp. 77-95.
- Sawyer, E.W., et Korneliussen, A. 1989. The geochemistry of Lower Proterozoic siliciclastic turbidites from the Rombak Window: implication for paleogeography and

- tectonic setting. Norges geologiske undersokelse Bulletin, pp. 1-48.
- Schwab, F.L. 1975. Framework mineralogy and chemical composition of continental margin-type sandstones. *Geology*, 3, pp.487-490.
- Sun, S.S. et Hanson, G.N. 1976. Rare earth element evidence for differentiation of McMurdo Volcanics, Ross Island, Antarctica. Contribution in Mineralogy and Petrology, pp. 54-139.
- Teal, P.R. 1979. Stratigraphy, Sedimentology, Volcanology and Development of the Archean Manitoba Group, North-Western Ontario, Canada. Ph.D. McMaster University, Hamilton. non-publié, 291p.
- Valloni, R., et Mezzadri, G. 1984. Compositional suites of terrigenous deep-sea sands of the present continental margins. *Sedimentology*, 31, pp. 353-364.
- Walker, R.G. 1967. Turbidite sedimentary structures and their relationship to proximal and distal depositional environments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37, pp. 25-34.
- Walker, R.G. 1984. Turbidites and Associated Coarse Clastic Deposits. Facies Models, seconde édition, édité par Roger G. Walker, Geoscience Canada, Reprint Series 1, pp. 171-188.

## **ANNEXE 1**

## TABLEAU DE CORRESPONDANCE DES TERMES CARACTERISANT LES ÉCHANTILLONS

: No de : No du : No de la : No de la : site et : Type de grès : Analyse : Division :  
 : l'échan.: Lit : coupe : classe : figure : : pétro. : de Bouma :  
 ======  
 : AM-01 : 07 : 1 : 1 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-02 : 07 : 1 : 1 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-03 : 07 : 1 : 1 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-04 : 07 : 1 : 1 : I-fig.5 : fin-très fin : oui : Td :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-05 : 07 : 1 : 1 : I-fig.5 : très fin : oui : Td :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-06 : 07 : 1 : 1 : I-fig.5 : moyen-gros : oui : Ta :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-07 : 07 : 1 : 1 : I-fig.5 : moyen-gros : oui : Ta :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-08 : 07 : 1 : 1 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-09 : 07 : 1 : 1 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-10 : 06 : 1 : 1 : I-fig.5 : fin : oui : Tb :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-11 : 06 : 1 : 1 : I-fig.5 : fin : oui : Tb :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-12 : 06 : 1 : 1 : I-fig.5 : fin : oui : Tb :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-13 : 06 : 1 : 1 : I-fig.5 : très fin : oui : Td :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-14 : 06 : 1 : 1 : I-fig.5 : très fin : oui : Td :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-15 : 06 : 1 : 1 : I-fig.5 : très fin-silt: oui : Td-Te :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-16 : 04 : 1' : 3 : I-fig.5 : moyen-gros : oui : Ta :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-17 : 04 : 1' : 3 : I-fig.5 : gros : oui : Ta :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-18 : 04 : 1' : 3 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-19 : 04 : 1' : 3 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-20 : 04 : 1' : 3 : I-fig.5 : fin : oui : Tb :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-21 : 04 : 1' : 3 : I-fig.5 : fin : oui : Tb :  
 : : : : : : : : :  
 : AM-22 : 04 : 1' : 3 : I-fig.5 : fin : oui : Tb :  
 : : : : : : : : :

## ANNEXE 1

(suite)

