

TH 1238

CARACTERISATION GEOCHIMIQUE DU COMPLEXE DE CUMMINGS, REGION DE CHIBOUGAMAU-CHAPAIS, QUEBEC

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 

TH 1238

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

PRESENTE A

L'UNIVERSITE DU QUEBEC A MONTREAL

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE ES SCIENCES (SCIENCES DE LA TERRE)

par

ALAIN POITRAS

B. Sc. Géologie

CARACTERISATION GEOCHIMIQUE DU COMPLEXE
DE CUMMINGS, REGION DE CHIBOUGAMAU-CHAPAIS, QUEBEC

1984

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

PRESENTE A

L'UNIVERSITE DU QUEBEC A MONTREAL

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE ES SCIENCES (SCIENCES DE LA TERRE)

par

ALAIN POITRAS

B. Sc. Géologie

CARACTERISATION GEOCHIMIQUE DU COMPLEXE
DE CUMMINGS, REGION DE CHIBOUGAMAU-CHAPAIS, QUEBEC

1984

RESUME

Le complexe de Cummings se compose de trois filons-couches superposés, généralement séparés par quelques mètres ou centaines de mètres de roche volcanique et volcano-détritique. Les forages de la ligne des cantons Barlow-Cuvier, effectués par le ministère des Richesses Naturelles du Québec en 1979, recoupent les roches de l'ensemble du complexe. Les trois filons-couches sont différenciés entre eux: le filon-couche inférieur étant le plus basique et le filon-couche supérieur, le plus acide. Chaque filon-couche se caractérise aussi d'une différenciation pétrographique interne. L'analyse géochimique des échantillons de forage confirme les observations pétrographiques et indique que nous sommes en présence d'un phénomène de cristallisation fractionnée de même type que le Skaergard, Muskox, Stillwater, etc.. La détermination des concentrations en terres-rares des différentes unités du complexe, permet d'évaluer les effets de la cristallisation fractionnée et de conclure que les trois filons-couches du complexe sont comagmatiques. La somme de toutes les observations pétrographiques, ainsi que les résultats des analyses géochimiques montrent que le complexe de Cummings appartient à la classe des complexes ignés lités d'envergure.

REMERCIEMENTS

Je remercie mon directeur de thèse, le Dr M. Morency pour l'aide apportée tout au long de cette étude. Mes remerciements vont aussi aux Drs J. Bournes et J. Carignan pour les conseils qu'ils m'ont prodigué dans les dernières phases de mes travaux.

Je désire souligner particulièrement l'aide de M. A. Gobeil, géologue résident de Chibougamau, pour ses conseils durant la période d'échantillonnage. Je désire remercier le Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec pour m'avoir autorisé à échantillonner les forages de la section Barlow-Cuvier.

Toutes ma gratitude va aux Drs G.O. Allard et P. Pagé pour leurs critiques constructives du texte, ainsi qu'à MM L. Harnois et R. Mineau pour leurs discussions concernant la géochimie des terres-rares.

Finalement, les dessins sont l'oeuvre de Mme M. Laithier que je remercie tout particulièrement.

TABLE DES MATIERES

	Page
RESUME.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIERES.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES PLANCHES.....	xii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I. GEOLOGIE.....	3
1. Généralités.....	3
1.1. Localisation.....	3
1.2. Travaux antérieurs.....	6
1.3. Géologie régionale et locale.....	7
1.3.1. Géologie régionale.....	7
1.3.2. Géologie à proximité des emplacements de forage sur la ligne de canton Barlow-Cuvier.	19
1.4. Description et interprétation sommaire de la coupe des forages.....	21

2. Description pétrographique.....	27
2.0. Introduction.....	27
2.1. Complexe de Cummings.....	28
2.2. Filon-couche de Roberge.....	29
2.2.1. Segment sud (Roberge-sud).....	29
2.2.2. Segment nord (Roberge-nord).....	38
2.3. Filon-couche de Ventures.....	44
2.3.1. Segment sud (Ventures-sud).....	44
2.3.2. Segment nord (Ventures-nord).....	49
2.4. Filon-couche de Bourbeau.....	55
2.5. Discussion.....	60
CHAPITRE II. GEOCHIMIE.....	70
1. Géochimie des éléments majeurs.....	70
1.0. Introduction.....	70
1.1. Filon-couche de Roberge.....	70
1.2. Filon-couche de Ventures.....	74
1.3. Filon-couche de Bourbeau.....	77
1.4. Discussion.....	80
2. Géochimie des éléments traces.....	96
2.0. Introduction.....	96
2.1. Les terres-rares.....	96
2.1.1. Filon-couche de Roberge.....	97
2.1.1.1. Segment sud (Roberge-sud).....	99
2.1.1.2. Segment nord (Roberge-nord).....	101

2.1.2. Filon-couche de Ventures.....	104
2.1.2.1. Segment sud (Ventures-sud).....	104
2.1.2.2. Segment nord (Ventures-nord).....	107
2.1.3. Filon-couche de Bourbeau.....	109
2.2. Autres éléments traces.....	111
2.3. Discussion.....	117
3. Modèle de cristallisation fractionnée.....	128
3.0. Introduction.....	128
3.1. Modèle pétrogénétique.....	130
3.2. Discussion.....	140
CONCLUSION.....	143
BIBLIOGRAPHIE.....	149
ANNEXES.....	154
A. Coupe des forages de Barlow.....	155
B. Tableau sommaire de la composition minéralogique des échantillons analysés.....	157

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 - Localisation géographique de la ville de Chibougamau, province de Québec.....	4
2 - Localisation de la ligne de canton Barlow-Cuvier, région de Chibougamau-Chapais.....	5
3 - Distribution géographique des sillons de roches vertes archéennes dans le nord-ouest du Québec (d'après Allard et al., 1979).....	8
4 - Localisation des différents cantons de la région de Chibougamau-Chapais.....	13
5 - Colonne stratigraphique schématisée d'une portion du groupe de Roy (adapté de Duquette, 1982).....	15
6 - Etendue régionale du complexe de Cummings (adapté de Duquette, 1982).....	16
7 - Carte géologique sommaire du quart sud-ouest du canton de Barlow et du quart sud-est du canton de Cuvier (adapté de Avramtchev, 1973 et de Gobeil, 1973).....	20
8 - Sommaire de la coupe stratigraphique des forages de la ligne de canton Barlow-Cuvier (voir coupe détaillée, annexe A1, A2 et A3).....	23
9 - Schémas des événements tectoniques successifs responsables de la position des filons-couches dans la coupe des forages (hypothèse).....	25
10 - Coupe stratigraphique et variations pétrographiques du segment sud du Roberge: a- coupe des forages de Barlow; b- cette étude.....	30

Figure 11 - Coupe stratigraphique et variations pétrographiques du segment nord du Roberge: a- coupe des forages de Barlow; b- cette étude.....	39
12 - Coupe stratigraphique du segment sud du Ventures.	45
13 - Coupe stratigraphique du segment nord du Ventures	50
14 - Coupe stratigraphique du filon-couche de Bourbeau	56
15 - Tentative de corrélation entre les coupes stratigraphiques du Ventures à Opémiska et les segments nord du Roberge et du Ventures, forages de Barlow	64
16 - Représentation graphique des oxydes majeurs du filon-couche de Roberge.....	73
17 - Représentation graphique des oxydes majeurs du filon-couche de Ventures.....	75
18 - Représentation graphique des oxydes majeurs du filon-couche de Bourbeau.....	79
19 (a et b) - Diagrammes:a) $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ et b) AFM de la base du filon-couche de Ventures (Duquette, 1982; McMillan, 1972) et des filons-couches de Roberge et de Ventures (cette étude).....	82
20 - Diagramme AFM des filons-couches de Roberge, Ventures et Bourbeau.....	83
21 - Diagramme de Jensen (1976) des filons-couches de Roberge, Ventures et Bourbeau et de la courbe des liquides successifs du complexe de Cummings..	85
22 (a et b) - Diagrammes:a) SiO_2 en fonction de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ et b) $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ en fonction de Al_2O_3 des filons-couches de Ventures et de Bourbeau.....	87
23 - Diagramme $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ des filons-couches et des liquides successifs du complexe de Cummings et des filons-couches de Dundonald et Munro Lake.	88
24 - Variations de $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})/\text{MgO}$ en fonction de la hauteur stratigraphique dans les filons-couches de Roberge, Ventures et Bourbeau (adapté de Duquette, 1982; compilation de plusieurs auteurs)..	90

Figure 25 - Variations des oxydes majeurs des liquides successifs en fonction de la hauteur stratigraphique des filons-couches de Roberge, Ventures et Bourbeau.....	94
26 - Diagramme AFM des liquides successifs des filons-couches de Munro Lake et de Dundonald, et des complexes de Skaergard et de Cummings.....	95
27 - Courbes des terres-rares du Roberge-sud.....	100
28 - Courbes des terres-rares du Roberge-nord.....	104
29 - Courbes des terres-rares du Ventures-sud.....	106
30 - Courbes des terres-rares du Ventures-nord.....	110
31 - Courbes des terres-rares du Bourbeau.....	113
32 - Représentation graphique de Ni, Cr et Co de chacun des filons-couches du complexe de Cummings...	116
33 - Courbes des coefficients de distribution utilisés dans cette étude: 1- de Zielinski et al., 1970; 2- de Beswick et al., 1978; 3- de Frey, 1980 et Zielinski, 1975; 4- de Nagasawa, 1970; ap-apatite, cpx-clinopyroxène, ol-olivine, opx-orthopyroxène, pl-plagioclase.....	119
34 - Enveloppes des courbes de terres-rares du Roberge.....	125
35 - Enveloppes des courbes de terres-rares du Ventures.....	126
36 - Enveloppes des courbes de terres-rares du Bourbeau.....	127
37 - Juxtaposition des enveloppes de terres-rares pour les pyroxénites des trois filons-couches....	129
38 - Courbes des terres-rares calculées pour les assemblages du filon-couche de Roberge.....	134
39 - Courbes des terres-rares calculées pour les assemblages du filon-couche de Ventures.....	137
40 - Courbes des terres-rares calculées pour les assemblages du filon-couche de Bourbeau.....	139
41 - Représentation schématique de la mise en place du complexe de Cummings (hypothèse).....	146

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau I - Sommaire de la stratigraphie archéenne dans la région de Chibougamau (d'après Allard et al., 1979).....	10
II - Résultats des analyses chimiques des éléments majeurs du filon-couche de Roberge et de l'étalon BCR-1.....	71
III - Résultats des analyses chimiques des éléments majeurs du filon-couche de Ventures.....	76
IV - Résultats des analyses chimiques des éléments majeurs du filon-couche de Bourbeau.....	78
V - Résultats des analyses chimiques des éléments majeurs de McMillan (1972) et de Duquette (1982) pour la base du filon-couche de Ventures.....	81
VI - Composition en oxydes majeurs des liquides successifs du complexe de Cummings.....	92
VII - Résultats des analyses de terres-rares du Roberge-sud et des étalons du USGS (en ppm).....	98
VIII - Résultats des analyses de terres-rares du Roberge-nord (en ppm).....	102
IX - Résultats des analyses de terres-rares du Ventures-sud (en ppm).....	105
X - Résultats des analyses de terres-rares du Ventures-nord (en ppm).....	108
XI - Résultats des analyses de terres-rares du Bourbeau (en ppm).....	112

Tableau XII - Résultats d'analyses des éléments traces de nickel, chrome et cobalt (en ppm).....	115
XIII - Coefficients de distribution utilisés dans cette étude.....	120
XIV - Résultats, et valeurs utilisées pour le calcul des courbes du filon-couche de Roberge.....	132
XV - Résultats, et valeurs utilisées pour le calcul des courbes du filon-couche de Ventures.....	136
XVI - Résultats, et valeurs utilisées pour le calcul des courbes du filon-couche de Bourbeau.....	138

LISTE DES PLANCHES

	Page
Planche I - lame Ba 79-14 (202). Zone de trempe gabbroïque du Roberge-sud. (L.P. X20).....	32
II - lame Ba 79-14 (922.8). Mésocumulat de wehrlite dunitique altérée du Roberge-sud. (L.P. X20).....	32
III - lame Ba 79-14 (837). Mésocumulat de wehrlite altérée du Roberge-sud. (L.P. X20).....	35
IV - lame Ba 79-14 (365). Adcumulat de clinopyroxénite faiblement altérée dans la zone rythmique du Roberge-sud. (L.P. X20).....	35
V - lame Ba 79-14 (1230.7). Adcumulat de clinopyroxénite faiblement altérée dans la zone dunitique du Roberge-sud. (L.P. X20).....	37
VI - lame Ba 79-12 (616.1). Dunite serpentinisée du Roberge-sud avec texture adcumulat. (L.P. X20)...	37
VII - lame Ba 79-04 (373). Wehrlite (olivines serpentinisées) du Roberge-nord à texture hétéradcumulat (texture poikilitique). (L.P. X20).....	41
VIII - lame Ba 79-05 (755.9). Wehrlite altérée du Roberge-nord à texture hétéradcumulat (extinction du clinopyroxène). (L.P. X20).....	41
IX - lame Ba 79-09 (471.1). Dunite serpentinisée du Roberge-nord à texture adcumulat. (L.P. X20).....	43
X - lame Ba 79-09 (695.8). Réorientation des minéraux de serpentine dans la dunite serpentinisée du Roberge-nord. (L.P. X20).....	43

Planche XI - Lame Ba 79-06 (457.1). Méso-accumulat de clinopyroxénite ouralitisée du Ventures-sud (L.P. X40).....	47
XII - Lame Ba 79-05 (268.2). Gabbro ophitique altéré du Ventures-sud. (L.P. X20).....	47
XIII - Lame Ba 79-08 (657). Clinopyroxénite méso-accumulat du Ventures-nord avec foliation primaire évidente. (L.P. X20).....	52
XIV - Lame Ba 79-03 (374.7). Gabbro ophitique grenu très altéré du Ventures-nord. (L.P. X20).....	52
XV - Lame Ba 79-03 (446.1). Granophyre altéré du Ventures-nord (texture myrmékitique).(L.P. X40).	54
XVI - Lame Ba 79-01 (577). Bronzite peu altérée (au centre) dans la pyroxénite à bronzite du Bourbeau. (L.P. X20).....	54
XVII - Lame Ba 79-01 (1347). Gabbro du Bourbeau très altéré, à texture sub-ophitique méconnaissable. (L.P. X20).....	59
XVIII - Lame Ba 79-16 (200). Ferrodiorite à quartz très altérée avec texture myrmékitique (très petit) (L.P. X20).....	59

INTRODUCTION

Les données géochimiques servent régulièrement à l'interprétation pétrogénétique de phénomènes géologiques. Depuis moins d'une vingtaine d'années le développement des techniques et de l'instrumentation de détection, a permis d'obtenir des données de plus en plus précises sur des éléments en trace dans les roches. Aujourd'hui les études pétrogénétiques sont le plus souvent basées sur la distribution ou les relations entre les éléments traces.

L'étude présente des filons-couches du complexe de Cummings s'appuie fortement sur la géochimie et plus particulièrement sur les analyses en terres-rares. Ce complexe igné, mis en place à l'Archéen, est fortement plissé et faillé. Sa grande extension dans le territoire de la ceinture de roches vertes Matagami -Chibougamau, en fait un marqueur stratigraphique idéal. Certaines de ses parties, cependant, apparaissent peu en surface et il a été difficile jusqu'à maintenant d'obtenir une stratigraphie complète de tous ses filons-couches.

Les forages de la ligne de canton Barlow-Cuvier, effectués en 1979, ont permis d'obtenir une coupe complète du complexe. L'étude

présente vise à établir une stratigraphie des trois filons-couches, en plus d'évaluer géochimiquement différentes possibilités pétrogénétiques. L'une de ces possibilités concerne le comagmatisme entre les trois filons-couches souvent soupçonné par les géologues travaillant dans cette région. Une autre tend à établir des relations entre le complexe de Cummings et différents complexes ignés lités reconnus mondialement.

Afin d'en arriver à des conclusions valables, la description pétrographique, l'analyse géochimique des oxydes majeurs et des terres-rares, ainsi que l'évaluation théorique des résultats obtenus, seront des " outils " utiles à l'interprétation pétrogénétique.

CHAPITRE I

GEOLOGIE

1 - GENERALITES

1.1 - Localisation

La ville de Chibougamau se situe à environ 515 kilomètres au nord de Montréal (fig.1). La ligne de canton sur laquelle ont été effectués les forages, délimite l'extrémité ouest du canton de Barlow et la bordure est du canton de Cuvier. Elle est distante de 23 kilomètres à l'ouest de la ville de Chibougamau (fig.2). Les forages se trouvent entre les coordonnées $49^{\circ} 53' 30''$ et $49^{\circ} 55' 30''$ de latitude nord et à la coordonnée $74^{\circ} 41' 28''$ de longitude est.

Il est possible de se rendre dans la région des forages en embarcation, via le lac Barlow, mais ceci implique d'effectuer quelques portages. Le moyen de locomotion le plus aisé demeure l'hydrovion que l'on peut prendre à Chibougamau. On accède facilement aux zones d'affleurement à partir du lac Barlow. Pour cette étude, l'auteur a uniquement échantillonné les carottes des forages du Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, entreposés dans les locaux du géologue résident à Chibougamau.

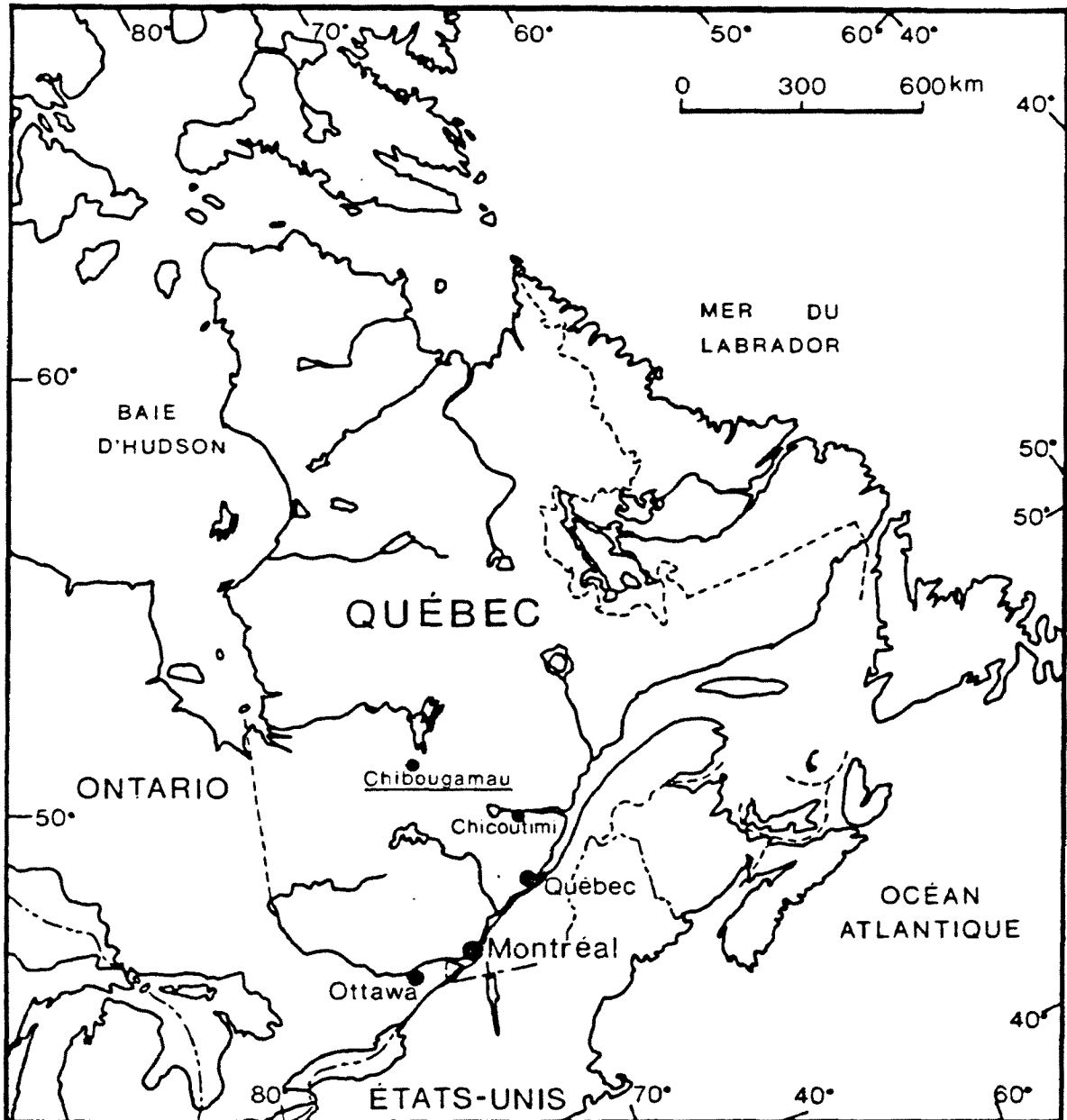


Figure 1 - Localisation géographique de la ville de Chibougamau, province de Québec.

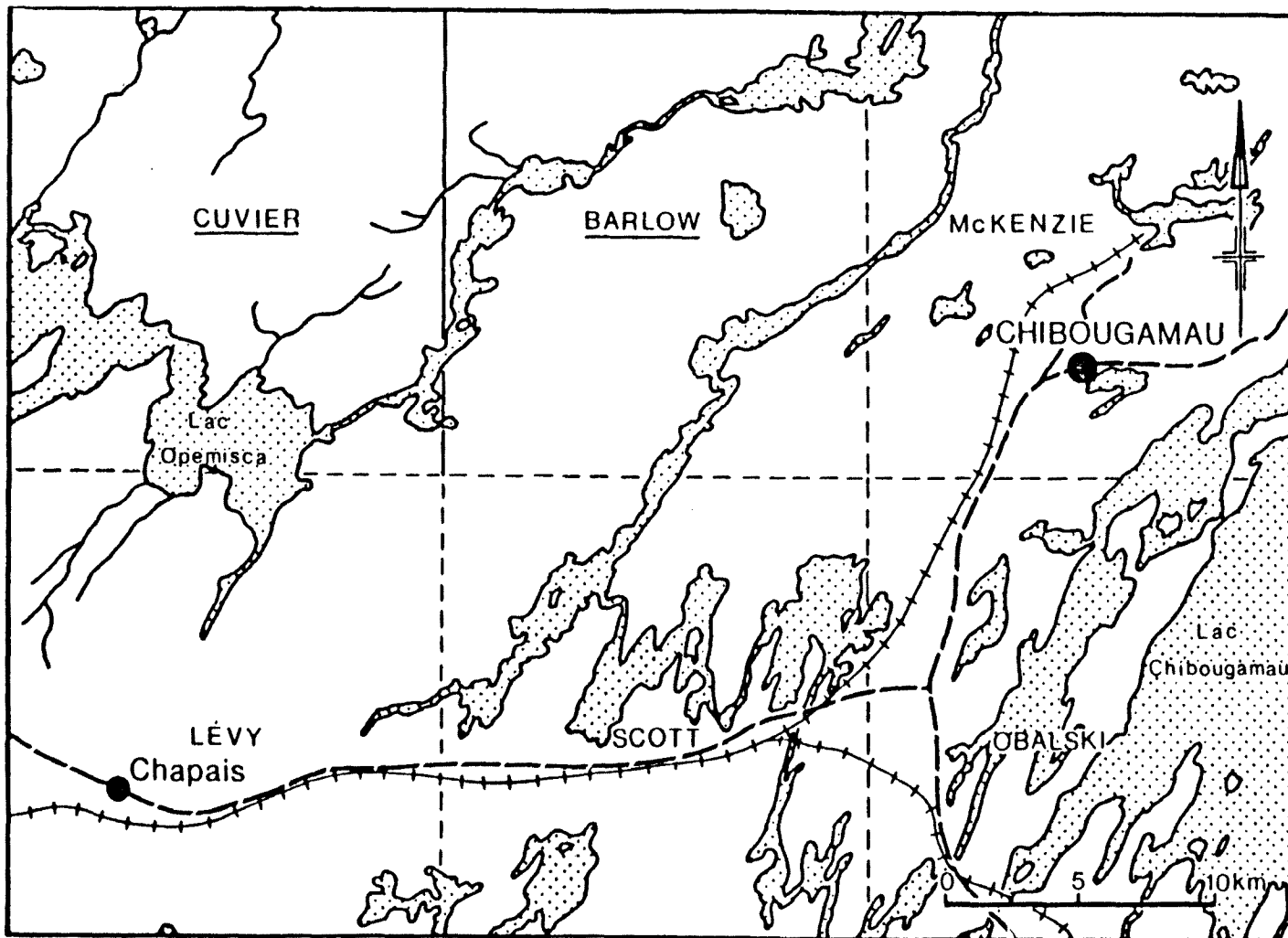


Figure 2 - Localisation de la ligne de canton Barlow-Cuvier, région de Chibougamau-Chapais.

1.2 - Travaux Antérieurs

Les premiers géologues qui travaillèrent à proximité de la ligne de canton Barlow-Cuvier furent A.E. Barlow, J.C. Gwillim et E.R. Faribault en 1910 (Barlow et al., 1912). Ils avaient été mandatés par le ministère des Mines du Québec, de faire la cartographie systématique de la région de Chibougamau à l'échelle de 1:63,000. A cette même échelle, G.W.H. Norman cartographia, en 1935 (Norman, 1937-38), la région d'Opémiska, pour le compte de la Commission Géologique du Canada. Mais les travaux les plus intéressants sont ceux de synthèse régionale. Nous devons à G. Duquette (1970) la première de ces études, ayant comme base quelques cartes géologiques à l'échelle de 1:63,000 et surtout la cartographie détaillée au 1:12,000 de la majorité des cantons de la région de Chibougamau. Cette étude s'étend sur une longueur d'environ 195 kilomètres est-ouest et une largeur d'environ 120 kilomètres. G.O. Allard (1976) est l'auteur de la seconde synthèse régionale qui englobe surtout les régions de Chibougamau et Chapais.

Les travaux de terrain qui touchent directement la zone d'étude de ce mémoire, sont ceux de A. Gobeil (1973) et de L. Avramtchev (1973) qui ont cartographié respectivement la demie sud du canton de Cuvier et le quart sud-ouest du canton de Barlow à l'échelle de 1:12,000. D'autres études ayant pour l'auteur une valeur essentielle au niveau de la description pétrographique et de l'analyse géochimique du complexe de Cummings, ont été effectuées par R.H. McMillan (1972) et G. Duquette (1982).

1.3 - Géologie régionale et locale

1.3.1 - Géologie régionale

Les roches de la région de Chibougamau font partie de la province tectonique du Supérieur, d'âge Archéen (Stockwell, 1968), comprise dans le Bouclier canadien. Elles se situent à l'extrémité est de la ceinture de roches vertes de Matagami-Chibougamau (Allard et al., 1979). Ce sillon de roches vertes est une des quatre ceintures volcano-sédimentaires (ibid.) composant la ceinture orogénique de l'Abitibi (Goodwin et Ridler, 1970), les autres étant: le sillon Troilus-Frotet au nord, le sillon de Barry immédiatement au sud et le sillon Noranda-Val D'Or, le plus méridional des quatre (fig.3; Allard et al., 1979). Tectoniquement, la ceinture orogénique de l'Abitibi possède un style est-ouest et bute contre le front du Grenville à l'est. Sa bordure occidentale est délimitée par la ceinture gneissique de Kapuskasing (Goodwin et Ridler, 1970).

Les roches archéennes du sillon Matagami-Chibougamau, principalement composées de roches volcaniques, sédimentaires et plutoniques, s'étendent sur une largeur moyenne nord-sud d'environ 55 kilomètres et sur une longueur de 440 kilomètres (Allard, 1976; Allard et al., 1979). Elles ont été affectées par l'orogénèse kénoréenne, il y a environ 2.75 milliards d'années (Dallmeyer et al., 1975). Le métamorphisme régional au faciès des schistes verts produit par cette orogénèse, se rencontre à travers tout le sillon à l'exception des roches à proximité du Front du Grenville et d'intrusions granitiques post-kénoréennes (Duquette, 1970; Allard, 1976). L'orogénèse



Figure 3 - Distribution géographique des sillons des roches vertes archéennes dans le nord-ouest du Québec. (d'après Allard et al., 1979).

kénoréenne semble aussi responsable des plis isoclinaux et symétriques à faible plongée est ou ouest qui sont compris dans le synclinorium de Chibougamau (Duquette, 1970). Cimon (1979) indique que le synclinorium comprend trois synclinaux majeurs: le synclinal de Waconichi au nord, le synclinal de Chibougamau au centre et le synclinal de Chapais au sud. Les formes en dômes et canots semblent impliquer l'existence d'un système de plis d'axe nord-sud que Duquette (1982) suppose post-kénoréens. Les failles et cisaillements majeurs de la région sont regroupés en cinq systèmes principaux (Cimon, 1979): un système nord-est qui comprend plusieurs des failles régionales dont celles du lac Gwillim, du lac Doré et du détroit de McKenzie; un système ouest-nord-ouest composé surtout de zones de cisaillement accompagnées de carbonatation et silification importantes; un système nord-sud à déplacement senestre particulièrement bien développé au nord de Chibougamau; un système nord-nord-est caractérisant plus particulièrement les roches au voisinage du Front du Grenville; et les failles directionnelles que l'on rencontre le plus souvent en bordure du filon-couche de Roberge et du complexe du Lac Doré.

La stratigraphie des roches archéennes de la région a été redéterminée depuis peu par Allard et al. (1979; tableau 1) et comporte deux groupes distincts: le groupe de Roy à la base et le groupe d'Opémiska qui repose en discordance sur celui-ci.

Le groupe de Roy se compose de deux cycles volcaniques (Duquette, 1970). Le premier comprend la formation d'Obatogamau à la base, surmontée de la formation de Waconichi. Le second comporte trois

Tableau I - Sommaire de la stratigraphie archéenne dans la région de Chibougamau (d'après Allard et al., 1979)

ARCHÉEN	PROVINCE DU SUPÉRIEUR	Groupe d'Opémisca	DISCORDANCE			
			Formation de HAÛY (roches volcaniques interméd. et roches sédimentaires)	<i>Complexe de CUMMINGS</i> Filon-couche de BOURBEAU Filon-couche de VENTURES Filon-couche de ROBERGE Complexe du LAC DORÉ		
		Formation de STELLA (-CHEBISTOUAN ?) (roches sédimentaires)				
		DISCORDANCE				
		Groupe de Roy	Formation de BORDELEAU (roches volcaniques interméd.)			
			Formation de BLONDEAU (roches volcaniques felsiques)			
			Formation de GILMAN (roches volcaniques mafiques)			
			Formation de WACONICHI (roches volcaniques felsiques)			
			Formation d'OBATOGAMAU (roches volcaniques mafiques)			
			DISCORDANCE (?)			
		SOCLE (gneiss granitique)				

formations (Allard et al., 1979), de la base au sommet: la formation de Gilman, la formation de Blondeau et la formation de Bordeleau. Le groupe de Roy est aussi le siège de plusieurs intrusions synchrones (Duquette, 1970) dont deux d'importance majeure: le complexe du Lac Doré et le complexe de Cummings.

Cimon (1977) définit la formation d'Obatogamau comme étant composée presque exclusivement de basalte¹ porphyrique et de filons-couches comagmatiques. Elle représente donc la composante basique du premier cycle volcanique observé dans le groupe de Roy. Son épaisseur est estimée à plus de 3,000 mètres.

La formation de Waconichi repose sur celle d'Obatogamau et constitue le membre felsique final du premier cycle (Allard et al., 1979). Son épaisseur semble variable (Duquette, 1970, 1982; Caty, 1976, 1977; Allard, 1976; Boudreault, 1977) mais est évaluée entre 300 et 1000 mètres (communication personnelle, Allard, 1983). La formation regroupe des rhyolites porphyriques, des pyroclastites felsiques, des tufs, des cherts, des formations ferrifères et un peu de lave aphanitique intermédiaire ou mafique (Allard et al., 1979; Charbonneau, 1981).

Duquette (1970) a défini la formation de Gilman. Cette formation d'une épaisseur variant autour de 3,650 mètres, est la composante mafique de base du deuxième cycle volcanique. Elle est principalement composée de laves coussinées basaltiques quelques fois amygdalaires, de brèches de coussins, de filons-couches comagmatiques et de

¹ Le préfixe "méta-" est volontairement omis pour tous les termes de description des roches de la région, de façon à simplifier la nomenclature.

quelques interlits de pyroclastites (Allard, 1976; Duquette, 1970, 1982; Charbonneau, 1981).

La partie centrale du deuxième cycle volcanique est connue sous la dénomination de formation de Blondeau (Duquette, 1970). L'épaisseur de cette unité semble difficile à déterminer. Duquette (1982) rapporte une coupe de plus de 1,500 mètres dans le canton de Roy (fig.4); Charbonneau (1981) suppose plus de 2,000 mètres de roche dans les cantons de Dolomieu et Daubrée (fig.4), tandis que Allard et al. (1979) estiment son épaisseur maximale à environ 1,000 mètres. Pétrographiquement, cette séquence de roche de type felsique se compose de tufs, de tufs cherteux et graphitiques, de tufs à blocs, de siltstones, de schistes graphitiques, d'argilités et de laves variolaires (Allard, 1976; Duquette, 1970; Charbonneau, 1981).

La formation de Bordeleau termine le deuxième cycle volcanique (Allard et al., 1979) malgré que sa présence ne soit pas notée près de Chibougamau. Cette formation reconnue par Caty (1976, 1977, 1979) dans le canton de Richardson (fig.4), est un assemblage de tufs quartzo-feldspathiques, de sédiments feldspatiques légèrement quartzifères et de quelques dykes ou filons-couches mafiques à porphyres de feldspaths.

Des intrusions habituellement sous forme de petits filons-couches comagmatiques (Duquette, 1970) accompagnent les roches volcaniques du groupe de Roy à divers niveaux stratigraphiques (formations d'Obatogamau, de Gilman, de Blondeau). Certains filons-couches, par contre, sont de grandes dimensions et montrent une ségrégation magmatique

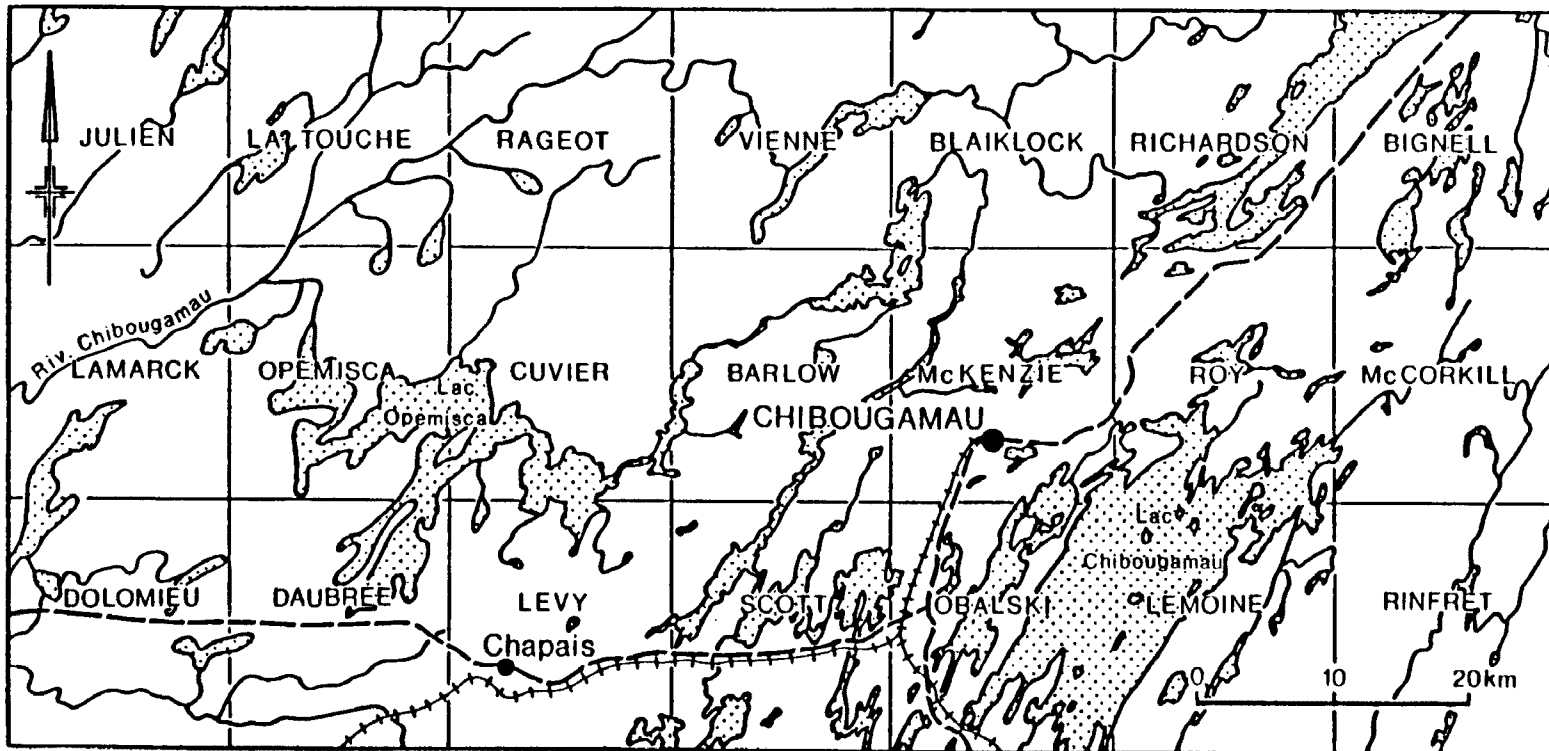


Figure 4- Localisation des différents cantons de la région de Chibougamau-Chapais.

poussée due à la cristallisation fractionnée.

Le Complexe du Lac Doré (Allard, 1976), d'une épaisseur d'environ six kilomètres, se situe près de la base de la formation de Gilman (fig.5). Cette intrusion de type mafique se compose d'une séquence de roche différenciée possédant plusieurs des caractéristiques associées aux complexes ignés lités de grande envergure (Skaergard, Bushveld, Stillwater, etc.). Cet assemblage de roche comprend, de la base vers le sommet, les unités suivantes: une anorthosite, une anorthosite-gabbroïque, un gabbro anorthositique, un gabbro, un gabbro et pyroxénite riche en magnétite, un gabbro mylonitisé et un granophyre sodique local. Selon Allard (1976) et Duquette (1970) le complexe pourrait posséder une épaisse zone ultramafique cachée.

Le complexe de Cummings (Duquette, 1970) est composé d'un (1) filon-couche ultramafique et de deux filons-couches gabbroïques différenciés, mis en place dans la formation de Blondeau (fig.5). Cimon (1979) et Duquette (1970) précisent que l'extension est-ouest du complexe peut être de 160 kilomètres (fig.6), et Allard (1976) a calculé une distance nord-sud après plissement de 43 kilomètres. Les trois filons-couches ont une épaisseur totale variant entre 1,500 et 2,300 mètres selon différents auteurs (Allard, 1976; Cimon, 1979; Duquette, 1970; McMillan, 1972). Leurs caractéristiques principales sont de se présenter continuellement dans le même ordre stratigraphique et d'être également différenciés entre eux. Selon Duquette (1970) une relation comagmatique entre les trois filons-couches semble plus que probable. De la base vers le sommet du complexe, nous avons le

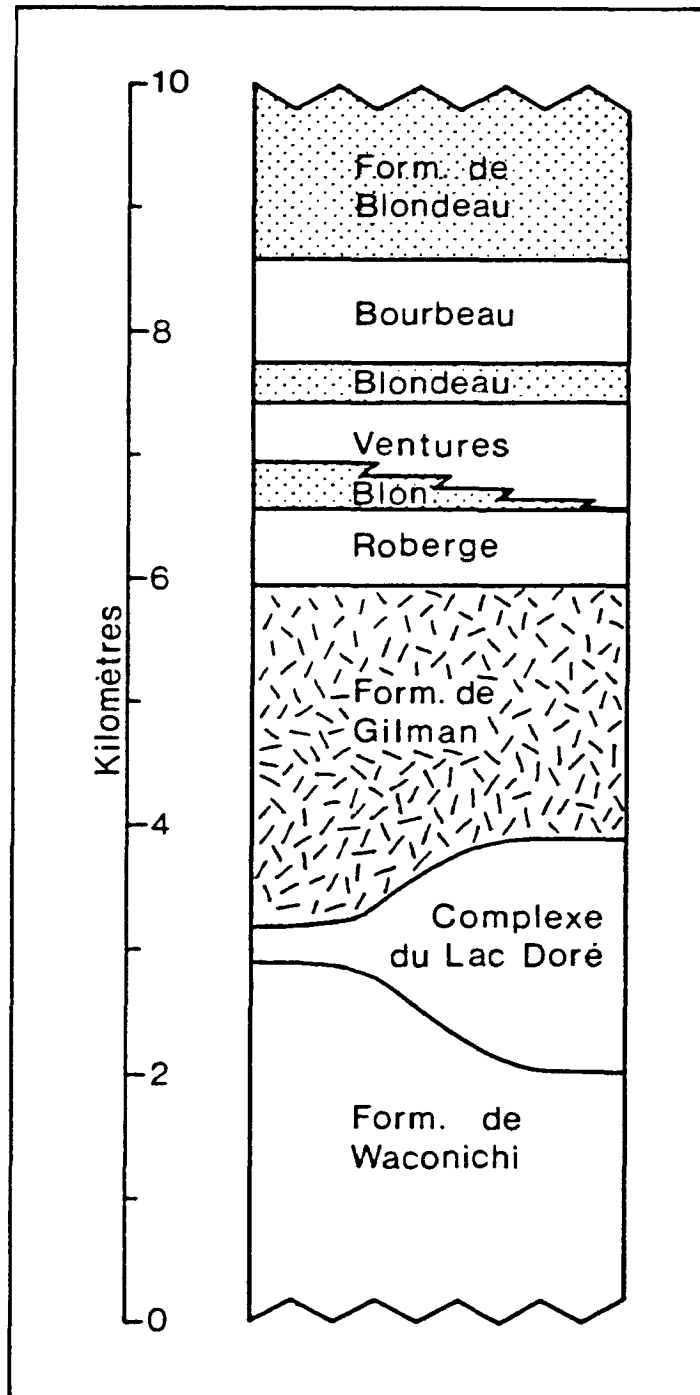


Figure 5 - Colonne stratigraphique schématisée d'une portion du groupe de Roy.

(adapté de Duquette, 1982).

