

ES 026

BATHOLITE DE BOURLAMAQUE

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 



GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES
DIRECTION GÉNÉRALE DES MINES

E.S. 26

Batholite de
BOURLAMAQUE

Batholith

C. CAMPIGLIO

SERVICE DES GÎTES MINÉRAUX

QUÉBEC
1977

AVERTISSEMENT

L'équipe de numérisation tient à informer le lecteur qu'il y a des erreurs dans la pagination. Le document est donc complet.

Page manquante : p. 206

MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DU QUEBEC

DIRECTION GÉNÉRALE DES MINES

E.S. 26

Batholite de
BOURLAMAQUE

Batholith

C. CAMPIGLIO

QUÉBEC
1977

AVANT-PROPOS

Cette étude est une contribution à la connaissance d'un aspect du plutonisme archéen du Bouclier canadien représenté par le batholite de Bourlamaque dans la région de Val-d'Or. Cette région est particulièrement intéressante tant au point de vue scientifique qu'au point de vue économique. En effet, elle permet:

- d'étudier des granitoïdes reconnus comme les plus anciens et d'obtenir des renseignements sur les processus responsables du développement et de l'évolution de la croûte terrestre;
- de vérifier le comportement de certains paramètres géochimiques d'un granitoïde quartzodioritique dans un faciès de faible métamorphisme.
- et de comparer, pour la prospection minérale, les traits distinctifs qui caractérisent la géochimie du batholite de Bourlamaque à ceux d'intrusions de même genèse.

Malgré l'attention spéciale portée à cette région, le cadre géologique local offre encore aujourd'hui beaucoup de points obscurs, surtout au niveau d'une synthèse interdisciplinaire, à cause de la complexité intrinsèque de la géologie de l'Archéen et de la carence d'études spécialisées et détaillées. Dans cette optique, nous pensons que cette étude n'est pas une fin en soi, mais que si l'on veut en tirer profit, elle doit être située dans un ensemble bien plus vaste qui devra comprendre l'étude comparée des autres aspects géologiques locaux tels que la stratigraphie, la structure, le volcanisme, le métamorphisme et la minéralisation.

FOREWORD

This study is a contribution to the knowledge of one aspect of Archean plutonic activity in the Canadian Shield as evidenced by the Bourlamaque batholith in the Val-d'Or area; a region which is particularly interesting both from a scientific and economic point of view. In fact, the region allows us:

- to study granitoids which are among the oldest recognized and to obtain information pertaining to the processes responsible for the development and evolution of the earth's crust;
- to verify the behaviour of certain geochemical parameters in a quartzodioritic granitoid subject to low-grade metamorphism.
- and to compare, for mineral exploration purposes, the distinctive features which characterize the geochemistry of the Bourlamaque batholith with those of other intrusions having the same genetic origin.

Notwithstanding the special attention given to this region, the local geologic framework is to this day still obscure on many points and the synthesis between disciplines is particularly difficult to achieve because of the intrinsic complexity of Archean geology and the number of detailed and specialized studies which have been undertaken. Therefore we believe that this study is not an end in itself and to be useful must be considered in its proper context, which is much larger and includes other geologic aspects such as local stratigraphy, structure, volcanism, metamorphism and mineralization.

Malgré l'attention spéciale portée à cette région, le cadre géologique local offre encore aujourd'hui beaucoup de points obscurs, surtout au niveau d'une synthèse interdisciplinaire, à cause de la complexité intrinsèque de la géologie de l'Archéen et de la carence d'études spécialisées et détaillées. Dans cette optique, nous pensons que cette étude n'est pas une fin en soi, mais que si l'on veut en tirer profit, elle doit être située dans un ensemble bien plus vaste qui devra comprendre l'étude comparée des autres aspects géologiques locaux tels que la stratigraphie, la structure, le volcanisme, le métamorphisme et la minéralisation.

Notwithstanding the special attention given to this region, the local geologic framework is to this day still obscure on many points and a synthesis between disciplines is particularly difficult to achieve because of the intrinsic complexity of Archean geology and the number of detailed and specialized studies which have been undertaken. Therefore we believe that this study is not an end in itself and to be useful must be considered in its proper context, which is much larger and includes other geologic aspects such as local stratigraphy, structure, volcanism, metamorphism and mineralization.

RESUME

Le batholite archéen de Bourlamaque est situé dans le district minier de Val-d'Or, Abitibi, Québec. D'une superficie d'environ 65 milles carrés (170 km²), la métadiorite de Bourlamaque se compose d'au moins deux venues magmatiques, consanguines et différenciées, intrusives dans une séquence de métavolcanites archéennes.

Afin de décrire la géochimie de cette intrusion dont le métamorphisme appartient au faciès des schistes verts et de donner une interprétation de l'origine d'une masse ignée reconnue comme l'une des plus anciennes, quatre-vingt-deux échantillons prélevés dans l'intrusion principale, les dykes synplutoniques et les dykes résiduels ont été analysés tout d'abord du point de vue pétrographique par la méthode optique. Ensuite l'analyse a été effectuée du point de vue chimique en dosant vingt-deux éléments selon les méthodes chimiques traditionnelles: la colorimétrie, la volumétrie, l'absorption atomique et la fluorescence X. D'autres données ont été obtenues par l'analyse à la microsonde de certains minéraux et par l'examen pétrographique d'une quarantaine d'autres échantillons.

Le métamorphisme local semble avoir été plutôt isochimique, sauf en ce qui concerne le CO₂ et le Cu: ainsi la redistribution du cuivre durant le métamorphisme peut s'avérer intéressante pour l'exploration minière.

ABSTRACT

The Bourlamaque batholith, of Archean age, outcrops in the Val-d'Or mining camp of Abitibi, Québec, where it covers an area of 65 square miles (170 km²). At least two injections of magma into the enclosing Archean metavolcanic rocks have produced a metadiorite body composed of consanguineous and differentiated portions.

In order to describe the geochemistry of this intrusion, now metamorphosed to the greenschist facies, and to interpret its origin, 82 samples of the principal intrusion, of synplutonic dykes and of related later dykes were studied petrographically. These samples were later analysed for 22 chemical elements by classical chemical methods, atomic absorption and X-Ray fluorescence. Further information was also obtained from the microprobe study of certain minerals and from petrographic study of an additional 40 samples.

Local metamorphism appears to have been essentially isochemical except for CO₂ and Cu. The redistribution of copper during metamorphism seems potentially important for mineral exploration.

Par l'association de plusieurs critères pétrologiques et géochimiques, les roches de Bourlamaque, pauvres en Mg, Cr et Ni et en K, Rb et Sr, s'apparentent d'une part aux roches calco-alkalines et montrent d'autre part une affinité partielle avec les roches de la série tholéitique des arcs insulaires récents.

Les données pétrographiques et géochimiques ainsi que les résultats de la pétrologie expérimentale incitent à assigner l'origine des roches de Bourlamaque à un processus de différenciation magmatique profonde, caractérisée par un fractionnement par densité d'un résidu essentiellement pyroxénitique. La métadiorite de Bourlamaque, par ses analogies géochimiques avec les métavolcanites locales, paraît être le produit intrusif du même magmatisme qui a engendré la séquence volcanique.

Enfin les différents produits du magmatisme archéen de l'Abitibi sont expliqués uniquement par des conditions physico-chimiques différentes de la cristallisation, telles que leur teneur en eau et la profondeur de leur solidification.

The Bourlamaque batholith, poor in Mg, Cr, Ni, K, Rb and Sr, is related to the calc-alkaline suite but at the same time shows a partial similarity to the recent island arc tholeiitic suite.

The results of certain experimental petrology studies combined with the petrographic and geochemical character of the Bourlamaque batholith suggest that its origin can be traced to a process of magmatic fractionation that produced at depth both the Bourlamaque batholith parent liquids and a denser pyroxenitic residue. From its geochemical similarity to neighboring metavolcanic rocks, the Bourlamaque metadiorite seems to be an intrusive product of the same magmatism which produced the volcanic sequence.

Finally, it is concluded that the different products of Abitibi Archean magmatism, as exemplified by rocks of the Val-d'Or area, can be explained solely by different physico-chemical conditions of crystallisation such as magmatic water content and depth of solidification.

REMERCIEMENTS

Des remerciements s'adressent au ministère des Richesses naturelles du Québec qui a financé les travaux sur le terrain et particulièrement au Dr A.F. Laurin, directeur des services géologiques et à M. M. Latulippe. C'est en effet à M. Latulippe, géologue résident du ministère des Richesses naturelles à Val-d'Or, que revient en partie la paternité de ce sujet de recherche.

Ce mémoire étant issu d'une thèse de doctorat présentée au département de Génie minéral (géologie) de l'Ecole Polytechnique de Montréal, je tiens à remercier mon directeur de thèse, le professeur R. Darling, ainsi que les professeurs G. Pouliot, L. Gélinas, G. Valiquette et M. David pour les conseils avisés qu'ils ont bien voulu m'apporter durant mes recherches.

Ma gratitude s'adresse également au Conseil National de Recherches pour l'aide financière qui a permis de réaliser les travaux de laboratoire.

ACKNOWLEDGMENTS

The author wishes to thank the Quebec Department of Natural Resources which financed the field work and more particularly Dr. A. F. Laurin, director of Geologic Services and Mr. M. Latulippe, resident geologist for the Department at Val-d'Or. In fact, it is Mr. Latulippe who originally conceived and proposed the research topic.

This memoir results from a doctoral thesis presented at the Geological Engineering Department of L'Ecole Polytechnique of Montreal, I wish to thank my thesis director, professor R. Darling as well as professor G. Pouliot, L. Gélinas, G. Valiquette and M. David for the judicious counselling which they kindly provided during the course of my research.

I also wish to acknowledge my gratitude to the National Research Council for financial assistance which provided for the laboratory work.

TABLES DES MATIERES / TABLE OF CONTENTS

	Page
INTRODUCTION / INTRODUCTION	1
Géologie générale / <i>General geology</i>	1
Ceinture volcanique de l'Abitibi / <i>The Abitibi volcanic belt</i>	3
Géologie locale / <i>Local geology</i>	5
Roches volcaniques / <i>Volcanic rocks</i>	7
Roches sédimentaires / <i>Sedimentary rocks</i>	8
Roches intrusives / <i>Intrusive rocks</i>	12
Minéralisation / <i>Mineralization</i>	14
 GEOLOGIE ET PETROGRAPHIE / GEOLOGY AND PETROGRAPHY	 19
Travaux antérieurs / <i>Previous work</i>	21
Relations de terrain / <i>Field relationships</i>	24
Aperçu pétrographique / <i>Petrographic outline</i>	29
Examen macroscopique / <i>Macroscopic study</i>	30
Examen microscopique / <i>Microscopic study</i>	32
Classification / <i>Classification</i>	38
Discussion / <i>Discussion</i>	43
 GEOCHIMIE / GEOCHEMISTRY	 48
Matériel examiné / <i>Material studied</i>	52
Dosages de Zr, Mo, et W / <i>Zr, Mo and W determinations</i>	53
Présentation des données / <i>Data presentation</i>	54
Histogrammes des éléments / <i>Element histograms</i>	54
Diagrammes de variation / <i>Variation diagrams</i>	57
Relation entre les éléments / <i>Relationship between elements</i>	63
Le batholite comme entité unique / <i>The batholith as a unique entity</i>	66
Le batholite comme entité double / <i>The batholith as a twin entity</i>	71
Discussion / <i>Discussion</i>	74
Conclusions / <i>Conclusions</i>	77
Rapports géochimiques / <i>Geochemical ratios</i>	78
Potassium et rubidium / <i>Potassium and rubidium</i>	81
Calcium et strontium / <i>Calcium and strontium</i>	85
Potassium et strontium / <i>Potassium and strontium</i>	89
Fer ferreux et fer ferrique / <i>Ferrous and ferric iron</i>	92
Fer et magnésium / <i>Iron and magnesium</i>	97
Lithium et magnésium / <i>Lithium and magnesium</i>	99
Rapports Cr/Mg et Ni/Mg / <i>Cr/Mg and Ni/Mg ratios</i>	101
Rapports Co/Mg et V/Mg / <i>Co/Mg and V/Mg ratios</i>	103
Rapports Co/Fe et V/Fe / <i>Co/Fe and V/Fe ratios</i>	105
Conclusions / <i>Conclusions</i>	107
Distribution des éléments / <i>Distribution of the elements</i>	110
Abondance des éléments / <i>Abundance of element</i>	115

	Page
PETROLOGIE / PETROLOGY	120
Aperçu des séries magmatiques / <i>Outline of the magmatic series</i>	120
Quelques aspects chimiques et génétiques du volcanisme archéen du Bouclier Canadien / <i>A few chemical and genetic aspects of Archean volcanism in the Canadian Shield</i>	124
Classification pétrologique du batholite / <i>Petrological classification of the batholith</i>	126
Comparaison du chimisme de Bourlamaque avec celui des volcanites locales / <i>A comparison of the chemistry of the Bourlamaque batholith with that of the local volcanic rocks</i>	143
Origine du batholite de Bourlamaque / <i>Origin of the Bourlamaque batholith</i> ..	146
SOMMAIRE ET CONCLUSIONS / SUMMARY AND CONCLUSIONS	164
REFERENCES / REFERENCES	169
ANNEXES / APPENDICES	
A - Liste et localisation des échantillons étudiés par voie chimique / <i>List and samples location studied by chemical means</i>	179
B - Préparation des échantillons et méthodes d'analyse / <i>Sample preparation and analytical methods</i>	181
C - Liste des analyses chimiques / <i>List of chemical analyses</i>	201
D - Distribution géographique de quelques éléments chimiques dans le batholite de Bourlamaque / <i>The geographic distribution of a few chemical elements in the Bourlamaque Batholith</i>	207