=====
: No de : No du : No de la : No de la : site et : Type de grès : Analyse : Division :
:l'échan.: Lit : coupe : classe : figure : : pétro. : de Bouma :
=====
: AM-28 : 101 : 1 : 1 : I-fig.5 : fin-moyen : oui : Tb : 
: : : : : : : : : 
: AM-29 : 101 : 1 : 1 : I-fig.5 : très fin : oui : Td : 
: : : : : : : : : 
: AM-30 : 101 : 1 : 1 : I-fig.5 : silt : - : Te : 
: : : : : : : : : 
: AM-31 : 104 : 1 : 1 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta : 
: : : : : : : : : 
: AM-33 : 105 : 1 : 1 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta : 
: : : : : : : : : 
: AM-34 : 105 : 1 : 1 : I-fig.5 : moyen-fin : oui : Tb : 
: : : : : : : : : 
: AM-35 : 105 : 1 : 1 : I-fig.5 : très fin : - : Td : 
: : : : : : : : : 
: AM-36 : 113 : 1' : 3 : I-fig.5 : fin : oui : Tb : 
: : : : : : : : : 
: AM-37 : 114 : 2' : 2 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta : 
: : : : : : : : : 
: AM-38 : 115 : 2' : 2 : I-fig.5 : gros : oui : Ta : 
: : : : : : : : : 
: AM-39 : 115 : 2' : 2 : I-fig.5 : silt : - : Te : 
: : : : : : : : : 
: AM-40 : 116 : 2' : 2 : I-fig.5 : gros : oui : Ta : 
: : : : : : : : : 
: AM-41 : 116 : 2' : 2 : I-fig.5 : silt : - : Te : 
: : : : : : : : : 
: AM-46 : 165-1 : 10 : 2 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta : 
: : : : : : : : : 
: AM-47 : 161-5 : 10 : 2 : I-fig.5 : moyen : oui : Ta : 
: : : : : : : : : 
: AM-48 : 118-1 : 11 : 2 : I-fig.5 : silt : - : Te : 
: : : : : : : : : 
: AM-49 : 118-1 : 11 : 2 : I-fig.5 : très fin : oui : Td : 
: : : : : : : : : 
: AM-50 : 142-1 : 12 : 2 : I-fig.5 : fin : oui : Tb : 
: : : : : : : : : 
: AM-51 : 142-1 : 12 : 2 : I-fig.5 : fin : - : Tb : 
: : : : : : : : : 
: AM-52 : 142-1 : 12 : 2 : I-fig.5 : fin : - : Tb : 
: : : : : : : : : 
: AM-54 : 142-1 : 12 : 2 : I-fig.5 : fin : - : Tb : 
: : : : : : : : : 
: AM-55 : 148-3 : 13 : 2 : I-fig.5 : fin-moyen : - : Ta : 
: : : : : : : : : 
: AM-56 : 150-1 : 13 : 2 : I-fig.5 : très fin : - : Td : 
: : : : : : : : : 
=====

## ANNEXE 1

(suite)

=====

: No de : No du : No de la : No de la : site et : Type de grès : Analyse : Division :  
: l'échan.: Lit : coupe : classe : figure : : pétro. : de Bouma :  
=====

: AM-57 : 60-1 : 7 : 3 : II-fig.6: fin-très fin : oui : Td :  
: : : : : : : : :  
: AM-58 : 129-1 : 8 : 3 : II-fig.6: silt : - : Te :  
: : : : : : : :  
: AM-59 : 129-1 : 8 : 3 : II-fig.6: fin : - : Tb :  
: : : : : : : :  
: AM-60 : 129-1 : 8 : 3 : II-fig.6: très fin : - : Td :  
: : : : : : : :  
: AM-61 : 133-1 : 8 : 3 : II-fig.6: fin : oui : Tb :  
: : : : : : : :  
: AM-62 : 128-B : 8 : 3 : II-fig.6: fin : - : Tb :  
: : : : : : : :  
: AM-63 : 82-1 : 9 : 3 : III-fig.6: fin-moyen : oui : Ta :  
: : : : : : : :  
=====