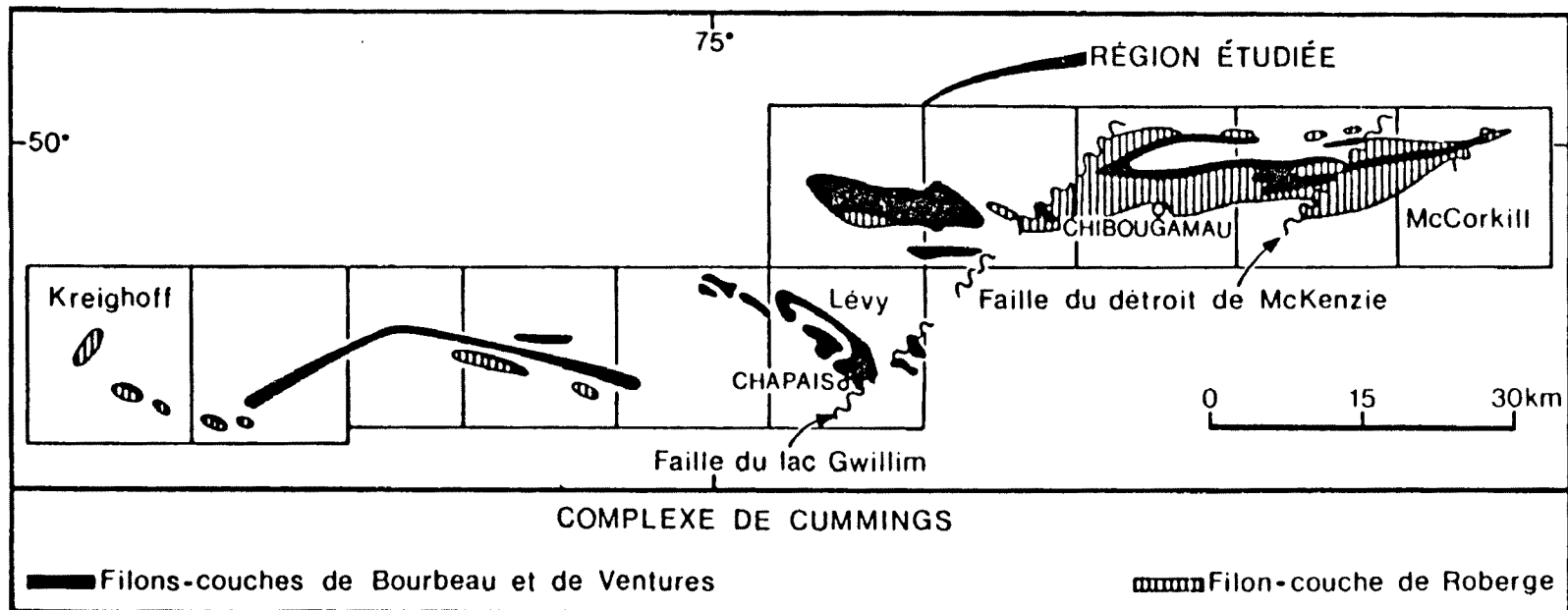


Figure 6 - Etendue régionale du complexe de Cummings (adapté de Duquette, 1982).

filon-couche de Roberge, le filon-couche de Ventures et le filon-couche de Bourbeau, respectivement de composition ultramafique, ultramafique-mafique et mafique.

Le filon-couche de Roberge, d'une épaisseur de 550 mètres ou moins, s'étend sur une distance est-ouest d'au moins 80 kilomètres à partir du Front du Grenville (Duquette, 1970; Allard et al., 1979). Toujours sous-jacent au filon-couche de Ventures, il est stratigraphiquement situé à la base de la formation de Blondeau. Duquette (1970, 1982), Allard (1976) et Allard et al. (1979) considèrent que le filon-couche se trouve systématiquement entre les formations de Blondeau et de Gilman. Le filon-couche de Roberge, considéré comme un cumulat par tous les auteurs, comprend un mélange de serpentinite (dunité), péridotite serpentinisée et pyroxénite. Sa stratigraphie est encore très mal connue (Duquette, 1982).

Le filon-couche de Ventures s'est mis en place près de la base de la formation de Blondeau, au dessus du filon-couche de Roberge (lorsque présent) dont il est séparé par quelques mètres ou quelques centaines de mètres de tufs et de laves (Duquette, 1982; Avramtchev, 1973; Gobeil, 1973). Son épaisseur semble varier d'une localité à une autre. Duquette (1982) et Avramtchev (1973) l'ont évaluée entre 250 et 300 mètres tandis que McMillan fixe l'épaisseur totale à plus de 1,000 mètres à Opémiska dans le canton de Lévy. Selon Duquette (1970, 1982), il paraît possible que le filon-couche ait été identifié dans le canton de Kreighoff (fig.6). Ceci impliquerait que le filon-couche s'étend sur 160 kilomètres. De façon certaine, il a été cartographié

sur plus de 80 kilomètres (Allard et al., 1979). McMillan (1972) dans son étude de la région d'Opémiska, décrit le filon-couche, de la base vers le sommet, comme suit: une pyroxénite verte, une serpentinite - périclase-pyroxénite noire, une seconde pyroxénite verte, un gabbro folié, un gabbro ophitique (gabbro de Ventures) et un granophyre (local). Cette description est considérée comme une coupe-type pour le filon-couche de Ventures.

Le filon-couche de Bourbeau (Duquette, 1970) d'une étendue comparable à celle du Ventures, est épais de 450 à 750 mètres. Il est sus-jacent et séparé du filon-couche de Ventures par quelques centaines de mètres de la formation de Blondeau. Il est caractérisé par une mince bande de pyroxénite à la base, un leucogabbro, un gabbro quartzifère et au sommet, une diorite quartzifère.

Le groupe d'Opémiska (Norman 1937-1938) se compose de deux formations posées en discordance sur les roches majoritairement volcaniques du groupe de Roy (Allard et al., 1979), soit la formation de Stella à la base et la formation de Haüy sus-jacente. L'épaisseur de ces formations est variable d'un endroit à un autre.

La formation de Stella comprend des lentilles de conglomérat à éléments granitoïdes et volcaniques, des shales, des grès feldspathiques et quelques laves andésitiques. Cette formation est presque essentiellement sédimentaire (ibid.)

La formation de Haüy repose en concordance sur la formation de Stella (Allard et al., 1979; Charbonneau, 1981). Elle comprend des unités volcaniques et sédimentaires, dont: des laves andésitiques

porphyriques massives à pyroxène et feldspath, des tufs lités, des tufs à lapillis, des tufs à blocs, des grès tufacés et des conglomérats.

1.3.2 - Géologie à proximité des emplacements de forage sur la ligne de canton Barlow-Cuvier.

Avramtchev (1973) et Gobeil (1973) ont cartographié respectivement, au 1:12,000, le quart sud-ouest du canton de Barlow et la demie sud du canton de Cuvier (fig.7). Les séquences de roche qui intéressent l'auteur se poursuivent très bien de part et d'autre de la ligne de canton. Situées sur le flanc sud du synclinal de Chibougamau, ces séquences font toutes partie des roches du groupe de Roy, plus précisément, de la formation de Gilman, de la formation de Blondeau et du complexe de Cummings (Avramtchev, 1973; Gobeil, 1973). Toutes les lithologies et tous les axes de plis sont orientés environ est-ouest.

Selon Gobeil (1973), les roches de la formation de Gilman comprennent des coulées basaltiques et andésitiques intercalées de petits filons-couches comagmatiques aux laves et de quelques tufs. Cet assemblage se trouve dans la partie sud du secteur qui nous intéresse. Les pendages observés sont forts en direction sud et les polarités sont orientées vers le nord.

A l'exception des filons-couches du complexe de Cummings, toutes les roches au nord des unités de la formation de Gilman appartiennent à la formation de Blondeau (Avramtchev, 1973; Gobeil, 1973). Cette dernière comprend principalement des rhyolites, des dacites, des tufs acides, des tufs à blocs rhyolitiques et des sédiments tufacés. Les

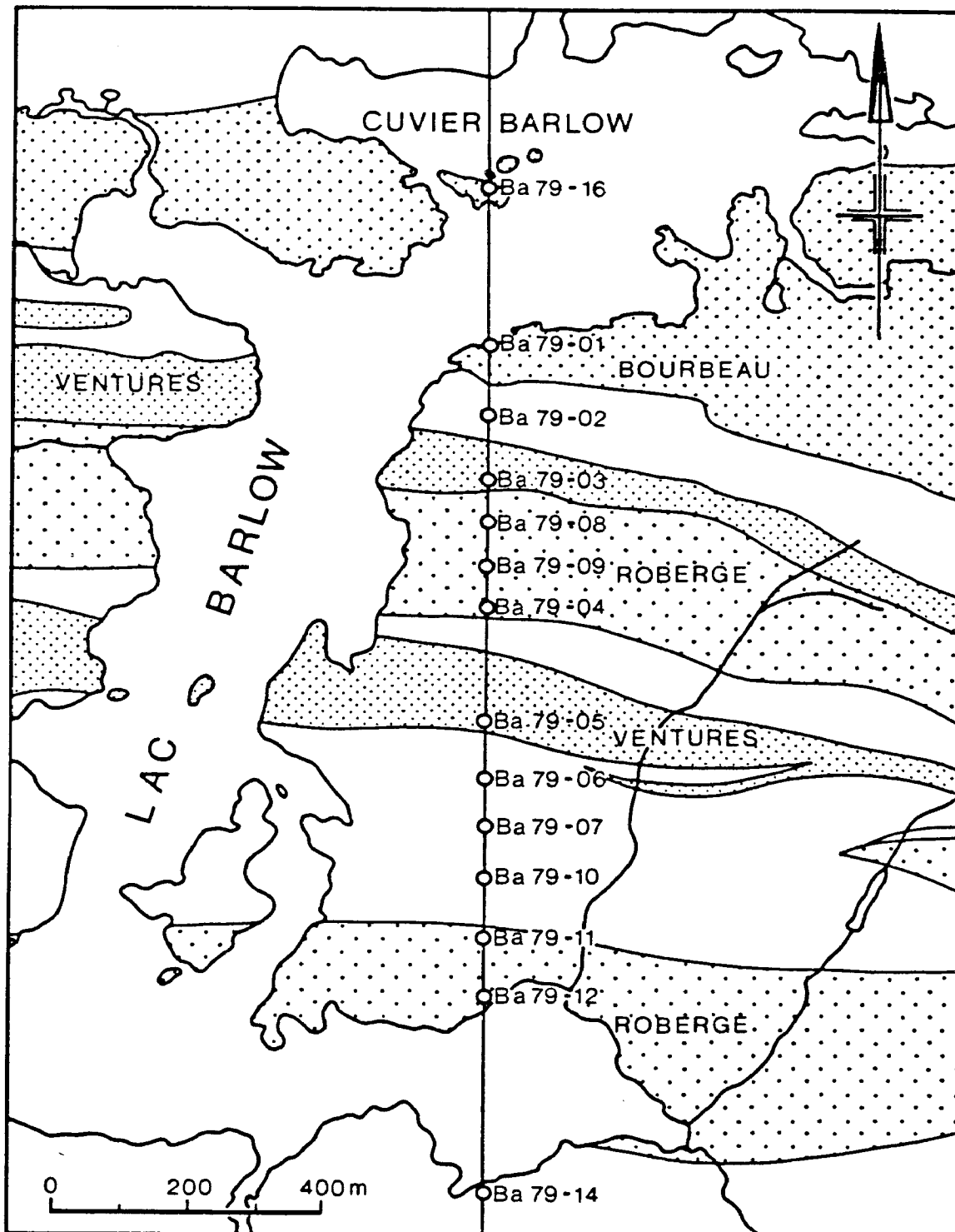


Figure 7 - Carte géologique sommaire du quart sud-ouest du canton de Barlow et du quart sud-est du canton de Cuvier (adaptée de Avramtchev, 1973; Gobeil, 1973).

pendages sont identiques à ceux des coulées de la formation de Gilman tandis que les polarités sont orientées nord jusqu'à l'axe du synclinal.

Les filons-couches de Roberge, Ventures et Bourbeau sont bien représentés sur le flanc sud du synclinal. Les deux derniers, par leurs différenciations magmatiques, indiquent une polarité nord. Le pendage des filons-couches est identique à celui des formations encaissantes (Gilman et Blondeau). Chacun des filons-couches de Roberge et de Ventures, est répété deux fois, soit par plissement (Avramtchev, 1973), soit par chevauchement (Gobeil, 1973). La première bande du filon-couche de Roberge (Roberge-sud), s'est mise en place dans les roches volcaniques de Gilman. Elle est séparée de la première bande du filon-couche de Ventures (Ventures-sud) par quelques centaines de mètres de roches appartenant aux formations de Gilman et de Blondeau. Le deuxième segment de Roberge (Roberge-nord) n'est séparé du Ventures-sud que par quelques mètres de tufs de Blondeau. Sa bordure nord est en contact avec la base du deuxième segment de Ventures (Ventures-nord). Plusieurs centaines de mètres de Blondeau séparent le Ventures-nord de l'unique segment du filon-couche de Bourbeau.

1.4 - Description et interprétation sommaire de la coupe des forages.

Le ministère des Richesses naturelles du Québec (maintenant le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec) a effectué, en 1979, une série de sondages sur le terrain selon une ligne qui divise les cantons de Barlow et Cuvier (ligne de canton, fig.7). Les sondages, au nombre de quinze (14) sont codés "Ba - 79 -" (canton de

Barlow - année 1979 -) auquel est ajouté le numéro du sondage² et la profondeur en pieds (entre parenthèses). Nous utiliserons le même système d'identification.

Les emplacements de forages ont été choisis par les géologues du ministère de façon à recouper toutes les lithologies, et surtout, la totalité du complexe de Cummings. Les sites de forage ont été espacés sur une ligne nord-sud (ligne de canton) sur le flanc sud du synclinal de Chibougamau (fig. 7). Une coupe stratigraphique préliminaire (fig. 8 et annexe A1, A2 et A3) a été fournie par André Gobeil, géologue résident de Chibougamau, à laquelle se sont ajoutées quelques observations effectuées par Paul Archer³, étudiant de deuxième cycle à l'Université du Québec à Chicoutimi.

La coupe stratigraphique montre un contexte structural semblable aux observations faites sur le terrain par Gobeil(1973) et Avramtchev (1973). Le degré de pendage des lithologies est élevé vers le sud et les polarités sont, en général, vers le nord. Une exception, toutefois, se présente dans les roches de Blondeau entre les filons-couches de Ventures-nord et Bourbeau. Des inversions de polarité relevées par A. Gobeil (communication personnelle) dans les tufs et un filon-couche mineur, semblent indiquer la présence de plis parasites dans le flanc du synclinal majeur. La répétition des filons-couches

² Les sondages numérotés 13 et 15, n'existent pas.

³ M. P. Archer a terminé en 1983, un mémoire sur les roches de Blondeau comprises dans les sondages de Barlow.

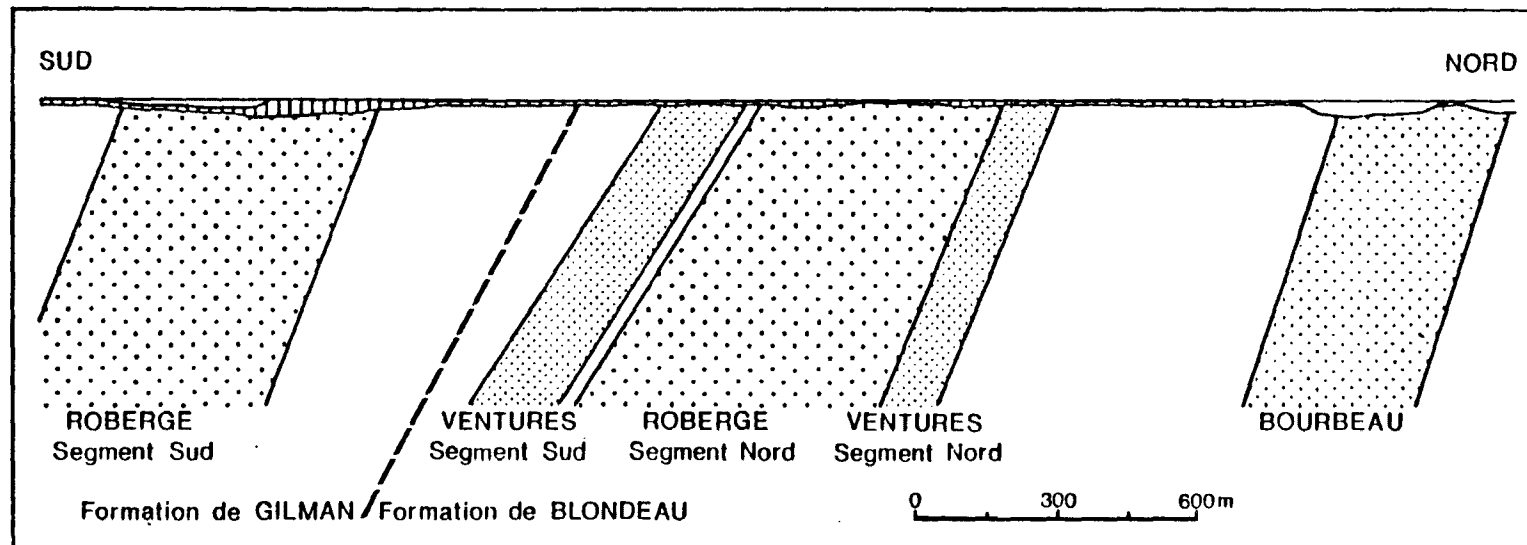


Figure 8 - Sommaire de la coupe stratigraphique des forages de la ligne de canton Barlow-Cuvier (voir coupe détaillée, annexe A1, A2 et A3)

de Roberge et de Ventures semble être le résultat de mouvements tectoniques (Gobeil, 1973; Avramtchev, 1973). Deux mécanismes structuraux peuvent être responsables de cette répétition: un système de pli ou un système de faille. Selon Gobeil (1973), la première éventualité est à écarter puisqu'on n'observe aucune inversion de polarité dans les filons-couches. De plus, Duquette (1982) a cartographié des failles directionnelles (failles de litage) au sommet du filon-couche de Roberge dans les cantons de McKenzie, Roy et McCorkill, ainsi qu'à la base du filon-couche dans le canton de McCorkill (figure 47 de Duquette, 1982). Selon lui, ces failles auraient été plissées lors de l'orogénèse kénoréenne. En se basant sur ces observations, le style de faille envisagée, ne peut être de type "normale", puisqu'il devient évident que la faille normale pré- ou post-plissement ne peut être dite de litage. Aussi le genre de tectonisme de compression, dont nous voyons les évidences, permet difficilement un tel type de ruptures dans ce cas précis. Nous émettons donc l'hypothèse suivante (fig.9): au début de l'orogène kénoréenne (période de pré-plissement), une compression en provenance du sud, provoque la rupture des filons-couches de Roberge, de Ventures et de Bourbeau. La présence d'horizons graphitiques du Blondeau est en soi un lubrifiant parfait pour une faille de chevauchement (fig. 9 a-b-c-d-e). Cette faille ne semble pas affecter le filon-couche de Bourbeau au niveau de la coupe de forages, puisque celui-ci ne se répète pas entre le Ventures-sud et le Roberge-nord. Cependant, nous supposons que le segment nord du Bourbeau se trouve dans la charnière du pli. Le chevauchement terminé, les compressions en provenance du sud et du nord s'accroissent, provoquant le plissement kénoréen de toutes les lithologies du secteur (fig. 9 f-g-h-i). La figure 9-j schématise le synclinal

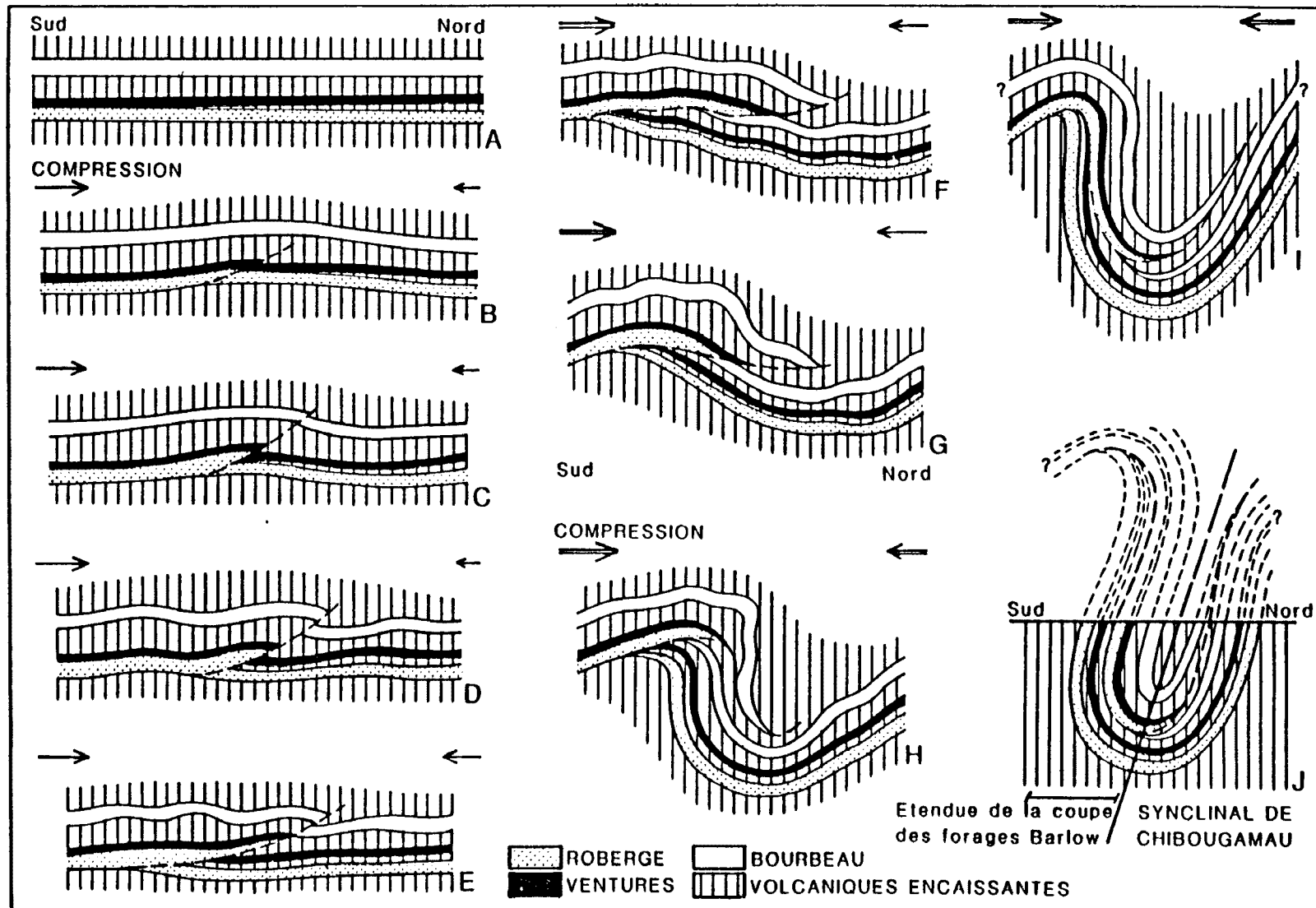


Figure 9 - Schémas des évènements tectoniques successifs responsables de la position des filons-couches dans la coupe des forages (hypothèse).

de Chibougamau tel qu'en partie observé sur la coupe des forages. Selon cette hypothèse, les filons-couches Roberge-nord et Ventures-nord sont représentatifs de l'état des filons-couches situés originellement au sud de la région. Cette possibilité sera approfondie lors de la conclusion de cette étude.

L'auteur reconnaît que cette hypothèse peut ne pas résister sans équivoque, à une critique sévère puisqu'elle se base sur un nombre insuffisants d'observations. Néanmoins, en examinant la coupe stratigraphique des forages de Barlow, certains faits demeurent inéluctables:

- l'épaisseur des roches encaissantes entre les filons-couches de Roberge et de Ventures peut varier de zéro à quelques centaines de mètres, indiquant une variation latérale de la topographie et/ou des plans de faiblesse, des roches volcaniques du Gilman supérieur et du Blondeau inférieur;

- la polarité des deux segments du Ventures étant identique, aucun plissement ne peut expliquer la répétition de ceux-ci;

- le filon-couche de Bourbeau ne se répète pas au nord du Ventures-sud, mais subit, selon nous, le même traitement que les deux filons-couches sous-jacents. Il est possible que le segment nord du filon-couche soit pincé dans le nez du pli du synclinal majeur (fig. 9-j).

La roche encaissante

La roche encaissante comprend le sommet de la formation de

Gilman et une grande partie de la formation de Blondeau. Archer (1983), a étudié les roches de la coupe stratigraphique des forages de Barlow, à l'exception des filons-couches du complexe de Cummings. Dans une communication personnelle écrite, il a résumé ses observations:

Le sommet de la formation de Gilman et la formation de Blondeau constituent une séquence volcano-sédimentaire composé de six (6) faciès:

- 1 - Des coulées pyroclastiques, distribuées dans toutes les parties de la section. Elles sont généralement granoclasées.
- 2 - Des coulées de laves mafiques formant principalement un empilement épais à la base de la section.
- 3 - Des sédiments volcanogènes, devenant plus grossiers et formant des lits plus épais ou plus regroupés de la base vers le sommet de la section (upward coarsening cycle).
- 4 - Des sédiments intraclastiques, finement interlités avec des sédiments fins au milieu de la section.
- 5 - Des sédiments mixtes, distribués en groupe de lits superposés au sommet de la section.
- 6 - Des sédiments fins, avec des shales et des silts verts de la base au milieu de la section et des shales noirs au sommet de la section.

La séquence volcano-sédimentaire s'est accumulée en milieu marin dans un bassin devenant de moins en moins profond. Le contact graduel Gilman-Blondeau marque le passage transitionnel d'un volcanisme effusif mafique, prenant place au fond du bassin, à un volcanisme explosif plus acide ayant lieu sur de petits centres volcaniques émergents ou sub-émergents.

2 - DESCRIPTION PETROGRAPHIQUE

2.0 - Introduction

La description pétrographique des roches du complexe de Cummings est basée sur des observations faites macroscopiquement, mais surtout en lame mince à l'aide d'un microscope polarisant. Chaque

segment des filons-couches est abordé séparément pour nous permettre de comparer deux portions d'un même filon-couche lorsque présentes (Roberge et Ventures seulement). Dans l'ensemble, on peut comparer le complexe de Cummings à d'autres intrusions bien connues pour leurs ségrégations et sédimentations magmatiques. De composition globale gabbroïque et ultramafique, les intrusions de Munro Lake (Ontario; MacRae, 1969) et de Dundonald (Ontario; Naldrett et Mason, 1968) en tant que filons-couches différenciés, sont comparables par leurs caractéristiques. L'aspect minéralogique et textural de la cristallisation des roches des filons-couches est similaire, entre autres, aux intrusions ignées litées de Skaergard (Groenland; Wager et Brown, 1968; McBirney et Noyes, 1979), de Stillwater (Montana, Hess, 1956; Jackson, 1967) et de Muskox (Canada, Irvine et Smith, 1967; Irvine, 1975). Pour cette analyse descriptive, l'auteur se réfère aux nomenclatures établies par Wager et Brown (1968), et Cox et al. (1979).

Toutes les roches du complexe de Cummings montrent les effets d'un métamorphisme poussé au faciès des schistes verts. Afin d'alléger la description pétrographique et de conserver une certaine homogénéité à travers tout le texte, le préfixe "méta" est délibérément omis devant les noms de roche, et ceci du début à la fin de cette étude.

2.1 - Complexe de Cummings

Le complexe de Cummings se compose de trois filons-couches le plus souvent séparés par une certaine épaisseur de roche encaissante volcanique et volcano-détritique (Duquette, 1970; Archer, 1983). Ces filons-couches toujours situés selon le même ordre stratigraphique

sont, de la base au sommet: le Roberge, le Ventures et le Bourbeau. Ces derniers présentent une variation de composition pétrographique globale allant d'ultramafique à la base (Roberge) à gabbroïque au sommet (Bourbeau; Duquette, 1970, 1982). Chaque filon-couche se caractérise aussi par une succession pétrographique indiquant soit une différenciation magmatique ou un mode de mise en place particulier. La présence de zones de cumulat dans chacun d'eux (Duquette 1970, 1982; McMillan, 1972) implique un mode de cristallisation fractionnée à refroidissement assez lent pour des filons-couches.

L'analyse détaillée sous-jacente sera donnée par ordre de composition pétrographique dans le cas du complexe (d'ultrabasique à basique) tandis qu'elle sera par ordre stratigraphique dans le cas de chaque filon-couche (base au sommet).

2.2 - Le filon-couche de Roberge

Le filon-couche de Roberge est le membre de base du complexe. Uniquement ultramafique en composition, il se présente à deux reprises dans la coupe des forages de Barlow. Pour simplifier leurs rapports dans l'étude, nous les identifierons en se basant sur leurs positions géographiques.

2.2.1 - Segment sud (Roberge-sud)

D'une épaisseur totale de 445 mètres, ce segment est traversé par les forages Ba-79-12 et Ba-79-14. Il se divise en trois zones distinctes, dans l'ordre normal: une zone pyroxénitique, une zone rythmique wehrlite-pyroxénite et une zone dunitique (fig.10).

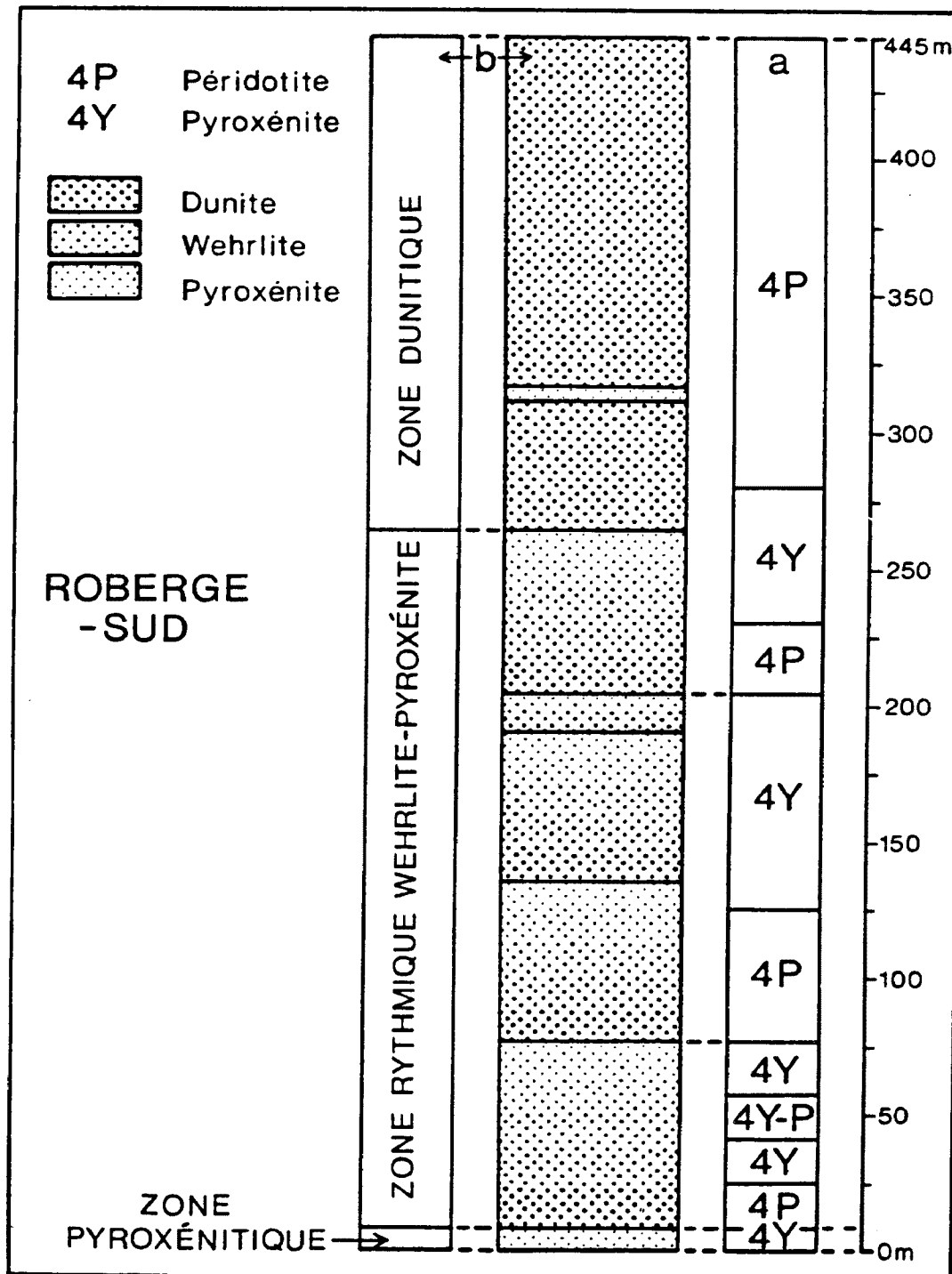


Figure 10 - Coupe stratigraphique et variations pétrographiques du segment sud du Roberge: a- coupe des forages de Barlow; b- cette étude.

Zone pyroxénitique

Cette roche d'une couleur gris-verdâtre s'identifie sur une épaisseur de dix mètres. Cette unité inférieure est caractérisée à la base par une zone de trempe de moins de 60 centimètres de composition gabbroïque. Cette zone de trempe (planche 1) possède une granulométrie fine et est composée principalement de clinopyroxène et de feldspath plagiocase à part égale. Les autres constituants majeurs sont le carbonate, l'amphibole et la serpentine. Ces derniers sont les produits secondaires d'altération du pyroxène et de l'olivine. Les minéraux traces visibles sont la chlorite et un minéral opaque possiblement secondaire (magnétite?). En lumière naturelle, le pyroxène montre un faible pléochroïsme brun rosâtre et l'amphibole d'altération est pléochroïque vert intense. Un début d'ouralisation du pyroxène est visible en lumière polarisée pour donner l'amphibole. La dimension des minéraux est de deux types: de 0.1 à 0.4 millimètre pour le plagioclase et de un (1) à deux millimètres pour le pyroxène.

La pyroxénite est composée d'environ 90 à 95 pourcent de clinopyroxène en partie ouralitisé. La roche est massive et ne montre pas de textures particulières. L'échantillon Ba-79-14(215) est un assemblage de clinopyroxènes ouralitisés de plus du tiers en une amphibole à pléochroïsme vert intense. Les autres minéraux majeurs sont un carbonate secondaire et la chlorite. A part le pyroxène, le seul autre minéral magmatique visible est un minéral opaque, possiblement de la chromite en proportion très faible. Aucune texture de cumulat n'est présente dans la zone pyroxénitique.

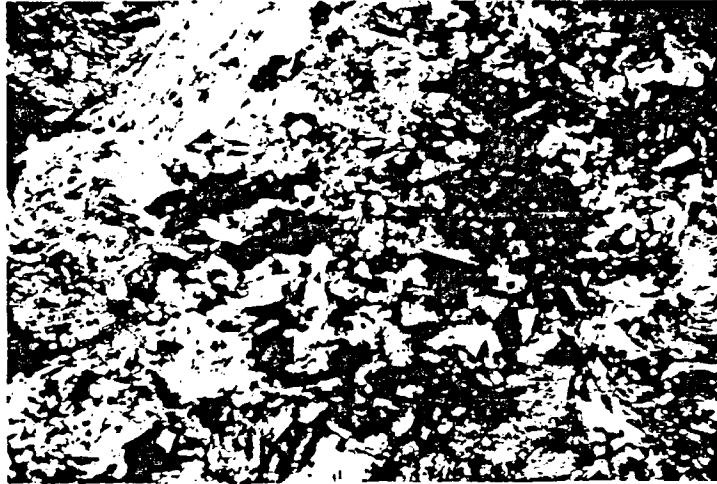


Planche I - Lame Ba 79-14 (202). Zone de trempe gabbroïque du Roberge-sud.
(L.P. X20)



Planche II - Lame Ba 79-14 (922.8). Mésocumulat de wehrlite dunitique altérée du Roberge-sud.
(L.P. X20)

Zone rythmique wehrlite-pyroxénite

Cette zone est appelée ainsi par l'auteur qui a noté une rythmicité de dimension décamétrique lors de l'échantillonnage suivi des carottes du forage Ba-79-14. Cette rythmicité et l'interprétation macroscopique en résultant, ne diffère que très peu de l'interprétation pétrographique préliminaire de la coupe stratigraphique (fig.10). D'une épaisseur totale de 255.8 mètres, cette zone présente cinq bandes majeures dont la composition passe graduellement d'une wehrlite dunitique à la base à une pyroxénite souvent wehrlitique au sommet de chaque bande. La transition est brusque d'une bande à l'autre, indiquant un changement de composition minéralogique caractéristique des contacts ignés primaires (Wager et Brown, 1968). Macroscopiquement, chaque bande passe d'une teinte gris presque noir à gris moyen vers le sommet. L'épaisseur des bandes varie de 13.4 à 182.9 mètres. Vu la dimension de chaque bande, aucune variation granulométrique n'a été observée.

La wehrlite dunitique est un assemblage d'olivine et de clinopyroxène en différentes proportions. L'assemblage le plus ultramafique comprend environ 80 pourcent d'olivine et 20 pourcent de clinopyroxène et possiblement une chromite-magnétite (?) comme minéraux primaires. L'olivine forme toujours le cumulat, tandis que le clinopyroxène se retrouve autant sous forme de cumulat, que d'intercumulat. Selon Wager et Brown (1968) et Cox et al. (1979) ce type de roche présente une texture de mésocumulat (planche II). En lame mince, l'olivine se présente sous forme de serpentine et magnétite tandis que le clinopyroxène est en grande partie ouralitisé (cumulat) et quelque-

fois serpentinisé (intercumulat) . Ce dernier se présente ici et là en fragments frais. A quelques occasions, une partie de la minéralogie est remplacée par un carbonate secondaire, permettant malgré tout de discerner la texture de cumulat. Quelques amphiboles (actinote) et chlorites constituent les autres minéraux d'altération. La granulométrie varie de 0.2 à 1.8 millimètre avec une grosseur moyenne d'environ un (1) millimètre.

La wehrlite dunitique passe graduellement à une wehrlite typique qui constitue environ 50 pourcent de la zone rythmique. La quantité d'olivine présente dans cette roche diminue de 50 à 20 pourcent environ en montant dans la séquence. De texture normalement mésocumulat en lame mince, la wehrlite se compose: de clinopyroxène un peu ou très peu ouralitisé , de serpentine conservant la structure de l'olivine ou formant l'intercumulat, de minéraux opaques (chromite?) et de minéraux traces secondaires tels l'amphibole, le carbonate et la magnétite (planche III). L'observation en lame mince des clinopyroxènes porte à croire que la composition est de type diopside ou augite. La dimension des minéraux de la wehrlite est semblable à celle de la wehrlite dunitique.

La clinopyroxénite représentant quelques fois la partie supérieure des bandes se retrouve selon une proportion de 20 pourcent dans la zone rythmique. Elle se compose d'un minimum de 85 pourcent de clinopyroxène un peu ouralitisé, de serpentine en intercumulat ou pseudomorphe de l'olivine, d'amphibole d'altération et de magnétite en trace. (planche IV). La granulométrie est de 0.4 à huit millimètres,

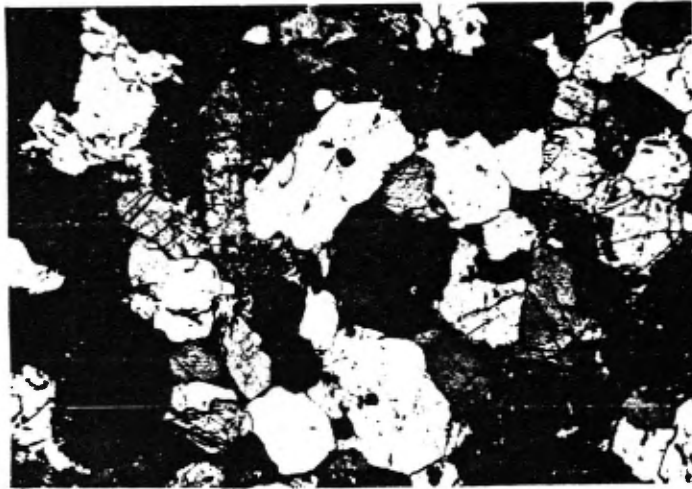


Planche III - Lame Ba 79-14 (837). Mésocumulat de wehrlite altérée du Roberge-sud.
(L.P. X20)

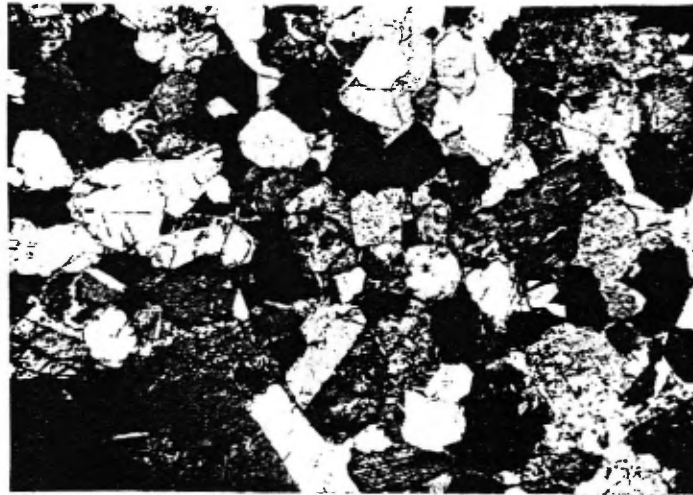


Planche IV - Lame Ba 79-14 (365). Adcumulat de clinopyroxénite faiblement altérée dans la zone rythmique du Roberge-sud.
(L.P. X20)

mais est d'environ un (1) millimètre en moyenne. En lame mince, la texture adcumulat est observable par endroit.

Zone dunitique

La zone dunitique représente le membre supérieur du segment Roberge-sud et est en contact magmatique (variation progressive rapide en moins de 15 centimètres) avec la zone sous-jacente. D'une épaisseur de 179.2 mètres, la dunite de couleur noire grisâtre semble homogène de la base au sommet avec l'apparition de quelques veinules de serpentine ou de fibre d'amiante. Une exception toutefois est remarquée au passage d'une bande de 3.7mètres de clinopyroxénite à contact franc. Cette dernière se compose de 90 pourcent de cumulat clinopyroxénitique et de 10 pourcent de serpentine en intercumulat (planche V).