FIGURES

1 - Carte géologique et minéralisation de la région de Val-d'Or / <i>Map of the geology and mineralization in the Val-d'Or region</i>	6
2 - Stratigraphie de l'Archéen de la région de Val-d'Or / <i>Archean stratigraphy in the Val-d'Or region</i>	10
3 - Localisation du batholite de Bourlamaque / <i>Location map of the Bourlamaque batholith</i>	19
4 - Assimilation d'enclaves volcaniques / <i>Assimilation of volcanic xenoliths</i>	27
5 - Distribution de la calcicité du plagioclase normatif / <i>Distribution of the calcicity in normative plagioclase</i>	39
6 - Distribution de la quantité de plagioclase normatif dans le batholite / <i>Distribution of the quantity of normative plagioclase in the batholith</i> ..	39
7 - Variation de la calcite du plagioclase normatif en fonction de l'indice de Larsen modifié / <i>Variation of the calcicity of normative plagioclase as a function of the modified Larsen index</i>	40
8 - Classification des roches de Bourlamaque d'après la teneur normative en feldspaths / <i>Classification of the Bourlamaque rocks according to their content of normative feldspars</i>	42
9 → 12 - Diagrammes de variation des éléments chimiques de Bourlamaque en fonction de l'indice de Larsen modifié / <i>Variation diagrams of the Bourlamaque chemical elements as a function of the modified Larsen index</i> ..	58-61
13 - Variations de Rb et K ₂ O et du rapport K/Rb en fonction de K / <i>Variations of Rb and K₂O and of K/Rb ratio as a function of K</i>	83
14 - Diagrammes Ca vs Sr/Ca et Sr vs Ca / <i>Ca vs Sr/Ca and Sr vs Ca diagrams</i>	88
15 - Variations de K en fonction de Sr et de leur rapport en fonction de l'indice de Larsen modifié / <i>Variations of K as a function of Sr and of their ratio as a function of the modified Larsen index</i>	90
16 - Variations de FeO et de Fe ₂ O ₃ et de leur rapport en fonction de l'indice de Larsen modifié / <i>Variations of FeO and of Fe₂O₃ and of their ratio as a function of the modified Larsen index</i>	93

	Page
17 - Variations des rapports Li/Mg et Fe/Mg en fonction de l'indice de Larsen modifié / <i>Variations of the Li/Mg and Fe/Mg ratios as a function of the modified Larsen index</i>	98
18 - Variation du rapport Cr/Mg en fonction de l'indice de Larsen modifié / <i>Variation of the Cr/Mg ratio as a function of the modified Larsen index</i>	102
19 - Variation du rapport V/Mg en fonction de l'indice de Larsen modifié / <i>Variation of the V/Mg ratio as a function of the modified Larsen index</i>	102
20 - Variation du vanadium en fonction du fer et du magnésium / <i>Variation of vanadium as a function of iron and of magnesium</i>	104
21 - Variations des rapports Co/Fe et V/Fe en fonction de l'indice de Larsen modifié / <i>Variations of the Co/Fe and V/Fe ratios as a function of the modified Larsen index</i>	106
22 - Diagrammes silice versus alcalis (A. McDonald et Katsura, 1964) et Ne - O1 - Qz (B. Yoder and Tilley, 1962) / <i>Silica vs alkalis diagrams (A. McDonald and Katsura, 1964) and Ne - O1 - Qz (B. Yoder and Tilley, 1962)</i>	127
23 - Diagramme AFM du batholite de Bourlamaque / <i>AFM diagram of the Bourlamaque batholith</i>	127
24 - Diagramme SiO ₂ vs. FeO/MgO montrant (A) quelques suites ignées (Miyashiro, 1973) et (B) la localisation des roches de Bourlamaque / <i>SiO₂ vs FeO/MgO diagram showing (A) some igneous suites (Miyashiro, 1973) and (B) the location of the Bourlamaque rocks</i>	130
25 - Domaines des séries magmatiques d'après Kuno (1960) / <i>Spheres of the magmatic series after Kuno (1960)</i>	130
26 - Comparaison, sur les diagrammes AFM et KCN de la lignée de Bourlamaque avec celles d'autres suites calco-alcalines (Nockolds et Allen, 1953) / <i>Comparison, on AFM and KCN diagrams, of the Bourlamaque lineage with those of other calco-alkaline suites (Nockolds and Allen, 1953)</i>	133
27 - Diagramme Na ₂ O - K ₂ O - CaO du batholite de Bourlamaque et des dykes synplutoniques / <i>Na₂O - K₂O - CaO diagram of the Bourlamaque batholith and the synplutonic dikes</i>	134
28 - Les domaines récents: (A) calco-alcalin et (B) tholéitique des arcs insulaires (extrait de Jakes et Gill, 1970) / <i>Recent spheres: (A) calco-alkaline and (B) Island arc tholeiites (abstract from Jakes and Gill, 1970)</i>	134
29 - Diagramme suggéré pour séparer la série des tholéites océaniques de la série calco-alcaline / <i>Suggested diagram to separate the oceanic tholeites from the calco-alkaline series</i>	134
A.1 - Carte de localisation des échantillons (en pochette) / <i>Sample location map (in pocket)</i>	
B.1 - Organigramme de travail adopté pour la préparation des échantillons / <i>Work sheet adopted for the preparation of samples</i>	185
B.2 - Histogrammes montrant la distribution des bouclages des analyses chimiques / <i>Histograms showing the loop distribution of the chemical analyses</i>	186
D.1 - Distribution de SiO ₂ dans le batholite de Bourlamaque / <i>Distribution of SiO₂ in the Bourlamaque batholith</i>	207
D.2 - Distribution de TiO ₂ dans le batholite de Bourlamaque / <i>Distribution of TiO₂ in the Bourlamaque batholith</i>	207
D.3 - Distribution de Al ₂ O ₃ dans le batholite de Bourlamaque / <i>Distribution of Al₂O₃ in the Bourlamaque batholith</i>	208
D.4 - Distribution de FeO dans le batholite de Bourlamaque / <i>Distribution of FeO in the Bourlamaque batholith</i>	208
D.5 - Distribution de MgO dans le batholite de Bourlamaque / <i>Distribution of MgO in the Bourlamaque batholith</i>	209
D.6 - Distribution de V dans le batholite de Bourlamaque / <i>Distribution of V in the Bourlamaque batholith</i>	209
D.7 - Distribution de Co dans le batholite de Bourlamaque / <i>Distribution of Co in the Bourlamaque batholith</i>	210

	Page
D.8 - Distribution de Ni dans le batholite de Bourlamaque / <i>Distribution of Ni in the Bourlamaque batholith</i>	210
D.9 - Distribution de Cu dans le batholite de Bourlamaque / <i>Distribution of Cu in the Bourlamaque batholith</i>	211
D.10- Distribution de Zn dans le batholite de Bourlamaque / <i>Distribution of Zn in the Bourlamaque batholith</i>	211

TABLEAUX / TABLES

1 - Stratigraphie de la région de Val-d'Or Malartic / <i>Stratigraphy of the Val-d'Or Malartic Region</i>	9
2 - Paramètres de distribution des éléments / <i>Parameters of element distribution</i>	55
3 - Coefficients de corrélation du batholite de Bourlamaque / <i>Correlation coefficients of the Bourlamaque batholith</i>	67
4 - Coefficients de corrélation significatifs du batholite de Bourlamaque / <i>Significant correlation coefficients of the Bourlamaque batholith</i>	68
5 - Coefficients de corrélation des intrusions nord et centrale / <i>Correlation coefficients of the north and central intrusions</i>	72
6 - Concentrations moyennes de Cr ₂ O ₃ , NiO, CoO et V ₂ O ₃ dans certaines hornblendes et dans les chlorites (extrait de De Vore, 1955) / <i>Average concentrations of Cr₂O₃, NiO, CoO and V₂O₃ in some hornblendes and in the chlorites (abstract from De Vore, 1955)</i>	77
7 - Comparaison entre certains rapports géologiques / <i>Comparison of some geological reports</i>	97
8 - Comparaison entre certains paramètres géochimiques des volcanites et des plutonites archéennes de l'Abitibi / <i>Comparison of some geochemical parameters of the volcanics and the Archean plutonites of the Abitibi</i>	110
9 - Compositions chimiques moyennes des deux intrusions principales et du batholite / <i>Average chemical compositions of the two main intrusions and of the batholith</i>	116
10 - Magmas primaires probables de Bourlamaque et de quelques séries calco-alcalines, d'après Nockolds et Allen, 1953 / <i>Probable primary magmas of Bourlamaque and of some calco-alkaline series, after Nockolds and Allen, 1953</i>	118
11 - Comparaison de la composition chimique moyenne du batholite de Bourlamaque avec celle de l'andésite calco-alcaline de Taylor, (1969) / <i>Comparison of the average chemical composition of the Bourlamaque batholith with that of Taylor's (1969) calco-alkaline andesite</i>	119
12 - Quelques paramètres géochimiques du batholite de Bourlamaque comparés à ceux des séries calco-alcalines, des tholéïtes, des arcs insulaires et des tholéïtes océaniques / <i>Some geochemical parameters of the Bourlamaque batholith compared with those of calco-alkaline series, tholeïtes, island arcs and oceanic tholeïtes</i>	137
13 - Comparaison de certains paramètres géochimiques des magnétites archéennes de l'Abitibi (Baragar et Goodwin, 1969) avec ceux des séries magmatiques reconnues / <i>Comparison of some geochemical parameters of the Abitibi Archean magnetites (Baragar and Goodwin, 1969) with those of known magmatic series</i>	139
14 - Comparaison entre la composition chimique du batholite de Bourlamaque et celle des roches volcaniques de l'Abitibi / <i>Comparison of the chemical composition of the Bourlamaque batholith and that of the Abitibi volcanic rocks</i>	144
A.1 - Liste et localisation des échantillons étudiés par voie chimique / <i>List and location of samples studied by chemical methods</i>	179
B.1 - Précision des déterminations des sédiments en trace (en ppm) par absorption atomique / <i>Accuracy of trace sediments determinations (in ppm) by atomic absorption</i>	189
B.2 - Précision des déterminations de Al ₂ O ₃ , MgO et Na ₂ O par absorption atomique / <i>Accuracy of Al₂O₃, MgO and Na₂O determinations by atomic absorption</i>	191

	Page
B.3 - Reproductibilité du dosage des éléments essentiels et accessoires <i>Reproducibility of quantitative analysis of essential and accessory elements</i>	192
B.4 - Reproductibilité dans la détermination des éléments en traces par absorption atomique / <i>Reproducibility in the determination of trace elements by atomic absorption</i>	192

INTRODUCTION

GEOLOGIE REGIONALE

Ce chapitre, à caractère essentiellement bibliographique, donne un aperçu du type de géologie dans lequel s'encadrent les problèmes et les résultats de la présente étude.

Le batholite de Bourlamaque, ainsi que toutes les formations géologiques de la région, appartient à la province structurale de Supérieur (sub-province d'Abitibi) du Bouclier canadien (Douglas, 1972). Des datations d'âge absolu, effectuées surtout par la Commission géologique du Canada, permettent d'attribuer à la province de Supérieur un âge supérieur à 2480 millions d'années. Cet âge correspond à un ensemble d'événements tectoniques, métamorphiques et magmatiques, en général mal connus, affectant toutes les roches de ce temps et auxquels on a donné le nom d'orogénèse kénoréenne.

Selon des études antérieures (James et Mawdsley, 1926) sur l'Archéen local en Abitibi, l'on reconnaissait des roches volcaniques de type Keewatin, des roches sédimentaires de type Témiscamien et des roches intrusives de type Algoman. Cette terminologie à valeur exclusivement lithologique, ne considérant nullement les relations génétiques entre les différentes formations, commençait en 1931 (Cooke *et al.*) à poser des problèmes dans la cartographie locale. Gunning et Ambrose (1940),

INTRODUCTION *

REGIONAL GEOLOGY

This chapter, essentially bibliographic in nature, gives a general idea as to the type of geology which encompasses the problems and results of the present study.

The Bourlamaque batholith, as well as all other geologic formations of the region, belong to the Superior structural Province (Abitibi sub-province) of the Canadian Shield (Douglas, 1972). Absolute age determinations, undertaken primarily by the Geological Survey of Canada, permit dating the Superior Province at greater than 2480 million years. This age corresponds to a sequence of tectonic, metamorphic and magmatic events which are generally not well known but affect all rocks of that period. It is globally referred to as the Kenoran orogeny.

Previous work undertaken locally (James and Mawdsley, 1926) in the Archean of the Abitibi region recognized Keewatin-type volcanic rocks, Temiskaming-type sedimentary rocks and Algoman-type intrusive rocks. This terminology, which was based exclusively on lithology without consideration for the genetic relationships between formations, eventually gave rise to problems for detailed mapping in 1931 (Cooke *et al.*). Gunning and Ambrose (1940),

* Translated from French.

qui étudièrent la région de Malartic à 17 milles à l'ouest de Val-d'Or, où affleurent les mêmes formations géologiques, commencèrent à exprimer des réserves sur la validité locale de la terminologie Keewatin et Témiscamien. Cependant cette terminologie, bien que simpliste, eut beaucoup de succès et retarda considérablement l'interprétation géologique de la région. Aujourd'hui, cette terminologie persiste encore (Goodwin et Ridler, 1970; Hutchinson *et al.*, 1971), mais avec une signification génétique.

Actuellement seulement les roches volcaniques (complexe de Keewatin) sont reconnues comme appartenant à un phénomène géologique unique alors que parmi les roches sédimentaires, on reconnaît deux types de métasédiments génétiquement différents. Dans le domaine du plutonisme, domaine où les travaux de détail sont peut-être les moins avancés, il faut distinguer entre plutonismes ultramafique, intermédiaire et granitique, chacun ayant sa place bien définie dans l'évolution géologique locale. Pour dire vrai, Cooke *et al.*, en 1931, avaient remarqué, en Abitibi, la présence de deux groupes de roches intrusives: l'un sodique et l'autre potassique. Mais cette classification purement descriptive et un manque d'information géologique les amenèrent à considérer le batholite de La Motte-Lacorne et les granites du sud sous le même groupe potassique.