## ANNEXE 2

## MATRICE DE CORRELATION

| Éléments | Si      | Al      | Fe      | Na      | K       | Ca      | Mg      | Mn      | Ti      | P       | S       |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Si       | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Al       | -0.7883 | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Fe       | -0.9193 | 0.6056  | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Na       | 0.3348  | -0.3237 | -0.4802 | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |
| K        | -0.0789 | 0.5216  | -0.0015 | -0.5304 | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |
| Ca       | -0.7694 | 0.3603  | 0.7249  | -0.4044 | -0.2094 | 1.0000  |         |         |         |         |         |
| Mg       | -0.8429 | 0.5638  | 0.8907  | -0.3441 | -0.0102 | 0.5474  | 1.0000  |         |         |         |         |
| Mn       | -0.8243 | 0.5262  | 0.8895  | -0.4359 | -0.0539 | 0.7464  | 0.7769  | 1.0000  |         |         |         |
| Ti       | -0.7902 | 0.3464  | 0.8288  | -0.1450 | -0.3072 | 0.7466  | 0.6862  | 0.6802  | 1.0000  |         |         |
| P        | -0.7655 | 0.5020  | 0.7670  | -0.3586 | 0.0929  | 0.6802  | 0.5735  | 0.6214  | 0.7782  | 1.0000  |         |
| S        | 0.0420  | -0.1115 | -0.0119 | 0.1060  | -0.1931 | 0.0683  | -0.2024 | -0.0601 | 0.2448  | 0.1283  | 1.0000  |
| CO2      | 0.1216  | -0.2861 | -0.2225 | 0.4486  | -0.4279 | 0.0700  | -0.1490 | -0.1132 | 0.0408  | -0.2434 | 0.1848  |
| La       | -0.6558 | 0.5560  | 0.6083  | -0.3665 | 0.2859  | 0.5365  | 0.4024  | 0.4391  | 0.6322  | 0.8291  | 0.1916  |
| Ce       | -0.6557 | 0.5238  | 0.6181  | -0.3731 | 0.2526  | 0.5667  | 0.4049  | 0.4594  | 0.6422  | 0.8614  | 0.1625  |
| Nd       | -0.7187 | 0.5407  | 0.6892  | -0.3942 | 0.2160  | 0.6332  | 0.4783  | 0.5274  | 0.7056  | 0.9091  | 0.1474  |
| Sm       | -0.7668 | 0.5414  | 0.7403  | -0.4003 | 0.1712  | 0.6995  | 0.5285  | 0.5792  | 0.7534  | 0.9328  | 0.1063  |
| Eu       | -0.7757 | 0.4909  | 0.7416  | -0.2838 | 0.0174  | 0.7396  | 0.5237  | 0.5842  | 0.8277  | 0.9074  | 0.1320  |
| Tb       | -0.7335 | 0.5500  | 0.6928  | -0.3928 | 0.1455  | 0.7041  | 0.4490  | 0.5928  | 0.6434  | 0.8465  | 0.0787  |
| Yb       | -0.6533 | 0.6184  | 0.5771  | -0.4500 | 0.3249  | 0.5735  | 0.3950  | 0.5280  | 0.3902  | 0.6721  | 0.0184  |