La dunite se caractérise par une texture d'adcumulat (Wager et Brown, 1968; Cox et al., 1979) dont la granulométrie moyenne de 1.5 millimètre, varie de un (1) à quatre millimètres (planche VI). Au microscope polarisant, la serpentine pseudomorphe de l'olivine constitue 75 à 80 pourcent de la roche. Les autres constituants majeurs sont: des minéraux opaques (chromite-magnétite ?) représentant environ 20 pourcent et de la chlorite variant de deux à cinq pourcent. A l'occasion, certains cristaux serpentinisés semblent être des pseudomorphes de pyroxène, mais cette présence constitue moins de cinq pourcent de la roche. Le peu de matériel intercumulat visible en lame mince est, lui aussi entièrement serpentinisé. Quelques échantillons montrent un remplacement des constituants majeurs par du carbonate secondaire. Le contact supérieur avec les roches volcaniques encaissantes est franc et aucune



Planche V - Lame Ba 79-14 (1230.7). Accumulat de clinopyroxénite faiblement altérée dans la zone dunitique du Roberge-sud. (L.P. X20)



Planche VI - Lame Ba 79- 12 (616.1). Dunite serpentinisée du Roberge-sud avec texture accumulat, (L.P. X20)

zone de trempe n'a été remarquée.

2.2.2 - Segment nord (Roberge-nord)

Le segment nord du filon-couche de Roberge est recoupé par les sondages Ba-79-04, Ba-79-05, Ba-79-08 et Ba-79-09. Ce segment mesure 481.6 mètres d'épaisseur. Le Roberge-nord peut aussi être partagé en trois zones semblables au segment sud, mais une de celles-ci diffère quelque peu par son arrangement pétrographique. Ces unités sont: une zone basale pyroxénitique, une zone médiane wehrlite-dunité-pyroxénite, et une zone sommitale dunitique (fig.11).

Zone pyroxénitique

La zone pyroxénitique du segment nord est identique à celle du segment sud mais d'épaisseur moindre: 6.9 mètres. Elle se caractérise aussi par une mince bordure de trempe gabbroïque comprenant à l'origine environ 50 pourcent de pyroxène pour 45 pourcent de feldspath plagioclase et autour de 5 pourcent d'olivine (estimation grossière). En lame mince, la roche se compose des minéraux majeurs suivant: 55 pourcent d'amphibole d'altération, 20 pourcent de feldspath plagioclase albitisé, 20 pourcent de carbonate et 5 pourcent de fragment frais de clinopyroxène. En trace on retrouve un minéral opaque. La dimension des grains varie de 0.2 à deux millimètres. La pyroxénite formant un peu plus de 90 pourcent de l'unité, est massive et de couleur grise verdâtre. La clinopyroxénite, ouralitisée en bonne partie, est identique à celle du segment sud, de par sa minéralogie et son absence de texture primaire.

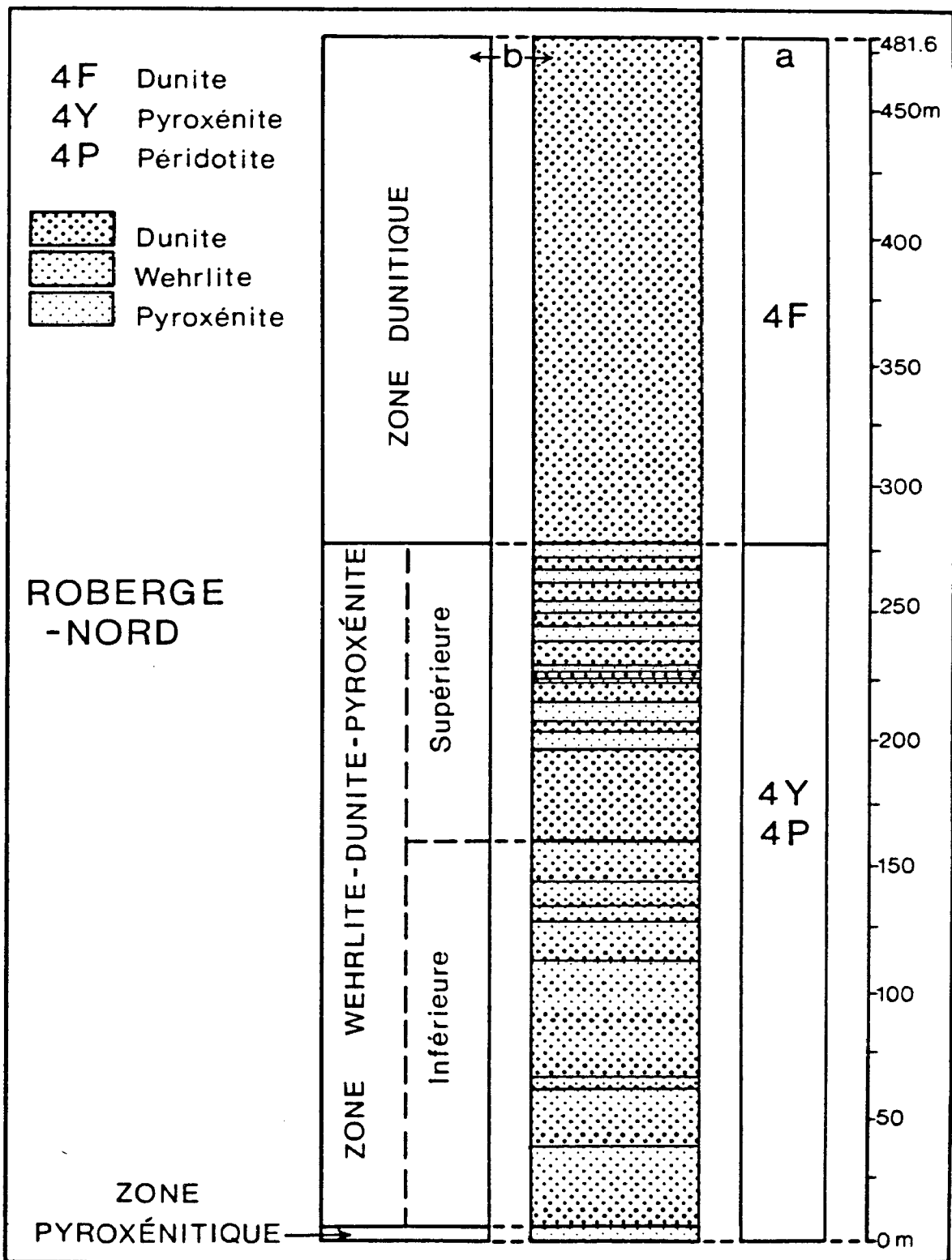


Figure 11 - Coupe stratigraphique et variations pétrographiques du segment nord du Roberge: a- coupe des forages de Barlow, b- cette étude.

Zone wehrlite-dunite-pyroxénite

Cette unité diffère en partie de la zone équivalente du Roberge-sud. Son épaisseur de 271.1 mètres peut se partager en deux sous-unités de dimension similaire. La sous-unité inférieure se compare à l'ensemble de la zone rythmique du Roberge-sud, par le litage rythmique évident et la composition minéralogique des bandes. Ces dernières passent aussi progressivement d'une wehrlite à une clinopyroxénite wehrlitique. Les contacts entre chaque couche sont francs. Une différence marquante cependant se trouve au niveau de la texture primaire. Celle-ci est en majorité de type hétéradcumulat (Cox et al., 1979) plutôt que mésocumulat et consiste en de la serpentine (pseudomorphe de l'olivine) incluse de façon poïkilitique dans un clinopyroxène frais ou un peu ouralitisé. La dimension des pseudomorphes de l'olivine varie de 0.1 à un (1) millimètre (moyenne de 0.2 millimètre) et celle du clinopyroxène post-cumulat (ibid.) allant jusqu'à six millimètres (planches VII et VIII). Le seul autre minéral primaire visible est un minéral opaque qui peut atteindre une proportion maximum de 15 pourcent de la roche (moyenne: 5 pourcent). Une autre disparité entre les deux zones rythmiques provient du fait que la sous-unité inférieure du segment nord comprend huit bandes majeures wehrlite-pyroxénite wehrlitique d'une dimension allant de 3.6 à 46.3 mètres d'épaisseur.

La sous-unité supérieure n'a pas son équivalent dans le Roberge-sud. Elle consiste en une alternance aléatoire de bandes de dunite, wehrlite, et pyroxénite wehrlitique. Aucun changement de minéralogie n'est progressif. Les contacts entre les bandes semblent souvent

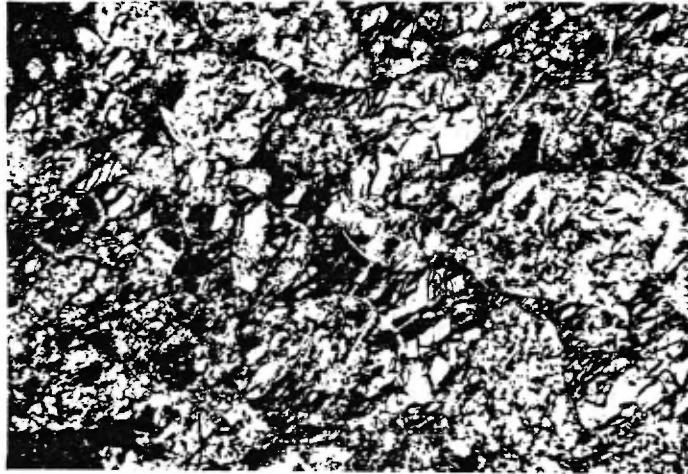


Planche VII - Lame Ba 79-04 (373). Wehrlite (olivines serpentinisées) du Roberge-nord à texture hétéradcumulat (texture poïkilitique).
(L.P. X20)

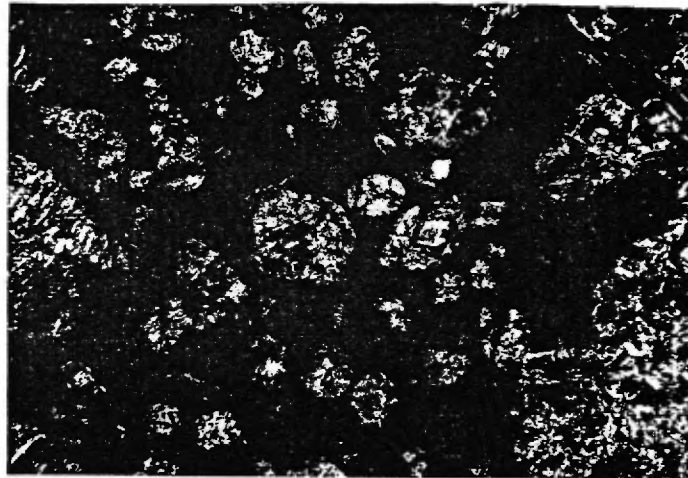


Planche VIII - Lame Ba 79-05 (755.9). Wehrlite altérée du Roberge-nord à texture hétéradcumulat (extinction du clinopyroxène).
(L.P. X20)

cisaillés, d'après l'altération secondaire importante de carbonate en plusieurs endroits, la mylonitisation de certains échantillons et la foliation qui oriente fortement les minéraux de serpentine et magnétite dans les cumulats. Minéralogiquement, la dunite est identique à certaines roches de la zone dunitique supérieure dont les minéraux de serpentine semblent réorientés. La wehrlite et la pyroxénite wehrlite laissent voir dans les échantillons moins endommagés, une texture de mésocumulat et respectent la composition minéralogique déjà mentionnée.

Zone dunitique

D'une épaisseur de 203.6 mètres, elle est identique à la zone dunitique de Roberge-sud (planche IX), avec deux caractéristiques supplémentaires. Certains échantillons montrent une réorientation minéralogique de la serpentine et de la magnétite (planche X). Le contact supérieur avec la base du filon-couche de Ventures-nord est progressif. Sur les deux premiers des quatre derniers mètres, la dunite passe graduellement à une wehrlite altérée en amphibole secondaire (50 pourcent) et en serpentine (25 pourcent). L'échantillon Ba-79-08 (465.3) présente les mêmes constituants ainsi que 20 pourcent de clinopyroxène intercumulat et de 5 pourcent de minéral opaque. Sur les deux derniers mètres, l'apparition du plagioclase intercumulat indique le changement de la composition du liquide cristallisant. Le contact avec la base de la pyroxénite du Ventures-nord se remarque macroscopiquement à la granulométrie plus homogène, à la disparition du feldspath plagioclase intercumulat au sommet du Roberge et au changement



Planche IX - Lame Ba 79-09 (471.1). Dunitte serpentinisée du Roberge-nord à texture adcumulat.
(L.P. X20)

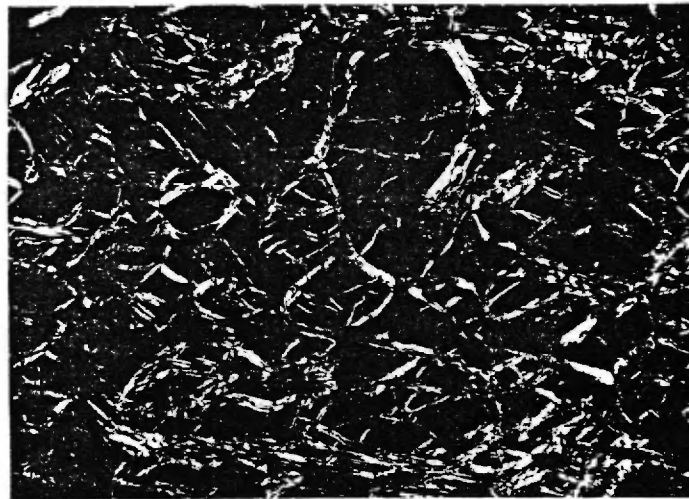


Planche X - Lame Ba 79-09 (695.8). Réorientation des minéraux de serpentine dans la dunitte serpentinisée du Roberge-nord.
(L.P. X20)

de teinte d'un gris foncé tacheté de crème (plage de plagioclase) à un gris pâle verdâtre.

2.3 - Filon-couche de Ventures.

Dans la coupe stratigraphique des forages de Barlow, le filon-couche de Ventures est situé au dessus de chacun des deux segments du filon-couche de Roberge. Comme ces derniers, les deux segments du Ventures portent les dénominations sud et nord. Ces segments sont de composition ultramafique-mafique. La stratigraphie du filon-couche de Ventures a été déterminée par McMillan (1972). Dans la coupe des forages, la stratigraphie des segments de Ventures diffère passablement de celle-ci et sera discutée ultérieurement.

2.3.1 - Segment sud (Ventures-sud)

La dimension du filon-couche est de 141.7 mètres d'épaisseur. Son contact inférieur avec la roche encaissante n'est marqué d'aucune zone de trempe. Le segment est recoupé par les forages Ba-79-05 et Ba-79-06, et se compose de deux unités distinctes: une pyroxénite et un gabbro (fig. 12).

La pyroxénite.

Cette unité comporte un mésocumulat-accumulat de clinopyroxène en partie ouralitisé (15 à 20 pourcent). Le contact inférieur avec la roche encaissante du Blondeau est franc et le seul indice de zone de trempe consiste en une roche sans texture particulière mais à

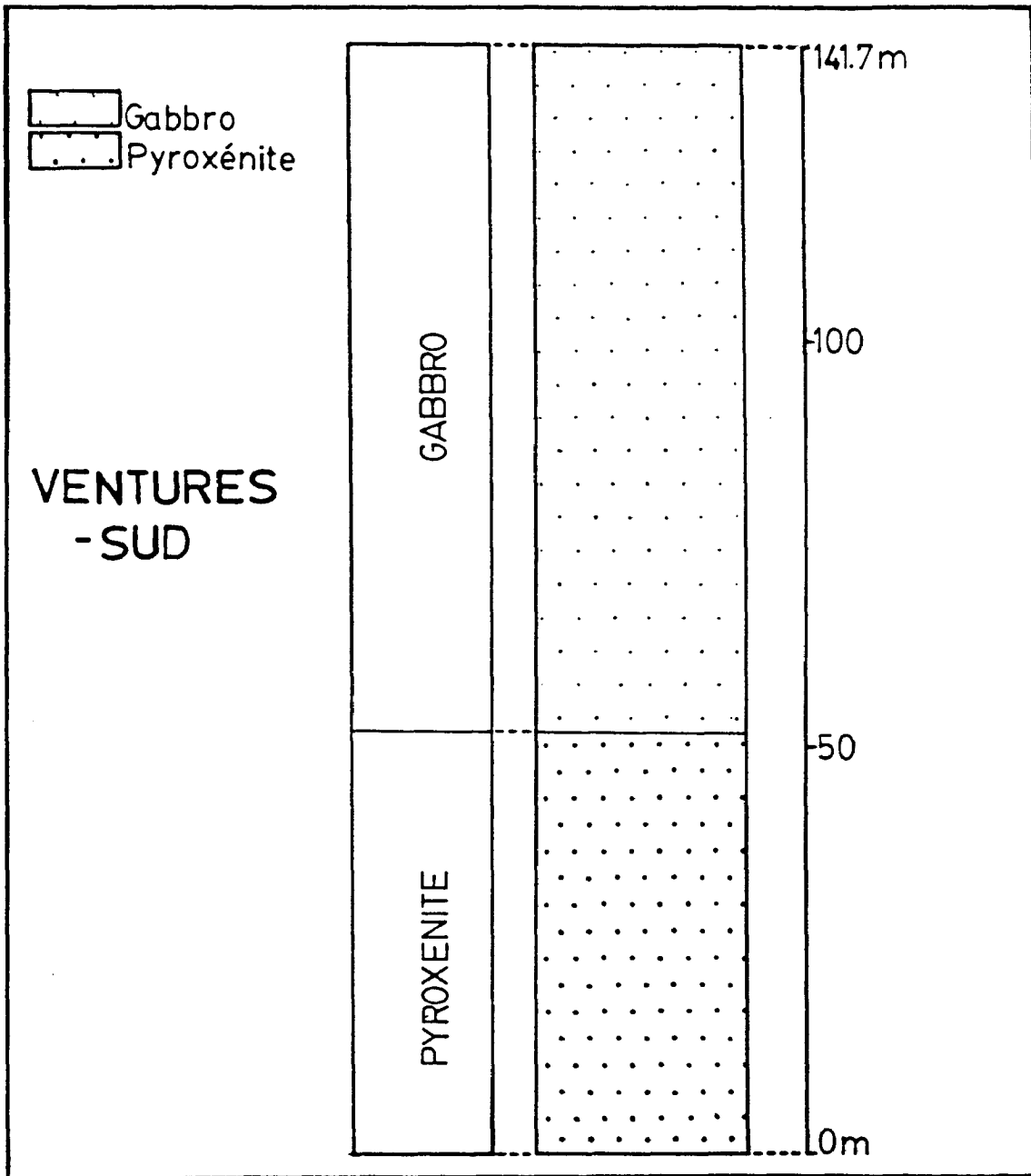


Figure 12 - Coupe stratigraphique du segment sud du Ventures.

granulométrie très variable. L'échantillon Ba-79-06 (376) est une pyroxénite entièrement ouralitisée contenant autour de 30 pourcent de carbonate secondaire. La taille des minéraux se répartit entre 0.1 à quatre millimètres, sans grosseur moyenne. De la base à environ quatre mètres, la roche se caractérise d'une teinte grise pâle verdâtre passant graduellement au gris plus soutenu de la clinopyroxénite moins ouralitisée.

Le mésocumulat-accumulat clinopyroxénitique entrecoupé à l'occasion de bandes gabbroïques, semble néanmoins assez homogène en composition et en granulométrie de la base au sommet de l'unité. Cette unité pyroxénitique fait 53.3 mètres au total. Le contenu minéralogique est le suivant: 75 pourcent de clinopyroxène de type augite, 15 pourcent d'amphibole d'ouralitisation, 10 pourcent d'un mélange de serpentine et d'actinote, et des traces de carbonate (planche XI). Le cumulat forme en moyenne 85 pourcent de la roche. L'intercumulat, en général composé d'un mélange de serpentine et d'actinote, forme un maximum de 20 pourcent de la roche dans certains échantillons. De 0.8 millimètre de dimension moyenne, la taille des minéraux est comprise entre 0.2 et deux millimètres, d'un bout à l'autre de l'unité. Certains échantillons sont marqués d'une foliation primaire. Cette lamination ignée semble de plus en plus évidente en montant dans l'unité, mais demeure malgré tout légère.

McMillan (1972) mentionne la présence de péridotite et de dunite dans l'ensemble pyroxénitique du Ventures à Opémiska. Dans la coupe des forages, ces roches sont inexistantes dans la pyroxénite de Ventures, mais quelques bandes de composition gabbroïque apparaissent vers

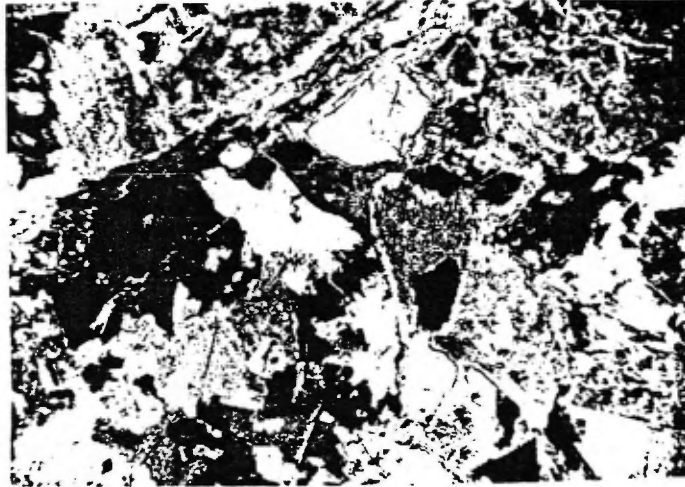


Planche XI - Lame Ba 79-06 (457.1). Méso-accumulat de clinopyroxénite ouralitisée du Ventures -sud.
(L.P. X40)

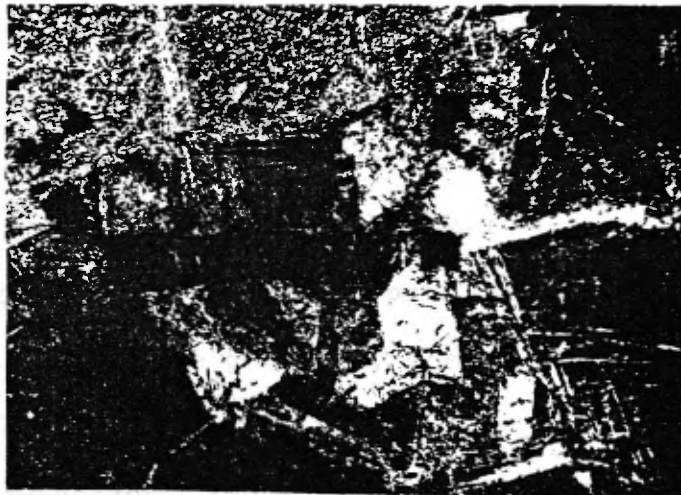


Planche XII - Lame Ba 79-05 (268.2). Gabbro ophitique altéré du Ventures-sud.
(L.P. X20)

le sommet de celle-ci. L'échantillon Ba-79-06 (531.2) est un gabbro composé de plus de 45 pourcent de feldspath plagioclase automorphe dans une pâte d'amphibole d'altération, de serpentine et d'ilménite squelettique. Cet échantillon se trouve à une dizaine de mètres du contact supérieur avec le gabbro de Ventures.

Le gabbro

La zone de gabbro fait 88,4 mètres d'épaisseur. Le contact inférieur entre le sommet de la pyroxénite et le gabbro est brusque et se remarque à l'apparition subite et persistante de 40 pourcent et plus de feldspath plagioclase. Selon McMillan (1972) cette zone gabbroïque se compose de deux sous-unités majeures: un gabbro folié surmonté d'un gabbro ophitique surnommé le gabbro de Ventures. Le segment de la coupe des forages ne contient qu'une de ces deux sous-unités. Au contact, le gabbro (échantillon Ba-79-05 (166.4)) montre une texture sub-ophitique et une lamination primaire, encore visible macroscopiquement 40 centimètres plus haut. L'échantillon Ba-79-05 (168.9), à 0.7 mètre du contact, est caractérisé par l'absence de foliation et possède une texture ophitique grossière, typique du gabbro de Ventures (McMillan, 1972; Duquette, 1970, 1982).

Le gabbro ophitique très grenu (gabbro de Ventures) se compose principalement de 40 à 50 pourcent de feldspath plagioclase saussuritisé, de 40 à 50 pourcent de clinopyroxène presque entièrement ouralitisé en hornblende-actinote, de trois à dix pourcent d'ilménite, de deux à cinq pourcent de serpentine-chlorite et de plus d'un (1) pourcent d'apatite (planche XII). La dimension des minéraux est en moyenne

de 0.6 centimètre mais peut varier entre 0.2 et deux centimètres dans la même section polie. Certains échantillons montrent une texture sub-ophitique plutôt qu'ophitique, mais en général, cette dernière est présente partout. Le contact supérieur avec la formation de Blondeau ne présente aucune zone de trempe. Néanmoins, un changement s'opère graduellement dans le gabbro à partir d'environ sept mètres sous le contact. L'échantillon Ba-79-05 (469.5) montre une texture sub-ophitique à granulométrie plus fine dans le cas des amphiboles d'altération (0.2 à 0.9 millimètre) que dans celui du feldspath plagioclase (0.8 à trois millimètres). La composition de la roche demeure gabbroïque. L'échantillon Ba-79-05 (492) ne possède plus la texture ophitique et semble légèrement folié. La dimension des minéraux se maintient mais ceux-ci ont subi une altération très poussée. Aucun minéral de quartz n'est visible dans la partie supérieure du gabbro. Aucun granophyre ne recouvre le segment sud du Ventures.

2.3.2 - Segment nord (Ventures-nord)

La répartition pétrographique du segment nord est identique au segment sud sauf pour le granophyre local (Duquette, 1982) qui le coiffe (fig.13). Son épaisseur est de 143.2 mètres, incluant le granophyre.

La pyroxénite

Le contact avec le filon-couche de Roberge-nord sous-jacent est marqué par la disparition brusque du feldspath plagioclase intercumulat du sommet de la zone dunitique. La couleur de la roche change tout aussi rapidement. D'un gris très foncé (serpentine et clinopyroxène)

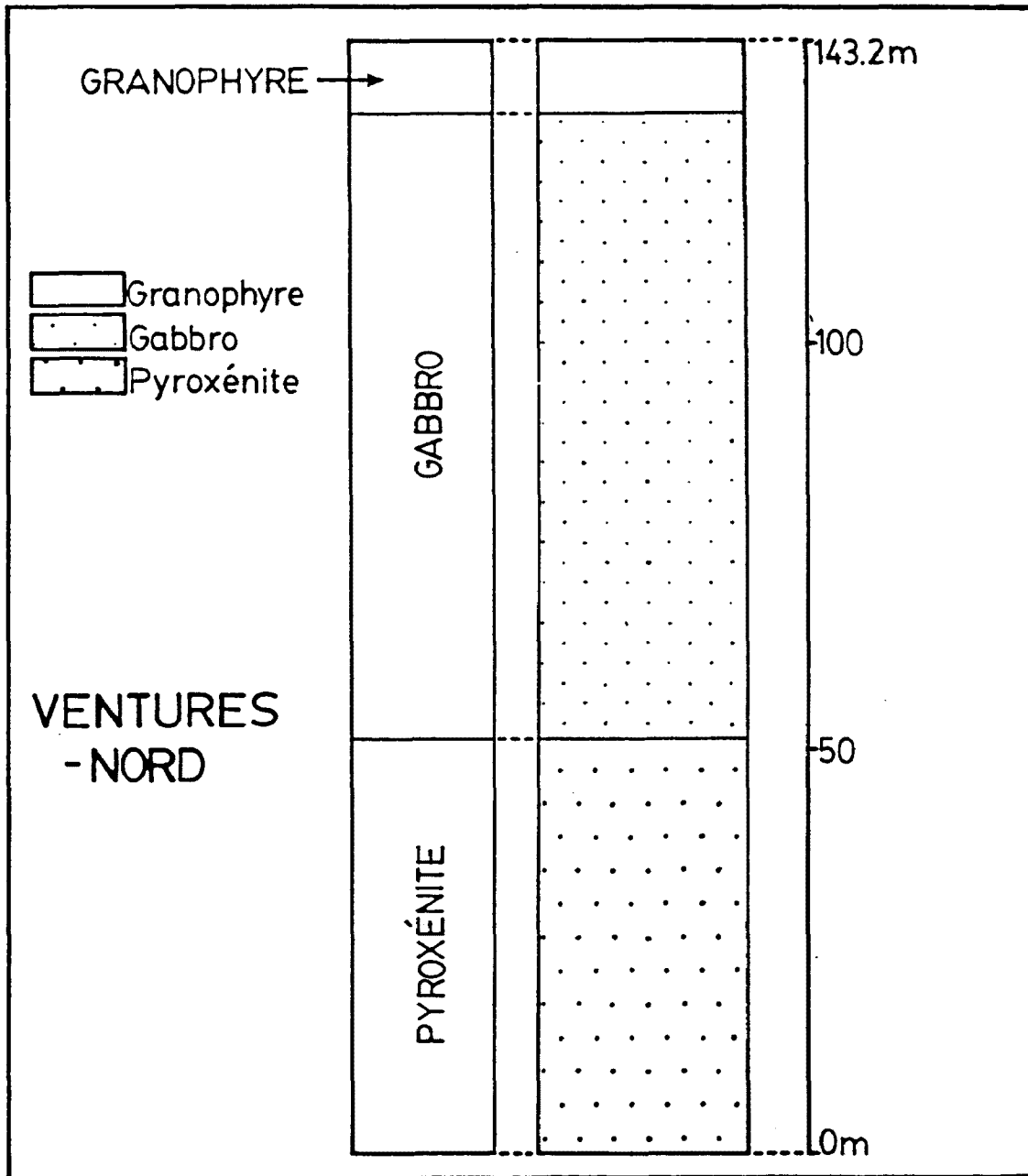


Figure 13 - Coupe stratigraphique de segment nord du Ventures.

tacheté de crème (feldspath plagioclase), la roche passe à un gris pâle verdâtre. Cette teinte semble se maintenir sur quelques mètres pour passer graduellement à un gris plus soutenu. L'échantillon Ba-79-08 (474.6), à un peu moins d'un demi mètre du contact, est formé de 50 pourcent de clinopyroxène non-altéré, de 30 pourcent de serpentine intercumulat mélangée à dix pourcent d'actinote. Un minéral opaque occupant dix pourcent du volume de la roche et le clinopyroxène, semblent être les seuls cumulats. Ce mésocumulat possède une lamination primaire évidente. D'une moyenne d'un (1) millimètre, les clinopyroxènes peuvent atteindre une dimension d'un (1) centimètre. Malgré le pourcentage élevé de serpentine et d'actinote, l'auteur classe cette roche comme pyroxénite. Le peu d'altération du pyroxène diffère passablement de l'équivalent stratigraphique du segment sud. Dans le cas du segment nord, la présence du filon-couche de Roberge-nord sous-jacent explique ce phénomène.

La totalité de la pyroxénite au dessus des quelques premiers mètres semble très homogène. Elle se compose de 80 à 100 pourcent de clinopyroxène un peu ouralitisé. La texture de mésocumulat (presqu'ad-cumulat) est fortement foliée par endroit (planche XIII). Les autres constituants sont la serpentine, l'actinote et un minéral opaque (tous en intercumulat) dans une proportion maximum de 20 pourcent. De façon identique au segment sud, le passage au gabbro sus-jacent s'identifie à l'apparition de bandes de composition gabbroïque à la toute fin de la pyroxénite. Cette pyroxénite fait 51.8 mètres d'épaisseur.



Planche XIII - Lame Ba 79-08 (657). Clinopyroxénite méso-accumulat du Ventures-nord avec foliation primaire évidente.
(L.P. X20)



Planche XIV - Lame Ba 79-03 (374.7). Gabbro ophitique grenu très altéré du Ventures-nord.
(L.P. X20)

Le gabbro

Le contact avec la clinopyroxénite sous-jacente est très similaire dans les deux segments du filon-couche de Ventures. Le gabbro faiblement folié s'étend sur à peine 1.8 mètre d'épaisseur. Il est identique à tout point de vue au gabbro faiblement folié du segment sud. Le gabbro ophitique grenu (gabbro de Ventures) qui forme la majorité de l'unité gabbroïque (planche XIV) ne se distingue de son équivalent du Ventures-sud, que par la présence plus fréquente d'apatite. Aucun minéral de quartz n'est visible au sommet de la séquence. Cette séquence complète de gabbro mesure 76.2 mètres d'épaisseur. Le passage au granophyre se remarque macroscopiquement à un changement de teinte du pyroxène et à une diminution générale de la granulométrie. Le contact s'étend sur environ 20 centimètres.

Le granophyre

Les premiers mètres du granophyre semblent dioritiques en composition. Les échantillons macroscopiques montrent un pyroxène beaucoup plus pâle que dans le gabbro précédent. Le feldspath plagioclase apparaît blanchi. Cette composition dioritique se transforme progressivement en granophyre sur moins de quatre mètres. L'échantillon Ba-79-03 (446.1) est typique de cette roche du Ventures-nord (planche XV) et est constitué de 50 pourcent de feldspath plagioclase saussuritisé, de 30 pourcent de quartz, de dix pourcent de chlorite et de dix pourcent d'amphibole d'altération mêlée à un minéral ressemblant à de l'épidote. La texture myrmékite est visible un peu

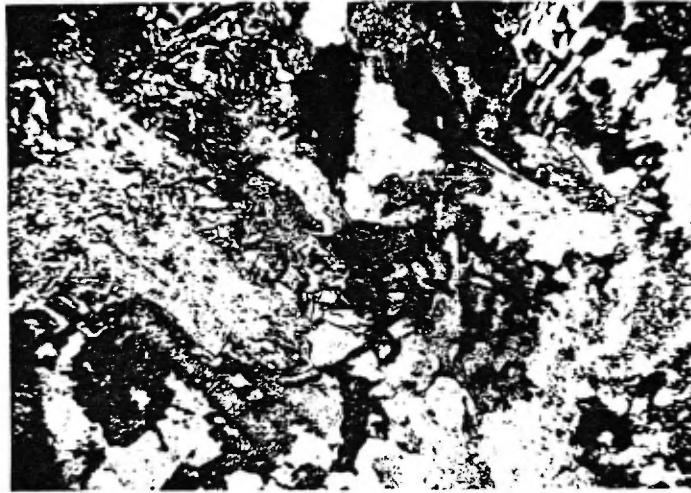


Planche XV - Lame Ba 79-03 (446.1). Granophyre altéré du Ventures-nord (texture myrmékitique).
(L.P. X40)

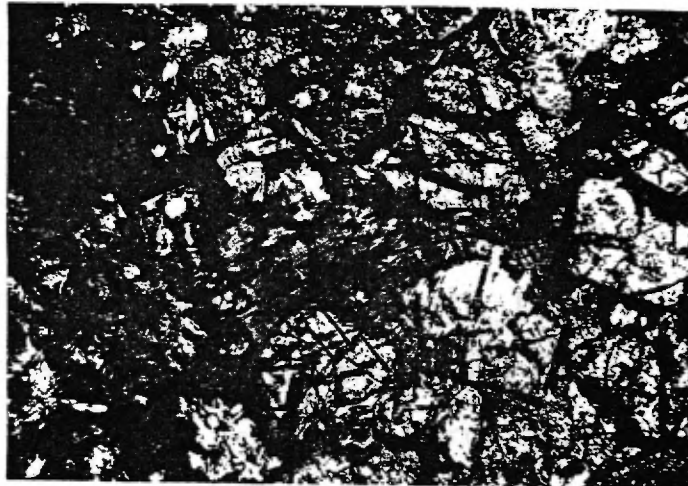


Planche XVI - Lame Ba 79-01 (577). Bronzite peu altérée (au centre) dans la pyroxénite à bronzite du Bourbeau.
(L.P. X20)

partout. A ce niveau, la dimension moyenne des minéraux est de 0.2 millimètre, mais tend à augmenter en montant dans la séquence. Cette unité granophyrique fait 15.2 mètres d'épaisseur. Le contact avec le tuf sus-jacent de Blondeau est franc et sans particularité.

2.4 - Filon-couche de Bourbeau

Le filon-couche de Bourbeau a 434 mètres d'épaisseur. Il est le seul des trois filons-couches du complexe de Cummings, à ne pas se répéter dans la section des forages de Barlow. Il est recoupé par les forages Ba-79-01 et Ba-79-16. Sur les cartes géologiques cependant (Gobeil, 1973; Avramtchev, 1973), il forme avec les roches de la formation de Blondeau, le coeur du synclinal de Chibougamau. A cet endroit, au nord de la coupe des forages, le filon-couche est très plissé et ses unités se répètent aléatoirement. Les trois principales unités de Bourbeau s'identifient facilement et semblent être passablement continues en épaisseur et en composition (Duquette, 1970, 1982; Charbonneau, 1981; Boudreault, 1977; Gobeil, 1973; Allard, 1976; McMillan, 1972). De la base vers le sommet, ces unités sont: une pyroxénite, un gabbro massif et un ferrogabbro-ferrodiorite à quartz (fig. 14).

La pyroxénite à bronzite

Le membre basal du filon-couche, atteint une épaisseur de 57.9 mètres dans la coupe des forages. Ce qui est plus du double de l'épaisseur qui lui est normalement attribuée (Allard, 1976; Duquette, 1970, 1982). Son contact franc avec les roches sous-jacentes de

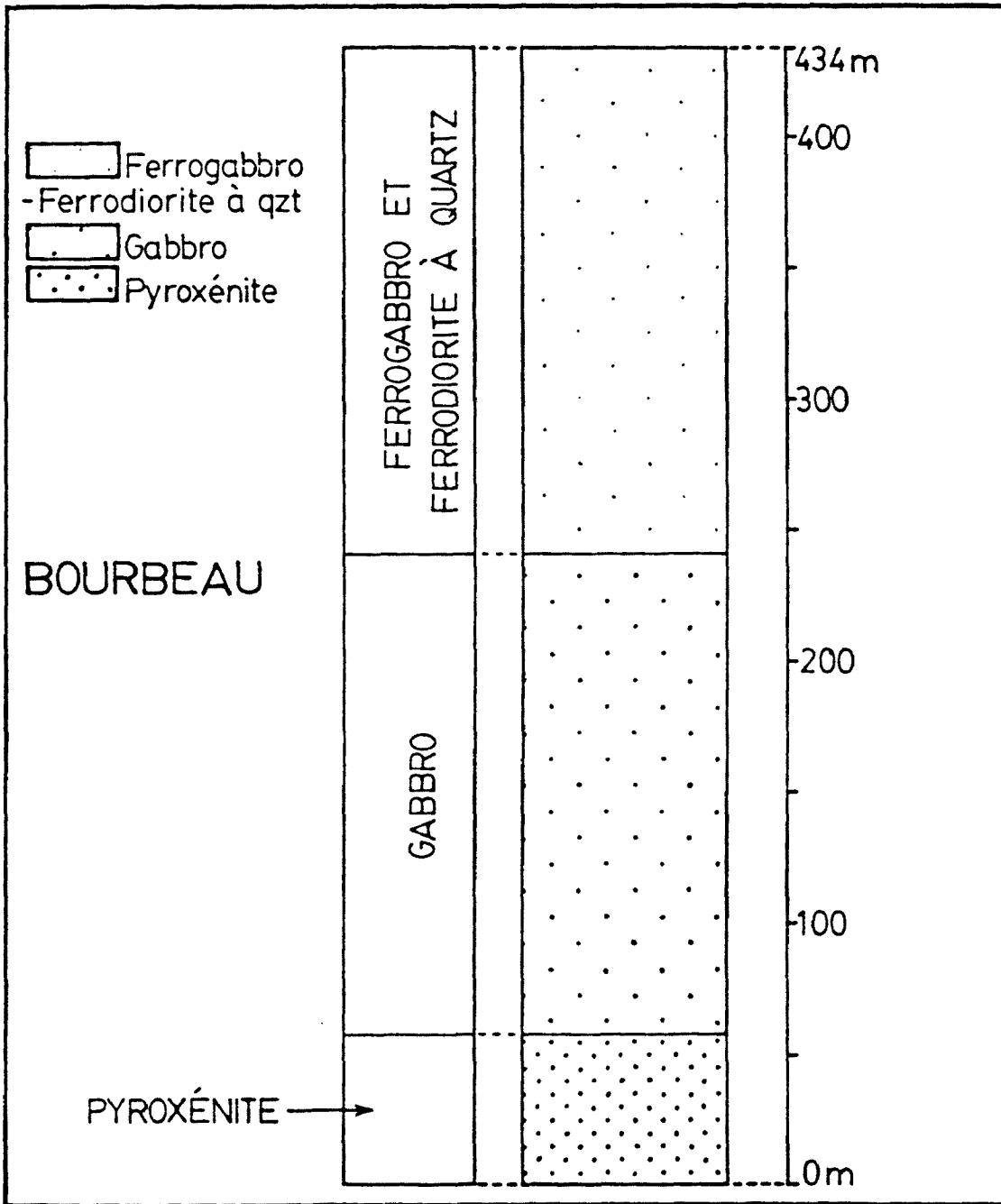


Figure 14 - Coupe stratigraphique du filon-couche de Bourbeau.

Blondeau ne présente pas de minéralogie particulière à une zone de trempe. Cependant le premier mètre de roche possède une granulométrie plus fine que l'ensemble des échantillons de cette unité. D'un gris moyen, la roche s'identifie macroscopiquement par la présence dispersée d'un minéral ressemblant à de la biotite. Selon Allard (1976), il s'agit d'un orthopyroxène altéré de type bronzite. En lame mince, la totalité de la roche de l'unité est très altérée et la détermination des minéraux d'origine s'avère très difficile. La bronzite, qui selon tous les auteurs est le minéral caractéristique de cette pyroxénite, ne s'identifie que lorsque fraîche ou peu altérée (planche XVI). L'orthopyroxène relique ne fait jamais plus de 15 pourcent de la roche. Une estimation grossière de la présence totale de ce minéral sous forme altéré ou non, atteint un maximum de 30 à 35 pourcent de la roche. Les autres constituants d'origine apparaissent être le clinopyroxène, l'olivine(?) et un minéral opaque. La texture primaire de la roche a été passablement modifiée, et se qualifierait maintenant de blastomésocumulat. Les proportions minéralogiques moyennes sont les suivantes: 40 pourcent d'actinote, 30 pourcent de serpentine, dix pourcent d'un minéral opaque, cinq pourcent d'amphibole d'altération de type hornblende, cinq pourcent de bronzite en partie altéré, cinq pourcent de clinopyroxène relique et cinq pourcent chlorite, de carbonate et autres minéraux traces. Vers le sommet de l'unité (échantillons Ba-79-01 (637 et 712)), les deux pyroxènes sont moins altérés et la présence d'un feldspath plagioclase très altéré intercumulat est soupçonnée. Selon les observations faites en lame mince, il s'avère difficile

de qualifier cette roche d'un nom représentatif. Les minéraux de serpentine, souvent délimités par un minéral opaque (magnétite?) semblent pseudomorphes de la bronzite ou de l'olivine. Cette identification incertaine des minéraux originels de la roche nous incite à conserver, pour le moment, le nom de pyroxénite à bronzite pour cette unité. Malgré que sans l'olivine, le terme webstérite serait plus approprié.

Le gabbro massif.