Cet exemple démontre l'importance du contexte local, indispensable dans les travaux de géologie. De ce fait, nous envisageons, parmi les granitoïdes de la ceinture volcanique abitibienne, une phase de mise en place d'intrusions sodiques, dont le batholite de Bourlamaque est un exemple, antérieure à celle

who studied the Malartic region 17 miles to the west of Val-d'Or, where the same geologic formations outcrop, began expressing certain doubts on the validity of the local Keewatin and Timiskaming terminology. However, this terminology, though simplistic, was quite popular and its continued use considerably retarded the geologic interpretation of the region. Today the terminology still persists (Goodwin and Ridler, 1970; Hutchinson *et al.*, 1971) but with a genetic connotation.

Presently only the volcanic rocks (Keewatin Complex) are recognized as belonging to a unique geologic event whereas among the sedimentary rocks two genetically different types of metasediments are recognized. In the study of plutonic activity, where detailed work is perhaps less involved, a distinction must be drawn between ultramafic, intermediate and granitic plutonism, each type having a well-defined position in the local geologic evolution. In fact, Cooke *et al.* had already noted, in 1931, the presence of two types of intrusive rocks in the Abitibi region: one sodic, the other potassic. However, this purely descriptive classification and a lack of geological information forced them to consider the La Motte-Lacorne batholith and the granites to the south as being of the same potassic group.

This example clearly demonstrates that the local geologic context is of utmost importance. From this, we can consider the possibility that, among the granitoids of the Abitibi volcanic belt, a sodic intrusive phase, of which the Bourlamaque Batholith is an example, was emplaced prior the

des masses intrusives potassiques et tardives par rapport à l'orogénèse kénoréenne.

Dans le but de dégager la relation entre le batholite de Bourlamaque et l'orogénèse kénoréenne, nous voulons ici toucher au problème des orogénèses locales plus anciennes que l'orogénèse kénoréenne. Cette considération peut sembler fort éloignée des buts de cette étude, mais on s'apercevra qu'on peut en tirer des renseignements utiles. Ce problème, soulevé par Lawson (1913), a connu des vicissitudes jusqu'en 1961 alors que Bass en a fait l'objet d'une recherche; à la suite, de l'étude des conglomérats, considérés comme étant des conglomérats de base de la région de l'est de l'Ontario et du nord-ouest du Québec, il nie l'existence d'une discordance angulaire majeure qui aurait prouvé la présence locale de l'orogénèse laurentienne de Lawson. Ce résultat est en lui-même de grande valeur pour l'interprétation de l'histoire géologique de la région, mais nous sommes ici intéressés plutôt à un aspect particulier de cette recherche, à savoir l'identification des fragments des conglomérats: parmi les roches identifiées, les rares roches franchement intrusives appartiennent dans la presque totalité à la série sodique tonalite-trondhjémite.

CEINTURE VOLCANIQUE DE L'ABITIBI

Le travail de Goodwin et Ridler (1970) est la source la plus importante utilisée dans l'élaboration de cette section. L'ensemble Keewatin*,

* Keewatin est ici utilisé dans l'acceptation décrite ci-haut.

potassic intrusive masses, but late with respect to the Kenoran orogeny.

In order to clarify the relationship between the Bourlamaque batholith and the Kenoran orogeny we wish to consider first the problem presented by local orogenies older than the Kenoran. This may not appear to be of much significance with respect to the objectives of the present study, however, it will become evident that useful information can be gained. The problem, first raised by Lawson (1913), was almost forgotten until 1961 when Bass made it the object of his research. After studying conglomerates, which were considered to be basal conglomerates of eastern Ontario and northwestern Quebec, he rejected any major angular discordance, the presence of which would have locally proven the existence of Lawson's Laurentian orogeny. This result is in itself of tremendous value in interpreting the geological history of the region; but, the present study is interested in only one aspect of that research, specifically the identification of the fragments in the conglomerates. Among the rock-types identified, the rare, truly intrusive types belong almost exclusively to the sodic tonalite-trondhjémite series.

ABITIBI VOLCANIC BELT

The work of Goodwin and Ridler (1970) is the most important source-reference used to elaborate this section. The Keewatin* assemblage,

* Keewatin is used here in the sense given above.

à caractère dominant igné, constitue le membre le plus important de la séquence archéenne locale. Il est considéré comme le produit d'effusions en majeure partie sous-marines: les fréquentes structures à coussinets des laves et la présence des sédiments (Macpherson, 1958) extrêmement riches en bore appuient cette interprétation. D'après le récent schéma de Goodwin et Ridler (1970), un volcanisme fissural basaltique batif de vastes plateformes où se développèrent plus tard des centres d'activité plus silicique qui donnèrent lieu à d'épais empilements de coulées intermédiaires à rhyolitiques, parfois explosives, associées à des roches pyroclastiques. A ce moment-là, le volcanisme devint localement subaérien et se manifesta souvent par des pulsations rythmiques, avec une tendance générale à des produits plus différenciés vers le sommet des empilements. Plusieurs centres d'activité volcanique ont été reconnus dans la ceinture: Goodwin et Ridler en citent onze. L'activité ignée fut interrompue par des périodes de sédimentation, d'où l'intime association locale des roches volcaniques et des produits de leur désagrégation (Bass, 1961). Il s'agit donc d'un complexe volcanosédimentaire comme ceux décrits au Canada par Goodwin et Shklanka (1967), par Anhaeusser, Mason et les frères Viljoen (1969) en Afrique du Sud et par Glikson (1970) en Australie.

Des roches grenues occupent environ un quart de l'étendue de la ceinture; ce sont des roches mafiques et ultramafiques dont l'origine est probablement liée aux volcanites, ou bien des intrusions dioritiques et granitiques.

of predominantly igneous character, constitutes the most important member of the local Archean sequence. It is considered to be the product of predominantly submarine effusions. The frequency of pillow lavas and the presence of sediments (Macpherson, 1958) which are extremely rich in boron support this interpretation. According to the recent model of Goodwin and Ridler (1970), basaltic fissure volcanoes built-up extensive platforms upon which more silicic centers of activity subsequently developed giving rise to thick volcanic piles of intermediate to rhyolitic flows, sometimes explosive, and associated with pyroclastic rocks. At such times, the volcanism locally became subaerial and often displayed rhythmic pulsations with a general tendency to more differentiated products at the top of the volcanic piles. Many centers of volcanic activity have been recognized in the belt; Goodwin and Ridler identify eleven. Igneous activity was interrupted by periods of sedimentation locally giving rise to close association of volcanic rocks with their disintegration products (Bass, 1961). This is a volcanosedimentary complex similar to those described in Canada by Goodwin and Shklanka (1967) by Anhaeusser, Mason and the Viljoen brothers (1969) in South Africa and by Glikson (1970) in Australia.

Granular rocks occupy about a quarter of the volcanic belt and consist of mafic and ultramafic rocks whose origin is probably related to that of the volcanic rocks or consist of dioritic and granitic intrusions.

L'ensemble volcanosédimentaire abitibien, mesurant quelque 500 milles (800 km) de longueur par une centaine de milles (160 km) de largeur, constitue la plus grande et probablement la plus épaisse (40 000 pieds, 13 km) des ceintures volcaniques du Bouclier canadien. Au point de vue géologique, elle est limitée au nord et au sud par des terrains cristallins et coupée à l'ouest par la sub-province de Kapuskasing et à l'est par la province plus récente de Grenville (900 millions d'années); ces deux derniers événements ont probablement réduit ses dimensions originelles. Après sa formation, le complexe volcanosédimentaire a été soumis à des déformations (orogénèse kénoréenne?) dont les résultats peuvent être ainsi résumés:

- une forme en S de son axe, probablement rectiligne à l'origine,
- une forme ellipsoïdale de chacun des volcans,
- un redressement général des coulées et des sédiments associés,
- la mise en place de masses intrusives,
- et un faible degré de métamorphisme commun à toute la ceinture.

GEOLOGIE LOCALE

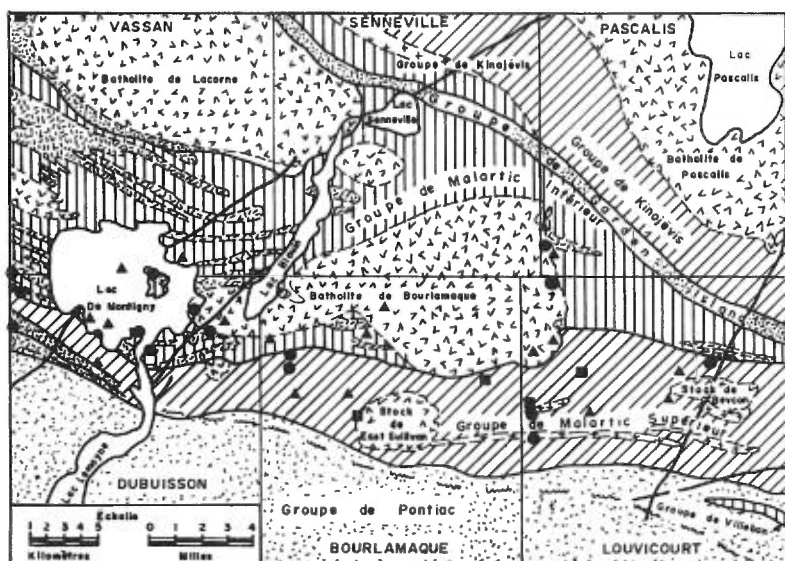
La carte géologique (figure 1) compilée par M. Latulippe (1972) montre des affleurements de roches volcaniques et intrusives, et aussi de roches sédimentaires. La région de Val-d'Or est située sur la bordure méridionale de la ceinture volcanique d'Abitibi; le groupe sédimentaire de Pontiac, affleurant dans

The Abitibi volcanosedimentary sequence, which measures some 500 miles (800 km) in length by 100 miles (160 km) in width, forms the largest and probably the thickest (40 000 feet, 13 km) of all the volcanic belts in the Canadian Shield. Geologically speaking, it is bounded to the north and south by crystalline rocks, cut-off by the Kapuskasing sub-province to the west and by the more recent Grenville Province to the east (900 million years). It is conceivable that these last two events also reduced its original dimensions. Following its emplacement, the volcanosedimentary complex was subjected to tectonic deformation (Kenoran orogeny ?), the results of which can be summarized as follows:

- an S-shaped central axis which was probably linear initially,
- an ellipsoidal shape for each of the volcanoes,
- a general sub-vertical rotation of the flows and associated sediments,
- the emplacement of intrusive bodies
- and low-grade metamorphism across the entire belt.

LOCAL GEOLOGY

The geologic map (Figure 1), compiled by M. Latulippe (1972), indicates outcrops of volcanic and intrusive rocks, as well as sedimentary rocks. The Val-d'Or region is located on the northern boundary of the Abitibi volcanic belt. The sedimentary Pontiac Group, which outcrops in the southern



LEGENDE / LEGEND

Précambrien supérieur (Protérozoïque)

Dykes de diabase, gabbro et
gabbro à olivine



Précambrien inférieur (Archéen)

Intrusions granitiques et grano-
dioritiques

Intrusions dioritiques et gabbro-
ïques métamorphisées localement
en amphibolites



Intrusions mafiques et ultramafiques (gabbro, péridotites,...) métamorphisées en pyroxénites, amphibolites, serpentinites,...)

Métasédiments argilo-gréseux
et conglomératiques

Métabasaltés et méta-andésites
(laves dominantes, peu de pro-
jections).



Méta-andésite, métadacite et quelques métarhyolites (projections abondantes).



Mine d'or



Mine de Cu, Zn, Pb, ou de Mo et Bi



Puits d'exploration



Upper Precambrian (Proterozoic)

Diabase dykes, gabbro and
olivine gabbro

Lower Precambrian (Archean)

Granitic and granodioritic intrusions

Dioritic and gabbroic intrusions
locally metamorphosed to amphi-
bolites

Mafic and ultramafic intrusions (gabbro, peridotite, ...) metamorphosed to pyroxenites, amphibolites, serpentinites, ...)

Argillaceous-gritty and conglomeratic metasediments

Metabasalts and meta-andesites
(lavas predominantly, few exten-
sions)

Meta-andesite, meta-dacite and a few meta-rhyolites (numerous extensions)

Gold mine

Cu, Zn, Pb, or Mo and Bi mine

Exploration shafts

FIGURE 1 - Carte géologique et minéralisation de la région de Val-d'Or (géologie d'après M. Latulippe, 1972; minéralisation d'après Dugas et Latulippe, 1961) / *Geologic and mineralization map of the Val-d'Or region (geology from Latulippe, 1972; mineralization from Dugas and Latulippe, 1961).*

la portion sud de la carte, devrait en effet appartenir à l'aire cratonique limitant le complexe volcanosédimentaire.

Nous allons maintenant présenter brièvement les caractères des différentes unités géologiques locales.

ROCHES VOLCANIQUES (FACIES KEEWATIN)

Le complexe volcanique de Malartic, nom donné aux volcanites de la région de Val-d'Or par Gunning et Ambrose en 1940 et repris en 1970 par Goodwin et Ridler a récemment été l'objet de recherches pétrologiques et géochimiques par Alsac *et al.* (1971). Le tableau 1 montre la stratigraphie locale telle que conçue par M. Latulippe (1972). Le super-groupe d'Abitibi (Latulippe, 1972), terme formationnel de toutes les roches de la ceinture et équivalent au faciès Keewatin d'autres auteurs (Hutchinson *et al.*, 1971) comprend, localement, le groupe plus ancien de Kinojevis au nord, et le groupe plus récent de Malartic au sud, les deux étant séparés par la formation sédimentaire de Garden Island Lake. Les roches stratifiées locales sont orientées est-ouest avec des pendages très redressés, presque verticaux, et, dans certains cas, même renversés. L'étude des coussinets et du granoclasement révèle que les sommets des couches sont en général tournés vers le sud. Le groupe de Kinojevis est constitué principalement de laves mafiques à intermédiaires avec intercalation de roches ultramafiques. Dans les deux groupes, les laves à coussinets sont très fréquentes, surtout dans les horizons mafiques à intermédiaires. D'ailleurs, on peut passer, dans l'espace de quelques dizaines de pieds, de laves parfaitement massives à des brèches de

half of the map, should in fact belong to the craton thus limiting the extent of the volcanosedimentary complex.