| Lu       | -0.6411 | 0.6312  | 0.5491  | -0.4484 | 0.3574  | 0.5659  | 0.3578  | 0.5268  | 0.3615  | 0.6842  | -0.0174 |
| As       | 0.3502  | -0.1028 | -0.3517 | -0.0618 | 0.2272  | -0.2661 | -0.4759 | -0.2721 | -0.3853 | -0.4407 | 0.1427  |
| Ba       | -0.1588 | 0.4617  | 0.0597  | -0.3284 | 0.7065  | -0.0762 | 0.0601  | 0.0322  | -0.2310 | 0.1904  | -0.1408 |
| Co       | -0.0113 | -0.1564 | 0.0115  | 0.1444  | -0.1998 | 0.0978  | 0.0062  | -0.0510 | 0.2825  | 0.0434  | 0.1563  |
| Cr       | -0.1478 | 0.1144  | 0.2095  | -0.2466 | 0.0142  | 0.0962  | 0.3048  | 0.2826  | -0.0264 | -0.2350 | -0.1820 |
| Cs       | -0.1861 | 0.3670  | 0.1743  | -0.5901 | 0.6196  | 0.0272  | 0.3174  | 0.0974  | -0.1066 | 0.2080  | -0.2335 |
| Hf       | -0.1140 | 0.1735  | 0.0451  | 0.0697  | 0.2102  | -0.0537 | 0.0578  | -0.0908 | 0.1955  | 0.1869  | 0.1022  |
| Nb       | -0.2451 | -0.0101 | 0.3219  | 0.0399  | -0.1434 | 0.1619  | 0.3343  | 0.2296  | 0.4006  | 0.4790  | -0.1244 |
| Ni       | -0.4708 | 0.3028  | 0.5836  | -0.4972 | 0.0912  | 0.3731  | 0.6087  | 0.6043  | 0.2994  | 0.3764  | -0.2110 |
| Rb       | -0.1448 | 0.4812  | 0.1361  | -0.6369 | 0.9321  | -0.1195 | 0.1125  | 0.0505  | -0.1561 | 0.2237  | -0.2133 |
| Sb       | 0.1747  | 0.0471  | -0.1764 | -0.2646 | 0.2873  | -0.0965 | -0.2970 | -0.1394 | -0.2065 | -0.1648 | 0.1514  |
| Sc       | -0.8812 | 0.6862  | 0.8984  | -0.5219 | 0.1351  | 0.7048  | 0.7721  | 0.8098  | 0.6989  | 0.7558  | -0.0269 |
| Se       | 0.1981  | -0.2284 | -0.2262 | 0.1212  | 0.0111  | -0.1122 | -0.1592 | -0.2355 | -0.0044 | -0.2499 | -0.0032 |
| Sr       | -0.5903 | 0.3868  | 0.5798  | -0.5785 | 0.1558  | 0.7386  | 0.3773  | 0.5314  | 0.4839  | 0.6955  | -0.0132 |
| Ta       | 0.1868  | -0.2688 | -0.2067 | 0.2053  | -0.1084 | -0.0941 | -0.1390 | -0.2554 | 0.0601  | -0.2426 | 0.0173  |
| Th       | -0.3445 | 0.4999  | 0.2991  | -0.4417 | 0.6292  | 0.1295  | 0.2226  | 0.1924  | 0.1465  | 0.6070  | 0.0004  |
| U        | -0.1102 | 0.2894  | 0.0842  | -0.4159 | 0.5967  | 0.0031  | 0.0370  | 0.0158  | -0.0416 | 0.2600  | 0.0810  |
| Y        | -0.7081 | 0.5441  | 0.6668  | -0.4094 | 0.1452  | 0.6801  | 0.4663  | 0.6220  | 0.5384  | 0.7779  | 0.0381  |
| Zn       | -0.3162 | -0.0357 | 0.3646  | 0.0212  | -0.2743 | 0.3203  | 0.4488  | 0.2856  | 0.5194  | 0.2723  | -0.0070 |
| Zr       | -0.5509 | 0.6333  | 0.4930  | -0.3642 | 0.4429  | 0.3183  | 0.3215  | 0.3826  | 0.3653  | 0.7019  | 0.1440  |