Le passage de l'unité pyroxénitique au gabbro massif, se note macroscopiquement à l'apparition du feldspath plagioclase automorphe. Les minéraux ferro-magnésiens prennent une teinte pâle de gris verdâtre. D'une épaisseur de 182.9 mètres, le gabbro se caractérise par une texture sub-ophitique méconnaissable. Un pyroxène en général ouralitisé en amphibole et un feldspath plagioclase entièrement saussuritisé, forment respectivement 50 et 35 pourcent de la roche. Les autres constituants sont la chlorite (dix pourcent), l'épidote, un carbonate et un minéral opaque (planche XVII). Les trois derniers composent environ de 5 à 10 pourcent de la roche. D'en moyenne deux millimètres de dimension, certains minéraux atteignent plus de dix millimètres de longueur. Vers le sommet de l'unité, une faible quantité de quartz interstitiel, visible en lame mince, annonce la proximité de l'unité supérieure. Le passage progressif d'une unité à l'autre se remarque à la diminution du pourcentage de pyroxène et à l'arrivée de plus en plus marquée du quartz moins xénomorphe.

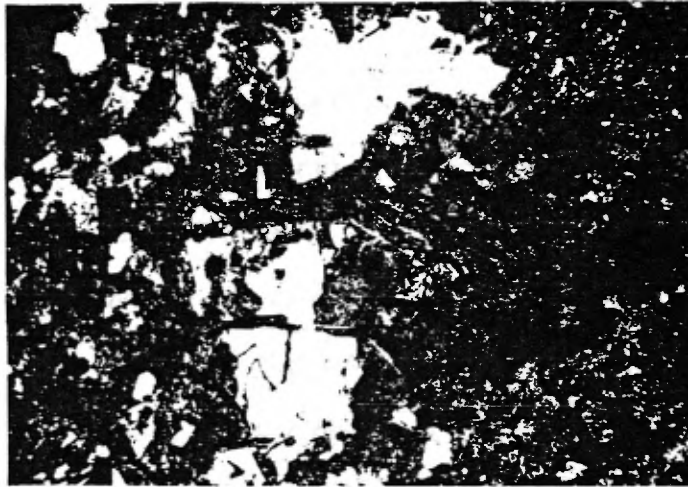


Planche XVII - Lame Ba 79-01 (1347). Gabbro du Bourbeau très altéré, à texture sub-ophitique méconnaissable.
(L.P. X20)

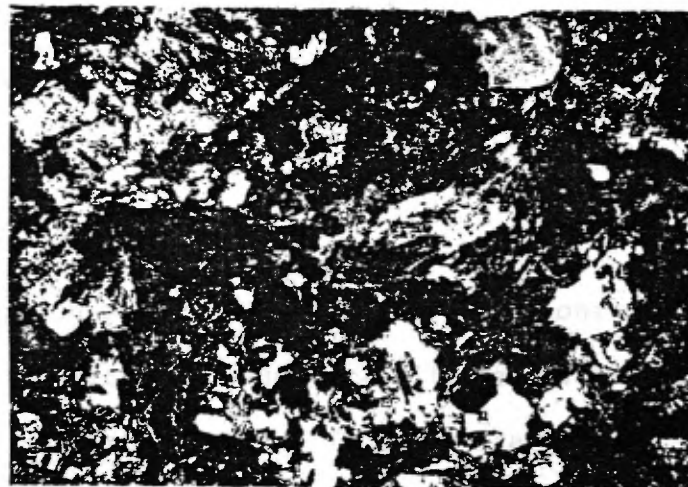


Planche XVIII - Lame Ba 79-16 (200). Ferro-diorite à quartz très altérée avec texture myrmékistique (très petit)
(L.P. X20)

Le ferrogabbro-ferrodiorite à quartz.

Cette unité de 193.2 mètres est un mélange de ferrogabbro et ferrodiorite, tous deux à quartz. Le premier se concentre surtout à la base de l'unité et la seconde, au sommet. Le ferrogabbro quartzifère se compose en moyenne de 40 pourcent de feldspath plagioclase saussuritisé, de 20 pourcent d'amphibole d'altération, de dix pourcent de pyroxène relique, de dix pourcent de quartz, de dix à quinze pourcent d'opaque et de cinq pourcent de chlorite et d'épidote. La ferrodiorite quartzifère comprend un peu moins de minéraux ferro-magnésiens, plus de quartz pseudo-hexagonal, plus de chlorite et d'épidote. La texture myrmékitique peu visible dans le ferrogabbro est ici très marquée (planche XVIII). La dimension moyenne des minéraux se maintient autour de 1.4 millimètre. Le contact supérieur avec le schiste graphiteux est brusque.

2.5 - Discussion

La description pétrographique des trois filons-couches du complexe de Cummings met en évidence une différenciation magmatique lors du processus de cristallisation. Cette cristallisation fractionnée s'étend à deux niveaux: la différenciation du magma primaire en trois chambres de cristallisation distinctes, et la différenciation magmatique interne à chaque chambre. Ce style de différenciation magmatique n'est pas une caractéristique unique au complexe de Cummings. Sans chercher trop dans la littérature, les filons-couches de Dundonald

(Naldrett et Mason, 1968) et de Munro Lake (MacRae, 1969) présentent des similitudes tant au point de vue de la disposition en plusieurs filons-couches, que de la différenciation magmatique interne qui les caractérise. D'un âge semblable (archéen), ils ont été préalablement mis en place dans une ceinture de roches vertes (Abitibi) et sont métamorphisés jusqu'au faciès des schistes verts. Néanmoins, ni l'un ni l'autre ne présente autant d'évidences de comagmatisme que les filons-couches du complexe de Cummings.

Wager et Brown (1968, p.529) mentionnent qu'il est improbable qu'un filon-couche différencié présente toutes les caractéristiques particulières à un complexe igné lité du style du Skaergard, du Muskox ou du Stillwater. Selon eux, l'absence totale ou partielle de litage rythmique, de litage cryptique ou de foliation ignée primaire, interdit la classification de filon-couche différencié parmi les complexes stratiformes d'envergure. Pourtant les roches du complexe de Cummings présentent toutes ces caractéristiques particulières (McMillan, 1972; Duquette, 1982). Le litage rythmique est observable dans le Roberge (ce travail) et le Ventures (McMillan, 1972). Le litage cryptique a été démontré par McMillan (1972) pour le filon-couche de Ventures. Le gabbro folié de ce même filon-couche a été cartographié par nombre d'auteurs (McMillan, 1972; Gobeil, 1973; Avramtchev, 1973; Duquette, 1982; Boudreault, 1977). Les différentes textures de cumulat sont présentes aux niveaux ultramafiques de chaque filon-couche. On peut considérer que l'environnement volcano-sédimentaire a pu jouer un rôle prédominant dans l'élaboration d'un contexte propice au refroidissement lent d'un magma intrusif, dans une croûte chaude archéenne.

Cependant, certaines observations demandent une interprétation complémentaire.

Les deux segments du filon-couche de Roberge présentent des nuances texturales et pétrographiques notables. Le Roberge-sud (segment sud) est en contact inférieur et supérieur avec les roches de Gilman. Le Roberge-nord (segment nord) est en contact inférieur avec les roches du Blondeau et en contact magmatique supérieur avec la base du filon-couche de Ventures-nord. Puisque le contact avec le Ventures-nord est un contact de phase, il est justifié de soupçonner un rapport entre l'existence d'une chambre magmatique plus volumineuse (Roberge-nord-Ventures-nord) et les nuances pétrographiques et texturales du Roberge-nord face à son équivalent du sud. A cause de ces différences et du contact avec le Ventures, le filon-couche de Roberge-nord ressemble étonnamment à une partie des roches ultramafiques décrites par McMillan (1972) pour le volumineux filon-couche de Ventures à Opémiska. La zone pyroxénitique du Roberge-nord semble similaire en composition et en texture à la pyroxénite verte de base du Ventures à Opémiska. Il en est de même pour la zone wehrlite-dunite-pyroxénite et la zone dunitique du Roberge-nord qui possèdent des caractéristiques pétrographiques identiques à ce que McMillan (1972) décrit comme étant la pyroxénite noire (wehrlite incluse) sous-jacente à la pyroxénite verte supérieure du Ventures d'Opémiska. Sauf pour la zone pyroxénitique, les épaisseurs de roches se comparent assez bien, si l'on considère les marges d'erreur possibles attribuées à la difficulté de reconnaître les phénomènes

structuraux dans des roches ultramafiques altérées (fig.15). McMillan donne une épaisseur de 366 mètres à la pyroxénite noire de la mine d'Opémiska. L'épaisseur cumulée des zones wehrlite-dunite-pyroxénite et dunitique du Roberge-nord, totalise 474 mètres. Ce dernier possède une zone pyroxénitique de 6.9 mètres, comparée aux 30.5 mètres de la pyroxénite verte de base à Opémiska. Au total, le filon-couche de Roberge-nord fait 481.6 mètres. Ensembles, la pyroxénite verte de base et pyroxénite noire décrite par McMillan, font 396.3 mètres d'épaisseur. Cette différence pourrait être aussi attribuée à la zone dunitique. En effet, A.Gobeil, géologue résident de Chibougamau (comm. pers.) soupçonne cette zone d'être régionalement lenticulaire, donc d'épaisseur variable. Un autre argument en faveur de cette hypothèse vient de la comparaison entre la pyroxénite verte sous-jacente au gabbro folié du Ventures à Opémiska et la pyroxénite de Ventures des segments nord et sud dans la coupe des forages. Elles ont une épaisseur identique et possèdent la même minéralogie.

Le dernier argument en faveur de cette interprétation nous vient de McMillan (1972,p11):

...Although in places the Roberge and Ventures Sills are separated by a narrow band of ~~rhyolitic rocks~~ as in the "Rockefeller" area three miles N.W of the Mine, no volcanic rocks separate them at the Opemiska Mine, nor is there any evidence of chilled contacts within the ultramafic sequence. Because of this difficulty in distinguishing the Ventures and Roberge Sills at Opémiska, in this study the complete layered sequence is called the Ventures Sill and probably includes some ultramafic rocks which

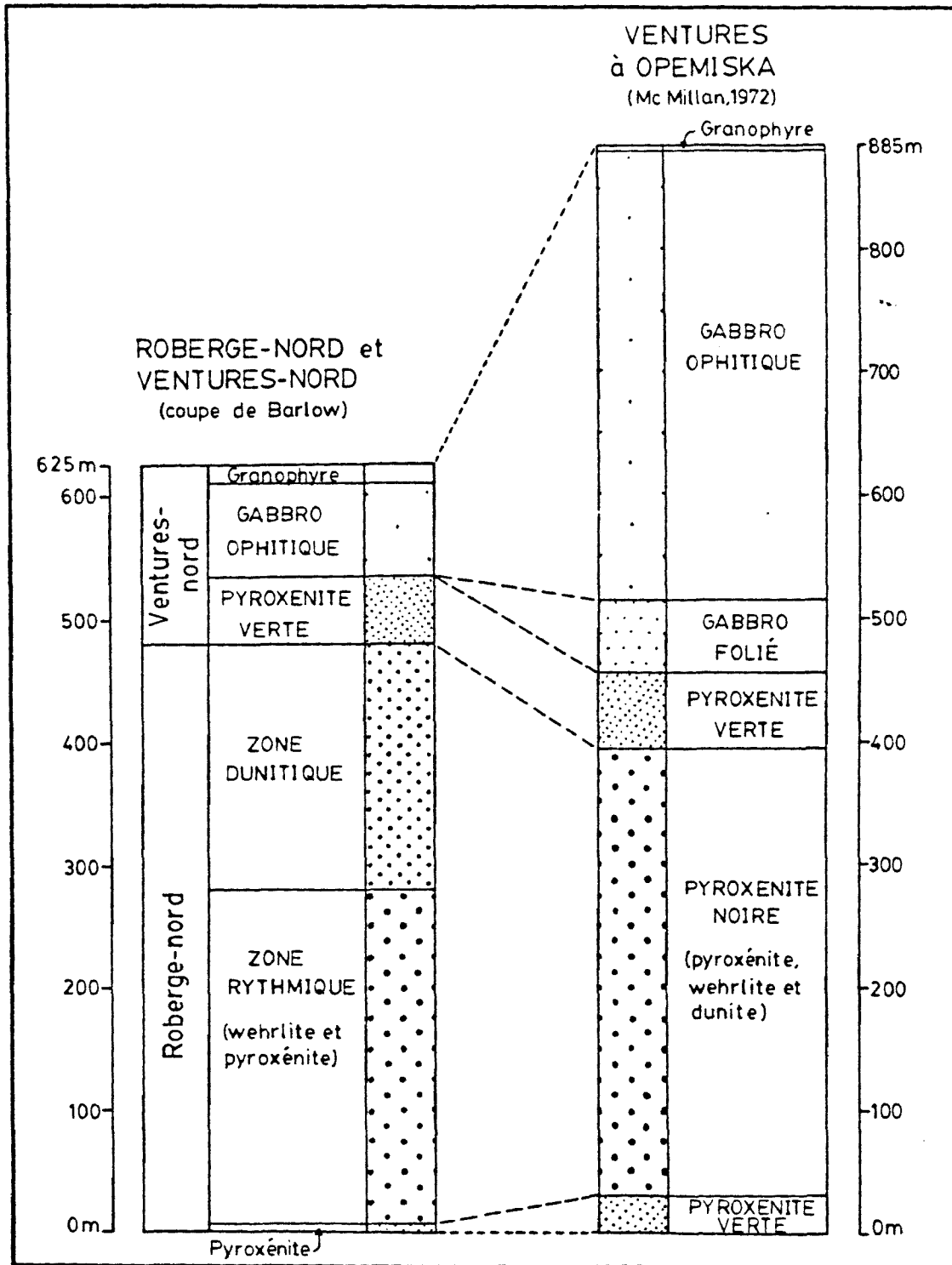


Figure 15 - Tentative de corrélation entre les coupes stratigraphiques du Ventures à Opémiska et les segments nord du Roberge et du Ventures, forages de Barlow.

Duquette would have separated as belonging to the Roberge Sill⁴.

La répartition pétrographique dans le filon-couche de Roberge ne peut s'expliquer uniquement par un processus de différenciation magmatique. La zone pyroxénitique située sous la zone à litage rythmique normal wehrlite-pyroxénite et la zone dunitique au dessus de cette dernière, ne peuvent être que "mécaniquement" mises en place. McMillan (1972) note les évidences d'injections multiples dans sa pyroxénite noire à Opémiska (p.61 et 65). Puisque la polarité du filon-couche ne peut être remise en question (litage rythmique), un mécanisme d'injections multiples est envisagé au niveau du filon-couche de Roberge. Si cette interprétation est valable, l'échantillon Ba-79-14 (202) situé dans la zone de trempe de la zone pyroxénitique ne représente que la composition du premier liquide à être injecté et n'est pas représentatif du magma parent associé à toute l'intrusion. Ce dernier devrait être plus ultramafique, compte-tenu de la proportion des roches ultramafiques-mafiques dans l'ensemble du complexe de Cummings. La roche de la zone de trempe peut cependant représenter une approximation utile.

⁴Traduction libre; ...Bien qu'à certains endroits les filons-couches de Roberge et de Ventures sont séparés par une mince bande de roches rhyolitiques comme dans la région de "Rockefeller" trois milles au N.W. de la Mine, aucune roche volcanique ne les sépare à la Mine d'Opémiska, pas plus qu'on ne trouve d'évidence de zone de trempe dans la séquence ultramafique. Puisqu'il est difficile de différencier les filons-couches de Ventures et de Roberge à Opémiska, dans cette étude la totalité de la séquence litée est appelée le filon-couche de Ventures et renferme probablement des roches ultramafiques que Duquette aurait classées comme appartenant au filon-couche de Roberge.

Le litage rythmique noté lors de l'échantillonnage des deux segments du filon-couche de Roberge est d'ordre décamétrique. Les variations de dimensions réduites se remarquent plus facilement sur des surfaces d'affleurement altérées. L'érosion différentielle permettant de bonnes observations de litage rythmique est inexistante en carotte de forage. Le litage rythmique présenté aux figures 10 et 11 (p.30 et 39), n'indique donc qu'une variation brusque du rapport des cumulats que sont l'olivine et le pyroxène. Par le fait qu'il est inexistante ou qu'il est complètement altéré en serpentine, l'orthopyroxène n'a pu être identifié dans aucun échantillon des deux segments du filon-couche de Roberge.

Les deux segments du filon-couche de Ventures sont identiques entre eux, si on fait exception du granophyre coiffant le segment nord. Malheureusement, le Ventures de la coupe des forages est incomplet, lorsque comparé au Ventures d'Opémiska (McMillan, 1972; Duquette, 1982). Le gabbro folié est absent sauf pour les quelques décimètres sus-jacents à la pyroxénite. Selon Gobeil (1973), le gabbro folié n'apparaît qu'en lentilles discontinues dans la région. Les deux unités de base du Ventures d'Opémiska (pyroxénite verte et noire) manquent aussi dans la région de Barlow et Cuvier. Gobeil (1973, p8) mentionne que "...cette séquence n'est rencontrée que très rarement et les deux principales unités sont la pyroxénite verte et le gabbro de Ventures", et Duquette (1982,p26) précise à propos du Ventures au nord de Chibougamau,

"... Dans notre région, la méta-augite⁵ a 100 mètres ou moins d'épaisseur...Sa partie centrale ne semble pas contenir de couches de serpentinite". Ces deux observations viennent étoffer l'interprétation ci-haut décrite pour le Roberge. Quoique plus mince, le gabbro ophi-tique est identique en texture et minéralogie à son équivalent d'Opé-miska et de d'autres régions. Boudreault (1977) et McMillan (1972) mentionnent la présence d'apatite comme minéral primaire en trace dans le gabbro de Ventures. L'importance de ce minéral magmatique sera évaluée lors de l'interprétation géochimique des terres-rares.

La seule particularité que possède le filon-couche de Bourbeau de la coupe des forages par rapport au Bourbeau des autres régions est l'épaisseur surprenante de sa zone de pyroxénite à bronzite. En effet, celle-ci fait plus du double de ce qu'on lui attribue normale-ment. Comparée aux zones ultramafiques des autres filons-couches du complexe, la texture de cumulat est beaucoup moins évidente ou trop altérée.

Jusqu'à présent, le terme cumulat a été utilisé dans le texte pour décrire les textures qui caractérisent les zones ultramafiques des trois filons-couches. Selon Wager et Brown (1968) le terme cumu-lat est fortement associé au processus de sédimentation ignée des mi-néraux formés à un niveau plus élevé de la chambre magmatique et déposé par gravité sur le plancher de cette chambre. Certains

⁵Pour Duquette, la méta-augite représente toute la séquence ultramafique du filon-couche de Ventures dans sa région.

auteurs, entre autres McBirney et Noyes (1979) et Campbell (1978), ont aussi beaucoup travaillé sur des complexes stratiformes et en sont venu à la conclusion que la sédimentation magmatique n'est pas le seul processus menant à la formation de cumulats. La nucléation et cristallisation "in situ" des minéraux sur le plancher, les murs et le toit d'une chambre magmatique permet, dans plusieurs cas, d'expliquer plus simplement les différents cumulats (ortho-, méso-, hétérad-) et leurs dispositions dans un complexe stratiforme.

Il est difficile d'associer les cumulats du complexe de Cummings à l'un ou l'autre de ces processus. Cependant, quelques observations peuvent être notées:

- 1 - Sauf pour la zone dunitique du Roberge, presque tous les autres cumulats sont de type méso- ou hétéradcumulat, ce qui implique une proportion notable de matériel intercumulat.
- 2 - A l'exception possible du gabbro folié de Ventures, les textures de cumulats semblent strictement réservées aux zones ultramafiques des filons-couches.
- 3 - Le gabbro de Ventures et le ferrogabbro-ferrodiorite de Bourbeau supposent une stagnation du magma et une cristallisation "in situ".
- 4 - Il serait douteux (mais non impossible) que l'épaisseur restreinte des filons-couches puisse permettre différentes vitesses de sédimentation des minéraux de façon à former les divers types de texture (Wager et Brown, 1968) rencontrés dans le complexe.

Depuis que Duquette (1970) a reconnu l'existence du complexe de Cummings, le lien pétrogénétique des trois filons-couches a toujours été admis comme fortement possible. L'étude pétrographique de ce travail permet d'étayer cette hypothèse, sans toutefois préciser à quel niveau. Avec des données supplémentaires, notamment en géochimie, certaines conclusions pourront être tirées.

CHAPITRE II

GEOCHIMIE

1 - GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS

1.0 - Introduction

L'analyse des éléments majeurs a porté sur dix-huit échantillons de roche représentant les différentes unités décrites au chapitre précédent. La position stratigraphique de ces échantillons est indiquée dans les annexes A1, A2 et A3. L'étalon BCR-1, dont les valeurs sont données au tableau II, permet de vérifier la justesse des résultats. Les données des différents oxydes ont été obtenues par absorption atomique avec un spectromètre à double faisceau Perkin-Elmer, modèle 403. La précision du SiO_2 (plus difficile à obtenir que les autres oxydes par cette méthode) est évaluée à \pm cinq pourcent. Les valeurs de Fe_2O_3 et FeO ont été calculées par la méthode décrite dans Allard (1976;p.26). Les valeurs de H_2O total ont été obtenues par perte de masse à haute température.

1.1 - Filon-couche de Roberge

Les sept échantillons représentant le filon-couche de Roberge ont été choisis selon leur position stratigraphique, indépendamment du fait qu'ils proviennent du Roberge-sud ou du Roberge-nord. Les deux principales zones, la wehrlite-pyroxénite et la dunite, sont représentées par trois échantillons chacune. Un échantillon de la zone de trempe à la base du segment sud a aussi été analysé. Les résultats du tableau II

Tableau II - Résultats des analyses chimiques des éléments majeurs du filon-couche de Roberge et de l'étalon BCR-1.

No. d'analyse	2	3	4	5	8	9	10	étalon	standard internat.
Echantillons	Ba 79-14 (202)	Ba 79-14 (922.8)	Ba 79-12 (200.2)	Ba 79-12 (616.1)	Ba 79-05 (755.9)	Ba 79-04 (574.6)	Ba 79-09 (471.1)	BCR-1*	BCR-1**
	gabbro	dunite de wehr.	dunite	dunite	wehrlite	dunite de wehr.	dunite	basalte	basalte
% oxydes									
SiO ₂	44.19	32.08	30.30	28.87	40.20	33.19	35.31	54.50	54.675
TiO ₂	0.96	n.d.	n.d.	n.d.	0.30	0.09	0.18	1.91	2.242
Al ₂ O ₃	9.85	1.00	0.94	0.74	3.40	1.42	1.00	13.65	13.705
Fe ₂ O ₃	3.93	3.44	4.02	3.09	3.32	3.67	2.73	2.90	
FeO	13.10	11.47	13.40	10.31	11.06	12.22	9.10	9.68	
MnO	0.20	0.12	0.23	0.19	0.20	0.17	0.17	0.18	0.177
MgO	10.96	38.23	36.97	38.41	32.32	36.57	39.56	3.46	3.292
CaO	6.96	0.60	0.30	0.25	2.90	0.42	0.16	5.30	6.976
Na ₂ O	2.45	n.d.	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.82	3.325
K ₂ O	0.28	0.01	0.02	0.01	0.11	0.02	0.02	1.66	1.690
H ₂ O	4.24	11.47	11.28	12.16	8.45	10.26	12.01	11.59	
Total	97.12	98.42	97.51	94.03	102.26	98.03	100.24	97.65	99.637
Fe ₂ O ₃ ^t	18.49	16.19	18.11	14.55	15.61	17.25	12.84		13.555

n.d.: non détectée

Fe₂O₃^t : Fer total

*cette étude

**anhydre, (Flanagan, 1969)

sont représentés graphiquement à la figure 16.

A l'examen des courbes de la figure 16, il apparaît évident que la variation des oxydes majeurs se comporte de façon inusitée par rapport à l'ordre stratigraphique des échantillons. En effet, à l'exception de l'oxyde de magnésium, tous les oxydes majeurs ont tendance à diminuer en concentration de la base au sommet. Le MgO, pour sa part, augmente de 32 à près de 40 pourcent dans la séquence, se conformant ainsi aux observations pétrographiques. Ces résultats dérogent au principe même de la différenciation magmatique lors de la cristallisation fractionnée des complexes ignés lités de type Skaergard ou autres. Puisque le sens du litage rythmique des zones de wehrlite-pyroxénite et la position structurale du segment nord de Roberge ne permettent pas de douter de la polarité du filon-couche, il s'avère nécessaire de trouver une explication plausible à ce phénomène particulier. A la section 2.5 du chapitre 1, on a émis la possibilité que les deux unités inférieures du Ventures d'Opémiska appartiennent en réalité au filon-couche de Roberge. Comme déjà mentionné, McMillan (1972) observe des évidences d'injections multiples à ces niveaux et note ensuite une variation normale des oxydes pour le reste du filon-couche de Ventures. Se basant sur ces résultats, l'auteur de la présente étude émet l'hypothèse que le filon-couche de Roberge représente un système ouvert où se serait produit un minimum de trois injections magmatiques successives (une pour chaque zone du Roberge) de plus en plus ultramafiques en composition. La somme en volume, de ces injections permettrait d'obtenir suffisamment de matériel magmatique, pour cristalliser la totalité des

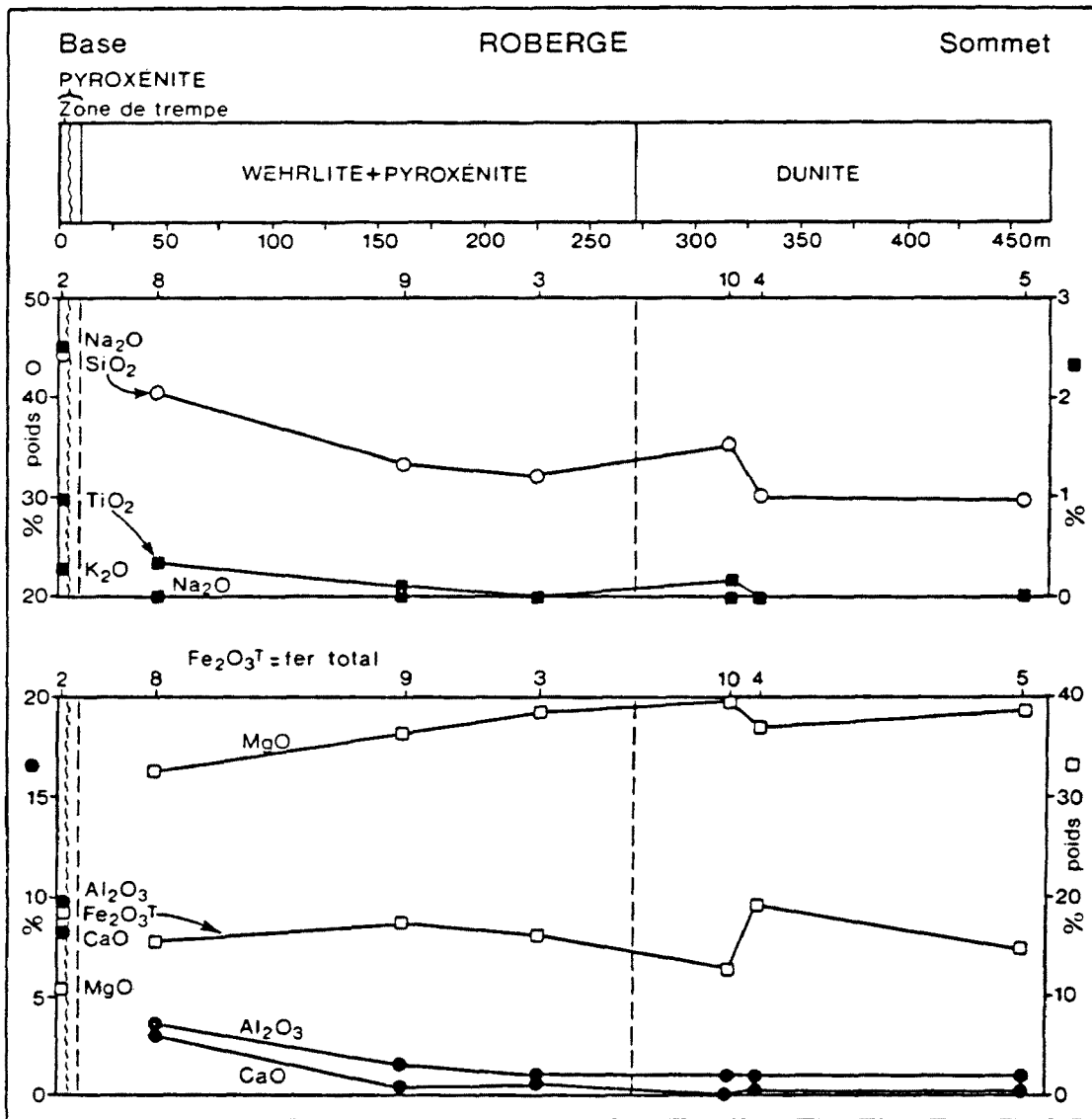


Figure 16 - Représentation graphique des oxydes majeurs du filon-couche de Roberge.

filons-couches de Roberge, de Ventures et de Bourbeau. L'échantillon de la zone de trempe Ba-79-14(202) (tableau II) représente donc la composition initiale du premier liquide injecté, mais ne fait qu'approcher la composition du magma parent du complexe de Cummings.

1.2 - Filon-couche de Ventures

Le choix des échantillons à analyser pour le filon-couche de Ventures s'est effectué selon une approche stratigraphique sans se préoccuper qu'ils proviennent de l'un ou l'autre des deux segments de la coupe. Trois échantillons appartiennent à la pyroxénite (dont un au contact du gabbro) et deux autres représentent approximativement la base et le sommet du gabbro ophitique. Un sixième échantillon provient du granophyre du segment nord, mais n'est pas relié aux autres échantillons dans la figure 17. Les pourcentages en poids d'oxyde sont donnés au tableau III.

Contrairement au filon-couche de Roberge, la variation des concentrations en oxydes majeurs du Ventures est conforme au principe de cristallisation fractionnée. Les oxydes de fer, d'aluminium, de titane, de sodium et de potassium augmentent graduellement de la pyroxénite au gabbro. Le silicium demeure assez stable, tandis que le magnésium et le calcium diminuent en proportion identique. L'aluminium et le sodium, ainsi que le fer et le titane semblent atteindre un maximum dans le gabbro ophitique à cause de la présence du feldspath plagioclase et de la cristallisation d'ilménite en proportion notable. La concentration moindre du fer et du titane dans l'échantillon Ba-79-05 (469.5) est compréhensible vers le sommet du gabbro, mais l'augmentation de Na_2O

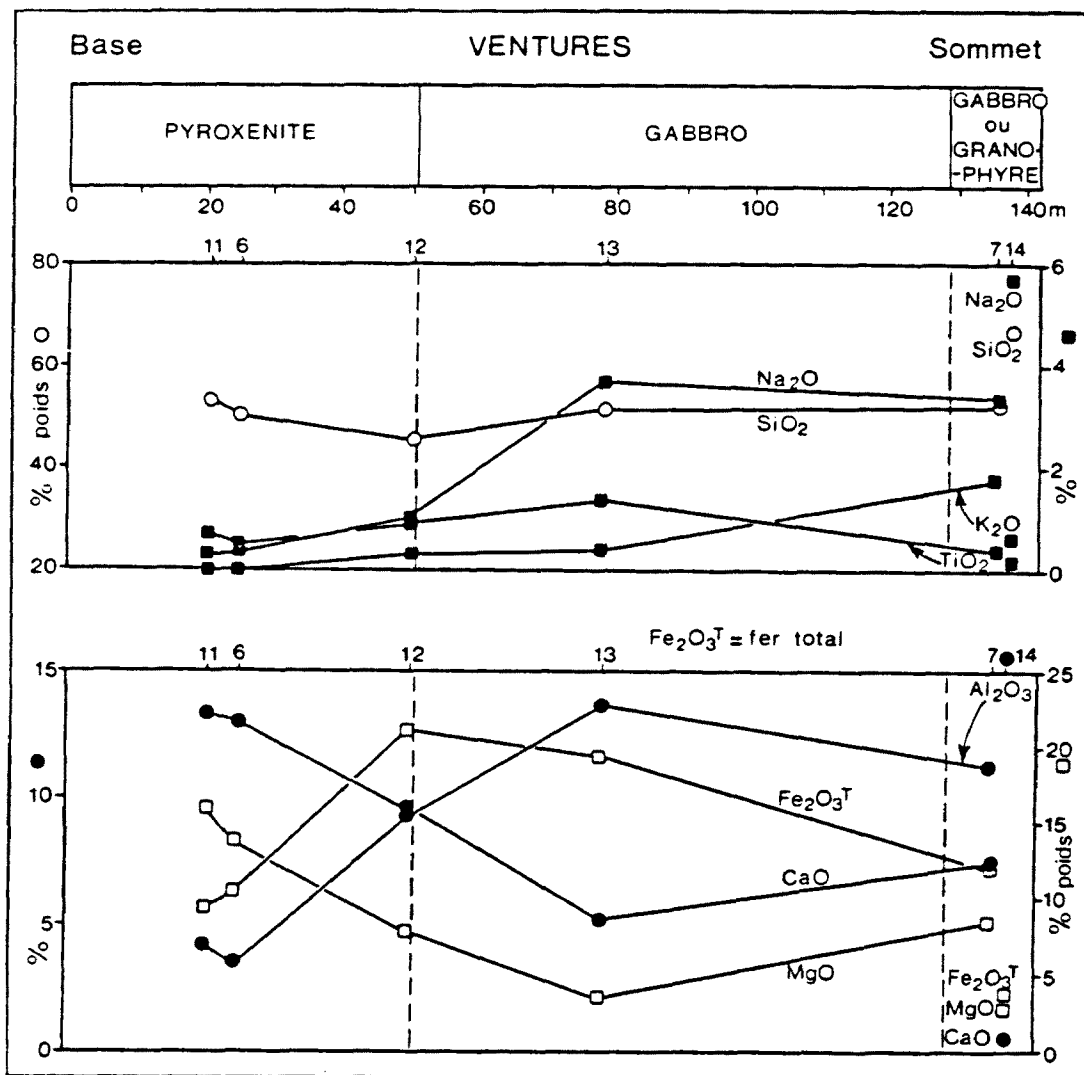


Figure 17 - Représentation graphique des oxydes majeurs du filon-couche de Ventures.

Tableau III - Résultats des analyses chimiques des éléments majeurs du filon-couche de Ventures.

No. d'analyse	6	7	11	12	13	14
Echantillons	Ba 79-06 (457.2)	Ba 79-05 (469.5)	Ba 79-08 (555.9)	Ba 79-08 (657)	Ba 79-03 (225)	Ba 79-03 (450)
	pyroxénite	gabbro	pyroxénite	pyroxénite	gabbro	granophyre
% oxydes						
SiO ₂	50.45	52.01	52.99	45.69	51.58	66.90
TiO ₂	0.48	0.38	0.72	0.86	1.39	0.18
Al ₂ O ₃	3.52	11.26	4.12	9.22	13.74	15.59
Fe ₂ O ₃	2.24	2.56	1.98	4.63	4.05	0.80
FeO	7.47	8.55	6.60	15.44	13.50	2.66
MnO	0.21	0.18	0.18	0.26	0.25	0.04
MgO	13.84	8.54	15.79	7.61	3.37	2.46
CaO	12.98	7.32	13.33	9.54	5.15	0.71
Na ₂ O	0,37	3.31	0.33	0.94	3.68	5.75
K ₂ O	0.07	1.73	0.02	0.29	0.39	0.57
H ₂ O	2.21	2.96	0.38	3.28	2.30	2.66
Total	93.84	98.80	96.44	97.76	99.40	98.32
Fe ₂ O ₃ ^t	10.54	12.06	9.32	21.12	19.05	3.52

Fe₂O₃^t : Fer total

et K_2O semble indiquer que l'altération peut être la source de cet enrichissement en alcalis. Les fortes concentrations de Si, Al, Na, et les très faibles pourcentages des autres constituants concordent parfaitement avec la pétrographie du granophyre.

Il a été noté au chapitre précédent que l'apatite fait son apparition comme minéral magmatique avec le gabbro ophitique. Lors du présent travail, aucune donnée de phosphore n'a été obtenue, mais d'autres études (Boudreault, 1977; McMillan, 1972) montrent une augmentation sensible de P_2O_5 lors de la cristallisation du Ventures, et rapportent aussi la présence de l'apatite.

1.3 - Filon-couche de Bourbeau

Les échantillons analysés du filon-couche de Bourbeau sont au nombre de cinq: deux pyroxénites à bronzite dont une au contact du gabbro massif, un gabbro, un ferro-gabbro à quartz et une ferro-diorite à quartz (tableau IV et figure 18). La variation cryptique, contrôlée par la minéralogie des échantillons, est évidente et normale. En concentration élevée dans la pyroxénite, la diminution rapide du magnésium et du fer dans la partie inférieure du filon-couche reflète bien le caractère strictement gabbroïque de celui-ci. Comme dans le cas du Ventures, l'aluminium se concentre dans le gabbro et diminue quelque peu par la suite. Le silicium et sodium augmentent de façon constante, le premier passant de 41 à plus de 51 pourcent. Le fer et le titane se concentrent finalement dans le ferro-gabbro et la ferro-diorite à quartz.

Tableau IV - Résultats des analyses des éléments majeurs du filon-couche de Bourbeau.

No. d'analyse	15	16	17	18	19
Echantillons	Ba 79-01(577)	Ba 79-01(712)	Ba 79-01(999)	Ba 79-01(1565.2)	Ba 79-16(200)
	pyroxénite	pyroxénite	gabbro	gabbro à qtz	diorite à qtz
% oxydes					
SiO ₂	40.94	43.32	48.63	48.63	51.35
TiO ₂	0.60	0.87	0.42	1.40	1.46
Al ₂ O ₃	5.10	9.56	16.35	14.21	12.87
Fe ₂ O ₃	4.68	3.26	1.77	3.93	3.64
FeO	15.59	10.84	5.91	13.10	12.14
MnO	0.22	0.23	0.15	0.22	0.19
MgO	26.28	16.58	9.81	5.42	4.53
CaO	3.26	8.61	10.95	6.17	6.75
Na ₂ O	0.03	0.43	0.55	1.65	2.74
K ₂ O	0.03	0.08	0.72	0.22	0.09
H ₂ O	6.92	3.52	2.90	4.43	3.62
Total	103.41	97.33	98.16	99.38	99.38
Fe ₂ O ₃ ^t	22.01	15.34	8.34	18.49	17.14

Fe₂O₃^t : Fer total

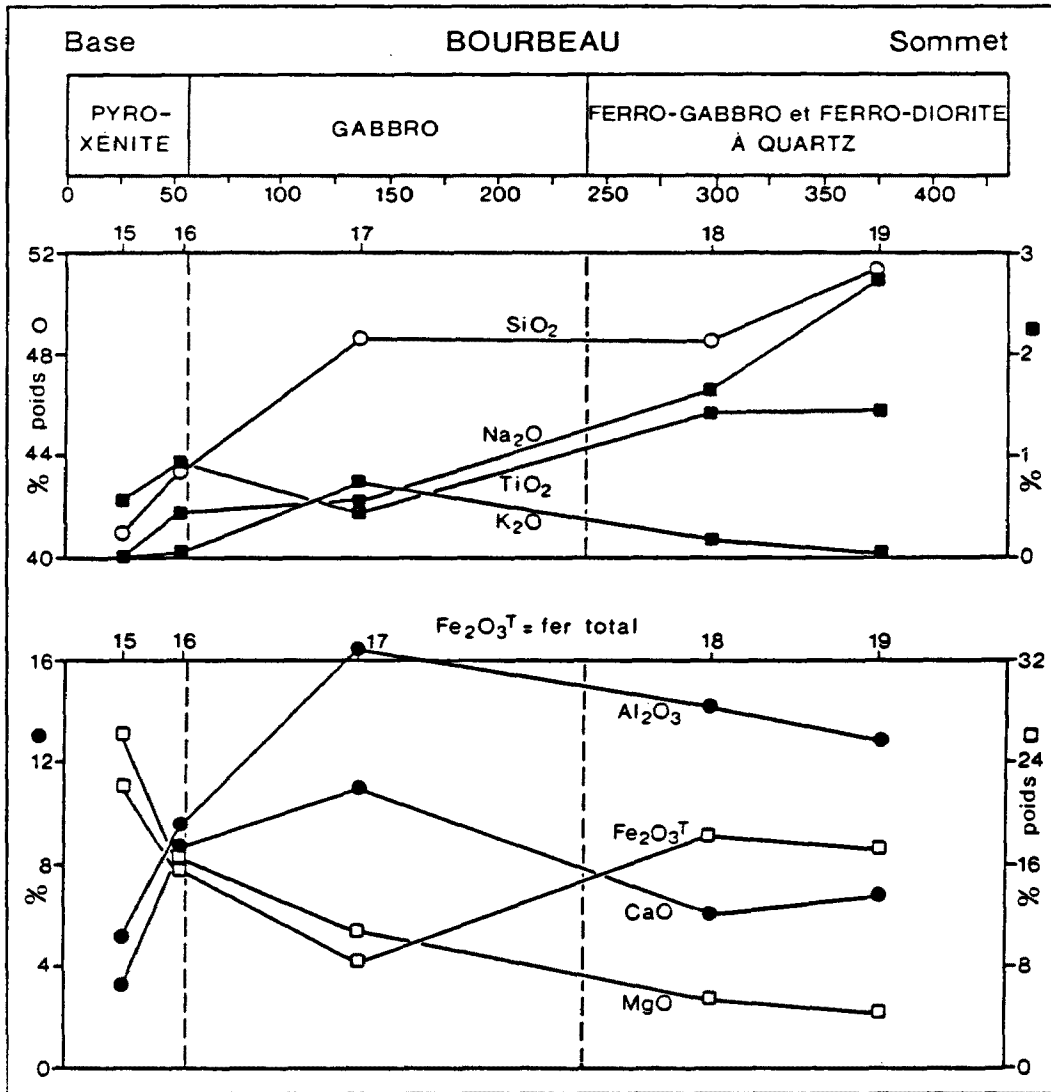


Figure 18 - Représentation graphique des oxydes majeurs du filon-couche de Bourbeau.