We will now briefly outline the characteristic features of the different local geologic units.

VOLCANIC ROCKS (KEEWATIN FACIES)

The Malartic volcanic complex, a name first assigned to the volcanics of the Val-d'Or region by Gunning and Ambrose in 1940 and revived by Goodwin and Ridler in 1970, has recently been the object of petrological and geochemical research (Alsac *et al.* 1971). Table 1 shows the local stratigraphy as conceived by M. Latulippe (1972). The Abitibi Super-group (Latulippe, 1972) a formational term regrouping all rocks of the volcanic belt and equivalent to the Keewatin facies of other authors (Hutchinson *et al.*, 1971), consists locally of the older Kinojevis Group, to the north and the more recent Malartic Group to the south, both being separated by the sedimentary Garden Lake Formation. The local stratified rocks strike east-west with steep dips, almost vertical and in some cases even overturned. A study of pillow-lavas and graded-bedding indicates that the younging direction is towards the south. The Kinojevis Group consists primarily of mafic to intermediate lavas with interstratified ultramafic rocks. In both groups pillow lavas are quite common, particularly in the mafic to intermediate horizons. In fact, transitions from perfectly massive lavas to lava breccias, within a few tens of feet, have been observed (personnel observation). In the more acid parts of the volcanic sequence, pyroclastic horizons, tuffs or agglomerates, are

coulée (observation personnelle). Dans les parties plus acides de la séquence volcanique, les horizons pyroclastiques, tufs ou agglomérats, sont particulièrement communs. Les brèches de coulée et certains types de tufs peuvent être considérés typiques d'un volcanisme sub-aérien. Toujours d'après Alsac *et al.* (1971), le groupe de Kinojevis et la partie inférieure du groupe de Malartic proviendraient d'un magmatisme tholéitique, tandis que la partie supérieure du groupe de Malartic présente des affinités calco-alkalines. Les mêmes auteurs ont mis l'accent sur le lien entre la partie calco-alkaline et plus acide de la séquence et la présence de gîtes de cuivre et zinc. En outre, ils se sont penchés sur le problème du type de métamorphisme local et sont parvenus, en utilisant les diagrammes de H. de la Roche, à lui attribuer un caractère iso-chimique d'ensemble.

ROCHES SEDIMENTAIRES

Les sédiments archéens sont essentiellement des dépôts clastiques caractérisés par l'absence de roches carbonatées et de quartzites purs et par la rareté des schistes (Pettijohn, 1972).

Des métasédiments argilo-gréseux sont présents dans la région de Val-d'Or soit sous forme d'interstratifications de faible puissance dans les formations volcaniques (groupes de Kewagama et de Garden Island Lake) soit comme formations hétéropiques (fig. 2) du complexe volcano-sédimentaire (groupe de Pontiac). Les groupes de Kewagama et de Garden Island Lake, appartenant au faciès Keewatin et localisés sur le bord méridional de la ceinture volcanique dans la zone de charnière entre le

particulièrement commun. The lava breccias and certain types of tuff can be considered typical of subaerial volcanism. Again according to Alsac *et al.* (1971), the Kinojevis Group and the lower part of the Malartic Group result from tholeiitic magmatism while the upper part of the Malartic Group shows calc-alkaline affinities. The same authors emphasize the relationship between the calc-alkaline and more acid part of the sequence and the occurrence of copper and zinc deposits. One aspect of their research was devoted to study of the type of local metamorphism. They were able to demonstrate, by means of de la Roche H-diagrams, that this metamorphism was basically isochemical in nature.

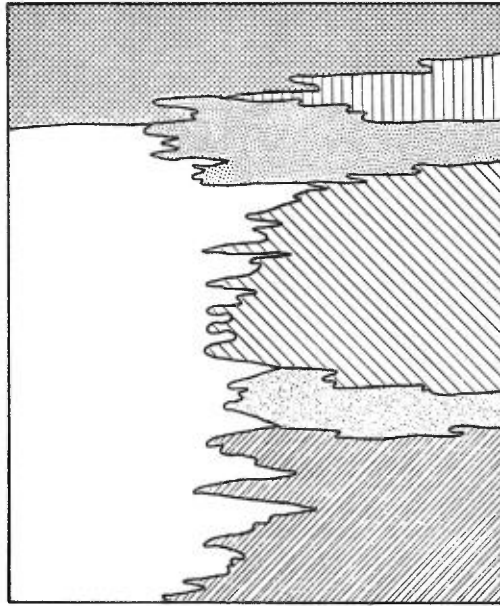
SEDIMENTARY ROCKS

Archean sediments are essentially clastic deposits characteristically devoid of carbonates and pure quartzites and with only rare argillites (Pettijohn, 1972).

Argillaceous-gritty metasediments occur in the Val-d'Or region as either thin interstratifications within the volcanic formations (Kewagama and Garden Island Lake Formations) or as heteropic formations (fig. 2) in the volcanosedimentary complex (Pontiac Group). The Kewagama and Garden Island Lake Groups which belong to the Keewatin facies and are located on the southern edge of the volcanic belt in the closure zone between the craton and the basin, are in general considered to be

Unité structurale <i>Structural unit</i>	CHRONOSTRATIGRAPHIE <i>TIME STRATIGRAPHIC</i>		LITHOSTRATIGRAPHIE <i>ROCK STRATIGRAPHIC</i>		Type de roche <i>Rock type</i>	Colonne stratigraphique <i>Stratigraphic column</i>	Unités intrusives <i>Intrusive units</i>
	Ere <i>Era</i>	Période <i>Period</i>	Super-groupe <i>Supergroup</i>	Groupe <i>Group</i>			
Province structurale de Supérieur/ <i>Superior</i> <i>Structural Province</i>	Cénozoïque <i>Cenozoic</i>	Récent et Pléistocène / <i>Recent and Pleistocene</i>			Argile, sable et gravier/ <i>Clay, sand and gravel</i>	Mort-terrain <i>Overburden</i>	
	Précambrien supérieur (Protérozoïque) <i>Late Precambrian (Proterozoic)</i>	Keweenawien <i>Keweenawan</i>	Abitibi <i>Abitibi</i>				Dykes de diabase <i>Diabase dykes</i>
		Témiscamien <i>Temiskamian</i>		Cadillac <i>Cadillac</i>	Grauwacke, conglomérat/ <i>Greywacke, conglomerate</i>	Cadillac <i>Cadillac</i>	
				Blake River <i>Blake River</i>	Volcanites <i>Volcanites</i>	Blake River <i>Blake River</i>	
				Kewagama supérieur/ <i>Upper Kewagama</i>	Grauwacke <i>Greywacke</i>	Kewagama supérieur <i>Upper Kewagama</i>	
				Malartic <i>Malartic</i>	Volcanites <i>Volcanites</i>	Malartic <i>Malartic</i>	Batholite de Bourlamaque, stocks de East Sullivan et Bevecon/ <i>Bourlamaque, East Sullivan and Bevecon plutons</i>
				Kewagama inférieur et Garden Island Lake <i>Lower Kewagama and Garden Island Lake</i>	Grauwacke et schistes à biotite/ <i>Greywacke and biotite schists</i>	Kewagama inférieur et Garden Island Lake <i>Lower Kewagama and Garden Island Lake</i>	Batholites de Lacorne et La Motte/ <i>Lacorne and La Motte plutons</i>
	Précambrien inférieur (Archéen)/ <i>Early Precambrian (Archean)</i>	Keewatin <i>Keewatin</i>		Kinojevis <i>Kinojevis</i>	Volcanites <i>Volcanites</i>	Kinojevis <i>Kinojevis</i>	Batholite de Pascalis-Tiblémont <i>Pascalis-Tiblémont pluton</i>
			Pontiac <i>Pontiac</i>	Trivio <i>Trivio</i>	Grauwacke <i>Greywacke</i>	Trivio <i>Trivio</i>	
				Villebon <i>Villebon</i>	Volcanites <i>Volcanites</i>	Villebon <i>Villebon</i>	
				(Pontiac) <i>(Pontiac)</i>	Grauwacke et schistes à biotite/ <i>Greywacke and biotite schists</i>	(Pontiac) <i>(Pontiac)</i>	Granites du sud <i>Southern granites</i>

TAB. 1 - Stratigraphie de la région de Val-d'Or - Malartic. (d'après Latulippe, 1972).
Stratigraphy of the Val-d'Or - Malartic region (from Latulippe, 1972).



FORMATIONS SEDIMENTAIRES / SEDIMENTARY FORMATIONS

Groupe de Cadillac		Cadillac Group
Groupe de Kewagama		Kewagama Group
Groupe de Garden Island Lake		Garden Island Lake Group
Groupe de Pontiac		Pontiac Group

FORMATIONS VOLCANIQUES / VOLCANIC FORMATIONS

Groupe de Blake River		Blake River Group
Groupe de Malartic		Malartic Group
Groupe de Kinojevis		Kinojevis Group

FIGURE 2 - Stratigraphie de l'Archéen de la région de Val-d'Or (d'après Latulippe, 1972).
Archean stratigraphy of the Val-d'Or region (from Latulippe, 1972).

craton et le bassin sont, en général, interprétés comme volcanogénétiques résultant de l'érosion rapide et mécanique des volcanites associées (Bass, 1961). Macpherson (1958) dans son étude pétrographique et géochimique des sédiments précambriens du Supérieur, surtout de l'Ontario, mais avec quelques échantillons du Québec, arriva à une conclusion différente. Sur la base de leur haute teneur en baryum (572 ppm pour les échantillons québécois appartenant au groupe de Kewagama et au groupe de Cadillac), il reconnut une importante contribution des roches granitiques (ou en général felsiques) à leur formation. A ce propos, rappelons que, les deux groupes examinés par Macpherson étant localisés tout près du groupe de Pontiac, on peut toujours envisager une contamination de la part de sources méridionales plus potassiques et aussi plus riches en baryum. En effet, les teneurs en Ba des volcanites de Val-d'Or, de l'ordre de quelques dizaines de ppm et atteignant rarement la centaine de ppm (Alsac *et al.*, 1971) ne pourraient jamais expliquer à elles seules les hautes valeurs trouvées par Macpherson. Pour revenir aux résultats de cet auteur, remarquons que les teneurs élevées en chrome (222 ppm, pour les mêmes échantillons québécois) évoquent aussi la présence d'une source ultramafique.

Rappelons que le *clarke* du chrome dans les roches basaltiques est évalué par Turekian et Carr (1960) à 170 ppm, valeur presque identique au contenu en Cr (175 ppm) des basaltes locaux (Baragar et Goodwin, 1969).

En concluant, nous sommes d'accord sur la faible maturité de ces sédiments mais une source constituée de roches felsiques et ultramafiques nous semble plus acceptable.

volcanogenic resulting from the rapid mechanical erosion of associated volcanics (Bass, 1961). Macpherson (1958) in his petrographic and geochemical study of the Precambrian sediments of the Superior, principally from Ontario but with a few samples from Quebec, arrived at a different conclusion. On the basis of their high barium content (572 ppm for the Quebec samples belonging to the Kewagama and Cadillac Groups) he recognized that their formation was in a large part derived from granitic rocks (or felsic rocks in general). It must, however, be recalled that the two groups examined by Macpherson were located quite near the Pontiac Group and that it is always possible that there was contamination from sources to the north which are more potassic and richer in barium. In fact, the Ba contents of the Val-d'Or volcanics, which attain the order of a few tens of ppm, rarely reaching a hundred ppm (Alsac *et al.*, 1971), could never explain alone the high values found by Macpherson. Coming back to the results given by this author, it should also be noted that the high chrome values (222 ppm for the same Quebec samples) suggest the presence of an ultramafic source.

It should be remembered that the *clarke* for chrome in basaltic rocks as given by Turekian and Carr (1960) 170 ppm, a value almost identical to the Cr (175 ppm) content of the local basalts (Baragar et Goodwin, 1969).

In conclusion, we agree that the sediments are immature but a source consisting of felsic and ultramafic rocks would seem more acceptable.

Le groupe de Pontiac (Wilson, 1943), mis en corrélation par Gunning et Ambrose (1940) au groupe de Kewagama dans une section-type à 17 milles (27 km) à l'ouest de Val-d'Or (région de Malartic), est aujourd'hui unanimement interprété (Latulippe, 1966; Goodwin et Ridler, 1970; Hutchinson *et al.*, 1971) comme une séquence flyschoid, développée à proximité de l'aire cratonique au sud de la ceinture volcanique, et chronologiquement contemporaine du volcanisme.

Le métamorphisme semble aussi un critère utile pour différencier les deux types de métasédiments puisque le complexe flyschoid dans l'ensemble appartient à un faciès métamorphique plus élevé (Ingham, 1943, mentionne de la staurotide dans les paragneiss des rives du lac Lemoine), allant localement jusqu'à la granitisation (granites du sud de Gussow, 1937).