Les valeurs supérieures à 0.4430 sont significatives à 99.9%

ANNEXE 2  
(suite)

| Éléments | C02     | La      | Ce      | Nd      | Sm      | Eu      | Tb      | Yb      | Lu      | As      | Ba      |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| C02      | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| La       | -0.2460 | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Ce       | -0.2670 | 0.9904  | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Nd       | -0.2759 | 0.9673  | 0.9800  | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |
| Sm       | -0.2667 | 0.9424  | 0.9591  | 0.9857  | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |
| Eu       | -0.1614 | 0.8742  | 0.8953  | 0.9422  | 0.9592  | 1.0000  |         |         |         |         |         |
| Tb       | -0.3125 | 0.8367  | 0.8635  | 0.8918  | 0.9166  | 0.8775  | 1.0000  |         |         |         |         |
| Yb       | -0.3143 | 0.7673  | 0.7781  | 0.7542  | 0.7702  | 0.6644  | 0.8397  | 1.0000  |         |         |         |
| Lu       | -0.3162 | 0.7502  | 0.7618  | 0.7399  | 0.7558  | 0.6422  | 0.8229  | 0.9623  | 1.0000  |         |         |
| As       | -0.0484 | -0.0904 | -0.1560 | -0.2110 | -0.2527 | -0.2976 | -0.2140 | -0.1014 | -0.0804 | 1.0000  |         |
| Ba       | -0.4018 | 0.4085  | 0.3922  | 0.3427  | 0.2816  | 0.1314  | 0.2692  | 0.5091  | 0.5036  | 0.1600  | 1.0000  |
| Co       | 0.2347  | -0.0313 | -0.0482 | -0.0105 | 0.0299  | 0.1022  | -0.0361 | -0.1961 | -0.1316 | 0.0327  | -0.4918 |
| Cr       | 0.0240  | -0.1861 | -0.2134 | -0.2189 | -0.1721 | -0.2036 | -0.1048 | 0.1879  | 0.1345  | 0.1348  | -0.0357 |
| Cs       | -0.2225 | 0.1468  | 0.1195  | 0.1423  | 0.1163  | 0.0131  | 0.0153  | 0.1088  | 0.0657  | 0.0629  | 0.3552  |
| Hf       | -0.0508 | 0.4087  | 0.3706  | 0.3363  | 0.3287  | 0.2761  | 0.2746  | 0.2801  | 0.2664  | -0.1125 | 0.0724  |
| Nb       | -0.0596 | 0.1717  | 0.1674  | 0.2109  | 0.2619  | 0.2753  | 0.1609  | 0.0258  | 0.1099  | -0.1964 | -0.2392 |
| Ni       | -0.2289 | 0.0855  | 0.1007  | 0.1600  | 0.2061  | 0.1833  | 0.2374  | 0.2748  | 0.2098  | -0.2085 | 0.0422  |
| Rb       | -0.3768 | 0.2794  | 0.2490  | 0.2292  | 0.2059  | 0.0691  | 0.1320  | 0.2633  | 0.2876  | 0.1669  | 0.5264  |
| Sb       | 0.0604  | -0.0511 | -0.1081 | -0.1361 | -0.1459 | -0.1535 | -0.1374 | -0.0779 | -0.0984 | 0.5965  | 0.0118  |
| Sc       | -0.2492 | 0.5818  | 0.5918  | 0.6417  | 0.6923  | 0.6695  | 0.7348  | 0.6928  | 0.6639  | -0.3214 | 0.0864  |
| Se       | 0.2489  | -0.1514 | -0.1844 | -0.1656 | -0.1325 | -0.1089 | -0.2477 | -0.2973 | -0.2255 | 0.0897  | -0.3534 |
| Sr       | -0.2924 | 0.5825  | 0.5972  | 0.6494  | 0.6806  | 0.6650  | 0.6478  | 0.5846  | 0.5653  | 0.0345  | 0.2980  |
| Ta       | 0.2250  | -0.1557 | -0.1790 | -0.1523 | -0.1111 | -0.0721 | -0.2126 | -0.3192 | -0.2397 | 0.0455  | -0.4283 |
| Th       | -0.3922 | 0.7682  | 0.7424  | 0.6797  | 0.6292  | 0.4560  | 0.4988  | 0.6229  | 0.6363  | 0.0657  | 0.6473  |
| U        | -0.2323 | 0.5367  | 0.4930  | 0.4188  | 0.3627  | 0.2195  | 0.2619  | 0.4569  | 0.4355  | 0.2839  | 0.6156  |
| Y        | -0.2419 | 0.8037  | 0.8243  | 0.8179  | 0.8353  | 0.7858  | 0.8801  | 0.9208  | 0.8790  | -0.1873 | 0.4123  |
| Zn       | 0.2930  | 0.1421  | 0.1297  | 0.2148  | 0.2446  | 0.3045  | 0.0320  | -0.1324 | -0.1162 | -0.2594 | -0.3671 |
| Zr       | -0.3973 | 0.8469  | 0.8359  | 0.7912  | 0.7603  | 0.6481  | 0.7198  | 0.8046  | 0.7700  | -0.0705 | 0.5843  |