1.4 - Discussion

L'analyse des oxydes majeurs ne confirme, ni n'infirmes l'hypothèse selon laquelle les unités de base de Ventures à Opémiska, appartiennent au filon-couche de Roberge. Les résultats d'analyse (tableau V) de McMillan (1972) et Duquette (1982) sont, néanmoins comparables à nos résultats de Roberge et de Ventures (tableaux II et III). Les échantillons de wehrlite et de pyroxénite supérieure de McMillan, ainsi que les cinq échantillons supérieurs de Duquette (comprenant deux serpentinites et trois méta-augites) appartenant tous au Ventures d'Opémiska, sont placés sur les diagrammes $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ et AFM (figure 19a et b), avec nos échantillons de Roberge et de la pyroxénite⁶ de Ventures. Ceci nous permet de visualiser deux tendances pétrographiques, plutôt que l'identification stratigraphique désirée. En effet, l'utilisation de ces diagrammes triangulaires ne permet pas de déterminer l'appartenance des échantillons à l'un ou l'autre des deux filons-couches, mais permet de les concentrer en deux groupes distincts : les pyroxénites et les wehrlites-dunites. Cette interprétation devient plus évidente, lorsque les échantillons stratigraphiquement inférieurs aux wehrlites et aux serpentinites, sont aussi rapportés sur les diagrammes (figure 19a et b).

Les échantillons analysés dans le présent travail, sont placés sur un diagramme AFM (figure 20). Il en résulte que les roches de filons-couches de Ventures et de Bourbeau se sont différenciées de façon

⁶L'échantillon Ba-79-08 (657) n'est pas utilisé, considérant sa position au contact du gabbro de Ventures.

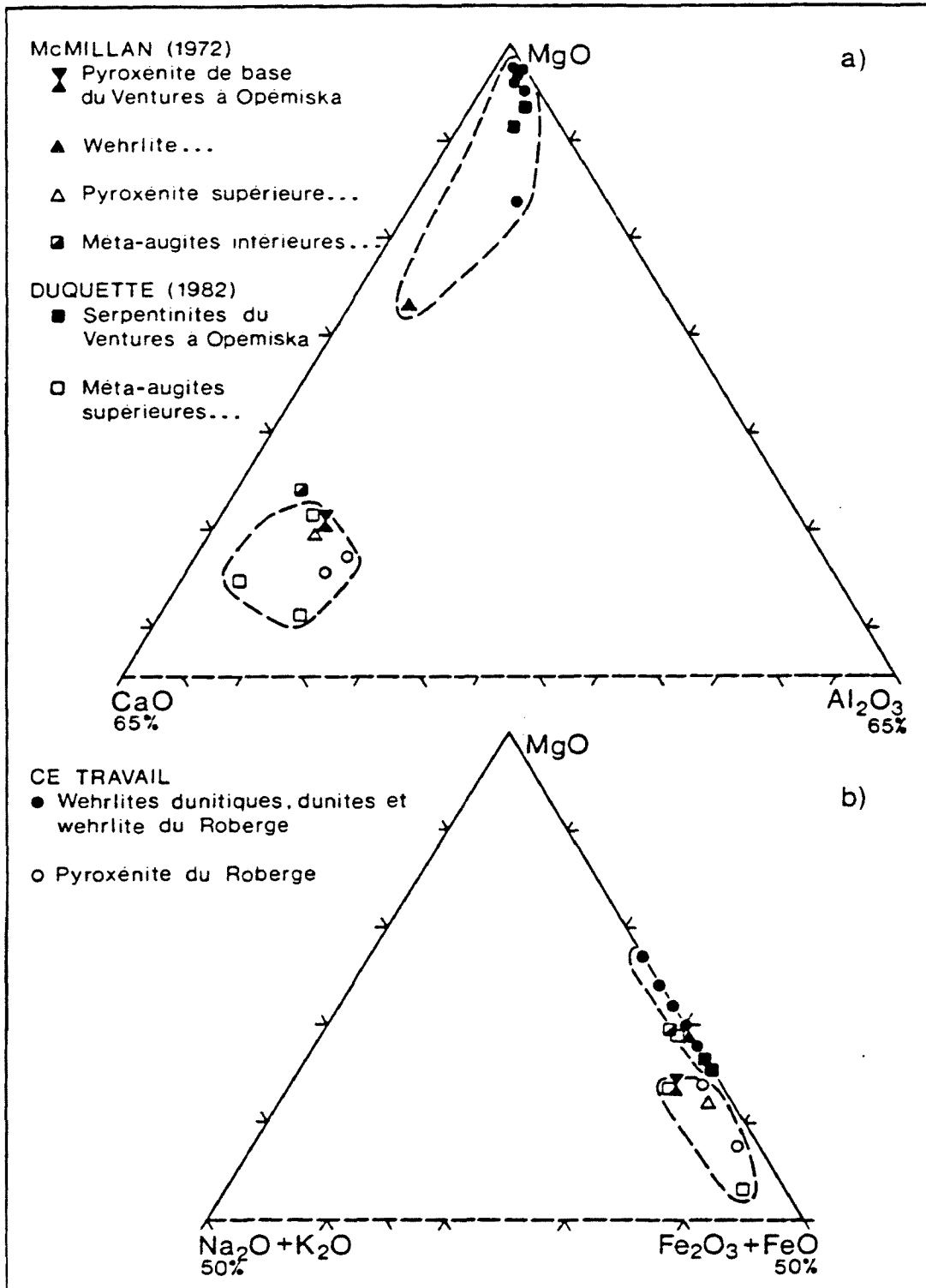


Figure 19 (a et b) - Diagramme: a) CaO-MgO-Al₂O₃, et b) AFM de la base du filon-couche de Ventures (Duquette, 1982; McMillan, 1972) et des filons-couches de Roberge et de Ventures (cette étude).

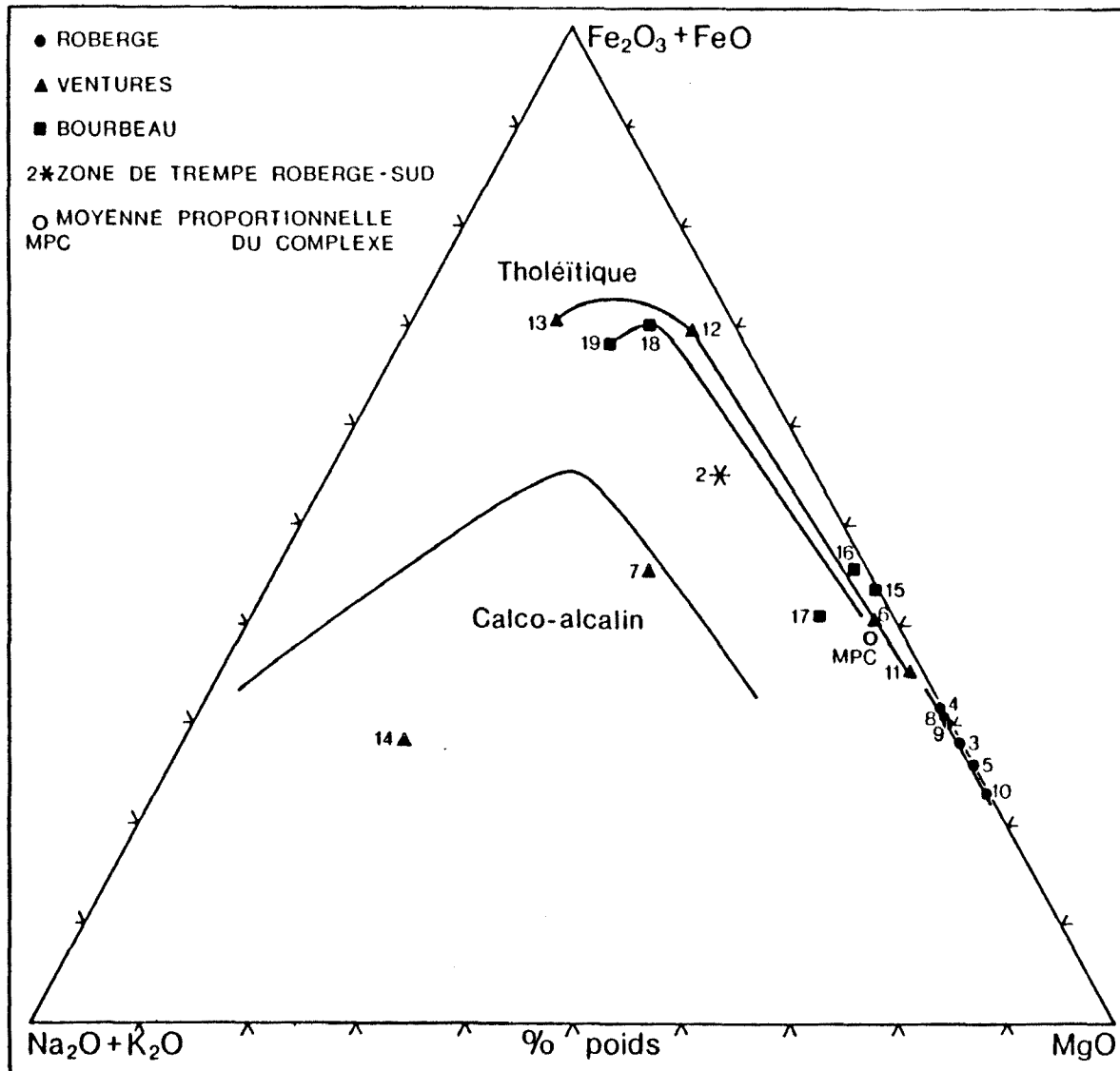


Figure 20 - Diagramme AFM des filons-couches de Roberge, Ventures et Bourbeau.

similaire, tandis que le filon-couche de Roberge fait cavalier seul. Les deux premiers montrent un enrichissement marqué en fer au fur et à mesure que l'on monte dans la séquence. La position des échantillons du Roberge, cependant, est indépendante de la stratigraphie, et se base plutôt sur les différentes concentrations en magnésium et fer de chaque échantillon. Selon ce diagramme, les roches de Ventures et de Bourbeau sont nettement de type tholéïtique. La position du granophyre dans le champs calco-alcalin est compréhensible étant donné son appauvrissement très marqué en ferro-magnésien. Le gabbro Ba-79-05 (469.5) (échantillon no.7 sur la figure 20) cependant, nous apparaît nettement anomalique. Sa position à la frontière des champs calco-alcalin et tholéïtique dénote une proportion trop élevée en sodium et en potassium. Cet enrichissement en alcalis peut être considéré comme un phénomène d'altération typique.

Les résultats des analyses, rapportés sur le diagramme de Jensen (1976), montrent bien, entre autre, le caractère particulier du filon-couche de Roberge (figure 21). De tendance typiquement komatiitique, la position des échantillons n'est absolument pas reliée à leur situation stratigraphique. Les roches des filons-couches de Ventures et de Bourbeau, au contraire, marquent les étapes d'une cristallisation fractionnée typique, mais différente pour chacun des deux filons-couches. Le filon-couche de Ventures possède une unité ultramafique de type komatiite basaltique qui est suivie d'une unité gabbroïque à forte concentration en fer. La partie supérieure du filon-couche, ainsi que le granophyre, indiquent une tendance à un enrichissement final en

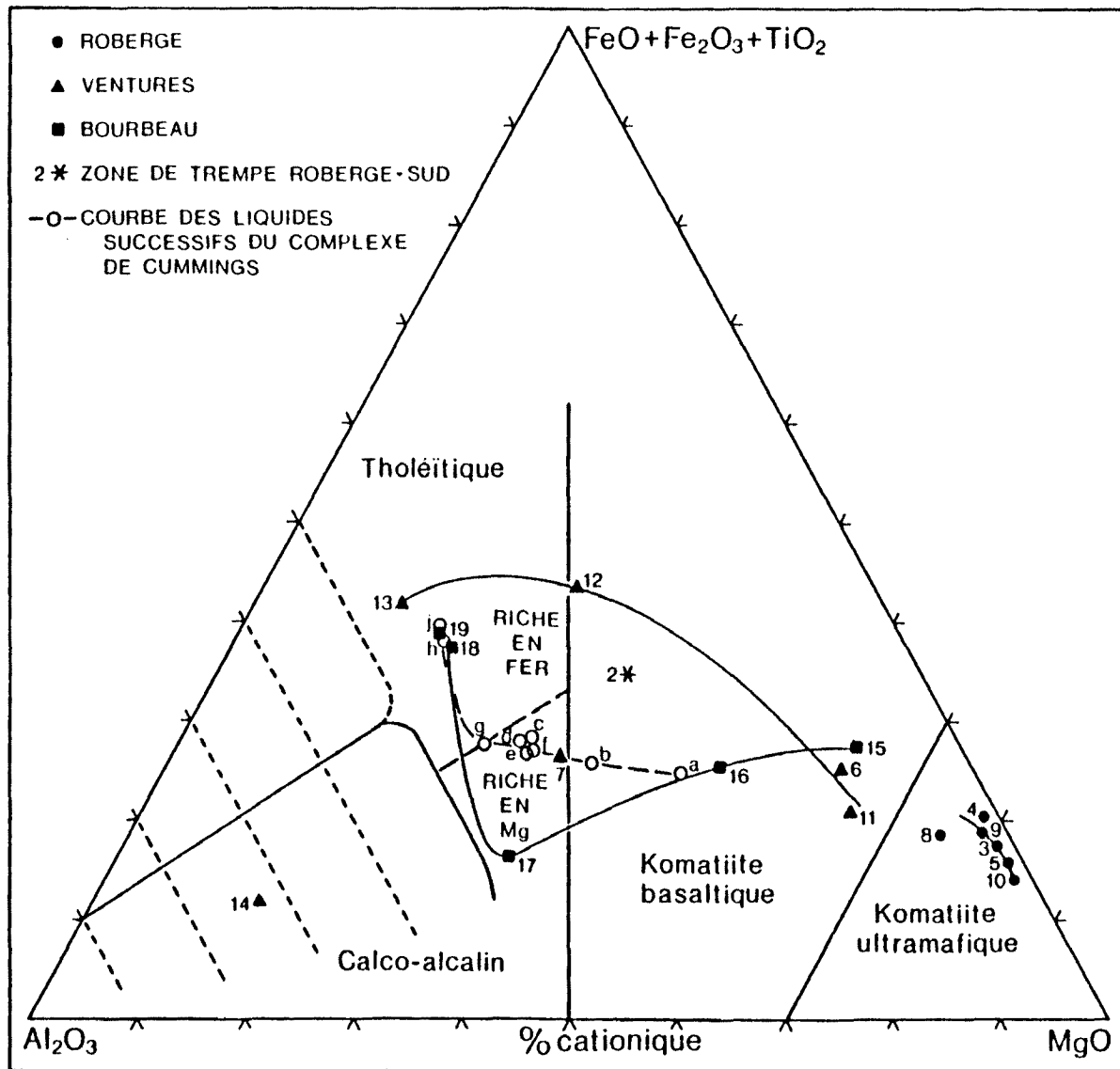


Figure 21 - Diagramme de Jensen (1976) des filons-couches de Roberge, Ventures et Bourbeau et la courbe des liquides successifs du complexe de Cummings.

aluminium. Le filon-couche de Bourbeau, par contre, montre un enrichissement indéniable en Al_2O_3 au cours de sa cristallisation, avant d'être marqué par une forte concentration en fer et titane dans le ferro-gabbro et la ferro-diorite quartzifère. Malgré une évolution différente, ces deux filons-couches sont nettement de type sub-alcalin et tholéïtique, comme nous indiquent les diagrammes de SiO_2 et Al_2O_3 par rapport à la sommation de Na_2O et K_2O (figure 22a et b).

Portés sur le diagramme $CaO-MgO-Al_2O_3$ (figure 23), les filons-couches de Munro Lake (MacRae, 1969) et de Dundonald (Naldrett et Mason, 1968) se comportent de façon identique lors de la cristallisation. Seul le filon-couche de Ventures évolue de façon semblable, surtout si on lui associe les roches du Roberge. Selon McMillan (1972), le fait que le pyroxène appauvri en calcium ne soit pas en phase cumulat, implique que les compositions pyroxénitiques ne sont pas contrôlées par l'intersection du solvus du pyroxène avec la ligne du liquidus de la pigeonite⁷. Il en résulte, une courbe très prononcée vers le pôle CaO du diagramme de la figure 23. Pour ce qui est du filon-couche de Bourbeau, l'appauvrissement relatif de la roche en calcium est probablement dû à l'apparition de la bronzite en phase cumulat. Selon nos observations pétrographiques, cet orthopyroxène pauvre en calcium peut représenter jusqu'à 35 pourcent de la roche (sous forme altérée

⁷ Naldrett et Mason (1968) donnent une explication différente pour leurs pyroxènes riches en calcium. Cette interprétation n'est pas présentée ici.

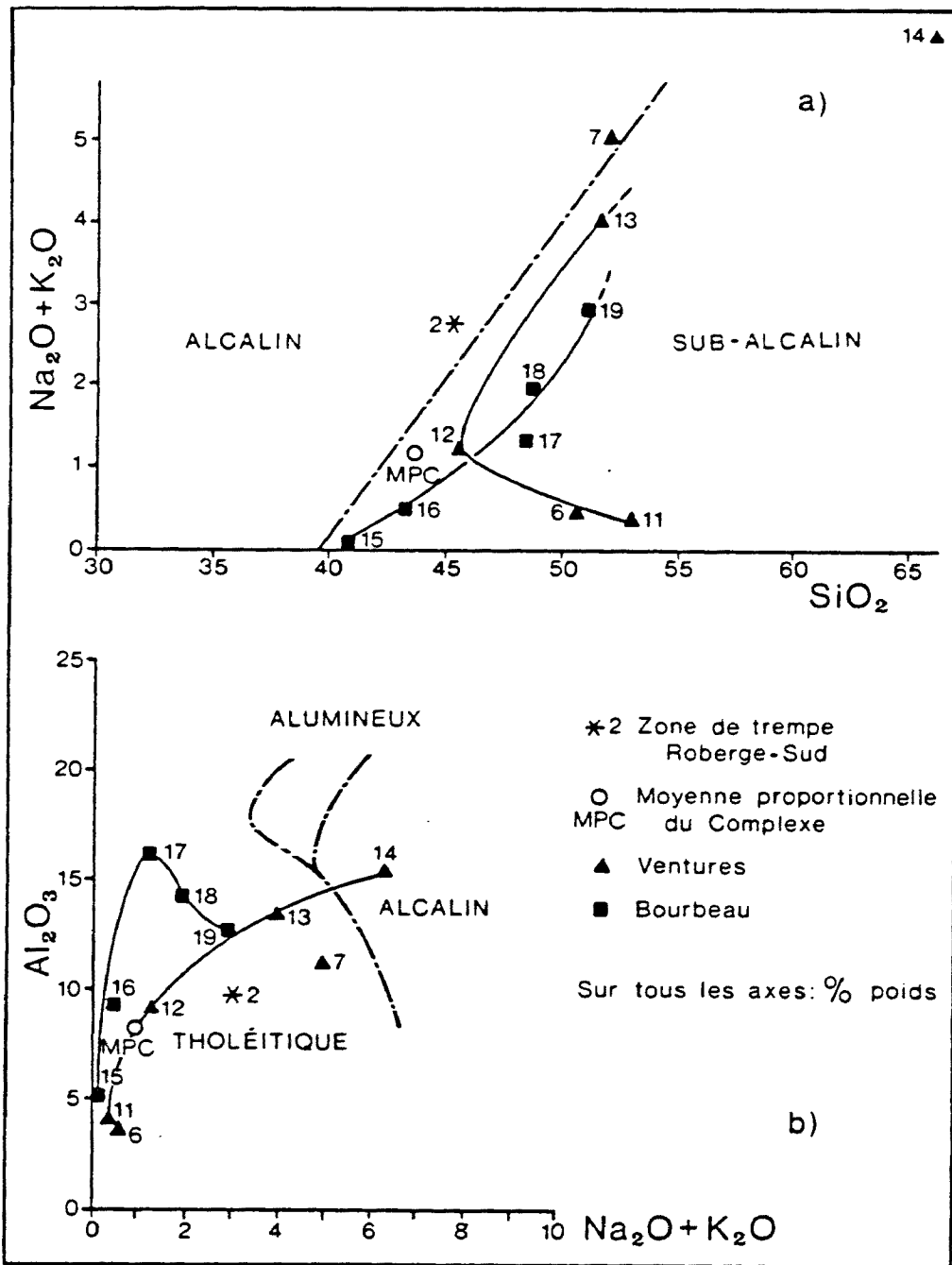


Figure 22 (a et b) - Diagrammes: a) SiO_2 en fonction de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ et b) $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ en fonction de Al_2O_3 des filons-couches de Ventures et de Bourbeau (% de $\text{SiO}_2 = 50$ à 52.5).

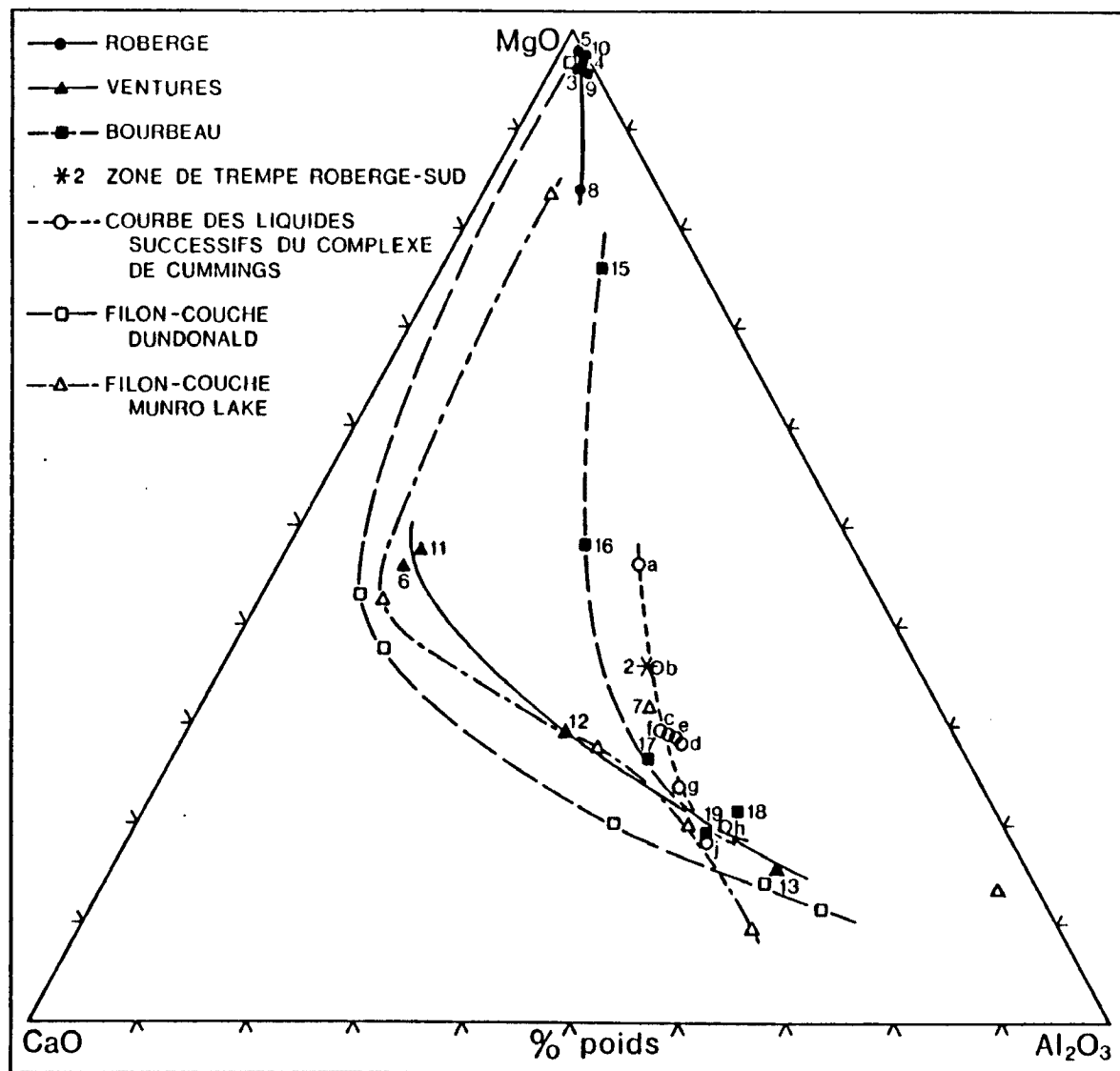


Figure 23 - Diagramme (CaO-MgO-Al₂O₃) des filons-couches et des liquides successifs du complexe de Cummings (points a à j, tableau VI), et des filons-couches de Dundonald et de Munro Lake.

et fraîche) dans l'unité ultramafique du filon-couche. Seuls les échantillons de cette unité sont affectés par le phénomène (figure 23), puisque la bronzite semble en concentration moindre dans le gabbro et les unités supérieures.

La présence de l'olivine dans l'unité ultramafique du Bourbeau, bien que possible dans sa partie inférieure, peut s'avérer négligeable. En effet, Irvine (1979) considère que dans des conditions idéales de cristallisation fractionnée, la présence de l'orthopyroxène en phase cumulat provient de la réaction de l'olivine pour donner l'orthopyroxène. A la lumière de cette information, il nous apparaît plus évident, que cette unité du Bourbeau se compose principalement de deux pyroxènes et devrait porter le nom de webstérite.

Duquette (1982) utilise le rapport $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})/\text{MgO}$ des roches des filons-couches de Ventures et de Bourbeau, pour déterminer les proportions de cumulat et de non-cumulat de chaque filon-couche, et aussi, pour situer le moment exact de l'expulsion magmatique du Bourbeau de la "chambre" du Ventures. Selon lui, la variation progressive du rapport fer-magnésium indique l'évolution du stade cumulat, et sa discontinuité (l'apparition des premières roches sans cumulat). Cependant, selon nos observations pétrographiques, les cumulats sont pratiquement limités aux unités ultramafiques des filons-couches. A la figure 24, les résultats d'analyse de cette étude et ceux d'autres auteurs, ont été portés en fonction de la colonne stratigraphique des filons-couches, telle que relevée sur la coupe des forages. La dispersion des rapports mentionnés par Duquette peut être considérée

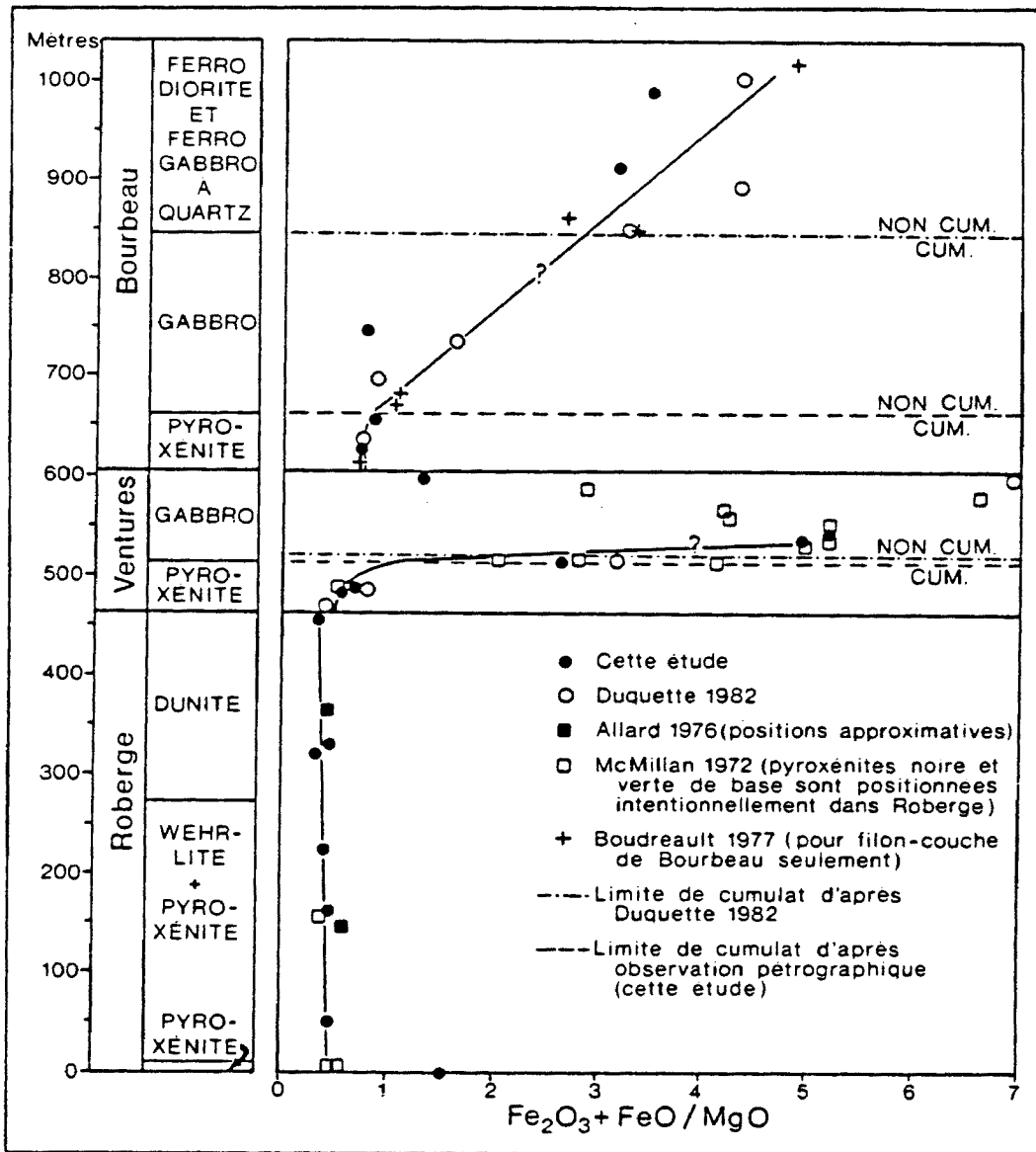


Figure 24 - Variations de $(Fe_2O_3 + FeO) / MgO$ en fonction de la hauteur stratigraphique dans les filons-couches de Roberge, Ventures et Bourbeau (adapté de Duquette, 1982; compilation de plusieurs auteurs).

comme plus ou moins évidente pour les roches du Bourbeau. Par contre, les analyses du Ventures indiquent peut-être, une discontinuité évidente du rapport $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})/\text{MgO}$.

Magma parent et liquides successifs

La moyenne proportionnelle du complexe de Cummings a été établie à partir de l'épaisseur des différentes unités de la coupe en fonction de l'étendue régionale donnée à la section 1.3.1 du premier chapitre. Les différentes densités des roches du complexe ont été volontairement omises, de façon à simplifier les calculs, étant donné les variations infinitésimales qu'elles engendraient. La moyenne proportionnelle du complexe sera théoriquement considéré comme le magma initial permettant la cristallisation de l'ensemble des roches du complexe. Selon nous, il est important de ne plus envisager les trois filons-couches comme entités individuelles lors de la cristallisation, mais plutôt comme un tout. Les pourcentages des oxydes majeurs du liquide initial sont présentés au tableau VI (liquide a). Comme déjà mentionné, l'échantillon de la zone de trempe du Roberge-sud (Ba-79-14 (202); tableau II), n'est pas considéré comme étant représentatif de la composition du magma parent. Néanmoins, on ne peut nier les similitudes, en le comparant géochimiquement au liquide "a" du tableau VI. On doit remarquer que les deux compositions sont légèrement ultramafiques, comme l'indiquent leurs positions sur le diagramme $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ de la figure 21 (p.85).

Tableau VI - Composition en oxydes majeurs des liquides successifs du complexe de Cummings.

	Liquide a	Liquide b	Liquide c	Liquide d	Liquide e	Liquide f	Liquide g	Liquide h	Liquide j
% oxydes									
SiO ₂	46.50	47.88	49.27	49.24	48.64	48.21	49.12	49.59	50.94
TiO ₂	0.72	0.81	0.87	0.88	0.88	0.90	0.92	1.39	1.38
Al ₂ O ₃	10.66	12.25	13.23	13.69	13.97	13.93	14.42	13.56	12.76
Fe ₂ O ₃	3.07	3.02	2.99	2.99	2.92	2.97	2.82	3.82	3.69
FeO	10.24	10.06	9.96	9.97	9.72	9.89	9.39	12.69	12.19
MnO	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.19	0.15
MgO	14.84	11.00	8.66	8.43	9.01	9.16	7.34	5.00	4.47
CaO	6.56	7.36	7.98	7.74	8.10	8.27	8.62	6.41	6.73
Na ₂ O	1.26	1.54	1.67	1.74	1.33	1.23	1.38	2.17	2.84
K ₂ O	0.39	0.45	0.49	0.51	0.38	0.38	0.43	0.15	0.06

Les compositions de liquides successifs (tableau VI) ont été calculées à partir du liquide "a" (moyenne proportionnelle du complexe, p.91) et des compositions en oxydes de chacune des neuf unités pétrographiques majeures du complexe (tableaux II, III et IV) qui sont: la wehrlite et la dunite du Roberge; la pyroxénite, le gabbro de base et le gabbro de sommet du Ventures; la pyroxénite, le gabbro, le ferrogabbro à quartz et la ferrodiorite à quartz du Bourbeau. Le poids total en oxyde majeur de chacune des unités a été établi à partir de leur épaisseur moyenne en fonction de l'étendue régionale donnée à la section 1.3.1 du premier chapitre. A la figure 25, les proportions en oxyde majeur sont rapportées à la colonne stratigraphique du complexe. Placés sur un diagramme AFM (fig.26), les liquides successifs montrent une augmentation du rapport Fe/Mg, tout aussi rapide que le liquide du Skaergard, sans toutefois atteindre une concentration en fer aussi élevée. Les liquides des filons-couches de Munro Lake et de Dundonald évoluent différemment par leur enrichissement progressif en alcalins. On peut observer aussi une situation particulière rarement rencontrée lors de l'évolution d'un liquide. Les liquides c,d,e et f sont pratiquement identiques. Ils correspondent aux liquides antérieurs des unités suivantes: la pyroxénite de Ventures, la base du gabbro de Ventures, le sommet du gabbro de Ventures et la pyroxénite de Bourbeau. Donc, en ce qui concerne l'évolution du liquide pour l'ensemble du complexe, nous pourrions négliger le filon-couche de Ventures, puisque la composition des liquides initiaux de ce dernier et du filon-couche de Bourbeau (liquide c et f) sont semblables. Selon nous, ce phénomène peut être relié au mode de mise en place des deux filons-couches supérieurs.

La courbe des liquides successifs est aussi portée sur les diagrammes $(FeO + Fe_2O_3 + TiO_2) - Al_2O_3 - MgO$ et $CaO - MgO - Al_2O_3$ (figures 21 et 23, p.85, 88)

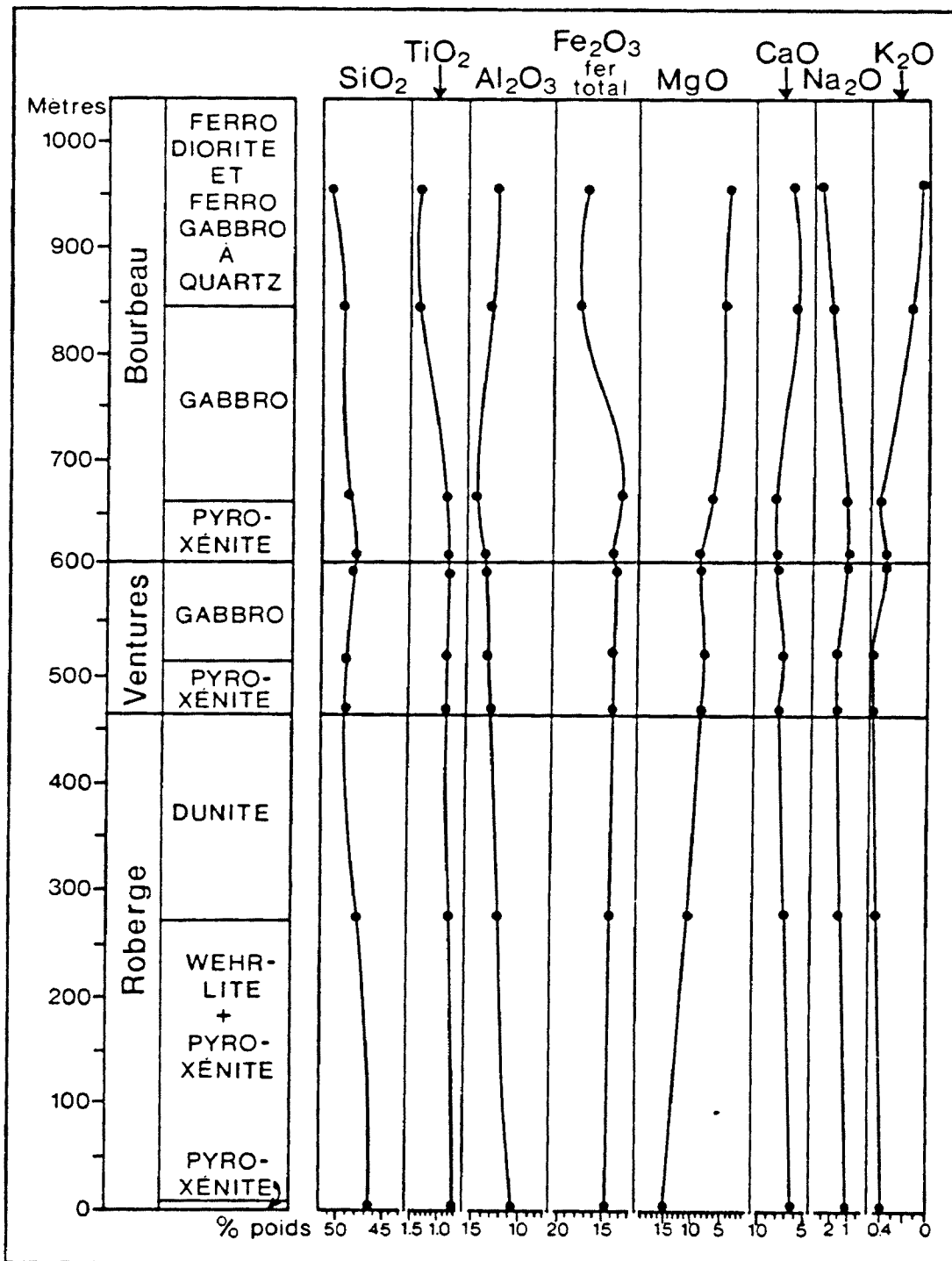


Figure 25 - Variations des oxydes majeurs des liquides successifs en fonction de la hauteur stratigraphique des filons-couches de Roberge, Ventures et Bourbeau.

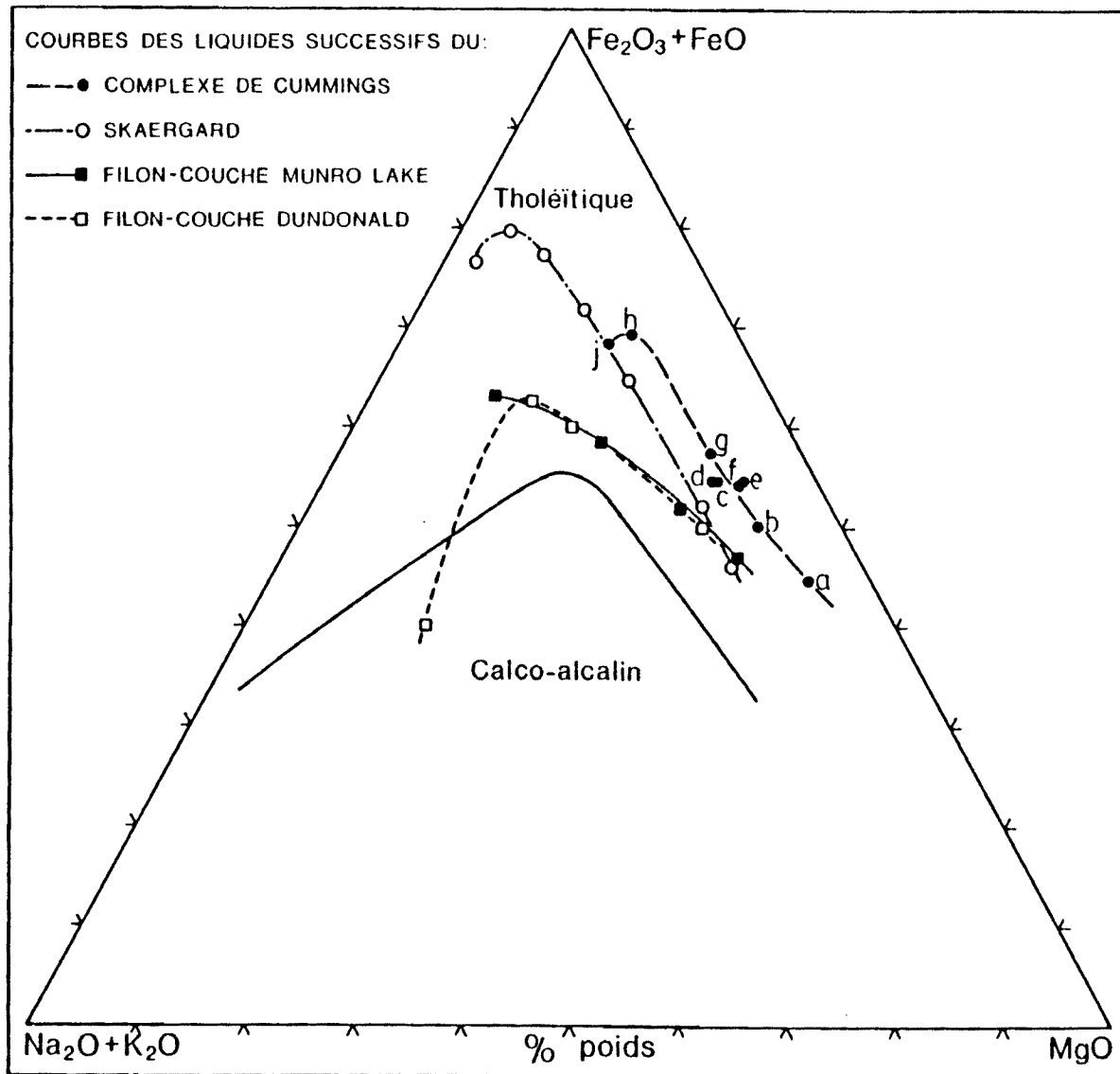


Figure 26 - Diagramme AFM des liquides successifs des filons-couches de Munrow Lake et de Dundonald et des complexes de Skaergard et de Cummings.

de façon à visualiser les rapports entre différents oxydes. Il est à constater, que la position du magma parent calculé (liquide a) sur le diagramme de Jensen (1976) (fig.21, p.85), classe notre liquide initial comme ultramafique de type "komatiite balsatique". Cette constatation sera examinée dans une section ultérieure.

2 - GEOCHIMIE DES ELEMENTS TRACES

2.0 - Introduction

Cette section comprend les résultats des analyses de terres-rares, de nickel, de chrome et de cobalt. Les données de terres-rares ont été obtenues par activation neutronique (Muecke, 1980) avec un détecteur Ge (Li) coaxial Ortec couplé à un multicanal Norland, modèle 5400, ou d'un détecteur Gamma-X-coaxial HP Ge (type-N) couplé à un multicanal Ortec, modèle 7010. Les données de nickel, chrome et cobalt ont été obtenues par absorption atomique avec un spectromètre à double faisceau Perkin-Elmer, modèle 403. Les courbes des terres-rares nous permettent de relever certaines anomalies, et d'interpréter sommairement le phénomène de la cristallisation fractionnée du magma parent du complexe.