ROCHES INTRUSIVES

Dans le contexte géologique local, largement volcanique, on pourrait diviser les roches grenues en deux groupes d'après leurs relations avec le volcanisme. Ainsi, on aurait des plutonites intimement associées au volcanisme et des plutonites dépourvues de tout lien apparent avec le volcanisme. Le premier groupe, à caractère ultramafique à mafique, est considéré comme un faciès grenu des laves, étant interstratifié avec celles-ci (Goodwin et Ridler, 1970). Le deuxième groupe, généralement considéré comme postérieur au premier, comprend des granitoïdes quartzodioritiques ou des granites, mis en place dans les volcanites sous forme de plutons ou de batholites, dont l'origine et les

The Pontiac Group (Wilson, 1943) correlated by Gunning and Ambrose (1940) to the Kewagama Group in a type-section 17 miles (27 km) west of Val-d'Or (Malartic region) is today unanimously interpreted (Latulippe, 1966; Goodwin and Ridler, 1970; Hutchinson *et al.*, 1971) as being a flyschoid sequence which developed near the craton south of the volcanic belt and contemporaneously with the vulcanism.

Also, the metamorphism seems to be a useful criteria for differentiating between the two types of metasediments as the flyschoid complex as a whole belongs to a higher facies of metamorphism (Ingham, 1943, mentions the occurrence of staurolite in paragneiss on the shores of Lemoine Lake) locally reaching a stage of granitization (the southern granites, Gussow, 1937).

INTRUSIVE ROCKS

In the local geologic setting, which is largely volcanic, the granular rocks may be subdivided into two groups according to their relationship with the vulcanism. This would then give plutonic rocks which are closely related to the vulcanism and those which have no apparent link with the vulcanism. The first group, with mafic to ultramafic affinities, is considered to be a granular facies of the lavas, considering that it is interstratified with them (Goodwin and Ridler, 1970). The second group, generally considered to be younger than the first, consists of quartzodioritic granitoids or granites emplaced within the volcanics as plutons or batholiths whose origin and genetic

relations génétiques avec le volcanisme sont encore mal connues.

Un autre critère de classification, à notre avis également valable et utilisé par Norman (1943), est le degré d'altération. D'après ce paramètre, puisque les roches intrusives locales sont très souvent altérées, la plupart d'entre elles se retrouvent dans un seul groupe, à l'exception de quelques roches fraîches comme le pluton syénitique (et donc potassique) de East Sullivan et de dykes de porphyre feldspathique qui sillonneraient aussi le batholite de Bourlamaque. A ce propos, notons que nous n'avons pas reconnu de dykes de porphyre feldspathique frais sur le terrain.

Dans la partie méridionale de la ceinture volcanique de l'Abitibi, 26% de la superficie totale est attribuée aux roches granitiques et seulement 2% aux intrusions mafiques (Goodwin et Ridler, 1970). Les roches granitiques, constituant environ 50% de l'ensemble des roches de la région de Val-d'Or (Latulippe, 1966), sont représentées essentiellement par trois complexes intrusifs de dimensions batholitiques: le batholite de Bourlamaque au sud, le batholite de Pascalis au nord-est et le batholite de Lacorne au nord-ouest. Le batholite de Pascalis est assez mal connu, n'ayant fait l'objet que de levés géologiques préliminaires; on sait qu'il a une composition granodioritique à granitique (Tremblay, 1950). Le batholite de Lacorne, étudié par Dawson (1966), a la composition d'une diorite à hornblende. A propos de son origine, qui est traitée d'une façon plutôt sommaire, cet auteur parle d'une fusion partielle de sédiments ou d'une couche primaire granitique: le magma primaire granodioritique, contaminé par les roches encaissantes, aurait donné lieu

relationship with the volcanism is still poorly understood.

Another classification criteria, equally valid in our opinion, is the degree of alteration as used by Norman (1943). According to this parameter, since the local intrusive rocks are quite often altered, most belong to a single group, except for a few fresh rocks such as the syenitic (and thus potassic) East Sullivan pluton and the feldspathic porphyry dykes which cut across the Bourlamaque batholith. It should be noted, however, that no fresh feldspathic porphyry dyke was recognized in the field during this study.

In the southern part of the Abitibi Volcanic Belt, 26% of the total area consists of granitic rocks and only 2% of mafic intrusions (Goodwin and Ridler, 1970). The granitic rocks forming approximately 50% of all the rocks in the Val-d'Or region (Latulippe, 1966) are represented by essentially three intrusive complexes of batholithic dimension: the Bourlamaque batholith to the south, the Pascalis batholith to the northeast and the Lacorne batholith to the northwest. The Pascalis batholith is not well known, having been the object of only preliminary geological surveys; however, we know that it has a composition ranging from granodiorite to granite (Tremblay, 1950). The Lacorne batholith, studied by Dawson (1966), has the composition of hornblende-diorite. On its origin, the author, who only briefly considers the subject, speaks of partial fusion of the sediments or of a primary granitic layer: the primary granodioritic magma, contaminated by the country rocks, would have given rise to the intermediate rocks of the Lacorne batholith. We underline the K₂O content

aux roches intermédiaires de Lacorne. Nous retenons la teneur moyenne en K₂O, de l'ordre de 2.50%, qui situe cette intrusion parmi les "granites potassiques" et post-tectoniques; le fait que les roches ne sont pas altérées confirme leur origine tardive dans l'évolution géologique locale.

Toutes les roches considérées jusqu'ici appartiennent à la partie plus ancienne du Bouclier et sont d'âge archéen. Le cadre géologique local ne serait pas complet si on ne mentionnait pas les dykes de diabase non altérée (troisième groupe de Norman, 1943) à direction générale nord-est et mis en place le long de fractures quand la région se comportait déjà en craton. Ces dykes sont d'âge protérozoïque.

MINERALISATION

La présente discussion se base essentiellement sur les idées de M. Latulippe (1966, 1972), géologue résident du ministère des Richesses naturelles du Québec à Val-d'Or. D'autres renseignements ont été tirés dans Douglas (1970).

Depuis le début de son activité productrice, en 1929, le district minier de Val-d'Or est bien connu pour la diversité de sa production: or, cuivre, zinc, molybdène, argent, bismuth et plomb. La figure 1 montre la distribution de la minéralisation dans ce district.

which averages in the order of 2.50% and places this intrusion among the pre-tectonic "potassic granites". The fact that these rocks are unaltered confirms that they arrived late in the local geological evolutionary cycle.

All the rocks mentioned up to now belong to the oldest part of the Shield and are Archean in age. The local geologic setting would be incomplete if we did not mention the unaltered diabase dykes (Norman's, 1943) third group) which generally trend northeast, emplaced along fractures when the region had already reached a cratonic status. These dykes are Proterozoic in age.

MINERALIZATION

The following discussion is based primarily on ideas advanced by M. Latulippe (1966, 1972), resident geologist for the Quebec Department of Natural Resources at Val-d'Or. Other information has been extracted from Douglas (1970).

Since it began producing in 1929, the Val-d'Or district has been recognized for its diversified production: gold, copper, zinc, molybdenum, silver, bismuth and lead. Figure 1 shows the distribution of mineralization in the district.

*Gisements post-magmatiques associées
au batholite de Bourlamaque ou aux in-
trusifs similaires*

Des nombreuses mines d'or, actives il y a une vingtaine d'années dans la zone minière aurifère de Val-d'Or - Malartic, seulement quatre sont encore exploitées, dont deux (les mines Lamaque et Sigma) dans la région de Val-d'Or proprement dite.

A la mine Lamaque, dans un environnement géologique très faillé, l'or est génétiquement relié à une cheminée à zonation concentrique de roches à composition intermédiaire et localement porphyriques, intrusives dans du tuf du groupe de Malartic. A peu près le même environnement se présente à la mine Sigma; on y trouve des dykes et des filons-couches intermédiaires, associées aux roches volcaniques du groupe de Malartic, mais la minéralisation est concentrée dans une série de failles transversales à une faille principale stérile. Ces deux mines sont distantes d'environ 1 mille du batholite de Bourlamaque; cependant, il y eut aussi des mines dans le batholite même et surtout le long de ses bordures. Ainsi à l'extrémité ouest de l'intrusion, se trouvait la mine Sullivan Consolidated, où le minerai était extrait de filons de quartz recoupant le batholite. Dans les filons, il y avait des sulfures: chalcoppyrite, blende et galène.

Du côté opposé, le long de la bordure est, se trouvait la mine Perron. L'or était encore associé à des filons de quartz remplissant des fractures horizontales transverses dans une zone de cisaillement stérile presque verticale qui traversait le batholite.

*Post-magmatic deposits associated with
the Bourlamaque batholith or similar
intrusives.*

Of the numerous gold mines active some twenty years ago in the Val-d'Or - Malartic gold mining zone, only four are still in production, two of these (the Lamaque and Sigma mines) in the Val-d'Or region as such.

At the Lamaque mine, in a highly faulted geologic environment, the gold is genetically related to a concentrically zoned chimney of rocks of intermediate composition, locally porphyritic, and intrusive into the tuffs of the Malartic Group. The same general type of environment occurs at the Sigma mine, where dykes and sills of intermediate composition are associated with the volcanic rocks of the Malartic Group; but here, the mineralization is concentrated in a series of faults transverse to a major fault which is itself barren. These two mines are approximately 1 mile from the Bourlamaque batholith; however, there were other mines within the batholith itself and particularly along its margin. Such was the Sullivan Consolidated mine at the western edge of the intrusion where the ore was from quartz veins cutting the batholith. Sulphides were also present in these veins: chalcoppyrite, sphalerite and galena.

On the opposite side, along the eastern edge, was the Perron mine. The gold there was associated with quartz veins filling horizontal transverse fractures in an almost vertical barren fault zone which crossed the batholith.

La plupart des gisements locaux appartiennent à l'association hydrothermale: or - quartz - tourmaline - pyrite.

A propos des facteurs qui semblent contrôler localement la distribution des gîtes d'or, Latulippe (1966, 1972) met l'accent sur les facteurs structuraux, la répartition de ces gisements semblant être tout à fait indépendante de la lithologie. Les filons hydrothermaux de quartz aurifère prennent donc place dans des fractures au sein des roches compétentes et près des failles majeures. En outre, il insiste sur l'importance de la présence de granitoides qui, à nos yeux, doivent avoir joué un double rôle: tectonique et physico-chimique. Concernant ce dernier facteur il faut rappeler que le long des bordures du batholite de Bourlamaque il y a eu, en plus des deux mines déjà citées, deux autres mines d'or (Cournor et Jacola) et au moins sept puits d'exploration. En dernier lieu, selon le même auteur, les relations géologiques locales montrent que peu d'événements géologiques ont suivi la mise en place des filons aurifères qui, de ce fait, appartiennent à une période tardive dans l'évolution de la région.

Gisements volcanogénétiques associés aux laves calco-alkalines du groupe de Malartic

Les gisements de cuivre et de cuivre-zinc locaux sont associés au volcanisme. Ainsi la mine Manitou-Barvue, située à 3000 pieds (1 km) au sud de la bordure méridionale du batholite de Bourlamaque présente deux niveaux minéralisés parallèles (en plan), différemment inclinés, (85°N pour le niveau à zinc et 65°N pour le niveau à cuivre) et situés dans une formation tufacée, altérée,

Most of the local mineral deposits belong to the hydrothermal association of gold - quartz - tourmaline - pyrite.

On the factors which seem to locally control the distribution of gold deposits, Latulippe (1966, 1972) emphasizes structural control; the distribution seemingly being completely independent of lithology. The gold-bearing hydrothermal quartz veins occur in fractures within the competent rock units and near major faults. In fact, he insists on the importance of the presence of granitoids which, in our opinion, must have played a double role: tectonic and physico-chemical. On this latter factor, it should be noted that along the margins of the Bourlamaque batholith there are, in addition to the two mines previously mentioned, two other gold mines (Cournor and Jacola) and at least seven exploration shafts. Also, according to the same author, the local geological relationships indicate that few geological events followed the emplacement of the gold-bearing veins, proving that they arrived quite late in the geologic evolution of the area.

Volcanogenic deposits associated with the calco-alkaline lavas of the Malartic Group.

The local copper and copper-zinc deposits are related to the volcanism. Thus the Manitou-Barvue mine, located 3000 feet (1km) south of the southern margin of the Bourlamaque batholith, presents two parallel mineralizations (in cross-section) but each with a different dip (85°N for the zinc level and 65°N for the copper level) in an altered and sheared tuffaceous

et cisailée. La mine East Sullivan, fermée depuis 1966, est localisée à quelque 4 milles à l'ouest-sud-ouest de la précédente et se trouve sur la bordure occidentale d'un stock monzonitique ou dioritique. Le minerai de cuivre et de zinc est ici sous forme de masses lenticulaires concordantes avec les tufs encaissants, lesquels sont recoupés par des dykes de composition variable. On observe localement une paragenèse constituée uniquement de chalcopryrite donnant lieu à une minéralisation parfois disséminée et parfois massive. Cette dernière peut résulter soit de la mobilisation des sulfures préexistants à l'intrusion, ou encore elle peut être reliée à la mise en place de l'intrusion.

Le cadre géologique de la mine Louvem, découverte en 1968, ressemble beaucoup à ceux que nous venons de présenter. La minéralisation métallique, contenant de la chalcopryrite et de la pyrite, se trouve dans un horizon de roches pyroclastiques fortement altérées d'une séquence de roches volcaniques (Spitz et Darling, 1973). Un niveau à faible teneur en zinc, cuivre et argent est aussi présent à Louvem (Vallée et Bourassa, 1972).

Les trois gisements que nous venons de décrire présentent la caractéristique géologique commune de se trouver dans la partie supérieure de l'empilement volcanique local (goupe de Malartic supérieur) que les études d'Alsac *et al.* (1971) ont permis de classer comme appartenant à une série calco-alkaline.

The East Sullivan mine, closed since 1966, is located approximately 4 miles to the west-southwest of the preceding mine and lies on the western edge of a monzonitic or dioritic stock. The copper and zinc ore occurs in lenticular masses concordant with the enclosing tuffs, which are intersected by dykes of variable composition. Locally, a phase consisting solely of chalcopryrite can be observed, giving rise to mineralization which can be either disseminated or massive. This latter type can result from either remobilization of sulphides predating the intrusion or can be genetically related to the emplacement of the intrusion.