ANNEXE 2  
(suite)

| Éléments | Co      | Cr      | Cs      | Hf      | Nb      | Ni      | Rb      | Sb      | Sc      | Se      | Sr      |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Co       | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Cr       | -0.0202 | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Cs       | -0.2232 | 0.2196  | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Hf       | 0.3580  | -0.0963 | 0.0366  | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |         |
| Nb       | 0.5329  | 0.0072  | -0.2075 | 0.3342  | 1.0000  |         |         |         |         |         |         |
| Ni       | -0.2727 | 0.5476  | 0.3556  | -0.2094 | -0.0298 | 1.0000  |         |         |         |         |         |
| Rb       | -0.0881 | 0.1361  | 0.6947  | 0.1768  | -0.0356 | 0.2074  | 1.0000  |         |         |         |         |
| Sb       | 0.0011  | 0.1924  | 0.3258  | 0.0003  | -0.4118 | 0.0251  | 0.3621  | 1.0000  |         |         |         |
| Sc       | -0.0424 | 0.3561  | 0.1904  | 0.0555  | 0.1759  | 0.6164  | 0.2506  | -0.0932 | 1.0000  |         |         |
| Se       | 0.8628  | -0.0280 | -0.0489 | 0.4219  | 0.5025  | -0.3466 | 0.1052  | 0.0988  | -0.2762 | 1.0000  |         |
| Sr       | 0.0173  | 0.0789  | 0.2712  | -0.0384 | 0.0108  | 0.2647  | 0.1874  | 0.0560  | 0.5096  | -0.1031 | 1.0000  |
| Ta       | 0.9021  | -0.0517 | -0.1343 | 0.4470  | 0.4868  | -0.3690 | -0.0164 | 0.0400  | -0.2670 | 0.9412  | -0.0811 |
| Th       | -0.2441 | -0.1121 | 0.4148  | 0.4339  | 0.0868  | 0.0812  | 0.5750  | 0.0850  | 0.3025  | -0.1121 | 0.3164  |
| U        | -0.2003 | 0.0306  | 0.4182  | 0.4173  | 0.0567  | -0.0159 | 0.5327  | 0.3855  | 0.0996  | -0.0277 | 0.2184  |
| Y        | -0.2606 | 0.0907  | 0.0613  | 0.2300  | 0.0483  | 0.3050  | 0.1121  | -0.1111 | 0.7103  | 0.3840  | 0.6252  |
| Zn       | 0.3941  | 0.0348  | 0.0784  | 0.1255  | 0.4430  | 0.1431  | -0.0806 | -0.0933 | 0.1765  | 0.3679  | 0.1429  |
| Zr       | -0.3581 | -0.0898 | 0.1998  | 0.3684  | -0.0016 | 0.1886  | 0.3624  | 0.0249  | 0.5297  | -0.3863 | 0.3962  |

ANNEXE 2  
(suite)

| Éléments | Ta      | Th      | U       | Y       | Zn      | Zr     |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Ta       | 1.0000  |         |         |         |         |        |
| Th       | -0.1913 | 1.0000  |         |         |         |        |
| U        | -0.1174 | 0.8240  | 1.0000  |         |         |        |
| Y        | -0.3932 | 0.5494  | 0.3840  | 1.0000  |         |        |
| Zn       | 0.4047  | -0.0138 | -0.0643 | -0.0318 | 1.0000  |        |
| Zr       | -0.4392 | 0.8373  | 0.6380  | 0.7625  | -0.1170 | 1.0000 |