2.1 - Les terres-rares

Répartis dans les trois filons-couches, 40 échantillons ont été analysés pour leur contenu en terres-rares. Pour dix de ces échantillons, la méthode de "comptage direct" (INAA)⁸ après l'irradiation s'est avérée adéquate. Ces échantillons comprennent les roches dites basiques à acides: gabbros, diorites et granophyre. Les trente autres échantillons ont subi un traitement chimique avant le comptage (RNAA)⁹

⁸ INAA; instrumental neutron activation analyses (analyses d'activation neutronique instrumentale).

⁹ RNAA; Radio-chemical neutron activation analyses (analyses d'activation neutronique radio-chimique).

afin d'éliminer différents éléments qui contribuent à maintenir un bruit de fond élevé, et à "cacher" les terres-rares en faible concentration. Cette méthode est très utile pour l'analyse de roches ultramafiques, qui contiennent peu de lanthanides. Le mode de préparation des échantillons, la technique de séparation radio-chimique et les informations relatives au comptage, sont présentés en détail dans Harnois (1982) et Mineau (1982), et ne seront pas repris dans cette étude. Deux étalons distribués par le USGS¹⁰ ont accompagné les échantillons à travers les différentes étapes de préparation et permettent d'évaluer la qualité des analyses (tableau VII).

Afin de simplifier la représentation graphique des courbes de terres-rares, la concentration de chaque élément des lanthanides est divisée par la concentration du même élément dans les chondrites carbonacées de type I (CI). Ceci permet d'annuler l'effet de dents de scie provoqué par les fortes concentrations des éléments pairs, vis à vis les éléments impairs (Coryell et al., 1963; Masuda, 1962). Les valeurs chondritiques utilisées dans ce travail sont celles d'Evensen et al. (1978).

La description des courbes de terres-rares est donnée selon l'ordre établi dans le précédent chapitre, c'est-à-dire, de la base au sommet du complexe, et du sud au nord de la coupe des forages.

2.1.1 - Filon-couche de Roberge

Le filon-couche de Roberge se compose entièrement de roche ultramafique. Puisque l'on devait s'attendre à une faible concentration

¹⁰USGS: United States Geological Survey.

Tableau VII - Résultats des analyses de terres-rares du Roberge-sud et des étalons du USGS (en ppm).

Echantillons	PCC-1	BCR-1*	Ba 79-12 (616.1)	Ba 79-12 (200.5)	Ba 79-14 (922.8)	Ba 79-14 (1230.7)
La	0.039	21.1789	0.244	0.375	0.423	0.529
Ce	0.0865	45.9705	0.840	0.917	1.232	1.925
Nd	0.0792	29.6374	0.979	0.783	1.282	2.947
Sm	0.0155	4.1802	0.312	0.268	0.399	0.861
Eu	0.0019	1.9998	0.050	0.067	0.102	0.319
Gd	---	6.0367	0.217	0.238	0.319	1.028
Tb	0.0011	0.9463	0.024	0.035	0.056	0.153
Yb	0.0211	3.1308	0.087	0.147	0.170	0.395
Lu	0.0067	0.4901	0.014	0.024	0.027	0.059

Echantillons	Ba 79-14 (837)	Ba 79-14 (755)	Ba 79-14 (365)	Ba 79-14 (301.3)	Ba 79-14 (215)	Ba 79-14 (202)
La	0.560	0.690	1.160	1.288	3.869	13.053
Ce	1.962	2.253	3.822	4.551	10.808	35.527
Nd	2.705	2.931	4.705	4.990	8.450	18.711
Sm	0.819	0.971	1.186	1.436	2.708	4.546
Eu	0.278	0.284	0.393	0.479	1.009	1.504
Gd	1.011	1.048	1.464	1.393	2.188	4.591
Tb	0.156	0.163	0.224	0.242	0.369	0.670
Yb	0.418	0.428	0.604	0.609	1.071	1.901
Lu	0.061	0.063	0.090	0.094	0.167	0.258

BCR-1*: moyenne de quatre analyses.

en terres-rares, les 16 échantillons ont subi une séparation radio-chimique (RNAA) avant le comptage.

2.1.1.1 - Segment sud (Roberge -sud)

Trois dunites, trois wehrlites, trois pyroxénites et un gabbro de la zone de trempe à la base du filon-couche, ont été analysés (tableau VII). Sur le diagramme des terres-rares en fonction du rapport échantillons / chondrites (fig. 27) la forme convexe vers le haut, dont le maximum se situe au centre des terres-rares légères (néodyme, samarium), caractérise toutes les roches ultramafiques du Roberge-sud. Cette forme particulière, que nous nommerons , la forme "dos de baleine"¹¹, caractérisera aussi les autres filons-couches du complexe (voir les sous-sections suivantes).

La concentration en terres-rares des échantillons dunitiques est plus élevée, que ce qu'on était en droit d'attendre de roches composées d'olivine produites par cristallisation fractionnée (fig. 27). Ces trois échantillons provenant de l'unité dunitique supérieure sont cependant les moins riches en lanthanides et sont comparables à la dunite du complexe stratiforme de Muskox (Frey et al., 1971). Ils diffèrent, en concentration, de la plupart des intrusions de haute température qui sont encore plus pauvres en terres-rares (ibid.). La faible anomalie négative en europium de l'échantillon Ba-79-12 (616.1) semble être due à l'effet combiné des imprécisions analytiques du gadolinium, de l'europium et du samarium.

¹¹ la forme "dos de baleine" se caractérise par des rapports $La/Sm < 1$ et $Sm/Yb > 1$.

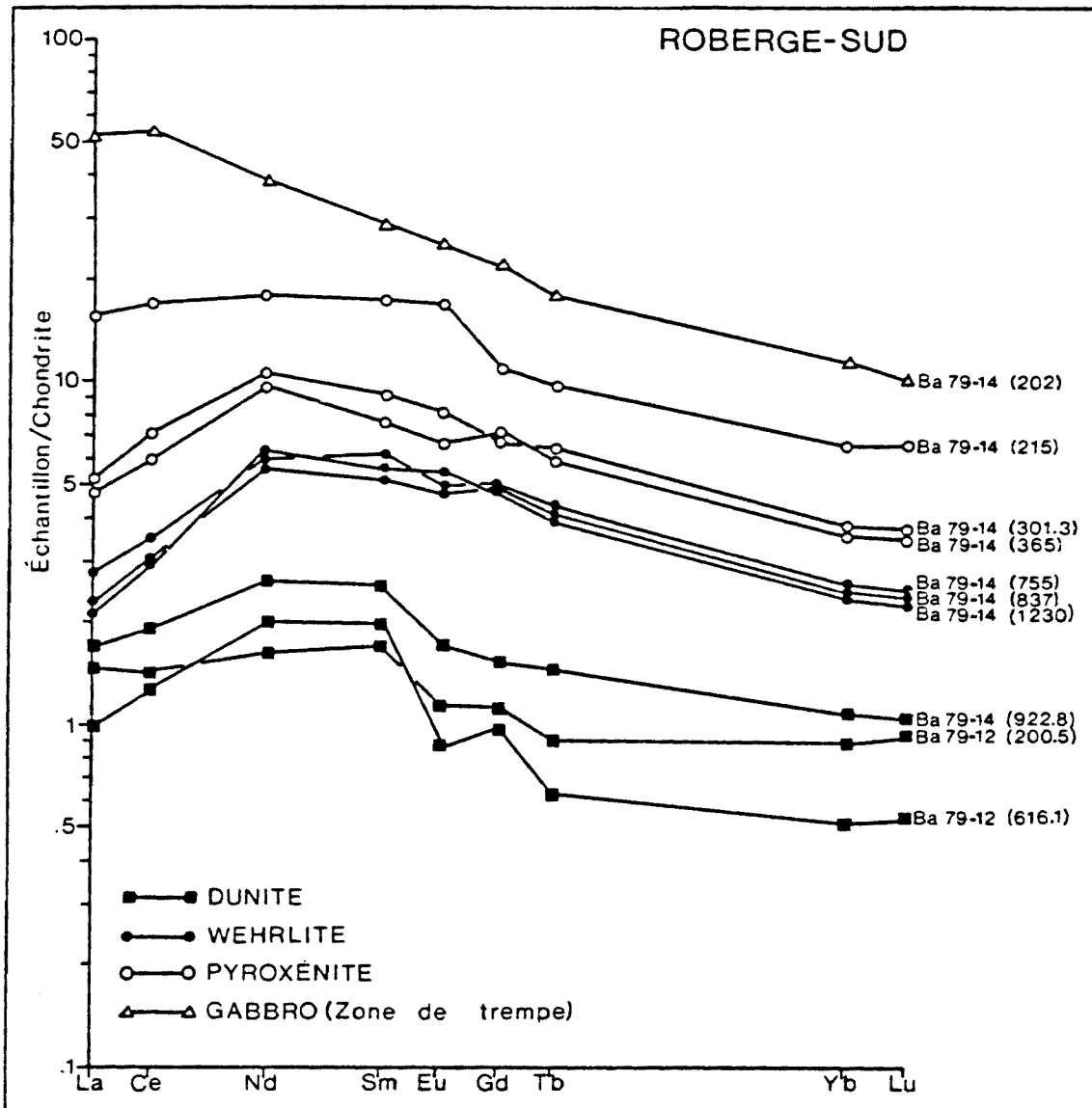


Figure 27 - Courbes de terres-rares du Roberge-sud.

Les trois échantillons de wehrlite et les deux pyroxénites, dont la concentration en terres-rare est supérieure de cinq à dix fois par rapport à l'équivalent chondritique, proviennent de la zone rythmique wehrlite-pyroxénite. Les cinq échantillons représentent des roches possédant différentes proportions de clinopyroxène et d'olivine (les deux pyroxénites étant en réalité, des pyroxénites wehrlitiques). Encore caractérisés par la forme "dos de baleine", ces échantillons diffèrent des dunites présentées ci-haut, que par une faible diminution du rapport La/Sm et, bien sûr, par une augmentation générale de la concentration en terres-rares. Malgré que la littérature présente peu de courbes pour des wehrlites et des pyroxénites semblables à celles-ci, les courbes pour les péridotites de l'intrusion de Preacher Creek (Potts et Condie, 1971) sont identiques.

L'échantillon Ba-79-14 (215) provient, comme le gabbro de la bordure de trempe, de la zone pyroxénitique de base. Composé, selon nous, de plus de 90 pourcent de clinopyroxène en grande partie altéré, sa concentration en lanthanides est plus prononcée. En le comparant aux courbes précédentes, l'augmentation du rapport La/Sm est reliée à l'altération et/ou à la proximité du contact inférieur. Ce contact est représenté par le gabbro Ba-79-14 (202), qui possède probablement la composition du premier liquide à être injecté dans la chambre de cristallisation du Roberge. La courbe de terres-rares de ce gabbro, n'est pas marquée par la forme "dos de baleine" (fig. 27) .

2.1.1.2 - Segment nord (Roberge-nord)

Les six échantillons du Roberge-nord, analysés par RNAA, comprennent: trois dunites, une wehrlite pyroxénitique, une clinopyroxénite et un gabbro de la zone de trempe (tableau VIII). De façon comparable au segment sud, la proportion de clinopyroxène dans un échantillon

Tableau VIII - Résultats des analyses de terres-rares du Roberge-nord
(en ppm).

Echantillons	Ba 79-04 (574.6)	Ba 79-09 (471.1)	Ba 79-09 (695.8)	Ba 79-08 (465.3)	Ba 79-05 (755.9)	Ba 79-05 (607)
La	0.808	0.717	0.802	2.013	3.734	6.167
Ce	1.960	2.008	2.115	6.093	12.181	22.821
Nd	1.540	1.805	2.001	5.163	8.944	14.783
Sm	0.457	0.679	0.705	1.410	2.750	3.817
Eu	0.167	0.151	0.183	0.321	0.649	1.129
Gd	0.355	0.488	0.587	1.354	2.533	3.316
Tb	0.050	0.062	0.080	0.199	0.317	0.495
Yb	0.169	0.261	0.378	0.723	1.056	1.461
Lu	0.027	0.041	0.058	0.112	0.155	0.191

détermine la concentration en lanthanides. Ceci démontre bien, que le contrôle minéralogique sur les terres-rares, est un facteur plus important que la position stratigraphique des échantillons. La forme "dos de baleine" est moins marquée pour les échantillons du segment nord (fig. 28). Ceci est le résultat de l'augmentation sensible du rapport La/Sm s'approchant de l'unité. Les anomalies en europium des échantillons Ba-79-08 (465.3) et Ba-79-05 (775.9), sont dues, selon nous, à la marge d'erreur dans la détermination du gadolinium.

Le gabbro Ba-79-05 (607) est beaucoup moins typique d'une bordure de trempe que son équivalent du Roberge-sud, par sa pétrographie et sa localisation, et n'est présenté ici qu'à titre d'information supplémentaire.

2.1.2 - Filon-couche de Ventures

Le filon-couche de Ventures constitue la partie centrale du complexe de Cummings. De composition ultramafique à mafique, huit échantillons ont été analysés par RNAA (ultramafiques) et six par comptage direct (INAA, roches mafiques).

2.1.2.1 - Segment sud (Ventures-sud)

Le segment sud est représenté par six échantillons (tableau IX) dont deux de compositions pyroxénitique et quatre de composition gabbroïque. L'échantillon Ba-79-06 (457.1) est le seul à présenter la forme "dos de baleine" (fig. 29), puisque la seconde clinopyroxénite (Ba-79-06 (376)) a un rapport La/Sm plus grand que un (1)¹². L'échantillon

¹² La forme "dos de baleine" semble restreinte aux échantillons de composition ultramafique, puisqu'en aucun cas, un échantillon de composition gabbroïque, ne présente cette forme particulière.

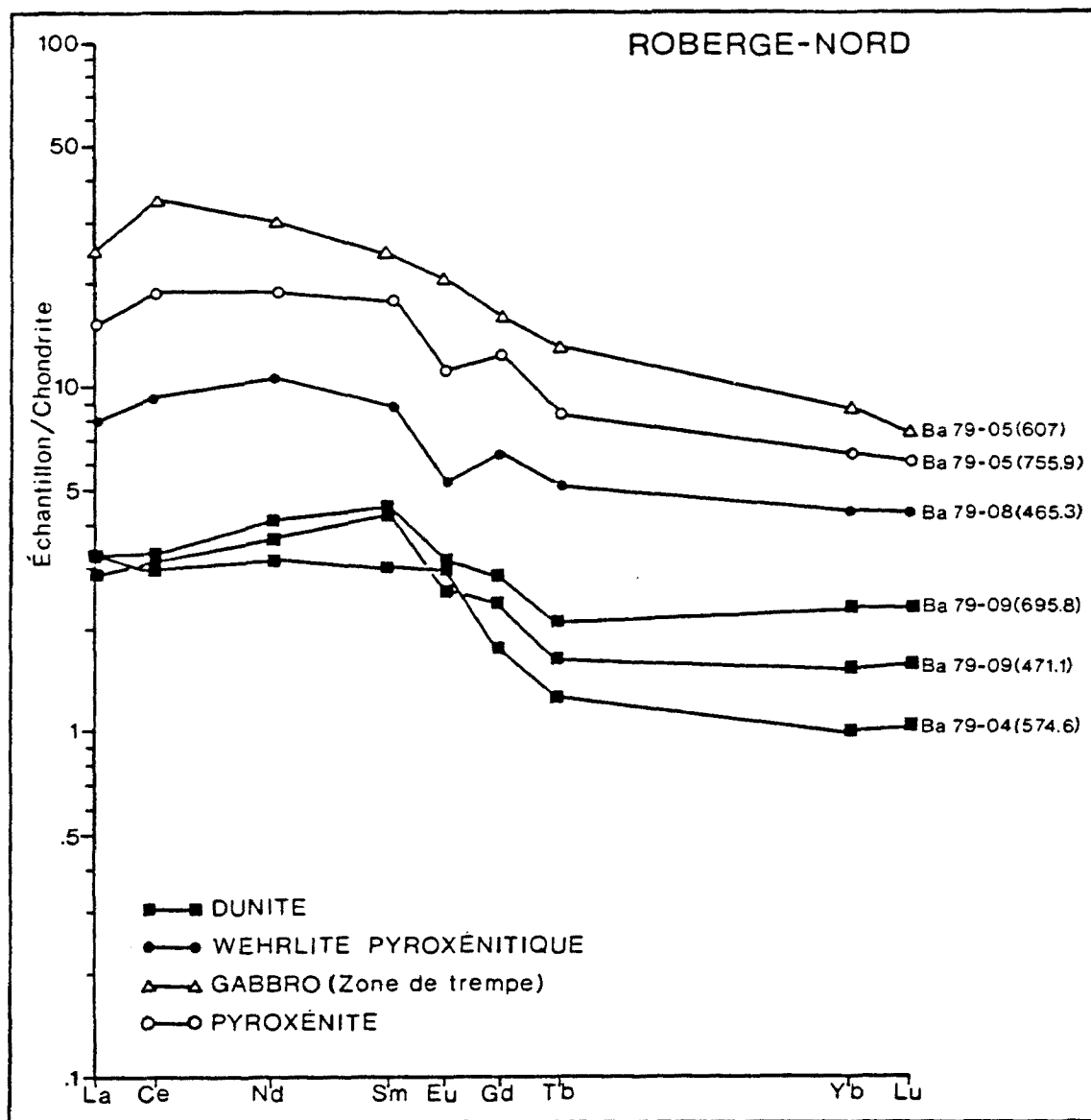


Figure 28 - Courbes de terres-rares du Roberge-nord.

Tableau IX - Résultats des analyses de terres-rares du Ventures-sud
(en ppm).

Echantillons	Ba 79-06 (457.1)	Ba 79-06 (376)	Ba 79-06 (531.2)	Ba 79-05 (370.3)	Ba 79-05 (469.5)	Ba 79-05 (268.3)
La	---	7.988	10.712	12.213	11.095	18.761
Ce	6.623	19.161	31.620	---	---	---
Nd	7.737	12.321	26.014	15.267	17.879	34.757
Sm	1.717	3.091	4.724	4.282	3.915	7.366
Eu	0.616	1.142	1.883	1.563	1.068	2.279
Gd	1.504	2.408	4.588	2.958	2.872	5.475
Tb	0.298	0.423	0.818	0.577	0.448	0.846
Yb	0.792	1.082	2.141	2.003	1.844	3.063
Lu	0.117	0.161	0.324	0.239	0.269	0.327

--- indéterminé

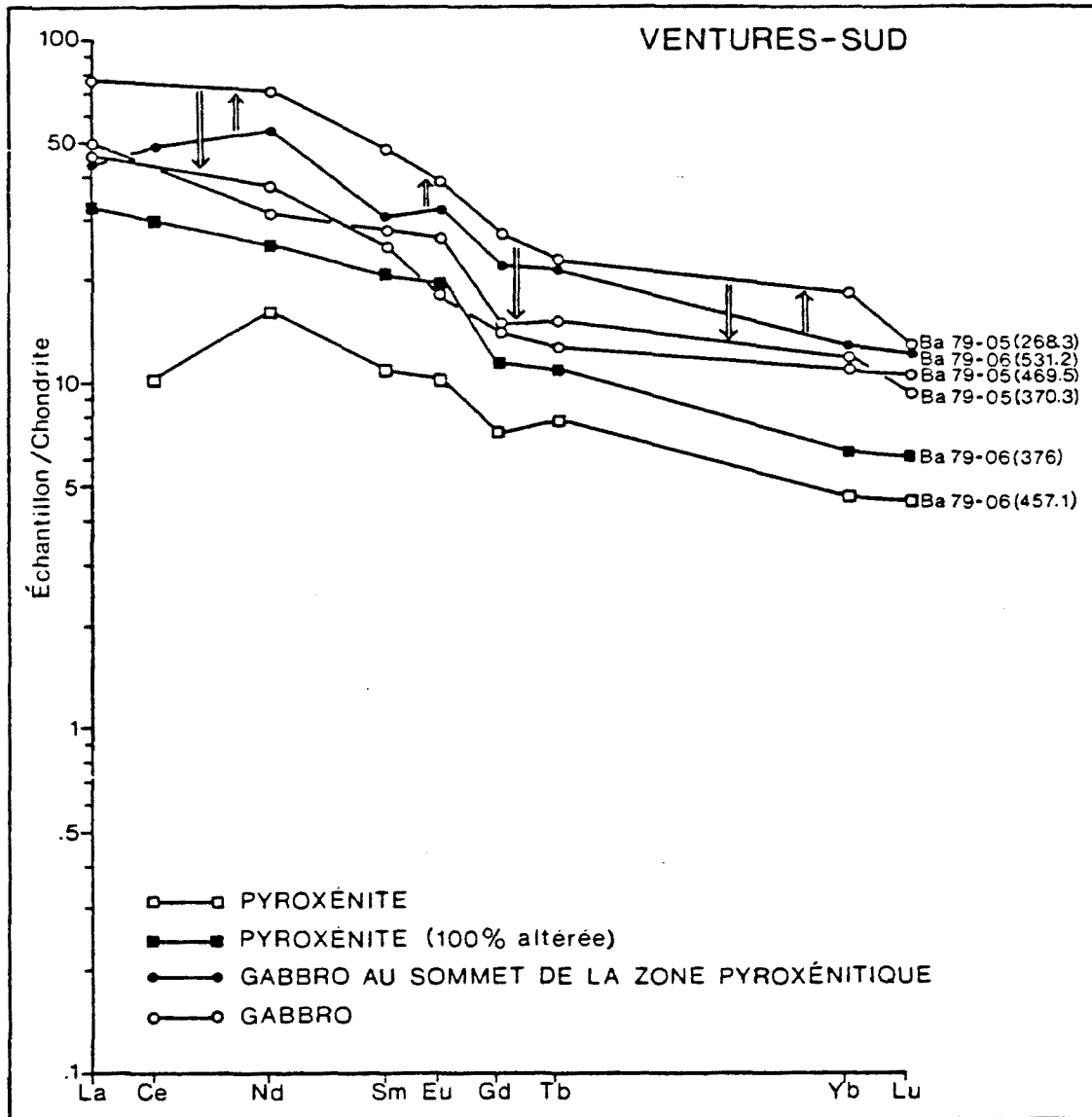


Figure 29 - Courbes de terres-rares du Ventures-sud (les flèches indiquent la progression stratigraphique).

Ba-79-06 (531.2) est un gabbro situé au sommet de la zone pyroxénitique près du contact avec le gabbro de Ventures. Sa concentration plus élevée en terres-rares et, peut-être, sa faible anomalie positive en europium, sont certainement liées à sa composition gabbroïque.

Les trois échantillons provenant du gabbro de Ventures, ont un comportement bien particulier entre eux: leur concentration en lanthanides diminue par rapport à leur position stratigraphique ascendante. Ceci semble contraire au comportement général des terres-rares, qui préfèrent, normalement, se concentrer dans le liquide résiduel lors de la cristallisation fractionnée. Les courbes de terres-rares présentent donc l'évolution suivante: un enrichissement normal en lanthanides du gabbro de la zone pyroxénitique (Ba-79-06 (531.2)) au gabbro sus-jacent (Ba-79-05 (268.3)), et un appauvrissement anormal en terres-rares de ce dernier (Ba-79-05 (268.3)) aux gabbros situés stratigraphiquement au-dessus (Ba-79-05 (370.3) et Ba-79-05 (469.5)).

Il faut noter que l'apparition du feldspath plagioclase automorphe du gabbro de Ventures, ne semble pas provoquer d'anomalie particulière en europium pour aucun des échantillons de composition gabbroïque.

2.1.2.2 - Segment nord (Ventures-nord)

Le tableau X présente les valeurs en terres-rares de huit échantillons du Ventures-nord. Cinq de ceux-ci ont une composition pyroxénitique (analyses RNAA), deux autres sont des gabbros, et le dernier provient du granophyre au sommet du segment-nord (analyses INAA).

Tableau X - Résultats des analyses de terres-rares du Ventures-nord (en ppm).

Echantillons	Ba 79-08 (520)	Ba 79-08 (599.2)	Ba 79-08 (555.9)	Ba 79-08 (474.6)	Ba 79-08 (657)	Ba 79-03 (225)	Ba 79-03 (374.7)	Ba 79-03 (446.1)
La	1.603	2.212	1.948	1.699	3.393	11.902	8.863	23.903
Ce	4.823	6.653	5.928	5.611	12.796	---	---	---
Nd	5.844	8.227	7.121	4.813	11.374	14.607	13.873	34.321
Sm	1.751	2.150	1.318	1.454	3.164	6.266	4.708	3.298
Eu	0.510	0.701	0.639	0.437	1.030	1.683	1.458	0.946
Gd	1.374	1.714	1.688	---	3.337	4.183	3.748	8.715
Tb	0.256	0.357	0.349	0.344	0.534	0.795	0.604	0.503
Yb	0.687	0.946	0.908	1.116	1.642	3.021	2.367	2.123
Lu	0.105	0.149	0.137	---	0.198	0.284	0.231	---

--- : indéterminé

A la figure 30, les courbes des pyroxénites ont une forme "dos de baleine" très marquée. Celle-ci ne se retrouve pas avec les échantillons de composition gabbroïque ou granophyrique. L'échantillon Ba-79-08 (474.6) se caractérise par une concentration en terbium et ytterbium relativement élevé par rapport aux autres pyroxénites. Les tendances wehrilitique de cette roche est, peut-être, responsable de cette anomalie. Notons, entre autres que si ce n'était de cette anomalie, les pyroxénites se présenteraient en ordre stratigraphique normal. Il est aussi à noter, que le gadolinium semble souvent anormalique, malgré que nous ne pensons pas qu'un lien génétique en soit la cause.

De façon semblable au segment sud, les deux gabbros du segment nord sont en ordre stratigraphique inverse; c'est-à-dire, que le gabbro de Ventures est caractérisé par un appauvrissement en terres-rares, de la base vers le sommet. Le granophyre, cependant, semble plus ou moins affecté par ce comportement. En effet, l'échantillon granophyrique Ba-79-03 (446.1) montre des anomalies très particulières de gadolinium, néodyme et lanthane, qui atteignent des concentrations élevées. Le samarium, l'euporium, le terbium et l'ytterbium sont appauvris lorsque comparés aux gabbros de Ventures.

2.1.3 - Filon-couche de Bourbeau

Le filon-couche de Bourbeau représente la partie sommitale du complexe de Cummings. Sa composition globale presque uniquement gabbroïque le différencie bien des filons-couches sous-jacents. Dix échantillons ont été analysés pour leur contenu en terres-rares, dont

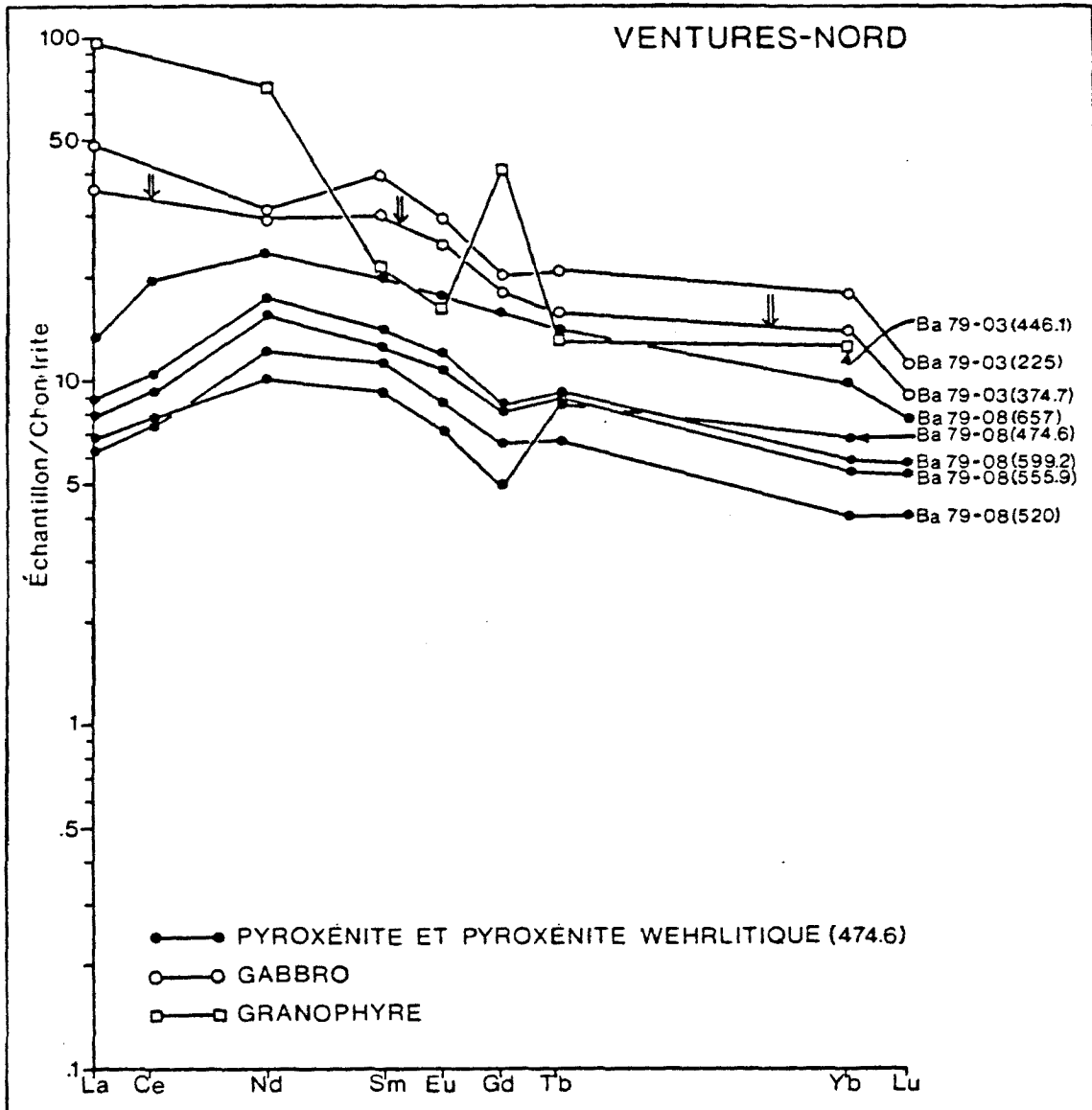


Figure 30 - Courbes de terres-rares du Ventures-nord (les flèches indiquent la progression stratigraphique).

six (de composition ultramafique) par RNAA et quatre (de composition gabbroïque) par "comptage direct" (tableau XI). La représentation graphique des courbes de terres-rares normalisées aux chondrites (fig. 31) s'effectue sur deux échelles identiques, afin d'éviter l'interférence des courbes.

La forme "dos de baleine" caractérisant les échantillons de type ultramafique des deux autres filons-couches, est encore présente théoriquement; c'est-à-dire, que le rapport La/Sm est plus petit que un (1) et que le rapport Sm/Yb est plus grand que un (1). Néanmoins, ces rapports sont si près de l'unité, que les courbes semblent plutôt horizontales, si l'on fait exception des anomalies d'europium. Ces anomalies doivent être liées à la présence de feldspath plagioclase en intercumulat. Cependant, cette présence ne se fait absolument pas sentir dans les gabbros et ferrogabbro-ferrodiorite qui, pourtant, présentent des minéraux de feldspath plagioclase automorphes.

Les courbes des gabbros, ainsi que celles du ferrogabbro à quartz et ferrodiorite à quartz, montrent un enrichissement progressif concordant à la position stratigraphique ascendante des échantillons. Aucun fractionnement des terres-rares ne vient briser l'aspect horizontal des courbes.

2.2 - Autres éléments traces

Des analyses de nickel, chrome et cobalt ont été réalisées sur 18 échantillons répartis de la base au sommet du complexe de Cummings.

Tableau XI - Résultats des analyses de terres-rares du Bourbeau
(en ppm).

Echantillons	Ba 79-01 (999)	Ba 79-01 (1347)	Ba 79-01 (637)	Ba 79-01 (577)	Ba 79-01 (531)
La	2.715	3.865	1.699	2.236	2.246
Ce	---	---	6.130	6.627	7.512
Nd	---	8.562	5.621	4.924	5.786
Sm	1.366	2.370	1.460	1.583	1.318
Eu	0.649	0.845	0.634	0.525	0.592
Gd	---	---	1.926	2.034	2.282
Tb	0.412	0.452	0.355	0.362	0.433
Yb	1.554	2.173	1.261	1.546	1.960
Lu	0.181	0.267	0.187	0.237	0.2858

Echantillons	Ba 79-01 (497)	Ba 79-01 (712)	Ba 79-01 (485)	Ba 79-01 (1565.2)	Ba 79-16 (200)
La	---	2.671	3.850	7.038	7.345
Ce	8.596	7.532	12.204	---	---
Nd	9.206	6.675	9.081	12.694	14.065
Sm	2.294	2.095	2.459	4.670	5.078
Eu	1.086	1.343	1.217	1.314	1.606
Gd	2.118	2.860	3.710	---	---
Tb	0.449	0.519	0.701	0.842	0.950
Yb	1.891	2.117	2.914	3.931	4.588
Lu	0.308	0.305	0.454	0.425	0.503

--- : indéterminé

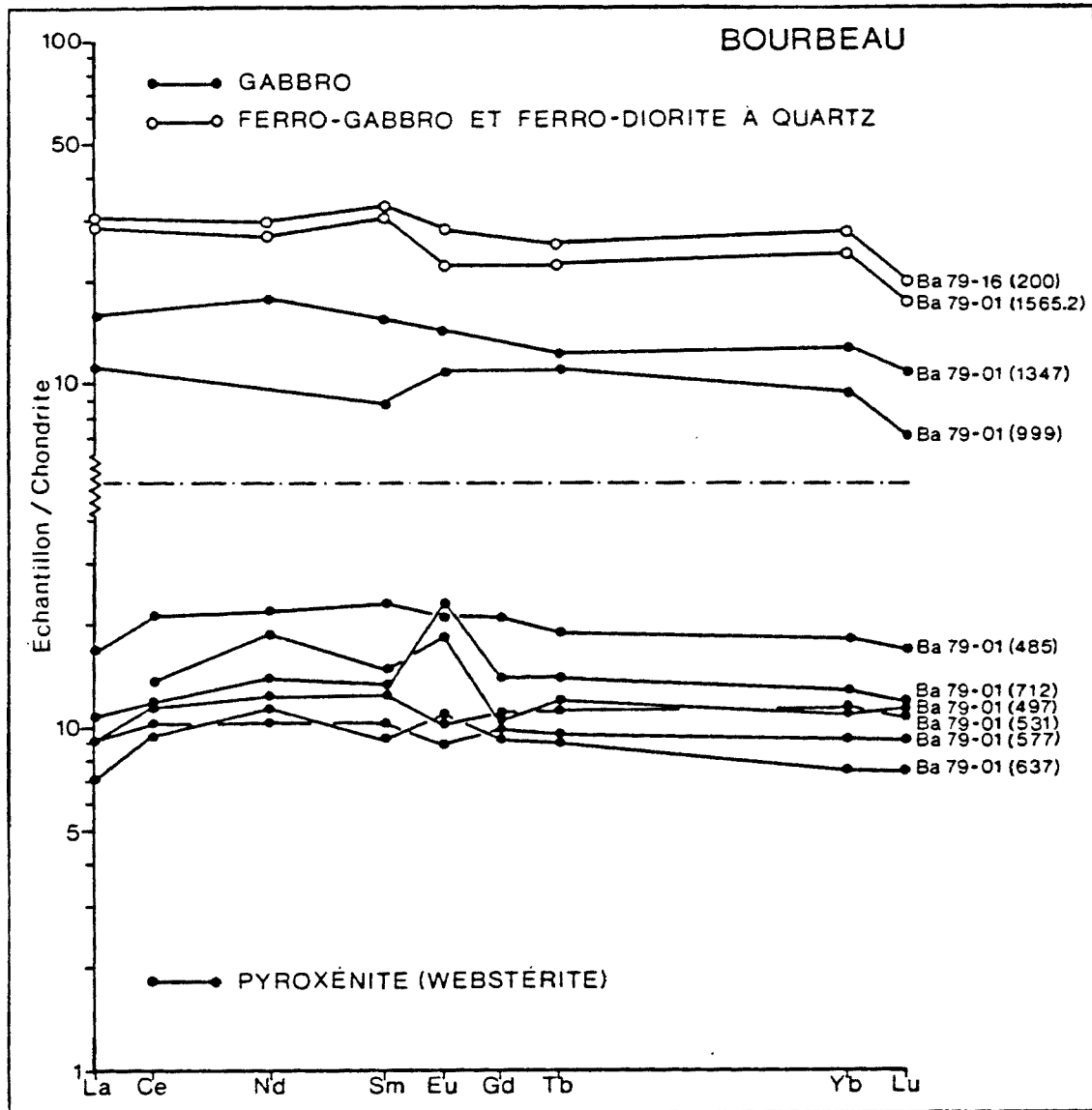


Figure 31 - Courbes de terres-rares du Bourbeau.

Les résultats présentés au tableau XII, sont repris graphiquement en tenant compte de la disposition stratigraphique des échantillons dans les trois filons-couches (fig. 32).

Dans les échantillons contenant de l'olivine, la concentration élevée du nickel varie de 1500 à 2700 ppm¹³. En l'absence d'olivine, le nickel ne dépasse guère 700 ppm en concentration dans les échantillons de type ultramafique, et moins de 375 ppm, dans les échantillons de composition gabbroïque. Cela signifie que plus de 75 pourcent du nickel disséminé dans les roches du complexe de Cummings, est contenu dans le filon-couche de Roberge.

A l'exception du gabbro Ba-79-05 (469.5)¹⁴, la présence du chrome est strictement limitée aux échantillons de roches ultramafiques. Le chrome atteint une concentration maximale de près de 3500 ppm dans la pyroxénite de Ventures et de 1800 dans la pyroxénite de Bourbeau. Il semble, cependant, en concentration stable dans les roches du Roberge (en moyenne 2900 ppm) indépendamment des proportions variables de l'olivine et du clinopyroxène.

La concentration apparemment uniforme du cobalt de la base au sommet du complexe de Cummings, nous informe mal sur la distribution de cet élément au cours du processus de la cristallisation fractionnée. Sa concentration varie de 150 à 280 ppm. Le fait qu'il soit un peu

¹³ ppm (parties par million).

¹⁴ L'échantillon Ba-79-05 (469.5) est considéré comme anomalique au point de vue éléments majeurs à la section 1.2 de ce chapitre.

Tableau XII - Résultats d'analyses des éléments traces de nickel, chrome et cobalt (en ppm).

No. d'analyse	2	3	4	5	8	9	10	6	7
Echantillons	Ba 79-14 (202)	Ba 79-14 (922.8)	Ba 79-12 (200.5)	Ba 79-12 (616.1)	Ba 79-05 (755.9)	Ba 79-04 (574.6)	Ba 79-09 (471.1)	Ba 79-06 (457.2)	Ba 79-05 (469.5)
Ni	388	2476	1956	1875	1555	2006	1989	445	352
Cr	770	2782	3098	3039	2654	3035	2591	3287	836
Co	232	268	243	208	318	280	232	243	267

No. d'analyse	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Echantillons	Ba 79-08 (555.9)	Ba 79-08 (657)	Ba 79-03 (225)	Ba 79-03 (450)	Ba 79-01 (577)	Ba 79-01 (712)	Ba 79-01 (999)	Ba 79-01 (1565.2)	Ba 79-16 (200)
Ni	360	352	92	168	720	317	162	106	92
Cr	437	---	---	---	1034	1819	---	---	---
Co	220	208	197	232	152	186	243	164	186

--- : non détecté

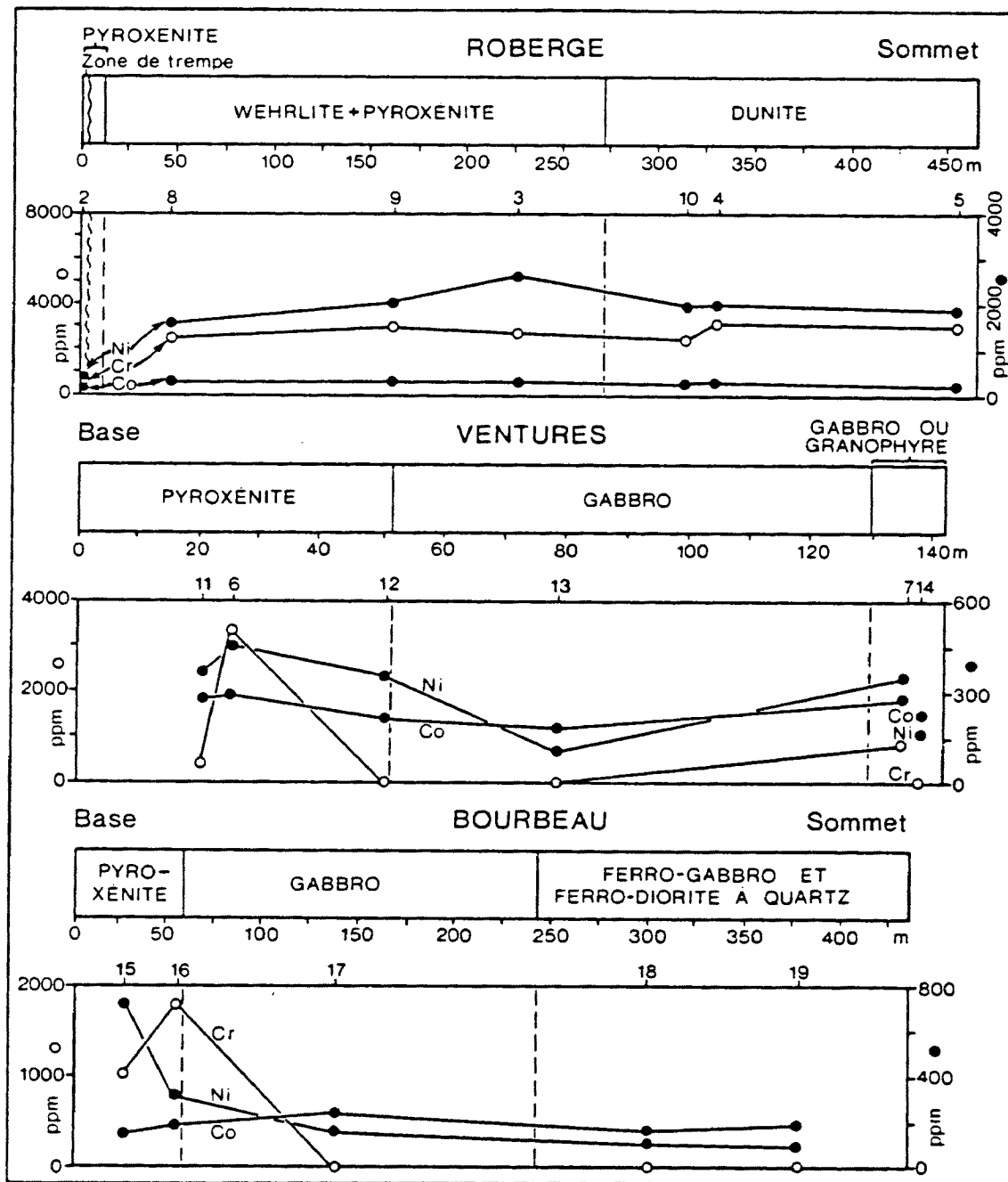


Figure 32 - Représentation graphique de Ni, Cr, Co de chacun des filons-couches du complexe de Cummings.

moins abondant dans le filon-couche de Bourbeau (moyenne inférieure à 200 ppm), devrait pourtant être significatif de la préférence du cobalt pour les minéraux d'olivine et de pyroxène (Paster et al., 1974).