The geologic setting of the Louvem mine, discovered in 1968, is quite similar to the others just described. The metallic mineralization containing chalcopryrite and pyrite occurs in a highly altered pyroclastic horizon in a sequence of volcanic rocks (Spitz and Darling, 1973). A lower grade horizon containing zinc, copper and silver is also present at Louvem (Vallée and Bourassa, 1972).

The three deposits which we have just described have a common geological feature in that they all occur in the upper part of the local volcanic pile (Upper Malartic Group) which, according to Alsac *et al.* (1971), can be classified as belonging to a calco-alkaline sequence.

*Gisements pneumatolytiques associés à
l'intrusion potassique et tardive de
Lacorne*

A 12 milles (19 km) au nord-ouest de Val-d'Or, se trouve la mine Molybdenite Corp. of Canada, productrice de molybdène et de bismuth. Le minerai est contenu dans des veines de quartz et de pegmatite imprégnant des schistes à mica recoupés par des dykes de granite. Ce granite est relié génétiquement au batholite de Lacorne dont le contact occidental passe à moins de 1 mille (1.6 km) à l'est de la mine.

*Pneumatolytic deposits associated with
the late, potassic, Lacorne intrusion.*

Located 12 miles (19 km) northwest of Val-d'Or is the Molybdenite Corp. of Canada mine, a molybdenum and bismuth producer. The ore is found in quartz veins and pegmatite impregnating mica schists cut by granite dykes. The granite is genetically related to the Lacorne batholith, whose western contact passes at least 1 mile (1.6 km) east of the mine.

GÉOLOGIE ET PÉTROGRAPHIE

GEOLOGY AND PETROGRAPHY

Le batholite de Bourlamaque est situé au nord-est de la ville de Val-d'Or et son contact sud-occidental passe dans la ville même. Val-d'Or, à quelque 260 milles (415 km) au nord-ouest de Montréal (fig. 3), est, après Noranda, la plus importante ville de l'Abitibi.

The Bourlamaque batholith is located northeast of the town of Val-d'Or and its southwestern contact passes through the town itself. Val-d'Or, which is approximately 260 miles (415km) northwest of Montreal (fig. 3), is, after Rouyn-Noranda, the most important town in the Abitibi region.

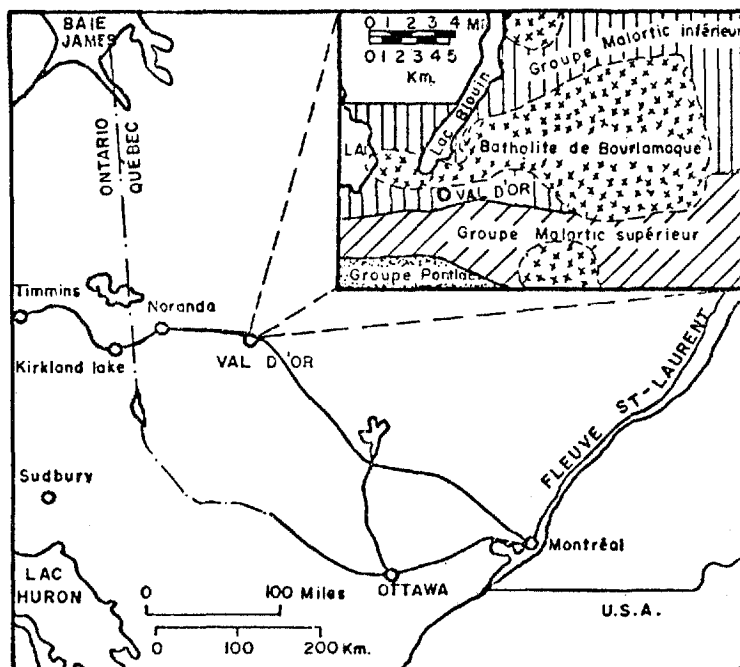


FIGURE 3 - Localisation du batholite de Bourlamaque /Location-map of the Bourlamaque batholith.

L'intrusion couvre environ 65 milles carrés (170 km²); elle se situe entre les latitudes 48°06' et 48°11' et les longitudes 77°33' et 77°53', occupant la partie nord du canton Bourlamaque, la partie sud du canton Senneville et une partie des cantons de Louvicourt, de Dubuisson et de Pascalis. Le batholite ressemble à une poire et son axe principal est parallèle à la structure régionale. L'intrusion est en général concordante aux formations encaissantes sauf au contact oriental où elle les coupe à un angle presque droit.

L'accès au batholite est facilité par le système routier qui suit ses bordures et par les rivières Bourlamaque et Colombière qui le traversent du nord au sud et de l'ouest à l'est dans sa partie orientale. Vu la morphologie de pénéplaine de la région et la présence de sédiments argileux d'origine glaciaire (ancien lac Barlow-Ojibway) favorisant le développement de marécages, il n'y a environ que 30% du batholite qui affleure. Les affleurements se concentrent surtout dans la partie sud-est où ils forment une petite dorsale de direction est-ouest s'élevant à quelque 50 m au-dessus de la région avoisinante; dans la partie nord-ouest, ils sont plutôt sporadiques. En général, les pentes nord des affleurements sont plus abruptes que les pentes sud qui sont recouvertes de produits glaciaires: argile, sable et, plus rarement, galets et petits blocs. Ces observations et la présence de deux eskers dans la partie septentrionale du batholite témoignent de la direction nord-sud de l'écoulement glaciaire.

The intrusion covers approximately 65 square miles (170 km²) and is located between latitudes 48°06' and 48°11' and longitudes 77°33' and 77°53'. It occupies the northern part of Bourlamaque township, the southern part of Senneville township and parts of the townships of Louvicourt, Dubuisson and Pascalis. The batholith is pear-shaped and its principal axis is parallel to the regional structure. The intrusion is concordant with the enclosing formations except at its western contact where it cuts them almost at right angle.

Access to the batholith is simplified by the existence of a road system which follows its margins and by the Bourlamaque and Colombière rivers which cross it, respectively, from north to south and west to east in the eastern portion. Both the morphology of the region - that of a peneplane - and the presence of argillaceous sediments of glacial origin (ancient Lake Barlow-Ojibway) favor the development of bogs and only about 30% of the batholith outcrops. These outcrops are concentrated particularly in the southeastern part where they form a small east-west oriented hump some 50 m above the surrounding area. In the northwestern part, on the other hand, they are somewhat sporadic. In general, the northern edges of the outcrop are more abrupt than the southern edges which are covered by glacial deposits such as clay, sand and, more rarely, boulders and small blocks. These observations, in addition to the presence of two eskers in the northern part of the batholith, confirm the north-south direction of glacial movements.

TRAVAUX ANTERIEURS

Depuis la découverte du district minier de Val-d'Or, le batholite de Bourlamaque a souvent été cité dans la littérature géologique. Malgré cet intérêt, un examen soigné des données, aujourd'hui disponibles, nous révèle que l'on est en possession de peu de renseignements originaux sur la géologie du batholite.

En 1926, James et Mawdsley firent les premiers travaux de cartographie régionale et dressèrent la première carte du batholite, y incluant une description très sommaire de sa composition minéralogique.

En 1930, Hawley précisa les limites de l'intrusion, signala son homogénéité pétrographique et, d'après la teneur en soude de 6.60% de trois échantillons, la classifia comme une granodiorite sodique. Nous faisons remarquer que les échantillons analysés provenaient soit directement des mines d'or, soit des zones avoisinantes et, par conséquent, avaient été fort probablement affectés par des processus hydrothermaux.

En 1937, Gussow, dans une étude de sept intrusions du nord-ouest québécois, s'occupa spécialement du batholite de Bourlamaque. Il remarqua la présence de quelques rares faciès de gabbro quartzique frais dans l'ensemble du batholite altéré à plusieurs degrés. A cause de la faible teneur locale en potasse (<1%), il classifia le batholite comme une tonalite à albite. Il

PREVIOUS WORK

Since the discovery of the Val-d'Or mining district, the Bourlamaque batholith has often been cited in geologic literature. However, a careful examination of all the data available to date shows that, in fact, very little primary information exists on the geology of the batholith.

James and Mawdsley, in 1926, where the first to undertake regional geologic mapping and to produce a map of the batholith along with a summary description of its mineralogical composition.

In 1930, Hawley defined the limits of the intrusion, noted its petrographic homogeneity and, on the basis of three samples with 6.60% soda, classified it as a sodic granodiorite. It should be noted, however, that the samples he analysed were collected either directly from the gold mines or in adjacent zones which had most probably been affected by hydrothermal alteration.

In 1937, Gussow, in a study of seven intrusions of northwestern Quebec, gave special attention to the Bourlamaque batholith. He noted the presence of a few rare facies of fresh quartz gabbro within the batholith which, on the whole, was altered to varying degrees. On the basis of its local low-potash content (<1%) he classified the batholith as an albite-tonalite. He

signala aussi la présence, le long des bords du batholite, d'un faciès plus mafique. Enfin, sur la base d'une étude chimique très limitée, 3 échantillons de roches fraîches ou peu altérées, cet auteur proposa que la tonalite à albite, dont se compose l'intrusion, est le résultat d'un processus plus ou moins poussé d'albitisation, de silicification et de chloritisation de roches ayant originellement la composition d'un gabbro quartzique. La comparaison des analyses chimiques de Gussow et de Hawley montre une diminution radicale de la teneur en soude qui passe de 6.60% à 2.60%. D'après Gussow cette différence résulterait du fait que ses échantillons provenaient de zones non altérées tandis que ceux de Hawley avaient été prélevés à proximité des gîtes d'or. A propos de l'état d'altération du batholite, Gussow compare des roches relativement fraîches et prélevées loin des gisements à des roches qui en proviennent et reconnues par lui comme étant modifiées par des processus hydrothermaux. Son modèle d'interprétation étant donc bâti sur la comparaison des analyses mentionnées ci-dessus, le type d'altération qui affecte presque entièrement le batholite (le mot métamorphisme ne paraît jamais dans son texte) doit être nécessairement et exclusivement hydrothermal.

En 1942, Ingham étudia la radioactivité des roches du batholite et sa structure en utilisant la "Granit Tektonik" de Cloos. Sa conclusion fut que la partie orientale du batholite présente les caractères structuraux d'un pluton diapirique intrusif dans un anticlinal. La trace axiale de cette structure possède une direction est-ouest et une concavité vers le nord et se situe entre le lac Herbin et un point

also noted the presence of a more mafic facies along the edges of the batholith. On the basis of a quite limited chemical study involving 3 fresh or slightly altered rock samples, the author advanced the explanation that the albite-tonalite, of which the intrusion was composed, resulted from a more or less advanced stage of albitization, silicification, and chloritization of rocks originally having a quartz gabbro composition. The comparison of Gussow's chemical analyses with those of Hawley shows a drastic drop in soda from 6.60% to 2.60%. According to Gussow this difference results from the fact that his samples were collected from non-altered zones while Hawley's samples were collected near the gold mines. On the subject of the degree of alteration, Gussow compared rocks which were relatively fresh and collected far from the mineral deposits with rocks collected from the deposits which he recognized as being altered by hydrothermal processes. His interpretation, based on comparison of the resulting analyses, was that the type of alteration which affected almost the entire batholith (the word metamorphism is never mentioned in his work) was necessarily and exclusively hydrothermal.

In 1942, Ingham studied the radioactivity of the batholith and its structure using Cloos' "Granit Tektonik". He concluded that the eastern part of the batholith had structural characteristics of a diapiric pluton intrusive into an anticlinal structure. The axial trace of this structure, struck east-west, was concave towards the north and was located between Herbin lake and a point located approximately 1 mile (1.6 km) south of the

situé à environ 1 mille (1.6 km) au sud du coin nord-ouest du canton de Louvicourt (cf. carte en pochette). La partie orientale du batholite se serait donc mise en place sous forme d'un arc solide asymétrique. La partie septentrionale de cet axe plonge vers le nord et se prolonge vers l'ouest sous forme d'une espèce de filon-couche. D'après le même auteur, le magma, montant obliquement du nord et du nord-est put s'étaler sur une distance de quelque 14 milles en direction est-ouest, tandis que la portion méridionale, qui monta plus ou moins verticalement, ne parvint à s'étaler que sur une distance de 7 milles. Quant à la radioactivité, Ingham en reconnut une distribution concentrique dans le batholite: les roches de la périphérie sont six fois plus radioactives que celles de la partie centrale.

En 1943, à la suite de la cartographie du canton de Bourlamaque Norman présenta un aperçu très intéressant de la géologie locale, dont nous retenons les points suivants. Premièrement, il avance l'hypothèse qu'on est en présence d'un batholite composé d'intrusions multiples, quoique similaires. En deuxième lieu, il essaye de situer chronologiquement l'intrusion dans le contexte géologique local: sa mise en place serait un phénomène précoce par rapport au développement structural de la région. Et enfin, il fait état de l'effet métamorphique du batholite qui aurait transformé les volcanites encaissantes en amphibolites.

En 1972, Latulippe envisage l'existence d'un lien intime entre magmatisme et volcanisme locaux: le batholite de Bourlamaque serait intrusif dans son empilement volcanique.

northwest corner of Louvicourt township (cf. map in pocket). The eastern part of the batholith would then have been emplaced in the shape a solid asymmetric arc. The northern part of this arc plunges towards the north and continues toward the west as a type of sill. According to the same author, the magma, which rose obliquely from north to northeast, spread in a westerly direction whereas the southern portion, which rose more or less vertically, could only spread out over a distance of 7 miles. As to the radioactivity, Ingham recognized a concentric distribution within the batholith: the rocks along the periphery are six times as radioactive as those in the central part.