## ANNEXE 3

COMPOSITION MOYENNE DE QUELQUES OXYDES ET ELEMENTS CONTENUS  
DANS LES MINERAUX DES GRES DU BORDELEAU

|                                | Quartz   | Andésite | Illite | Smectite | Amphiboles | Biotite | Zircon | Apatite | Carbonates | * FVF |
|--------------------------------|----------|----------|--------|----------|------------|---------|--------|---------|------------|-------|
|                                | (plagio) |          |        |          |            |         |        |         |            |       |
| SiO <sub>2</sub>               | 98.10    | 58.76    | 48.36  | 50.74    | 49.25      | 36.13   | 29.88  | -       | -          | 72.88 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.78     | 25.50    | 27.87  | 20.78    | 8.18       | 18.95   | 0.37   | -       | -          | 16.86 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.28     | 0.51     | 5.48   | 5.96     | 16.02      | 20.94   | 0.94   | 0.30    | 2.67       | 1.26  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.16     | 0.62     | 7.15   | 0.26     | 0.45       | 8.69    | -      | -       | -          | 0.94  |
| CaO                            | 0.20     | 7.70     | 0.45   | 2.42     | 11.77      | 0.27    | 0.18   | 50.96   | 48.96      | 1.24  |
| MgO                            | 0.06     | 0.09     | 2.15   | 8.46     | 13.75      | 9.24    | 0.23   | 0.13    | 1.29       | 0.62  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -        | -        | 0.03   | -        | -          | -       | 1.14   | 41.32   | -          | 0.06  |
| La                             | -        | -        | -      | -        | -          | -       | 0.40   | -       | -          | -     |
| Eu                             | -        | -        | -      | -        | -          | -       | 0.40   | -       | -          | -     |
| Rb                             | -        | -        | -      | -        | -          | 0.12    | -      | -       | -          | 0.02  |
| Th                             | -        | -        | -      | -        | -          | -       | 0.70   | -       | -          | -     |
| Zr                             | -        | -        | -      | -        | -          | -       | 61.71  | -       | -          | 0.08  |

Les valeurs pour tous les minéraux sont une moyenne des analyses chimiques présent dans Deer et al.

(1962). \*Les valeurs pour les FVF proviennent des valeurs de dykes felsiques de la région de Chibougamau, qui sont présumés être la source des grès du Bordeleau.

FVF = fragments volcaniques felsiques

## ANNEXE 4

## Composition moyenne de chaque lit

|                                    | lit 07 | lit 06 | lit 101-A | lit 104 | lit 105 | lit 114 | lit 115 | lit 116 | lit 165-1 | lit 161-5 |
|------------------------------------|--------|--------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| SiO <sub>2</sub>                   | 65.81  | 67.26  | 68.02     | 70.10   | 65.85   | 62.70   | 64.00   | 66.79   | 64.67     | 66.59     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 16.83  | 17.62  | 16.57     | 15.62   | 18.41   | 17.91   | 17.83   | 17.38   | 17.64     | 16.76     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 3.60   | 2.95   | 3.37      | 2.38    | 3.60    | 4.70    | 4.66    | 3.09    | 4.44      | 4.31      |
| * Na <sub>2</sub> O                | 6.60   | 5.15   | 4.81      | 5.98    | 4.21    | 5.08    | 3.63    | 6.21    | 5.43      | 5.45      |
| K <sub>2</sub> O                   | 1.16   | 2.17   | 1.85      | 1.43    | 2.37    | 2.26    | 2.37    | 1.50    | 1.38      | 1.09      |
| CaO                                | 3.24   | 3.11   | 3.56      | 3.26    | 3.61    | 4.37    | 4.64    | 3.04    | 4.32      | 3.74      |
| MgO                                | 1.96   | 1.11   | 1.13      | 0.72    | 1.30    | 2.26    | 2.18    | 1.36    | 1.31      | 1.20      |
| MnO                                | 0.06   | 0.05   | 0.06      | 0.05    | 0.06    | 0.08    | 0.08    | 0.05    | 0.08      | 0.07      |
| TiO <sub>2</sub>                   | 0.59   | 0.43   | 0.45      | 0.36    | 0.46    | 0.46    | 0.43    | 0.42    | 0.59      | 0.64      |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>      | 0.15   | 0.13   | 0.18      | 0.09    | 0.12    | 0.18    | 0.17    | 0.16    | 0.14      | 0.15      |
| Total                              | 100.00 | 100.00 | 100.00    | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00  | 100.00    | 100.00    |
| F+M                                | 5.55   | 4.06   | 4.49      | 3.10    | 4.90    | 6.96    | 6.84    | 4.45    | 5.75      | 5.51      |
| N+C                                | 9.84   | 8.27   | 8.37      | 9.25    | 7.83    | 9.45    | 8.27    | 9.25    | 9.75      | 9.19      |
| Al/Si                              | 0.26   | 0.26   | 0.25      | 0.22    | 0.29    | 0.29    | 0.28    | 0.26    | 0.27      | 0.25      |
| K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O | 0.19   | 0.43   | 0.40      | 0.24    | 0.79    | 0.45    | 0.73    | 0.24    | 0.25      | 0.20      |
| Al/N+C                             | 1.81   | 2.15   | 2.00      | 1.69    | 2.38    | 1.90    | 2.26    | 1.88    | 1.81      | 1.82      |
| Log(Na/K)                          | 0.83   | 0.38   | 0.42      | 0.62    | 0.27    | 0.35    | 0.20    | 0.64    | 0.60      | 0.70      |