2.3 - Discussion

Le liquide intercumulat joue un rôle important dans les roches à cumulat, par sa capacité à contenir une concentration élevée d'éléments traces lorsqu'il est isolé du magma résiduel sus-jacent sans provoquer le non-équilibre du système (Allègre et al., 1977; Paster et al., 1974; Potts et Condie, 1971). C'est le cas des dunites du Roberge, qui possèdent une moyenne de 15 pourcent d'intercumulat généralement altéré. Les coefficients de partage de l'olivine, ne permettent pas d'obtenir des concentrations aussi élevées (deux fois chondrites, en moyenne) pour les dunites (fig. 27 et 28, p.100 et 104). Nous considérons donc que le liquide intercumulat est enrichi en terres-rares dans les cumulats dunitiques du complexe, et qu'il est responsable de la concentration élevée et de l'aspect général de ces courbes. Cependant, le liquide intercumulat n'intervient pas dans la répartition des terres-rares des unités pyroxénitiques, comme le démontre nos calculs pour une clinopyroxénite typique (calcul A du tableau XIV et fig.38, p.132 et 134).

A la section précédente, nous avons introduit le terme "dos de baleine" pour décrire la morphologie des courbes de terres-rares de certains échantillons dont les rapports La/Sm étaient plus petits que un (1) et Sm/Yb, plus grands que un (1). Cette forme de courbe a déjà été noté par Potts et Condie (1971) qui le considèrent comme étant le résultat de la présence du clinopyroxène dans les roches. Cependant, le fractionnement des terres-rares

provoqué par la cristallisation du clinopyroxène dans certains types de roche (clinopyroxénite, wehrlite et autres) est insuffisant, selon nous, pour expliquer cette forme de courbe. La concentration en lanthanide du liquide primaire, est un facteur important puisque selon les coefficients de distribution employés, nos calculs indiquent qu'un magma possédant un rapport La/Yb entre cinq et huit (approximation) produit une courbe "dos de baleine" typique en cristallisant une clinopyroxénite (calcul A du tableau XIV et figure 38, p. 132 et 134). Lorsqu'un autre minéral cristallise avec le clinopyroxène, et fractionne les terres-rares différemment (comme le feldspath ou l'orthopyroxène, fig. 33 et tableau XIII), il modifie la répartition des terres-rares et la forme "dos de baleine" disparaît ou s'atténue considérablement (à l'exemple du gabbro de Ventures ou de la webstérite du Bourbeau).

Le concept d' "immobilité" des terres-rares est de plus en plus mis en doute lors de processus d'altération et de métamorphisme. C'est ce qui ressort de plusieurs études, que Hellman et al. (1979) résumant brièvement. Selon eux, on peut restreindre la mobilité des lanthanides à quatre types majeurs: un enrichissement général mais plus prononcé pour les terres-rares légères que les terres-rares lourdes, un enrichissement ou appauvrissement général identique pour toutes les terres-rares, un appauvrissement généralisé, et une mobilité sélective de quelques terres-rares (La, Ce, Eu et Yb). En ce qui concerne les roches ultramafiques, Potts et Condie (1971) notent l'effet de l'altération (actinote-chlorite) sur des échantillons péridotitiques de composition primaire comparable, et concluent que l'enrichissement en terres-rares légères est le résultat direct de celle-ci. Puisque l'intervalle stratigraphique entre les échantillons du complexe de Cummings est assez grand, il nous est

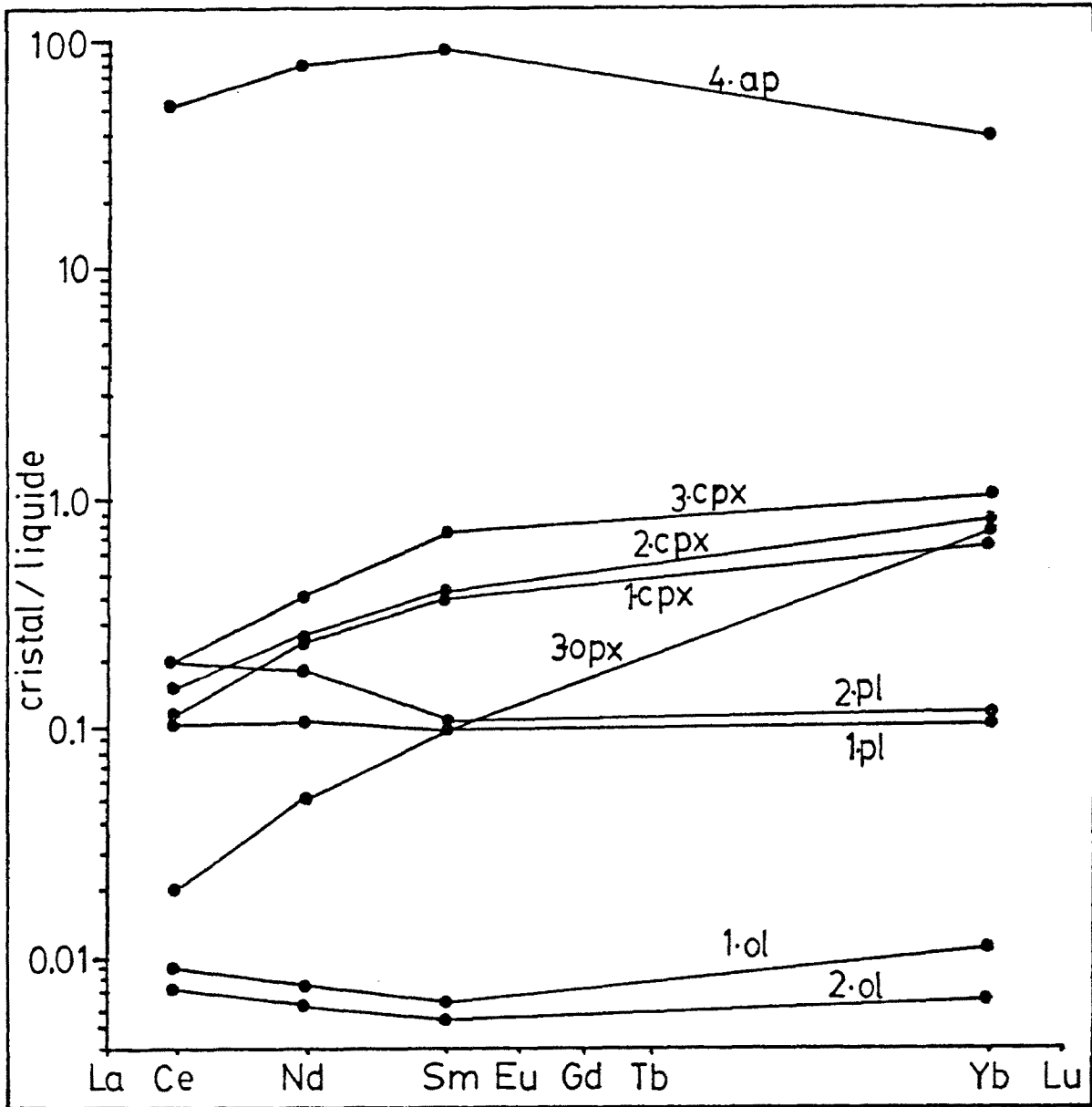


Figure 33 - Courbes des coefficients de distribution utilisés dans cette étude: 1- de Zielinski et al., 1970; 2- de Beswick et al., 1978; 3- de Frey, 1980 et Zielinski, 1975; 4- de Nagasawa, 1970; ap-apatite, cpx-clinopyroxène, ol-olivine, opx-orthopyroxène, pl-plagioclase.

Tableau XIII - Coefficients de distribution utilisés dans cette étude.

Zielinski et al., 1970

	Ce	Nd	Sm	Yb
olivine	0.009	0.007	0.006	0.01
clinopyroxène	0.12	0.26	0.38	0.60
plagioclase	0.11	0.11	0.11	0.10

Beswick et al., 1978

	Ce	Nd	Sm	Yb
olivine	0.007	0.006	0.005	0.006
clinopyroxène	0.15	0.25	0.40	0.80

Frey, 1980 et Zielinski, 1975

	Ce	Nd	Sm	Yb
clinopyroxène	0.20	0.40	0.70	1.00
orthopyroxène	0.019	0.05	0.10	0.70
plagioclase	0.19	0.17	0.10	0.10

Nagasawa, 1970

	Ce	Nd	Sm	Yb
apatite	52.0	81.0	90.0	37.0

difficile de préciser l'étendue de l'effet de l'altération sur la mobilité des terres-rares. Néanmoins, l'échantillon Ba-79-14 (215) et plus particulièrement l'échantillon Ba-79-06 (376) (fig.27 et 29, p.100 et 106, respectivement) semblent avoir subi l'effet d'altérations locales (carbonatation, minéralisation post-métamorphisme), en enrichissant les lanthanides en général, mais plus particulièrement en lanthanides légères.

Quelques courbes semblent montrer une mobilité sélective de certaines terres-rares. C'est le cas du gadolinium, à quelques endroits, mais surtout, pour les courbes du Ventures-nord et du Ventures-sud. Selon nous, ces anomalies de gadolinium, ne dépendent pas de l'altération, mais plutôt de la difficulté d'obtenir des mesures précises de cet élément. En effet, selon Dostal et Mueke (1978) et Hanson (1980) la précision analytique pour Gd et Nd est d'environ 25 pourcent, tandis que pour La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb et Lu, elle est d'environ dix pourcent.

Les courbes de terres-rares des deux segments du filon-couche de Roberge, indiquent clairement que la distribution de ces éléments traces est premièrement contrôlée par la minéralogie de la roche, avant d'être marquée par un quelconque litage cryptique. Les échantillons des bandes rythmiques wehrlite-pyroxénite wehrlitique, possèdent une concentration en lanthanides strictement déterminée par le rapport olivine-clinopyroxène (fig.27 et 28, p.100 et 104). Néanmoins les échantillons de composition minéralogique similaire, acceptent de plus en plus de terres-rares en montant dans la séquence, puisqu'ils cristallisent d'un magma de plus en plus enrichi en lanthanides. Ce fait s'illustre de lui même en examinant les courbes de pyroxénites du

Ventures-nord (fig.30, p.110) et celles des gabbros, ferrogabbros à quartz et ferrodiorites à quartz du Bourbeau (fig.31, p.113).

Le gabbro des deux segments du Ventures, est caractérisé par un appauvrissement inattendu des lanthanides selon un ordre stratigraphique inverse. Ceci n'est pas lié à de l'altération locale (vu l'ampleur du phénomène), mais à un contrôle sur la distribution des terres-rares qu'exerce un minéral accessoire (tel l'apatite, le zircon, la monazite, l'allanite, etc.) possédant une affinité remarquable pour les lanthanides. Miller et Mittlefehldt (1982) et d'autres auteurs¹⁵ ont expérimenté un phénomène identique d'appauvrissement généralisé malgré le degré de différenciation des roches étudiées. Selon Miller et Mittlefehldt (1982), la présence d'un minéral accessoire composé (ou piégeant) d'une quantité élevée de terres-rares, est suffisante pour appauvrir le magma résiduel en lanthanides, qui de ce fait, produit des roches de moins en moins riches en ces éléments. En ce qui concerne le gabbro de Ventures, la présence remarquée de l'apatite (McMillan, 1972; Boudreault, 1977; nos données) justifie une interprétation similaire. Dans la présente étude, nous n'avons pas obtenu d'analyse de phosphore. Les pourcentages de P_2O_5 présentés par McMillan (1972) et Boudreault (1977), n'indiquent pourtant pas une concentration particulièrement élevée. Cependant, les expériences menées par Watson (1979), montrent que la température et l'acidité d'un magma contrôlent la saturation en P_2O_5 .

¹⁵ pour une liste exhaustive de ces auteurs, voir Miller et Mittlefehldt (1982) p. 130.

Selon ces résultats, la quantité dissoute de P_2O_5 requise pour saturer un magma en apatite à $1250^\circ C$, diminue de 12 à quatre pourcent en poids, lorsque la concentration de SiO_2 passe de 30 à 55 pourcent. A une température de $1165^\circ C$, la quantité requise pour saturer, diminue de plus du tiers. Il n'est donc pas étonnant que l'apatite puisse cristalliser dans le gabbro de Ventures, malgré le faible pourcentage en poids de P_2O_5 . Il est possible aussi, que la concentration moins élevée en SiO_2 du gabbro, ferro-gabbro à quartz et ferro-diorite à quartz du Bourbeau (cette étude, tableau IV; Duquette, 1982, p.32) par rapport au gabbro du Ventures (tableau III), ait empêché la saturation du magma en apatite, pour le filon-couche de Bourbeau.

L'analyse en terres-rares du granophyre du Ventures-nord (fig 30, p.110) ne donne aucune suite logique à la tendance du gabbro sous-jacent. Willemse (1969) considère que le granophyre du Bushveld provient de la fusion partielle des roches encaissantes du toit de l'intrusion. Irvine (1970) semble être d'un avis semblable, en ce qui concerne l'intrusion stratiforme de Muskoxx. Selon lui, les intrusions stratiformes ne possédant pas de zone de bordure supérieure, facilitent cette fusion partielle des roches du toit. La température du magma au contact du toit, est maintenue par diffusion à partir du front de cristallisation inférieur. En ce qui concerne le filon-couche de Ventures, la roche encaissante formant le toit est nettement felsique (formation de Blondeau) et nécessite une température de fusion moins élevée. Le granophyre du Ventures, représente donc, selon nous, un mélange de magma résiduel et de fusion partielle du toit de l'intrusion.

La courbe des lanthanides correspond possiblement à un mélange aléatoire des deux liquides, sans omettre la possibilité d'une mobilité de certaines terres-rares face à l'altération.

La modification des rapports La/Sm et Sm/Yb pour le filon-couche de Bourbeau (fig.31,p.113), coïncide avec l'apparition de l'orthopyroxène en phase cumulat. Par sa présence, l'orthopyroxène distribue différemment les lanthanides dans la webstérite et modifie sensiblement la concentration des terres-rares du liquide résiduel. Les anomalies d'euprium proviennent, selon nous, de la présence du feldspath plagioclase en intercumulat, selon des proportions variées. Cependant, ces anomalies ne se répètent pas pour les différents gabbros complétant le filon-couche. La seule explication que nous entrevoyons serait la présence de certains facteurs pouvant modifier l'état d'oxydation de l'euprium.

La concentration particulièrement élevée de nickel et de chrome dans l'échantillon Ba-79-05 (469.5) du filon-couche de Ventures (fig.32,p. 116), peut s'expliquer par une remobilisation. Une possibilité intéressante cependant, est discutée par Allègre et al.(1977). Selon eux, le nickel et le chrome peuvent se comporter comme des éléments incompatibles lorsque le liquide ne cristallise plus d'olivine et de clinopyroxène. Ceci a pour effet d'augmenter la concentration de ces éléments dans le liquide, et permet donc de cristalliser des roches possédant un niveau anormal de Ni et Cr, dans les derniers stades de la cristallisation.

Le regroupement des courbes de terres-rares, basé sur leur appartenance à un filon-couche et à une classe pétrographique, donne les assemblages présentés aux figures 34,35 et 36. En plus du fait que ces

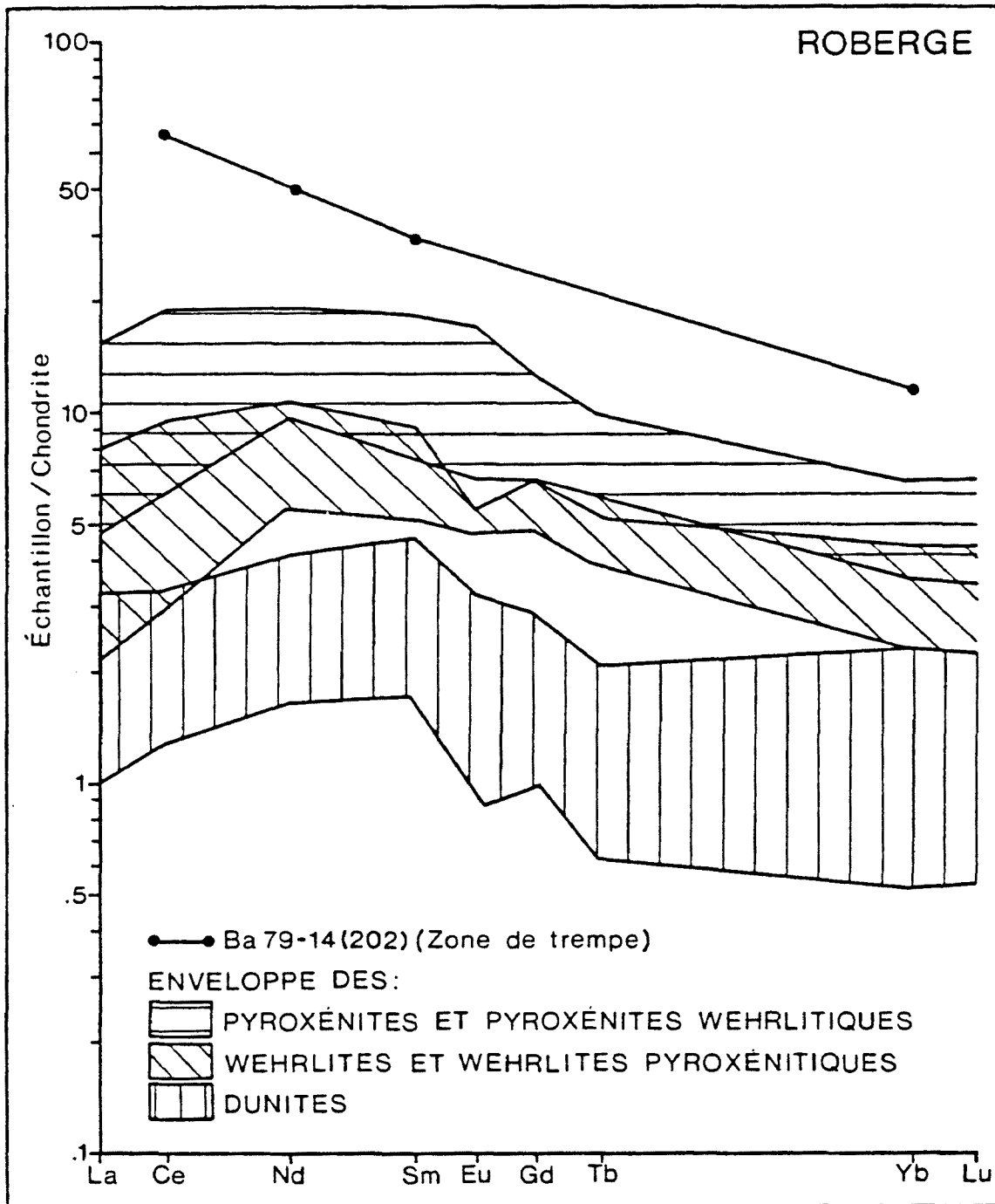


Figure 34 - Enveloppes des courbes de terres-rares du Roberge.

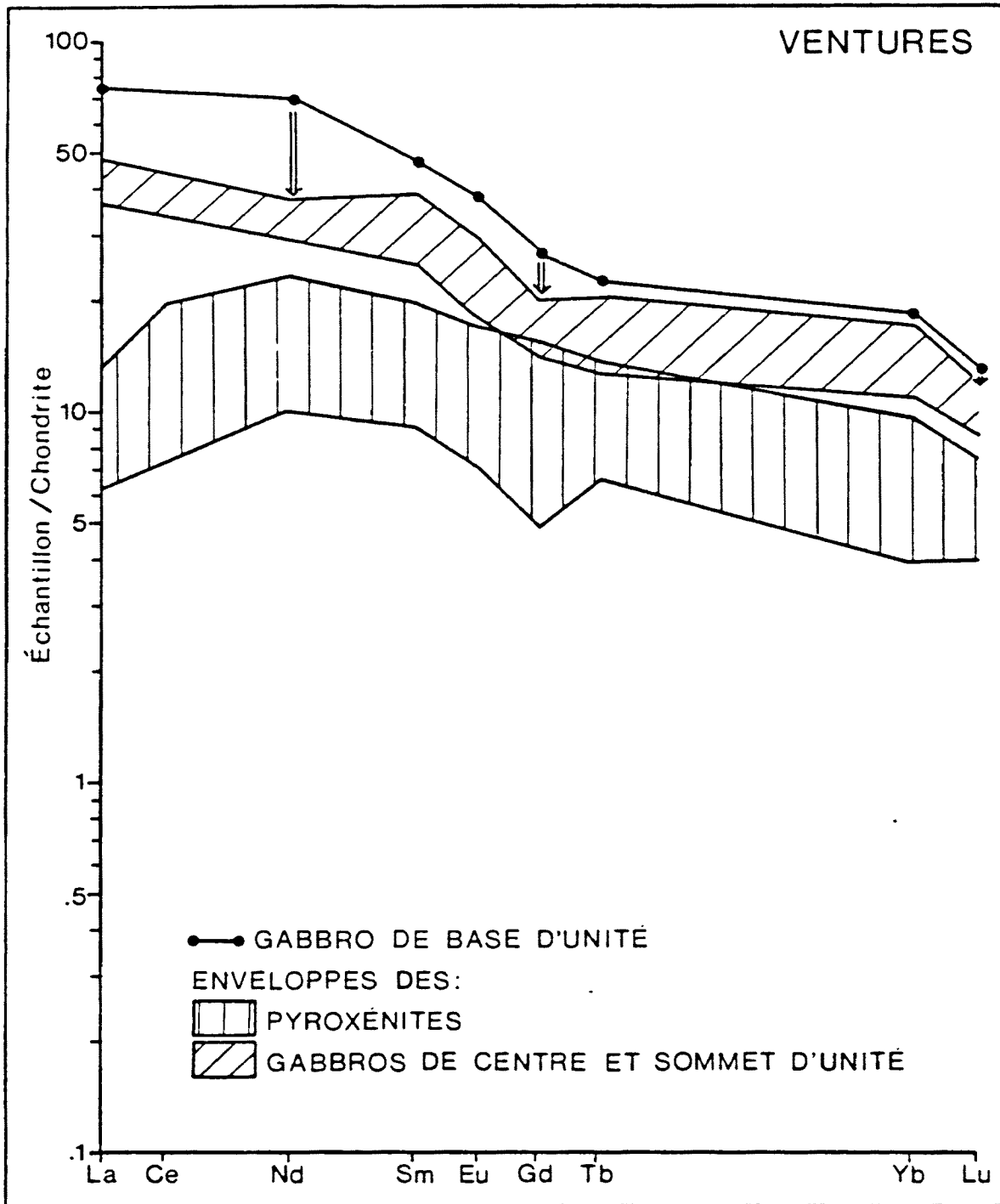


Figure 35 - Enveloppes des courbes de terres-rares du Ventures (les flèches indiquent la progression stratigraphique).

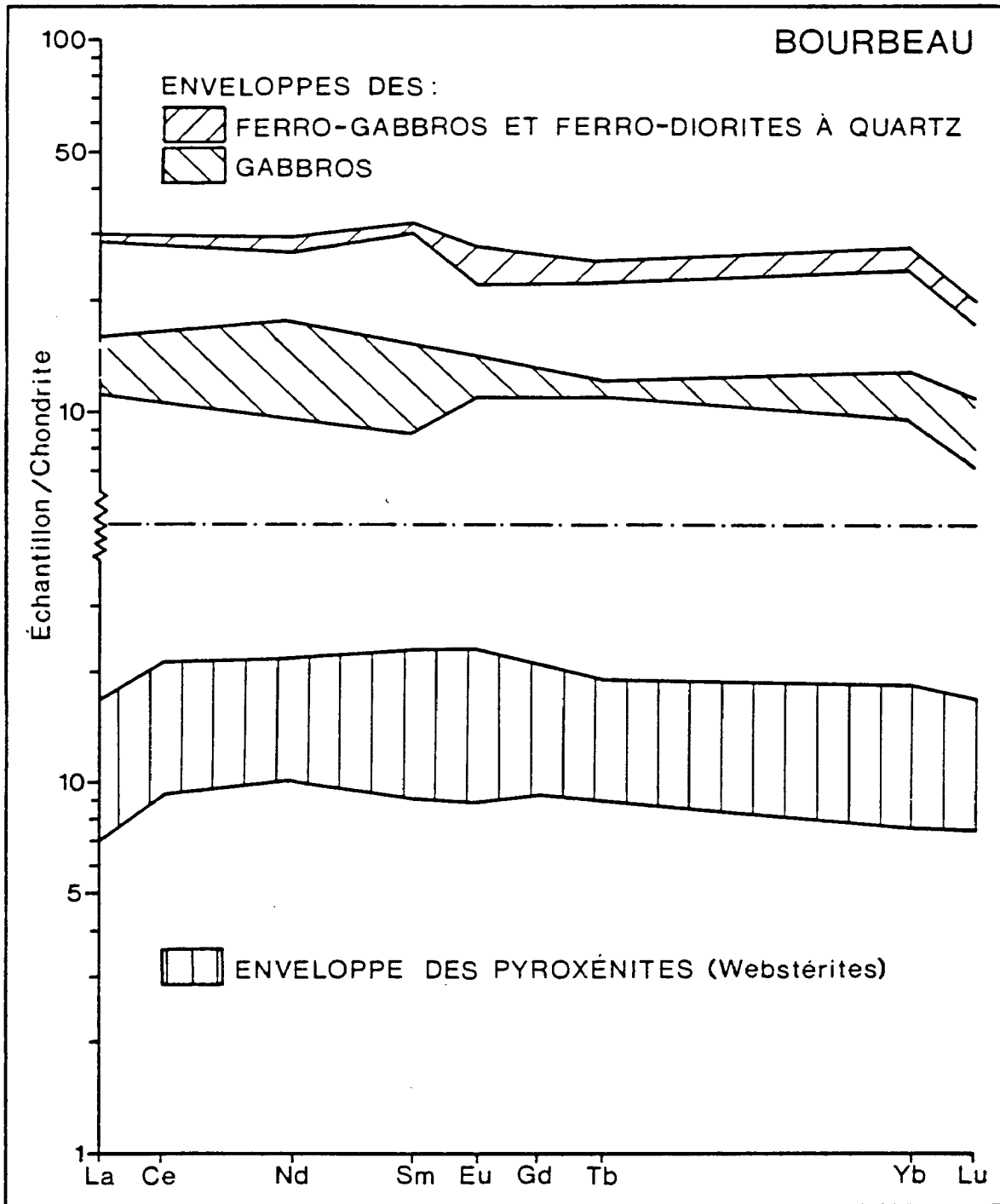


Figure 36 - Enveloppes des courbes de terres-rares du Bourbeau.

courbes présentent une forme qui leur est particulière (dos de baleine) le lien pétrogénétique entre les trois filons-couches, devient évident, en comparant leurs enveloppes pyroxénitiques (seules roches communes aux trois filons-couches; fig. 37). La configuration des courbes au niveau des terres-rares légères, est pratiquement identique pour les trois filons-couches, tandis que la différence du filon-couche de Bourbeau au niveau des terres-rares lourdes, est due au seul minéral inexistant dans les filons-couches de Roberge et de Ventures: l'orthopyroxène.

3 - MODELE DE CRISTALLISATION FRACTIONNEE

3.0 - Introduction

Le calcul de la concentration en lanthanides d'un magma parent, à partir des résultats d'analyse de terres-rares de la section précédente, s'avère douteux. L'emploi de l'échantillon le plus ultramafique (Ba-79-12 (616.1)) pour le calcul, donne une concentration en terres-rares inférieure à l'échantillon de la zone de trempe du Roberge-sud. L'utilisation d'une concentration moyenne pour les dunités du Roberge donne une concentration en lanthanides supérieure à l'échantillon de la zone de trempe. Les évidences pétrographiques et géochimiques indiquent que les dunités semblent provenir d'un mélange magmatique dû à une ou des réinjections de plus en plus ultramafiques en composition. Nous considérons donc que l'utilisation des dunités pour calculer la concentration en terres-rares du magma parent, peut s'avérer fautive. En plus, cette concentration initiale calculée, ne correspond pas au type de magma pouvant produire les unités inférieures du filon-couche

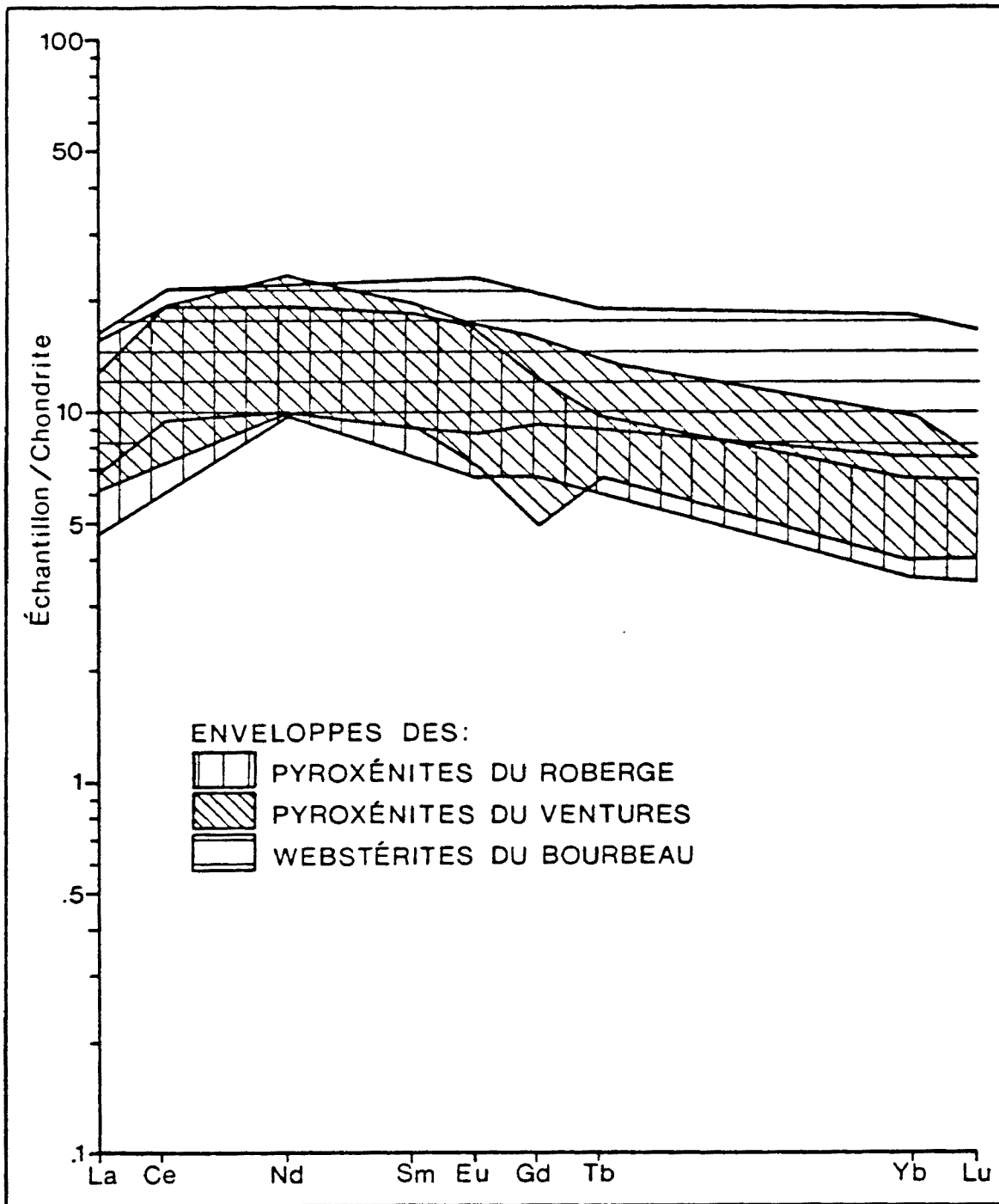


Figure 37 - Juxtaposition des enveloppes de terres-rares pour les pyroxénites des trois filons-couches.

de Roberge. La concentration en terres-rares de l'échantillon provenant de la zone de trempe du Roberge-sud (Ba-79-14(202)), représente une approximation connue d'un des liquides parents du complexe, et sera utilisée dans l'élaboration d'un modèle de cristallisation fractionnée.

Lors du choix des coefficients de distribution à utiliser pour le calcul d'un modèle pétrogénétique, il est apparu évident que la littérature présente plusieurs coefficients de partage pour les mêmes minéraux. Plusieurs facteurs physico-chimiques (Irving, 1978) sont responsables de cette variation du degré d'acceptation d'un élément trace dans une structure cristalline. En ce qui nous concerne, la température de cristallisation et la polymérisation du magma parent (surtout identifiée par l'augmentation de SiO_2), jouent un rôle notable, puisque la pression et les autres facteurs ne représentent pas des variables connues lors de la cristallisation. Puisque les coefficients de distribution de plusieurs minéraux s'accroissent avec la polymérisation du magma (on utilise aussi l'expression: silicification du magma; Irving, 1978; Cox et al., 1979; Frey, 1980), nous avons choisi les coefficients de partage du tableau XIII (p.120) selon cette observation, étant donné le modèle pétrogénétique appliqué ci-dessous.

3.1 - Modèle pétrogénétique.

Les équations utilisées pour les calculs de cristallisation fractionnée, proviennent d'Allègre et al. (1977). La concentration de l'élément trace "i" dans un solide instantané (C_s^i), est donnée par l'équation

$$(1) \quad C_s^i = D^i C_o^i F^{(D^i-1)}$$

où C_o^i est la concentration de l'élément "i" dans le liquide originel, F est la fraction en poids du liquide

résiduel et D^i est le coefficient de distribution global de l'assemblage minéralogique pour l'élément "i". La concentration de l'élément trace "i" dans le liquide résiduel (C_l^i), est donnée par l'équation suivante:

$$(2) \quad C_l^i = C_o^i F^{(D^i - 1)}$$

Puisque le complexe de Cummings s'est formé par la cristallisation successive d'assemblages différents de minéraux, l'élaboration d'un modèle pétrogénétique valable, doit se baser sur une cristallisation fractionnée multiséquentielle. Cette méthode implique, qu'après la cristallisation de chaque unité minéralogiquement homogène, le liquide résiduel devient le nouveau liquide originel de l'assemblage minéralogique suivant. Ce réajustement s'effectue jusqu'à la fin de la cristallisation du complexe. Le modèle de cristallisation fractionnée multiséquentielle s'applique en utilisant les équations (1) et (2) à chaque assemblage minéralogique différent.

Filon-couche de Roberge

L'échantillon de la zone de trempe du Roberge-sud (Ba-79-14 (202)) est utilisé comme représentant le magma parent théorique dans notre séquence de cristallisation fractionnée. Les valeurs présentées au tableau XIV, servent à calculer les courbes théoriques des pyroxénites de la zone de base, des wehrlites de la zone rythmique, et des dunites. Ces unités représentent respectivement 0.6, 18.5 et 25 pourcent de la cristallisation du liquide initial. Ces pourcentages se basent sur la sommation en poids des unités de roche produites selon la stratigraphie établie précédemment à la section 2 du chapitre 1.

Tableau XIV - Résultats et valeurs utilisées pour le calcul des courbes du filon-couche de Roberge

	C_o	D	F	C_s	C_s/Ch	C_1	
A)	Ce	35.527	0.12	0.994	4.286	6.7	35.716
	Nd	18.711	0.26	0.994	4.887	10.3	18.795
	Sm	4.546	0.38	0.994	1.734	11.3	4.563
	Yb	1.901	0.60	0.994	1.143	6.9	1.906

	C_o	D	F	C_s	C_s/Ch	C_1	
B)	Ce	35.716	0,071	0.82	3.056	4.8	42.945
	Nd	18.795	0.149	0.82	3.309	7.0	22.254
	Sm	4.563	0.215	0.82	1.149	7.5	5.332
	Yb	1.906	0.340	0.82	0.740	4.5	2.173

	C_o	D	F	C_s	C_s/Ch	C_1	
C)	Ce	42.945	0.026	0.92	1.195	1.9	46.580
	Nd	22.254	0.045	0.92	1.083	2.3	24.099
	Sm	5.332	0.062	0.92	0.358	2.3	5.766
	Yb	2.173	0.099	0.92	0.231	1.4	2.343

A) Pyroxénite (100% cpx)

B) Wehrlite (44% ol + 56% cpx)

C) Dunite (85% ol + 15% cpx)

(coefficients de distribution: Zielinski et al., 1970)

C_s/Ch : concentration dans solide/chondrite

Les valeurs de F du tableau XIV, calculées à partir de ces pourcentages, sont recalibrées avant chaque nouvelle phase de cristallisation.

Les courbes calculées sont rapportées sur les enveloppes des différents assemblages minéralogiques (fig. 38). Le liquide résiduel de la fin de cristallisation du Roberge constitue le nouveau magma "originel" pour les filons-couches de Ventures et de Bourbeau.

Filon-couche de Ventures

L'aspect problématique du Ventures réside dans le fait que les roches de son unité gabbroïque sont de plus en plus appauvries en terres-rares, en montant dans la séquence. Ce problème est lié, selon nous, à la présence de l'apatite. Ce minéral accapare une très grande quantité de lanthanides (Nagasawa, 1970). Puisque nous ne possédons pas d'analyse de terres-rares des premières roches contenant de l'apatite, nous devons estimer l'appauvrissement du liquide résiduel résultant de la cristallisation de ces roches. Nous avons donc calculé théoriquement les concentrations des roches cristallisées à de courts intervalles, jusqu'à ce que la concentration du liquide résiduel soit équivalente à celle du liquide pouvant produire les échantillons analysés. Nos calculs indiquent que le gabbro de Ventures doit contenir environ 2.6 pourcent d'apatite à chaque intervalle de cristallisation distante de sept centimètres. Ce qui signifie que dans l'équivalent de sept centimètres de roche, on doit retrouver un minimum de 2.6 pourcent d'apatite cristallisé entre les minéraux de feldspath plagioclase et de clinopyroxène. Cette estimation théorique est en-dessous des valeurs

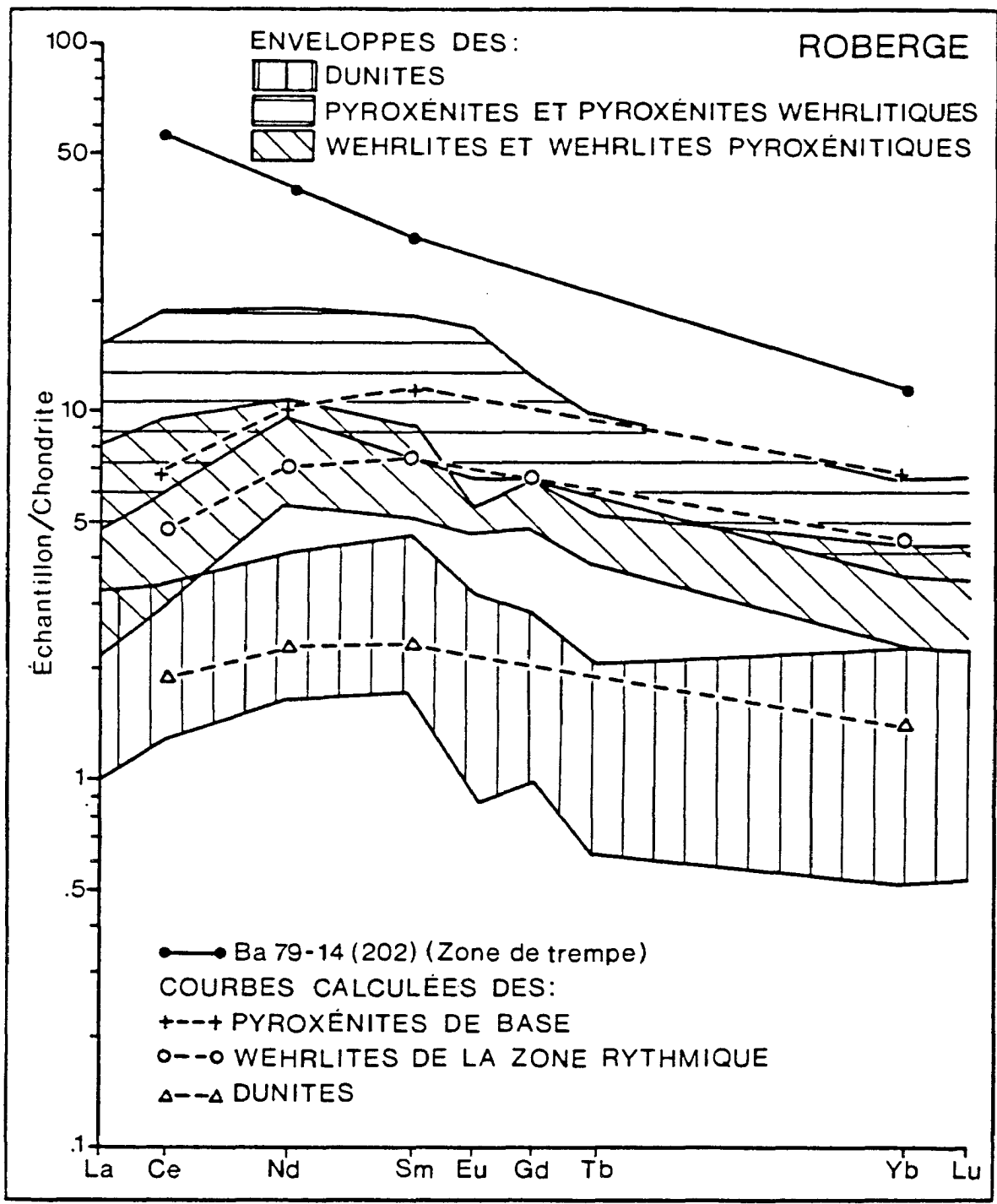


Figure 38 - Courbes de terres-rares calculées pour les assemblages du filon-couche de Roberge.

observées lors de l'examen en lame mince des échantillons du gabbro. En effet, nous observons fréquemment plus de un (1) pourcent d'apatite dans une surface de quatre centimètres carrés de gabbro en lame mince. La quantité d'apatite est donc suffisante pour appauvrir le magma résiduel après chaque étape de cristallisation, de façon à produire des gabbros de plus en plus pauvres en terres-rares.