In 1943, following his geologic mapping of Bourlamaque township, Norman presented an interesting account of the local geology, of which the following points are retained. First, he advanced the hypothesis that we were in fact observing multiple intrusions but of similar composition. Secondly he attempted to chronologically date the intrusion within its local geologic setting. He considered the emplacement as being an early feature with respect to the structural development of the area. And, finally, he described the metamorphism resulting from the batholith, notably its transformation of the enclosing volcanics to amphibolites.

In 1972, Latulippe considered the possibility of an intimate association between the magmatism and local vulcanism: the Bourlamaque batholith being intrusive into its own volcanic pile.

En terminant, et seulement à titre d'exemple de l'état actuel des connaissances spécifiques du sujet, nous rapportons la description du batholite de Bourlamaque faite en 1970 par Goodwin et Ridler: le batholite de Bourlamaque est composé de diorite quartzique dans sa partie centrale et de granite à albite à la périphérie.

RELATIONS DE TERRAIN

Le batholite de Bourlamaque présente sur le terrain les caractères typiques d'un complexe igné à composition quartzo-dioritique plutôt monotone. Aucune zonation évidente n'a été remarquée et l'attribution des différents noms pétrographiques, sauf dans de très rares cas, a été extrêmement difficile. On note en outre l'absence totale de faciès sains, phénomène qui permet facilement de reconnaître l'état altéré du batholite. L'intrusion garde sa texture grenue, mais elle peut montrer une foliation à direction est-ouest accentuée surtout le long des bordures nord et sud, où elle est tout à fait concordante avec la structure des volcanites encaissantes. La foliation locale doit être considérée comme secondaire puisqu'elle est due essentiellement à la chlorite, minéral d'origine post-magmatique.

Rappelons que d'après l'étude structurale de Ingham (1943), la partie occidentale et effilée du batholite présente les caractéristiques d'un filon-couche; le pendage qui est de 70°N concorde avec les volcanites encaissantes et, dans la partie nord, se prolonge vers l'est au moins jusqu'à la rivière Bourlamaque. La masse de

In closing, and only to give but one example of the present state of the specific knowledge on the subject, we recall the description of the Bourlamaque batholith given by Goodwin and Ridler in 1970: the Bourlamaque batholith is composed of a quartz-diorite core and albite-granite at its periphery.

FIELD RELATIONSHIPS

The Bourlamaque batholith has field characteristics which are typical of the rather monotonous igneous complexes of quartz diorite composition. Zoning is not evident and assigning different petrographic names, except in a few rare instances, is extremely difficult. Also, the total absence of fresh rock-types is a phenomenon which easily confirms the altered state of the batholith. The intrusion does conserve its granular texture; but, it can develop an east-west foliation which is accentuated along its north and south margins and becomes completely concordant with the structure of the enclosing volcanic rocks. The presence of a local foliation is considered secondary since it is due to chlorite, a mineral of post-magmatic origin.

Recalling the structural work by Ingham (1943), the western elongated part of the batholith has sill-like features; its dip, 70°N, is concordant with the enclosing volcanic rocks and in the northern end extends towards the east at least to the Bourlamaque river. The peridotite mass west of Herbin lake would have acted as a buttress, preventing the

péridotite, présente à l'ouest du lac Herbin, aurait agi comme contrefort s'opposant à l'expansion vers l'ouest de la masse principale. Le même contrôle lithologique peut être légitimement envisagé pour les deux contacts oriental et occidental. En effet, à l'ouest, à la mine Sullivan Cons., le contact est occupé par une masse de péridotite. Également à l'est, le long du contact discordant, des masses de roches ultramafiques sont présentes, l'une d'elles pénétrant à environ un demi-mille (800 m) dans le batholite. En outre, le long de ce dernier contact, l'orientation, aléatoire à plusieurs endroits, des structures du batholite et des volcanites témoigne d'une expansion forcée de la masse intrusive.

Les contacts du batholite sont en presque totalité cachés par le mort-terrain à l'exception de deux endroits. Le premier contact, situé à 2300 pieds au nord de la route Montréal-Val-d'Or, affleure sur quelque 250 pieds (80 m) le long de la ligne des cantons de Bourlamaque et de Louvicourt. Le contact, orienté à 340° et discordant avec les volcanites qui sont orientées est-ouest, est franc; en effet, on n'observe ni inclusions dans la diorite ni apophyses de diorite dans les volcanites. La roche intrusive est sensiblement différente de la diorite normale: c'est plutôt un faciès hybride qui, entre autres, peut présenter des cristaux de quartz blanc noyés dans une matrice de minéraux ignés assez fins accompagnés localement de chlorite. A une distance de 250 pieds (80 m) vers l'intérieur du batholite, les caractéristiques grenues s'accroissent et la roche, plus homogène, devient presque normale. Les roches volcaniques, tout en n'étant pas dérangées

western expansion of the principal intrusive mass. The same lithologic control can legitimately be considered for both the eastern and western contacts. In fact, to the west at the Sullivan Cons. mine, a peridotite mass occupies the contact. Similarly in the east, along the discordant contact, masses of ultramafic rocks are present, one of which penetrates up to one-half mile (800 m) into the batholith. It should be noted that along this later contact the orientation of structures within the batholith and volcanic rocks becomes haphazard in many places, indicating the compressive expansion of the intrusive mass.

The batholith contacts are almost completely hidden by overburden, except in two places. The first contact located 2300 feet north of the Montreal - Val-d'Or Highway is visible for some 250 feet (80 m) along the township line between Bourlamaque and Louvicourt townships. The contact, which strikes 340° , is quite sharp and is discordant with the volcanic rocks which are oriented east-west, in fact no inclusions are found in the diorite and no apophyses of diorite in the volcanic rocks. The intrusive rock is slightly different from normal diorite; it is a hybrid variety which can contain, among others, white quartz crystals in a matrix of fine igneous minerals locally accompanied by chlorite. At a distance of 250 feet (80 m) from the contact, towards the interior of the batholith, the granularity of the rock is more evident and the rock becomes more homogeneous, almost normal. The volcanic rocks, though not structurally affected, show signs of recrystallization, notably by

au point de vue structural, présentent des signes de recristallisation, notamment un développement de taches d'épidote pouvant atteindre 25 cm de diamètre.

Le deuxième contact dans la région du lac Herbin (voir carte géologique Bourlamaque nord-ouest, 1 000' = 1", ministère des Mines du Québec, 1958) se situe sur la rivière Bourlamaque à 1700 pieds au nord du pont, le long du chemin qui mène au lac Herbin. Il offre peu de renseignements parce que les roches volcaniques affleurent seulement sous forme de quelques blocs dans la diorite et que de ce fait, l'existence même du contact est douteuse. Les blocs, dont les dimensions vont jusqu'à 1000 x 300 pieds (300 m x 90 m), ont subi une rotation et montrent parfois un début d'assimilation. Cette hypothèse se base sur la présence de dykes de diorite recoupant les volcanites et, à une échelle plus petite, sur la croissance dans les roches volcaniques de porphyroblastes de plagioclase.

D'autres part, la présence d'inclusions volcaniques n'est pas un phénomène limité aux zones de bordure; on peut l'observer un peu partout dans le batholite. En général, les inclusions sont de dimension métrique et sont peu affectées par l'intrusion; cependant, il y a des cas où la granitisation est évidente, comme le montre la figure 4. Ainsi, certains faciès, trouvés surtout au sud-est du lac Herbin et au sud du village de Pascalis, d'aspect pseudo-porphyrrique dû à la présence de tablettes de plagioclase idiomorphe et d'agrégats de quartz bleuté baignant dans une matrice chloriteuse, pourraient devoir leur origine à l'assimilation presque totale des volcanites encaissantes.

the development of epidote clusters which can attain a diameter of 25 cm.

The second contact in the Herbin Lake area (see the geologic map of Northwest Bourlamaque, 1000' = 1", Quebec Department of Natural Resources, 1958) is located on the Bourlamaque river, 1700 feet north of the bridge along the road which leads to Herbin lake. Very little information can be obtained because the volcanic rocks outcrop only as a few rare blocks in the diorite, making the contact itself somewhat doubtful. The blocks, whose dimensions reach up to 1000 x 300 feet (300 m x 90 m), have been rotated and show signs of early stages of assimilation. This hypothesis is based on the presence of diorite dykes which cut the volcanics and, on a smaller scale, on the growth of plagioclase porphyroblasts in the volcanic rocks.

But, on the other hand, the presence of volcanic inclusions is not a phenomena limited to the margins, it can be observed throughout the batholith. In general, the inclusions are metre-size and not much altered by the intrusion; however, there are cases where granitization is evident, as shown in figure 4. Thus certain facies encountered, particularly southeast of Herbin lake and south of the village of Pascalis, have a pseudo-porphyrritic aspect due to the presence of idiomorphic plagioclase plates and aggregates of bluish quartz in a chloritic matrix. These rocks could owe their origin to the almost complete assimilation of the enclosing volcanic rocks.

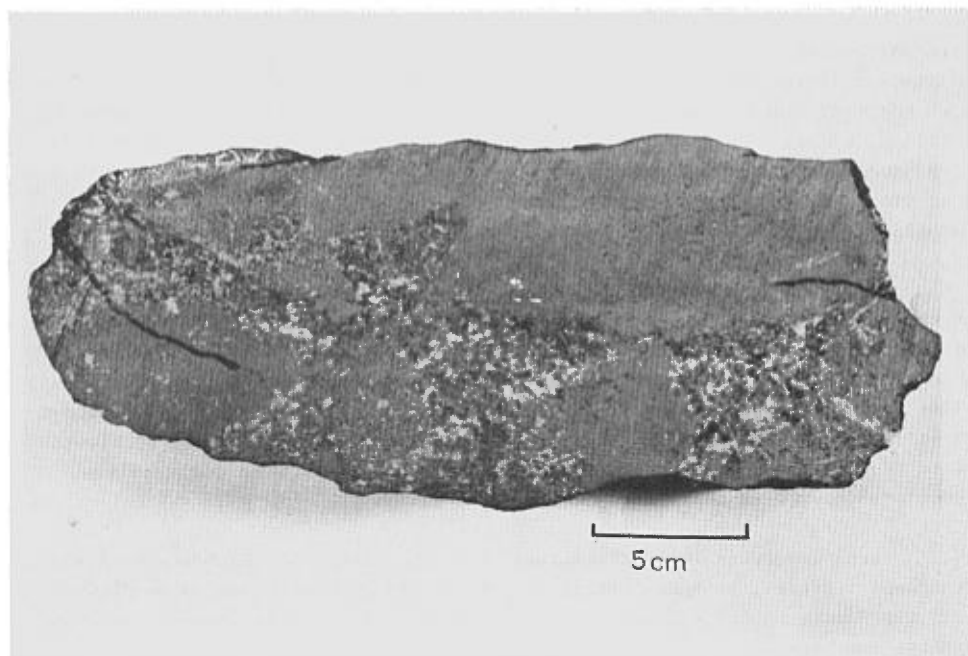
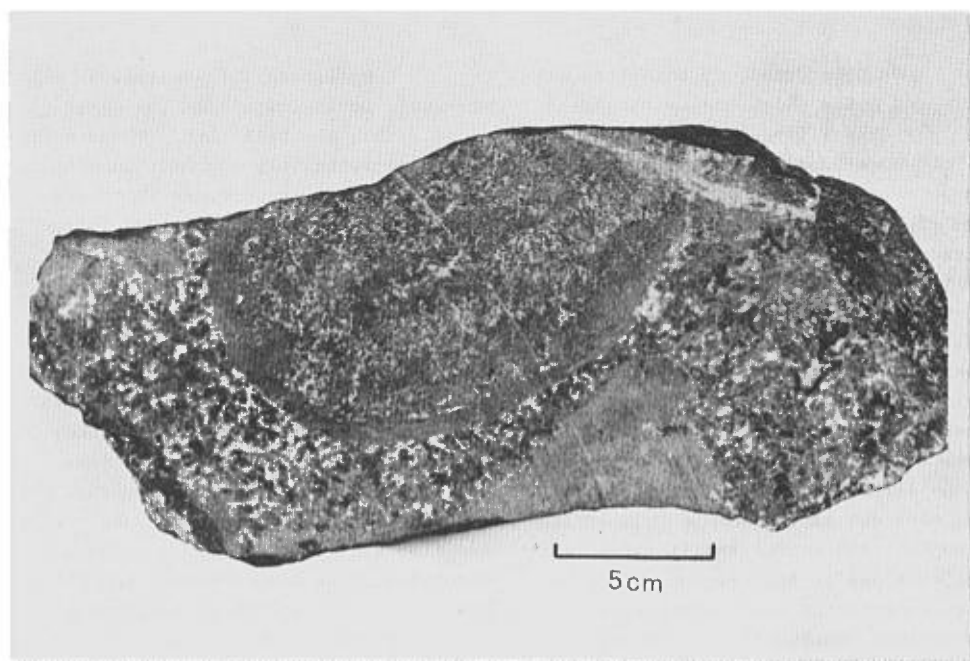


FIGURE 4 - Assimilation d'enclaves volcaniques par l'intrusif de Bourlamaque.
Assimilation of volcanic inclusions by the Bourlamaque intrusion.

A l'intérieur du batholite on trouve des dykes mélanocrates verticaux à subverticaux à direction nord-sud. Ces roches mafiques sont relativement abondantes en comparaison aux rares dykes plus siliciques que l'intrusif principal. Nous anticipons ici que les deux types de dykes ont en commun avec les roches de la masse principale le même type d'altération, mais ils diffèrent sur le terrain par les caractéristiques suivantes. Les dykes mélanocrates ont une puissance presque constante et une direction rectiligne; ils ont une surface d'altération vert sombre et ne montrent aucune érosion différentielle par rapport aux roches encaissantes; ces dykes sont peu ou non fracturés. Chronologiquement, ils sont postérieurs à l'intrusion; cependant, on a remarqué par endroits des relations qui nous ont intrigué, les dykes étant recoupés par les roches du batholite. Ces derniers appartiennent probablement au groupe des dykes synplutoniques décrits par Roddick et Armstrong (1959). Dans le cas de Bourlamaque, les dykes sont plutôt tardi-plutoniques et ils indiquent une mise en place presque simultanée à celle du batholite.