|                                    | lit 142-1 | lit 148-3 | lit 150-1 | lit 60-1 | lit 129-1 | lit 133-1 | lit 128-B | lit 82-1 | lit 04 | lit 113 |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|--------|---------|
| SiO <sub>2</sub>                   | 62.26     | 59.55     | 64.38     | 54.80    | 55.63     | 56.31     | 56.31     | 63.67    | 59.00  | 55.87   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 18.31     | 18.14     | 18.28     | 19.33    | 20.51     | 19.09     | 19.09     | 17.58    | 17.69  | 17.86   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 5.00      | 6.65      | 4.24      | 7.49     | 6.25      | 8.40      | 8.40      | 7.32     | 6.70   | 7.69    |
| * Na <sub>2</sub> O                | 3.71      | 4.03      | 4.05      | 4.42     | 6.38      | 5.43      | 5.43      | 2.57     | 4.02   | 4.79    |
| K <sub>2</sub> O                   | 1.87      | 1.75      | 2.82      | 0.67     | 1.92      | 1.18      | 1.18      | 2.09     | 1.58   | 1.22    |
| CaO                                | 5.48      | 5.78      | 3.72      | 8.57     | 5.63      | 4.84      | 4.84      | 3.14     | 6.96   | 7.92    |
| MgO                                | 2.59      | 2.95      | 1.55      | 3.60     | 2.50      | 3.32      | 3.32      | 2.79     | 2.80   | 3.31    |
| MnO                                | 0.07      | 0.11      | 0.08      | 0.12     | 0.08      | 0.11      | 0.11      | 0.11     | 0.09   | 0.11    |
| TiO <sub>2</sub>                   | 0.54      | 0.76      | 0.55      | 0.70     | 0.78      | 0.90      | 0.90      | 0.56     | 0.83   | 0.89    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>      | 0.17      | 0.28      | 0.34      | 0.28     | 0.32      | 0.41      | 0.41      | 0.16     | 0.32   | 0.33    |
| Total                              | 100.00    | 100.00    | 100.00    | 100.00   | 100.00    | 100.00    | 100.00    | 100.00   | 100.00 | 100.00  |
| F+M                                | 7.59      | 9.59      | 5.79      | 11.09    | 8.76      | 11.72     | 11.72     | 10.12    | 9.51   | 11.00   |
| N+C                                | 9.20      | 9.81      | 7.76      | 12.99    | 12.00     | 10.27     | 10.27     | 5.71     | 10.98  | 12.71   |
| Al/Si                              | 0.30      | 0.30      | 0.28      | 0.35     | 0.37      | 0.34      | 0.34      | 0.28     | 0.30   | 0.32    |
| K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O | 0.51      | 0.43      | 0.70      | 0.15     | 0.30      | 0.22      | 0.22      | 0.81     | 0.39   | 0.25    |
| Al/N+C                             | 1.99      | 1.85      | 2.35      | 1.49     | 1.71      | 1.86      | 1.86      | 3.08     | 1.62   | 1.41    |
| Log(Na/K)                          | 0.31      | 0.36      | 0.16      | 0.82     | 0.52      | 0.66      | 0.66      | 0.09     | 0.41   | 0.59    |

Al/Si : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>  
 Al/N+C: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O+CaO  
 Na/K: Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O