Les valeurs utilisées à partir du liquide résiduel du Roberge sont présentées au tableau XV. La représentation graphique des courbes théoriques après 36.6, 50 et 75 pourcent de cristallisation du filon-couche de Ventures (pyroxénite, gabbro I et gabbro II, respectivement), se trouve à la figure 39.

Le filon-couche de Bourbeau

Les concentrations de terres-rares utilisées pour le liquide originel du Bourbeau (tableau XVI) sont identiques à celles du dernier liquide résiduel du Roberge, sans tenir compte de la cristallisation du Ventures. Comme il a été observé à la section 1.4 de ce chapitre, la composition en oxydes majeurs des liquides successifs, indique qu'un magma de même composition est à la base de la cristallisation du Ventures et du Bourbeau. La faible concentration des lanthanides dans le liquide résiduel du Ventures, ne permet pas, de toute façon de répondre aux besoins des échantillons du Bourbeau.

L'apparition de l'orthopyroxène dans la pyroxénite du Bourbeau, modifie passablement l'allure des courbes de terres-rares. Les calculs tiennent compte de ce nouveau facteur et la courbe théorique des webstérites correspond à cette variation (fig.40). Les courbes calculées

Tableau XV - Résultats et valeurs utilisées pour le calcul des
courbes du filon-couche de Ventures

	C_o	D	F	C_s	C_s/Ch	C_1
A) Ce	46.580	0.109	0.943	5.365	8.4	49.080
Nd	24.099	0.227	0.943	5.718	12.0	25.218
Sm	5.766	1.327	0.943	1.965	12.8	5.998
Yb	2.343	0.512	0.943	1.234	7.5	2.343

	C_o	D	F	C_s	C_s/Ch	C_1
B) Ce	49.080	1.542	0.72	47.801	74.9	33.040
Nd	25.218	2.387	0.72	34.114	72.0	14.290
Sm	5.998	2.737	0.72	7.546	49.0	2.759
Yb	2.343	1.509	0.72	3.05	18.5	2.024

	C_o	D	F	C_s	C_s/Ch	C_1
C) Ce	33.04	1.542	0.55	26.792	42.0	17.374
Nd	14.290	2.387	0.55	16.583	35.0	6.948
Sm	2.759	2,737	0.55	4.158	27.0	1.519
Yb	2.024	1.509	0.55	1.899	11.5	1.258

A) Pyroxénite (9% ol + 84% cpx + 7% plagio)

B) Gabbro I (50% cpx + 47.4% plagio + 2.6% apatite)

C) Gabbro II (idem.)

(Coefficient de distribution: pyroxénite, Zielinski et al., 1970;
gabbro I et gabbro II, Zielinski, 1975 et Nagasawa, 1970)

C_s/Ch : concentration dans solide/chondrite

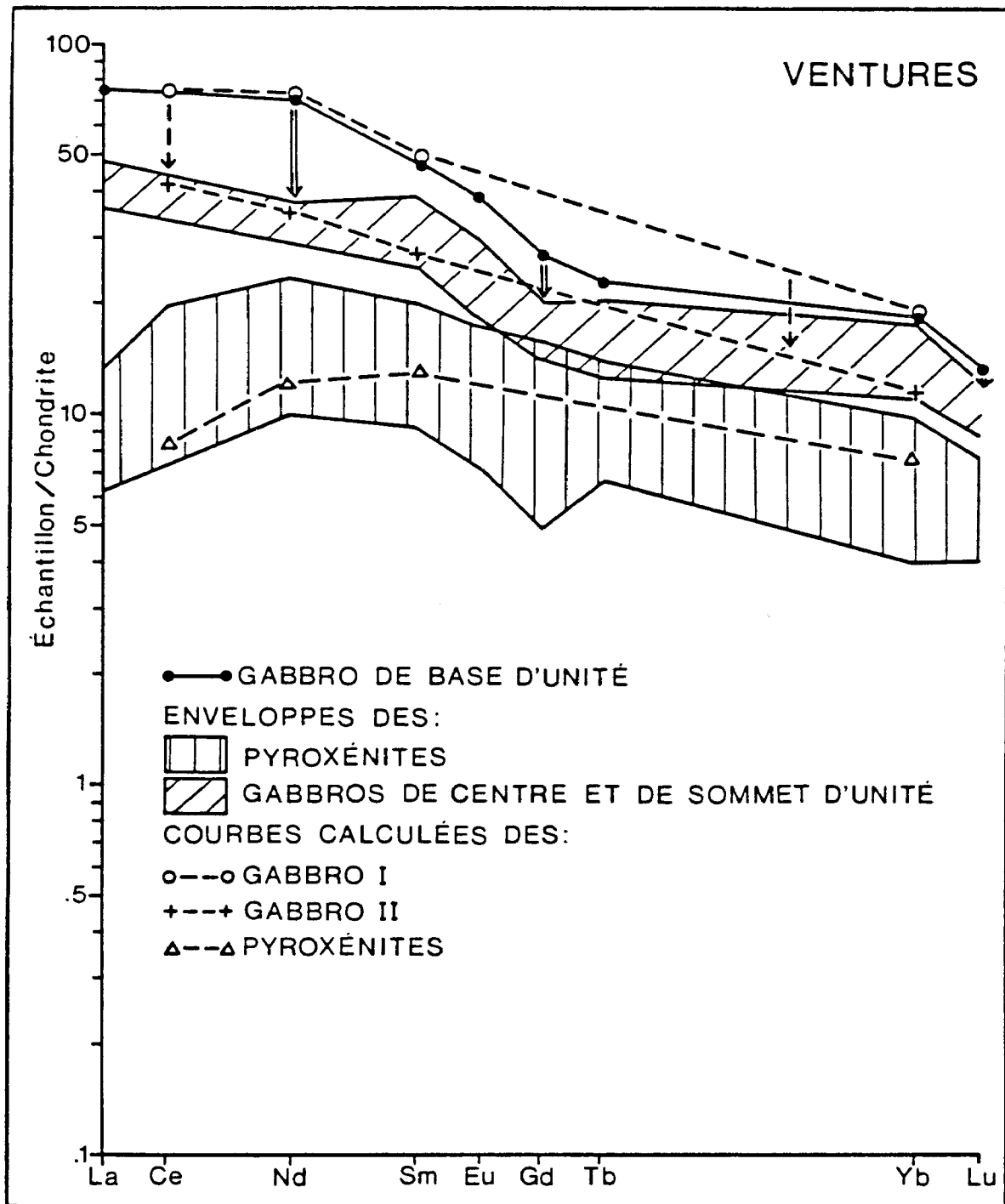


Figure 39 - Courbes de terres-rares calculées pour les assemblages du filon-couche de Ventures.

Tableau XVI - Résultats et valeurs utilisées pour le calcul des courbes du filon-couche de Bourbeau

	C_o	D	F	C_s	C_s/Ch	C_1
A) Ce	46.580	0.119	0.877	6.207	9.8	52.292
Nd	24.099	0.174	0.877	4.673	9.9	26.858
Sm	5,766	0.250	0.877	1.591	10.3	6.362
Yb	2.343	0.630	0.877	1.550	9.4	2.460

	C_o	D	F	C_s	C_s/Ch	C_1
B) Ce	52.292	0.160	0.87	9.405	14.7	58.781
Nd	26.858	0.250	0.87	7.454	15.7	29.815
Sm	6.362	0.37	0.87	2.570	16.7	6.945
Yb	2.460	0.625	0.87	1.620	9.8	2.592

	C_o	D	F	C_s	C_s/Ch	C_1
C) Ce	58.781	0.177	0.50	18.406	28.8	103.99
Nd	29.815	0.262	0.50	13.029	27.5	49.727
Sm	6.945	0.37	0.50	3.977	25.8	10.748
Yb	2.592	0.565	0.50	1.980	12.0	3.504

A) Websterite (50% cpx + 30% opx + 20% plagio)

B) Gabbro (45% cpx + 20% opx + 35% plagio)

C) Ferrogabbro à quartz (45% cpx + 10% opx + 45% plagio)

(coefficients de distribution: webstérite, Zielinski, 1975 et Beswick et al., 1978; gabbro et ferrogabbro à quartz, Zielinski, 1975)

C_s/Ch : concentration dans solide/chondrite

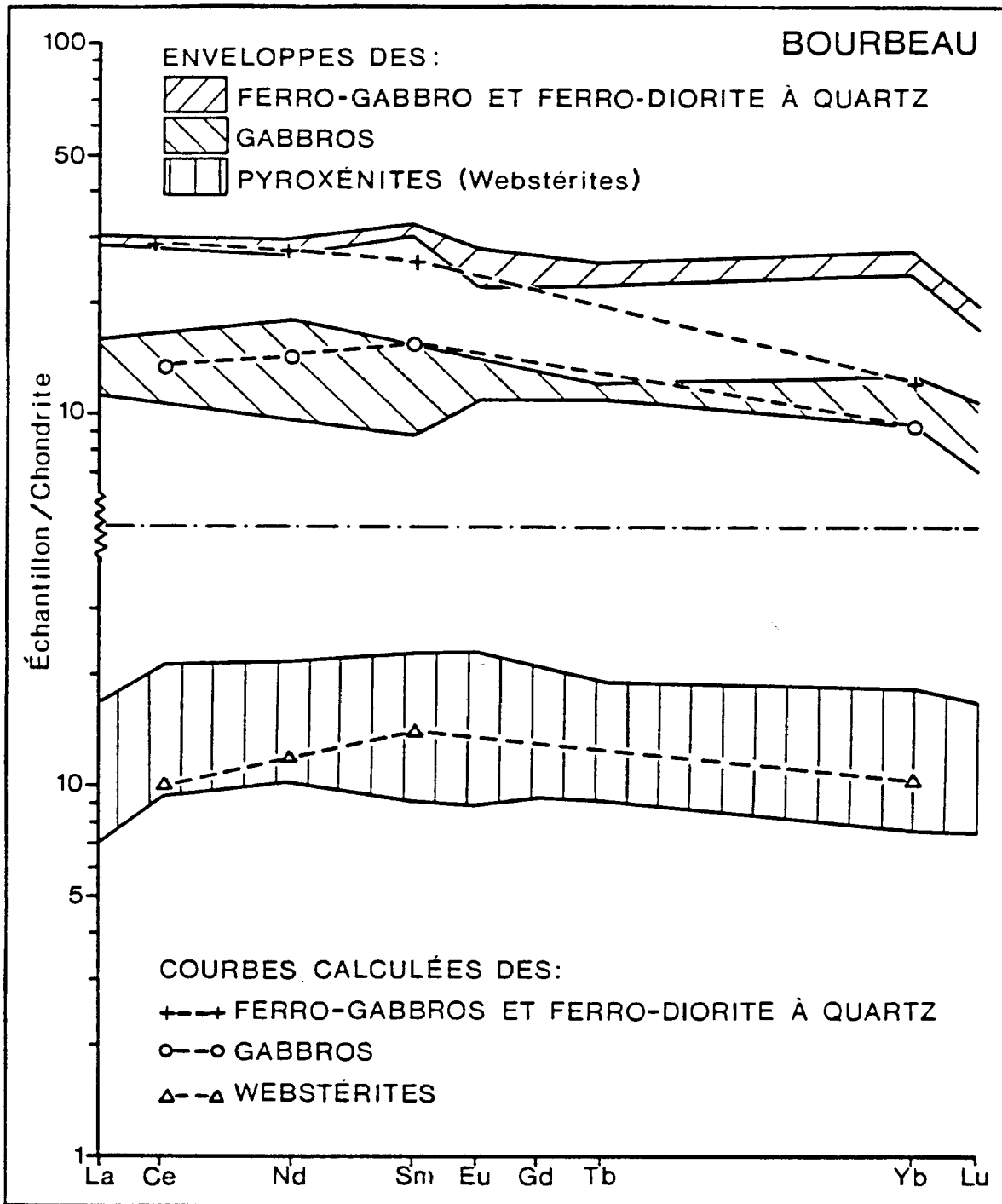


Figure 40 - Courbes de terres-rares calculées pour les assemblages du filon-couche de Bourbeau.

pour les gabbros et les ferro-gabbros à quartz sont aussi reportées sur les enveloppes des assemblages respectifs. Ces courbes théoriques représentent 13.3, 55,7 et 80.8 pourcent de la roche cristallisée.

3.2 - Discussion

La composition en éléments majeurs du liquide résiduel varie continuellement lors de la cristallisation, et s'acidifie (se silicifie) du début à la fin. C'est en tenant compte de ce facteur, que différents coefficients de partage sont utilisés lors des calculs. Nous avons employé les valeurs de Zielinski et Frey (1970) pour les compositions ultrabasiques puisqu'elles fractionnent moins les terres-râres. Les résultats du Ventures ont été obtenus avec les coefficients de partage de Zielinski (1975) et Frey (1980), tandis que les résultats du Bourbeau proviennent de calculs effectués avec les valeurs de Beswick et Carmichael (1978) et de Zielinski (1975). Les coefficients de distribution de l'apatite sont tirés de Nagasawa (1970).

Lors de l'élaboration du modèle théorique, il a été considéré que la cristallisation des roches du complexe s'effectuait toujours à l'équilibre. Un système à non-équilibre pourrait peut-être expliquer aussi la distribution de nos éléments traces. Cependant, l'ampleur et les paramètres de ce possible non-équilibre sont difficiles à connaître et à évaluer. Aussi, l'interprétation de nos données géochimiques d'éléments majeurs et de terres-râres par un modèle de cristallisation fractionnée à l'équilibre s'avère simple et satisfaisante. De ce fait, nous n'avons pas cru nécessaire d'élaborer une contrepartie à cette interprétation.

Les concentrations théoriques de terres-rares, calculées pour les trois filons-couches, ajoutent de la crédibilité à l'hypothèse qu'ils sont, non seulement cogénétiques, mais aussi comagmatiques. La nuance entre les deux termes est importante. Les trois filons-couches ont toujours été considérés comme cogénétiques puisqu'ils proviennent sûrement d'un même épisode d'intrusion. Ce terme pourrait même être étendu à l'ensemble de l'activité ignée et volcanique ayant produit les roches du groupe de Roy. Le comagmatisme cependant, précise que les roches sont produites d'un même magma ou qu'elles proviennent d'une même "chambre" magmatique. Il est normalement plus difficile, avec les terres-rares, de relier pétrogénétiquement des roches ne possédant qu'un lien cogénétique.

Le modèle de cristallisation fractionnée multiséquentielle ne représente sûrement pas tous les facteurs existants réellement dans le processus naturel de cristallisation et doit selon nous, être considéré comme une méthode approximative d'évaluation. Il est évident, aussi que les champs d'utilisation des coefficients de distribution restent à être définis de façon plus précise.

L'utilisation de l'échantillon de la zone de trempe du Roberge-sud, s'est avérée plus concluante qu'il nous était permis de le croire au début. Néanmoins, la pauvreté évidente d'ytterbium pour les concentrations théoriques des gabbros et ferro-gabbros quartzifères de Bourbeau, confirme, selon nous, l'idée d'apports magmatiques ultérieurs à la cristallisation de l'échantillon de bordure de trempe, de façon à enrichir davantage en terres-rares lourdes le liquide qui produira

la totalité des roches du complexe de Cummings. Cet apport supplémentaire pourrait fort bien être le résultat d'une fusion plus poussée de la même source que le premier liquide. Ceci permettrait d'obtenir une réinjection de magma plus ultramafique et de soutirer un peu plus d'élément de terres-rares lourdes de la source. Selon le rapport La/Yb de l'échantillon de la zone de trempe (Ba 79-14 (202)), il est plus que probable, que les roches du manteau ayant produit le magma parent soient composées en partie, de minéraux possédant une forte affinité pour les terres-rares lourdes (à l'exemple du grenat, du clinopyroxène et de l'orthopyroxène).

CONCLUSION

Il a été avancée à la section 2 du premier chapitre, une hypothèse selon laquelle les unités inférieures du Ventures à Opémiska (McMillan, 1972; Duquette, 1982) correspondraient en réalité aux unités du Roberge. Plusieurs observations ont été ammenées afin d'étoffer cette hypothèse. Il ressort néanmoins, de toute cette argumentation, que depuis l'étude de McMillan, le filon-couche de Ventures possède une stratigraphie précise et peu contestée par la majorité des auteurs. Nous ne sommes pas en position dans cette étude, d'infirmier catégoriquement les interprétations de McMillan. Sur la base de nos observations cependant, nous croyons qu'il serait nécessaire de réexaminer la stratigraphie du filon-couche de Ventures sur une échelle régionale, afin de clarifier la situation. Ceci permettrait aux équipes géologiques travaillant dans la région de Chibougamau et de Chapais, de reconnaître plus aisément la partie centrale du complexe de Cummings.

A notre connaissance, cette étude est la première à établir les bases d'une stratigraphie pour le filon-couche de Roberge. La stratigraphie établie à la section 2 du chapitre I pour le Roberge, ne peut être considérée comme finale, puisque selon nos propres observations, les différentes zones identifiées peuvent subir des variations d'épaisseur ou de composition. Ceci rend délicate la caractérisation précise des unités composant le filon-couche. Etant donné la composition ultramafique des roches altérées, il est difficile d'effectuer des observations structurales adéquates en carottes de forage.

Au chapitre I section 1.4, nous avons avancé une hypothèse qui permet, selon les observations faites, de répéter les filons-couches de Roberge, de Ventures et de Bourbeau, sans toutefois noter la répétition du Bourbeau dans la coupe des forages. Cette hypothèse possède une caractéristique intéressante. Les segments nord du Roberge et du Ventures sont en contact magmatique, à l'exemple (selon nous) du Roberge et du Ventures de la région au sud (région d'Opémiska). Notre hypothèse de chevauchement et de plissement implique justement, que les segments nord des deux filons-couches proviennent du sud. Ceci nous amène à formuler une troisième hypothèse, basée sur l'interprétation de nos résultats d'analyse géochimique, et sur l'hypothèse précédente. Le calcul des liquides successifs (chapitre II, section 1.4) indique que le filon-couche de Bourbeau, cristallise à partir d'un magma de composition presque identique au magma responsable de la cristallisation du filon-couche de Ventures. Le Bourbeau pourrait même cristalliser directement du magma résiduel du Roberge. Nos calculs de concentration de

terres-rares appuient cette observation. Ceci est la base de notre hypothèse. Selon nous, le magma originel du Bourbeau, n'a pas migré de la chambre de cristallisation du Ventures, mais plutôt de la chambre de cristallisation du Roberge, emportant avec lui, la majorité du magma différencié de composition gabbroïque. L'expulsion de ce magma, engendré, par des pressions lithostatiques élevées, aurait été la première et la plus violente, de façon à pousser le magma à bonne distance vers la surface (fig.41). L'expulsion du magma originel du Ventures aurait pu être pratiquement synchrone, mais un peu ultérieure. Cette seconde expulsion serait de moindre intensité (après la perte de pression lithostatiques provoquée par le départ du précédent magma) et donc probablement incomplète. Le centre d'expulsion serait le lieu où les deux filons-couches conservent un contact magmatiques. Ce centre d'expulsion pourrait se trouver au sud de la région de Barlow-Cuvier (région d'Opémiska ?).

Au début des travaux, les relations cogénétiques. entre les trois filons-couches ne faisaient aucun doute, selon nous. La question du comagmatisme cependant, même si déjà pressentie par plusieurs auteurs, n'avait pas encore été approchée sous l'angle des analyses d'éléments traces et de leurs implications pétrogénétiques. D'après les résultats de nos travaux, nous sommes maintenant en mesure de conclure que les trois filons-couches ont cristallisé à partir d'un même magma parent et sont donc comagmatiques.

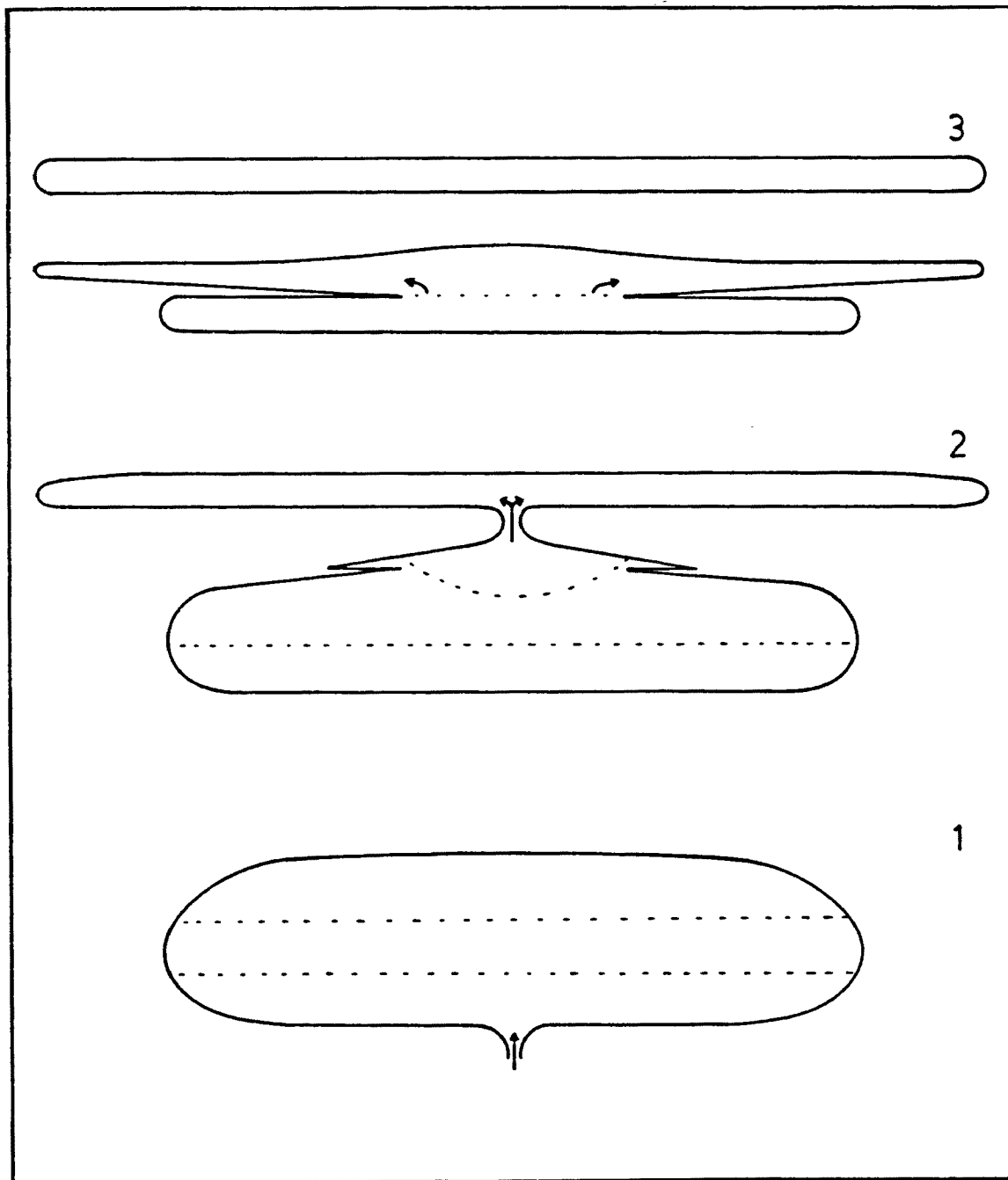


Figure 41 - Représentation schématique de la mise en place du complexe de Cummings (hypothèse).

La différenciation de la roche est notable pétrographiquement. Le passage d'une fraction ultramafique (Roberge) à une fraction ultramafique-mafique (Ventures) et ensuite à une fraction mafique (Bourbeau) permet déjà de supposer un rapport pétrogénétique étroit entre les trois filons-couches. La texture de cumulat visible partout ou en partie dans chacun des filons-couches, montre sans l'ombre d'un doute, que nous sommes en présence d'un phénomène de cristallisation fractionnée. Les résultats d'analyses géochimiques des éléments majeurs confirment cette interprétation de différenciation magmatique, à deux niveaux: interne à chaque filon-couche (surtout Ventures et Bourbeau) et entre les trois unités du complexe. Le litage cryptique (variation graduelle des éléments majeurs) identifié à la grandeur du complexe est une conséquence directe de la cristallisation fractionnée. On note une relation identique lorsque l'on compare nos résultats de terres-rares. Ces derniers indiquent clairement que leur distribution est contrôlée par la minéralogie et la différenciation magmatique. Le premier facteur semble néanmoins prévaloir sur le second. Le modèle pétrogénétique basé sur la distribution des lanthanides à travers le complexe semble valable, malgré qu'il ne représente qu'une approximation d'un phénomène naturel. Ceci est grandement dû à notre connaissance incomplète des différents facteurs régissant la distribution de ces éléments traces, ainsi qu'à l'imprécision des coefficients de distribution utilisés. Les résultats d'analyse des terres-rares confirment cependant, que les trois filons-couches du complexe de Cumings sont en étroites relations comagmatiques.

La répartition stratigraphique des roches du filon-couche de Roberge, ne laisse aucun choix sur la façon dont le magma parent, représentant la totalité du complexe, a été produit. Les évidences d'injections multiples d'un magma de plus en plus ultramafique en composition, ne se trouvent que dans ce filon-couche. Il est raisonnable d'envisager que la fusion partielle répétée d'une même source dans le manteau, a pour effet de produire des liquides progressivement plus ultramafiques. Ces derniers contiennent peu d'éléments traces incompatibles (telles les terres-rares), puisque le premier liquide produit s'est approprié la plus grande partie de ceux-ci.

Toutes les données recueillies dans cette étude indiquent que le complexe de Cummings possède les principales caractéristiques des complexes ignés lités de type Skaergard, Stillwater ou Muskox. Le fait que le complexe de Cummings présente une anomalie au point de vue de la mise en place, n'interdit pas, selon nous, l'interprétation selon laquelle le complexe de Cummings pris dans son ensemble, est un complexe stratiforme de grande étendue.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLARD, G.O. (1976): Doré lake complex and its importance to Chibougamau geology and metallogeny. Ministère des Richesses Naturelles, Québec, DP -368, 446 pages.
- _____, CATY, J.L., CHOWN, E.H., CIMON, J., GOBEIL, A. et BAKER, D. (1979): Stratigraphie et métallogénie de la région de Chibougamau. Association géologique du Canada et Association minéralogique du Canada, Congrès de Québec (Université Laval), livret-guide pour l'excursion B-1, 95 pages.
- ALLEGRE, C.J., TREUIL, M., MINSTER, J.F., MINSTER, B., et ALBAREDE, F. (1977): Systematic use of trace element in igneous process, part I: Fractional crystallisation processes in volcanic suites. Contr. Min. Petro., vol. 60, pp.57-75.
- ARCHER, P. (1983): Interprétation de l'environnement volcano-sédimentaire de la formation de Blondeau dans la section stratigraphique du lac Barlow, Chibougamau. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Québec, (en préparation)
- AVRAMTCHEV, L. (1973): Géologie du quart sud-ouest du canton de Barlow. Ministère des Richesses Naturelles, Québec, DP-120, 36 pages.
- BARLOW, A.E., GWILLIM, J.C. et FARIBAUT, E.R. (1912): Rapport sur la géologie et les ressources minières de la région de Chibougamau, Québec. Ministère de la Colonisation, des mines et des Pêcheries, Bureau des Mines, Québec.
- BESWICK, A.E., et CARMICHAEL, I.S.E. (1978): Constraints on mantle source compositions imposed by phosphorus and rare-earth elements. Cont. Min. Petrol., vol. 67, pp. 317-330.

- BOUDREAU, A.P. (1977): Péetrographie et géochimie des laves et des filons-couches mafiques et ultramafiques du canton de Richardson, Chibougamau, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Québec, 117 pages.
- CAMPBELL, I.H. (1978): Some problems with the cumulus theory. Lithos, no.11, pp.311-323.
- CATY, J.-L. (1976): Géologie de la demie ouest du canton de Richardson, Min. des Richesses Naturelles du Québec, DP-342
- _____, (1977): Géologie de la demie est du canton de Richardson, comté d'Abitibi-est. Min. des Richesses Naturelles du Québec, DPV-447.
- _____, (1979): Géologie du canton de Richardson. Min. des Richesses Naturelles du Québec, DP-606.
- CHARBONNEAU, J.-M. (1981): Canton de Dolomieu ($\frac{1}{2}$ E) et de Daubrée ($\frac{1}{4}$ SW). Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, rapport préliminaire, DP-844, 27 pages.
- CIMON, J. (1977): Quart, sud-est du canton de Queylus. Ministère des Richesses Naturelles du Québec, rapport préliminaire, DPV-448.
- _____, (1979): Géologie structurale des roches archéennes.; dans: Stratigraphie et métallogénie de la région de Chibougamau, par Allard et al., Association géologique du Canada et Association minéralogique du Canada, Congrès de Québec (Université Laval), livret-guide excursion B-1, 95 pages.
- CORYELL, C.D., CHASE, J.W. et WINCHESTER, J.W. (1963): A procedure for geochemical interpretation of terrestrial rare earth abundance patterns. J.Geophys. Res., no.68, pp. 559-576.
- COX, K.G., BELL, J.D. et PANKHURST, R.J. (1979): The interpretation of igneous rocks. Allen and Unwin Ltd., 450 pages
- DALLMEYER, R.D., MAYBIN, A.H. et DUROCHER, M.E. (1975): Timing of Kenoran metamorphism in the Eastern Abitibi greenstone belt, Québec; evidence from A40/A39., ages of hornblende and biotite from post-Kinematic plutons. J. Can. des Sci. de la terre, Vol.12, no. 11, pp. 1864-1873.
- DOSTAL, J. et MUEKE, G.K. (1978): Trace element geochemistry of the peridotite-gabbro-basalt suite from DSDP leg 37. Earth Plan. Sci. Let., vol. 40, pp. 415-422.

- DUQUETTE, G. (1970): Stratigraphie de l'Archéen et relations métallogéniques dans la région de Chibougamau. Ministère des Richesses Naturelles, Québec, Etude spéciale 8, 18 pages.
- _____, (1982): Demie nord des cantons de McKenzie et de Roy et quart nord-ouest du canton de McCorkill. Ministère Energie et Ressources, Québec, DPV-837, 72 pages.
- EVENSEN, N.M., HAMILTON, P.J., et O'NIONS, R.K (1978): Rare earth abundances in chondritic meteorites. Geochim. Cosmochim. Acta, no.12, pp.1199-1212.
- FLANAGAN, F.J. (1969): U.S. Geological Survey standards- II. First compilation of data for the new U.S.G.S. rocks. Geochim. Cosmochim. Acta, no. 33, pp. 81-120.
- FREY, F.A. (1980): Application of neutron activation analysis in mineralogy and petrology. Dans G.K. Muecke (Ed.), Neutron activation analysis in the geosciences, Min. Ass. Can., Short course handbook, vol.5, pp. 167-210.
- _____, HASKIN, L.A., et HASKIN, M.A. (1971): Rare earth abundances in some ultramafic rocks. J. Geophys. res., vol.76, no.8, pp.2057-2070.
- GOBEIL, A. (1973): Géologie de la demie sud du canton de Cuvier, Québec. Ministère des Richesses Naturelles, Québec, DP-201, 18 pages.
- GOODWIN, A.M. et RIDDLER, R.H. (1970): The Abitibi orogenic belt: in Symposium on basins and geosynclines of the Canadian Shield. Ed. A.J. Baer, Commission géologique du Canada, Paper 70-40, pp. 1-30.
- HANSON, G.N. (1980): Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., vol.8, pp.371-406.
- HARNOIS, L. (1982): Géochimie des terres-rares dans le complexe ophiolitique du Mont Orford (Province de Québec, Canada). Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, Québec, 125 pages.
- HELLMAN, P.L., SMITH, R.E., et HENDERSON, P. (1979): The mobility of rare-earth element: evidence and implications from selected terrains affected by burial metamorphism. Can. Min. Petrol., vol.71, pp.23-44.
- HESS, H.H. (1956): Igneous and tectonic structures of the Stillwater complex, Montana. Geol. Soc. Amer. Mem. no.80, 230 pages.
- IRVINE, T.N. (1970): Heat transfer during solidification of layered intrusions. I. Sheets and sills, J. Can. Sci. Terre vol.7, pp.1031-1061.
- _____, (1975): Crystallization sequences in the Muskox intrusion and other layered intrusion - II Origin of chromitite layers and similar deposits of other magmatic ores. Geochim. Cosmochim. Acta, no.39, pp.991-1020.

- IRVINE, T.N. (1979): Rocks whose composition is determined by crystal accumulation and sorting. dans: Yoder, Jr., H.S. (ed.); The evolution of igneous rocks. Fiftieth Anniversary Perspective, Princeton University Press, New-Jersey, pp.245-306.
- _____, et SMITH, C.H. (1967): The Ultramafic rocks of the Muskox intrusion, Northwest Territories, Canada. In P.J.Wyllie (Ed.), Ultramafic and related rocks, Wiley, New-York, N.Y., pp38-49.
- IRVING, A.J. (1978): A review of experimental studies of crystal/liquid trace element partitioning. Geo. Cosmo. Acta, vol. 42, pp. 743-770.
- JACKSON, E.D. (1967): Ultramafic cumulates in the Stillwater, Great Dyke and Bushveld intrusions. In P.J.Wyllie (Ed.), Ultramafic and related rocks., Wiley, New-York, N.Y., pp.20-38.
- JENSEN, L.S. (1976): A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Min. Nat.Resour. Ontario, Misc. Pap., no.66, 22 pages.
- KUNO, H. (1968): Differentiation of basalt magma. In Hess, H.H. et Poldervaart, A. (éditeurs); Basalt-The Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition. Intersciences Publishers, John Wiley & Sons. pp. 623-688.
- MacRAE, N.D. (1969): Ultramafic intrusions of the Abitibi area, Ontario. J.Can.Sci. Terre., no.6, pp.281-303.
- MASUDA, A. (1962): Regularities in variation of relative abundances of lanthanide element and an attempt to analyse separation-index patterns of some minerals. J.Earth Sci., no.10, pp.173-187.
- McBIRNEY, A.R., et NOYES, R.M. (1979): Crystallization and layering of the Skaergaard intrusion. Journal of Petrology, vol.20, part 3, pp487-554.
- McMILLAN, R.H. (1972): Petrology, geochemistry and wallrock alteration at Opemiska, a vein copper deposit crosscutting a layered Archean ultramafic-mafic sill. Thèse de Doctorat, The University of Western Ontario, London, Canada, 169 pages.
- MILLER, C.F., et MITTFELDELT, D.W. (1982): Depletion of light rare-earth elements in felsic magmas. Geology, vol. 10, pp. 129-133.
- MINEAU, R. (1982): Caractérisation géochimique de la kimberlite de l'île Bizard (Québec). Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, Québec, 78 pages.
- MUECKE, G.K. (1980): Neutron activation analysis in the geosciences. Mineralogical Association of Canada, Short course handbook, vol.5.
- NAGASAWA, H. (1970): Rare earth concentrations in zircons and apatites and their host dacites and granites. Earth Plan. Sci. Let., vol.9 pp.359-364.

- NALDRETT, A.J. et MASON, G.D. (1968): Contrasting archean ultramafic igeous bodies in Dundonald and Clergue townships; Ontario, J.Can. Sci. terre, no.5, pp.111-143
- NORMAN, G.W.H. (1937-38): Opemiska East Half and West Half. Commission Géologique du Canada, Cartes 410A et 602A.
- PASTER, T.P., SCHAUWECKER, D.S., et HASKIN, L.A. (1974): The behavior of some trace element during solidification of the Skaergaard layered series. Geochim. Cosmochim. Acta, no.38, pp. 1549-1577.
- POTTS, M.J., et CONDIE, K.C. (1971): Rare earth elements distributions in a proto-stratiform ultramafic intrusion, Contr. Min. Petro., vol. 33, pp 245-248.
- STOCKWELL, C.H. (1968): Geochronology of Stratified Rocks of the Canadian Shield. J.Can. Sci. Terre., vol.5, pp. 693-698.
- WAGER, L.R. et BROWN, G.M. (1968): Layered igeous Rocks. Oliver and Boyd Ltd., London, 588 pages.
- WATSON, E.B. (1979): Apatite saturation in basic to intermediate magmas. Geophys. Res. Let., vol.6, no.12, pp. 937-940.
- WILLEMSE, J. (1969): The geology of the Bushveld igneous complex, the largest repository of magmatic ore deposits in the world, dans H.D.B. Wilson (Ed.), Magmatic ore deposits, a symposium. Econ. Geol. Monograph 4, pp.1-22.
- ZIELINSKI, R.A. (1975): Trace element evaluation of a suite of rocks from Reunion Island, Indian Ocean. Geo. Cosmo. Acta, vol.39 pp.713-734.
- _____, et FREY, F.A. (1970): Gough Island: evaluation of a fractionnal crystallization model. Cont. Min. Petro., vol. 29, pp. 242-254.

ANNEXE

ANNEXE A



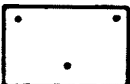
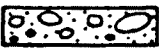
L'annexe A (en pochette) représente la coupe des forages de la ligne de canton Barlow-Cuvier. Les trois parties A1, A2 et A3, sur lesquelles les échantillons utilisés lors de cette étude ont été portés, sont reproduites avec la permission de André Gobeil, géologue résident de Chibougamau pour le compte du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.

La légende de cette coupe se trouve à la page suivante du texte.




LÉGENDE

**DE LA COUPE STRATIGRAPHIQUE DES FORAGES
DE LA LIGNE DE CANTON BARLOW-CUVIER ,
EN ANNEXE (A1, A2 et A3)**

SYMBOLES LITHOLOGIQUES

Roches volcaniques archéennes		Filons-couches
V6	Andésite	
V6 ^o	Andésite amygdalaire	 BOURBEAU
V9	Tuf	
Roches intrusives		
3G	Gabbro	
3GQ	Gabbro quartzifère	 VENTURES
3D	Diorite	
3DQ	Diorite quartzifère	 ROBERGE
4P	Péridotite	
4D	Dunite	
4Y	Pyroxénite	 Dépôts quaternaires

SIGNES CONVENTIONNELS

- Ba 79-01  Forage incliné
-  Limite des filons-couches
-  Limite des formations
- 481 Échantillon
 - 531★ Échantillon avec lame mince (1)
 - 485★★ (1) + analyse de terres rares (2)
 - 577★★★ (1) + (2) + éléments majeurs
-

ANNEXE B

L'annexe B est un tableau sommaire de la composition minéralogique des échantillons analysés géochimiquement dans cette étude. Une estimation visuelle est à la base des pourcentages présentés dans ce tableau.

ANNEXE B

Echantillons	Noms	Minéraux (%)							Textures (%)		
		Ser	Cpx	Opx	Pla	Amp	Apa	Opa	Autres	Cum.	Inter-Cum.
<u>Roberge-sud</u>											
Ba 79-12 (616.1)	serpentine	80							17 chlorite	90	10
Ba 79-12 (200.5)	serpentine	75							20 chlorite	90	10
Ba 79-14 (922.8)	serpentine	80	5						15 carbonate	85	15
Ba 79-14 (1230.7)	méta-wehrlite pyroxénitique	25	75						opaque	75	25
Ba 79-14 (837)	méta-wehrlite	30	65					5		70	30
Ba 79-14 (755)	méta-wehrlite pyroxénitique	25	75						opaque amphibole	75	25
Ba 79-14 (365)	méta-clinopyroxénite	10	85			5			opaque	90	10
Ba 79-14 (301.3)	méta-clinopyroxénite	20	75			5			opaque	80	20
Ba 79-14 (215)	méta-pyroxénite		55			20			20 carbonate		
Ba 79-14 (202)	méta-gabbro	5	40		35	10			5 chlorite 10 carbonate chlorite opaque		
<u>Roberge-nord</u>											
Ba 79-04 (574.6)	serpentine	75				3		22		85	15
Ba 79-09 (471.1)	serpentine	85						15		90	10
Ba 79-09 (695.8)	serpentine	80						20		80	20
Ba 79-08 (465.3)	méta-wehrlite pyroxénitique	35	20			40		5		50	50
Ba 79-05 (755.9)	méta-pyroxénite wehrlitique	30	60						10 chlorite	40	60
Ba 79-05 (607)	meta-gabbro		5		20	55			20 carbonate		
<u>Ventures-sud</u>											
Ba 79-06 (457.1)	méta-clinopyroxénite	10	75			15			carbonate	90	10
Ba 79-06 (376)	méta-pyroxénite altérée					70			30 carbonate		
Ba 79-06 (531.2)	méta-gabbro	5			50	35		10	carbonate		
Ba 79-05 (370.3)	méta-gabbro	2	30		40	20	1	17			
Ba 79-05 (469.5)	méta-gabbro	5			50	40		5			
Ba 79-05 (268.3)	méta-gabbro	1			50	45	1	3			

Echantillons	Noms	ANNEXE B (suite)								Textures (%)	
		Minéraux (%)								Cum.	Inter-cum.
		Ser	Cpx	Opx	Pla	Amp	Apa	Opa	Autres		
<u>Ventures-nord</u>											
Ba 79-08 (520)	méta-clinopyroxénite	100								100	0
Ba 79-08 (599.2)	méta-clinopyroxénite	5	90			5			opaque	90	10
Ba 79-08 (555.9)	méta-pyroxénite	15	80			5			opaque	80	20
Ba 79-08 (474.6)	méta-pyroxénite wehrlitique	30	50			10		10		60	40
Ba 79-08 (657)	méta-pyroxénite	20	80						opaque	80	20
Ba 79-03 (225)	méta-gabbro		10		50	38	1		Opaque		
Ba 79-03 (374.7)	méta-gabbro		5		45	40	1	9			
Ba 79-03 (446.1)	granophyre				50	10			30 quartz 10 chlorite		
<u>Bourbeau</u>											
Ba 79-01 (999)	méta-gabbro		45	10	30				10 5 chlorite		
Ba 79-01 (1347)	méta-gabbro		35	15	35				5 10 chlorite		
Ba 79-01 (637)	meta-pyroxénite	10	40	25	10	5			10	70	30
Ba 79-01 (577)	méta-pyroxénite altérée	25	5	5	5	40			15 5 épidote	80	20
Ba 79-01 (531)	méta-pyroxénite altérée	30	5		5	35			20 5 épidote	80	20
Ba 79-01 (497)	méta-pyroxénite altéré	15				70			5 10 épidote et chlorite		
Ba 79-01 (712)	méta-pyroxénite	5	35	30	15	5			10 chlorite	70	30
Ba 79-01 (485)	méta-pyroxénite altérée	20				60			5 15 chlorite et épidote		
Ba 79-01 (1565.2)	méta-gabbro à quartz		10		25	25			10 10 quartz 20 chlorite et épidote		
Ba 79-16 (200)	méta-diorite à quartz				30	30			5 15 quartz 20 chlorite et épidote		