Les dykes leucocrates, blanc jaunâtre en surface d'altération, sont d'épaisseur très variable et apparaissent localement en amas qui forment des saillies topographiques. Ils sont fracturés et affleurent parfois sous forme de blocs dégagés. Chronologiquement, ils sont postérieurs au batholite.

Parmi les dykes leucocrates, généralement stériles, le dyke "indice Savard" représente en effet la seule minéralisation relativement intéressante que l'on a trouvée sous cette forme dans le batholite. Il s'agit

Melanocratic, vertical to sub-vertical, north-south-trending dykes occur within the batholith. These mafic rocks are relatively abundant in comparison to the few rare dykes which are more silicic than the principal intrusive. We believe that both types of dykes have the same type of alteration as found in the principal intrusive masses; however, in the field, they differ by the following features. The melanocratic dykes are of almost constant size with rectilinear direction; they have a dark green alteration surface and do not show differential erosion with respect to the country rocks. They are also slightly fractured or unfractured. Chronologically they postdate the intrusion; however, intriguing relationships were observed in several locations, for instance, some dykes are cross-cut by rocks of the batholith. These latter rocks probably belong to a group of synplutonic dykes described by Roddick and Armstrong (1959). In the Bourlamaque case, the dykes are late-plutonic ones and show evidence of having been emplaced almost simultaneously with the emplacement of the batholith.

The leucocratic dykes which weather to a white yellowish colour are of variable thickness and locally appear in clusters which form topographic highs. They are extensively fractured and often found as a string of blocks. Chronologically, they postdate the batholith.

Among the leucocratic dykes which are generally barren we find the "Savard Index" dyke, the only one with relatively interesting mineralization found in the batholith. It is a highly fractured, sheared, triangular-shaped

d'un amas très fracturé et cisailé de forme subtriangulaire, allongé est-ouest. Le dyke est situé à quelque 1700 pieds au sud et 500 pieds à l'ouest du milliaire IX sur la ligne séparant les cantons de Bourlamaque et de Louvicourt. La minéralisation est représentée par des petits grains et des veinules de chalcopryrite et de molybdénite accompagnée d'un peu de pyrite (Latulippe, 1959).

De nombreux filons et filonets de quartz sillonnant tout le batholite se concentrent surtout dans sa partie sud-est. Ces filons présentent un intérêt spécial puisque la minéralisation aurifère peut s'y loger. La tourmaline et à la pyrite sont associées souvent au quartz blanc laiteux.

Parmi ces filons, le plus important est le "Snow Shoe", situé dans une zone de failles à 2700 pieds à l'ouest du milliaire IX, le long de la ligne qui sépare les cantons de Bourlamaque et de Louvicourt. La partie centrale et occidentale du filon présente de nombreuses interdigitations avec la diorite encaissante. Le quartz accompagné de tourmaline, de pyrite, et de chalcopryrite s'est révélé aurifère. Cependant, de nombreux sondages n'ont pas indiqué de teneurs en or économiquement intéressantes.

APERCU PETROGRAPHIQUE

Après consultation des documents concernant le batholite (cartographie déjà existante et étude des photos aériennes locales), un total de 350 échantillons furent prélevés pendant les

topographic high, elongated in an east-west direction. This dyke is located approximately 1700 feet south and 500 feet west of mile IX of the line between Bourlamaque and Louvicourt townships. The mineralization consists of small grains and veinlets of chalcopryrite and molybdenite with minor pyrite (Latulippe, 1959).

The numerous quartz veins and veinlets which cut across the entire batholith are particularly concentrated in its southeastern part. These veins are of special interest as they may be gold-bearing. Tourmaline and pyrite are often associated with the white milky quartz.

Among these veins, the most important is the "Snow-shoe Vein", located in a fault zone 2700 feet west of mile IX along the line separating Bourlamaque and Louvicourt townships. The central and western parts of the vein show numerous interdigitations with the enclosing diorite. The quartz, accompanied by tourmaline, pyrite and chalcopryrite, has been shown to be gold-bearing. However, numerous drill-holes have failed to indicate a gold tenor of economic interest.

PETROGRAPHIC SUMMARY

After consulting the literature on the batholith (existing geologic maps and study of local air-photos), a total of 350 samples were collected during the summers of 1969 and 1970. The sample

étés 1969 et 1970. La carte de localisation des échantillons recueillis est en pochette.

Suite à l'étude des données de terrain, quelque 120 lames minces furent examinées en laboratoire afin de mieux saisir les quelques problèmes présentés par la géologie locale. Par exemple, l'identification des phases minéralogiques primaires et secondaires indispensable à la compréhension des conditions physico-chimiques respectives lors de la mise en place de l'intrusion et lors des processus post-magmatiques, l'altération métamorphique commune à la plupart des études de l'Archéen et son importance dans la distribution géochimique des éléments.

EXAMEN MACROSCOPIQUE

L'INTRUSIF PRINCIPAL. L'intrusion de Bourlamaque présente dans l'ensemble des roches à caractère intermédiaire; les quantités relatives de minéraux leucocrates et melanocrates, bien que variables, n'indiquent jamais une composition franchement granitique ou franchement gabbroïque. Ces roches, moyennement à grossièrement grenues, ont une couleur vert pâle grisâtre et une texture généralement homogène et typiquement grenue. Le plagioclase, le quartz, la chlorite, l'amphibole et la biotite, rarement présente, sont facilement visibles à l'oeil nu. Le plagioclase, minéral le plus abondant, se présente en cristaux individuels altérés, parfois idiomorphes, de couleur blanc mat localement verdâtre ou jaunâtre. Le quartz possède une teinte bleutée mais est incolore dans les roches plus basiques et moins altérées. Ces deux types de quartz peuvent coexister

location map is found in the back-pocket.

Following the study of the field data, 120 thin sections were examined in the laboratory to gain a better understanding of the problems presented by the local geology. For example, the identification of the primary and secondary mineral phases is mandatory if one is to gain an understanding of the physico-chemical conditions which prevailed during the emplacement of the intrusive and during post-magmatic processes. An understanding of metamorphic alteration, common to most studies on the Archean, is also necessary considering its importance in controlling the distribution of geochemical elements.

MACROSCOPIC EXAMINATION

THE MAIN INTRUSIVE. The Bourlamaque intrusion consists primarily of rocks of intermediate composition. The relative quantities of leucocratic to melanocratic minerals, though variable, never indicates a clearly granitic or gabbroic composition. The rocks are medium to coarse grained, typically granular with a generally homogeneous texture and pale greyish green in colour. The plagioclase, quartz, chlorite, amphibole and biotite, although the latter is rarely present, are clearly visible to the naked eye. Plagioclase, the most abundant mineral, occurs as individual crystals, sometimes idiomorphic, always altered, generally dull white but locally greenish or yellowish. The quartz has a bluish tint but is uncoloured in the more basic or unaltered rocks. These two types of quartz can co-exist; the white quartz, often with an angular outline, fills the interstices between

et alors le quartz blanc, à contours souvent anguleux, remplit les interstices des grains de plagioclase, tandis que le quartz bleu, en cristaux ou agrégats arrondis, d'habitude plus gros que le quartz blanc, se loge de préférence dans les nids de chlorite. Il semble exister un rapport inverse entre la quantité de quartz bleu et d'amphibole. La chlorite constitue des plages irrégulières vert pâle et sa nature phylliteuse est difficilement reconnaissable. L'amphibole toujours associé à la chlorite, s'identifie par contre facilement par sa couleur vert foncé, sa forme prismatique et sa cassure luisante le long des clivages.

Si la minéralogie est dans l'ensemble monotone, il n'en est pas de même pour les rapports entre les minéraux présents. Ainsi, parmi les minéraux leucocrates, la teneur en plagioclase est relativement constante (environ 50%), tandis que le quartz montre plus de variation relative qui peut atteindre jusqu'à 300%.

LES DYKES. Les dykes mélanocrates forment un ensemble très homogène de couleur vert grisâtre peu intense. Ils possèdent une texture massive et porphyrique et les phénocristaux, constitués exclusivement de plagioclase localement idiomorphe, de couleur blanc laiteux et localement vert pâle, se logent dans une matrice chloriteuse quasi-aphanitique. Ces phénocristaux ont une taille moyenne de 2 mm (entre 0.5 et 4 mm) et constituent 10 à 15% de la roche. Le rapport phénocristaux-matrice est variable et on peut voir ici et là de rares portions de dyke à texture aphanitique homogène. A l'oeil

plagioclase grains whereas the blue quartz, as rounded crystals or aggregates typically coarser than the white quartz, appears to sit by preference in nests of chlorite. There seems to be an inverse relationship between the quantity of blue quartz and amphibole. Chlorite forms irregular pale green platelets and its lepidoclastic nature is not readily recognizable. Amphibole, always associated with the chlorite, is easily identified by its dark green colour, its prismatic form and the bright luster along its cleavages.

If the mineralogy is on the whole monotonous, the relationship between minerals is not. Thus, among leucocratic minerals, the plagioclase content is relatively constant (approximately 50%) whereas the quartz content shows greater relative variation which can reach to 300%.

THE DYKES. The melanocratic dykes form a relatively homogeneous, pale greyish-green assemblage. They show a massive and porphyritic texture and the phenocrysts, consisting exclusively of locally idiomorphic, milky white to locally pale green plagioclase, occur in an almost aphanitic chloritic matrix. The phenocrysts have an average size of 2 mm (ranging from 0.5 to 4 mm) and constitute 10 to 15% of the rock. The phenocryst/matrix ratio is variable and rare parts of dykes may be seen here and there which have a homogeneous aphanitic texture. In many places it is possible to see small sulphide grains in hand specimen

nu, on peut encore reconnaître, à plusieurs endroits, de petits grains de sulfures et, dans les faciès plus altérés, des carbonates de couleur blanche.

Les dykes leucocrates sont massifs et porphyriques, de couleur gris pâle et tachetés vert sombre. Les phénocristaux constituant environ 50% de la roche baignent dans une pâte grise: les plagioclases, - les plus abondants (30%), - sont blanc verdâtre et en cristaux isométriques rarement idiomorphes (2 à 3 mm). La chlorite (10-15%) forme des agrégats vert sombre de dimensions variables pouvant atteindre 5 mm. Le quartz (5%) se présente en petits phénocristaux arrondis de couleur blanc vitreux.

EXAMEN MICROSCOPIQUE

L'INTRUSIF PRINCIPAL. L'examen au microscope révèle à nouveau la texture grenue déjà observée et permet de comprendre les transformations survenues dans la minéralogie primaire. En effet, la paragenèse magmatique constitue plutôt une exception et on est habituellement en présence d'une minéralogie métamorphique ou secondaire. L'altération est omniprésente et affecte en totalité ou presque la roche. L'altération du plagioclase se manifestant par des agrégats d'épidote répandus à la surface du cristal et le haut indice de réfraction de l'épidote rendant la détermination optique très douteuse, la calcicité du plagioclase a été déterminée par microsonde. Les analyses à la microsonde, où un résultat est la moyenne d'au moins 5 mesures sur le même cristal, ont été faites par le Dr. W. Trzcienski du département de Génie minéral de l'Ecole Polytechnique de

and, in the more altered facies, white carbonates.

The leucocratic dykes are massive, porphyritic, pale grey in colour with dark green spots. The phenocryst content is approximately 50% and is suspended in a grey groundmass. The plagioclase phenocrysts, the most abundant (30%), are greenish white and occur as euhedral crystals rarely idiomorphic (2 to 3 mm). The chlorite (10-15%) forms dark green aggregates of variable size reaching up to 5 mm. The quartz (5%) occurs as small, rounded, glassy white phenocrysts.

MICROSCOPE EXAMINATION

THE PRINCIPAL INTRUSIVE. A microscope study reaffirms the previously observed granular texture which permits us to understand the transformations which the primary mineralogy has undergone. In fact, the presence of the primary magmatic minerals is exceptional; normally a metamorphic or secondary assemblage is seen. The rock is wholly affected or almost so by an ubiquitous alteration. The plagioclase alteration is manifest by epidote aggregates on the surface of the crystals. The high refractive index of epidote makes the optical determination of the plagioclase somewhat doubtful, but its calcicity was determined by microprobe. The microprobe analyses, which are calculated from an average of five measurements on the same crystal, were done by Dr. Trzcienski of the Department of Mineral Engineering of l'Ecole Polytechnique of Montréal following the

Montréal, selon la méthode de Bence et Albee (1968) qui peut être entachée d'une erreur relative de $\pm 5\%$.

Un échantillon de roche moins altérée possède une texture grenue hypidiomorphe où le plagioclase est euhédral à subeuhédral, l'amphibole subeuhédrale et le quartz interstitiel. Les minéraux toujours présents sont le plagioclase, l'amphibole, le quartz, la magnétite titanifère, l'apatite et, en quantités variables, la chlorite et l'épidote. Les minéraux occasionnels sont le pyroxène, la calcite, le mica blanc, le zircon, le leucoxène, le sphène et des sulfures (chalcopryrite et pyrite). Des essais de coloration effectués sur des tranches de roche et sur des lames minces n'ont révélé la phase potassique que dans un seul cas.

Le plagioclase, est recouvert de clinzoisite qui se concentre parfois au centre du cristal. Il est habituellement maclé (phénomène pouvant être relié au métamorphisme) et sans zonage. De minces couches d'albite se moulent occasionnellement çà et là sur les cristaux. Trois mesures à la microsonde donnent respectivement An_{47} , An_{48} et An_{52} : la composition moyenne d'une andésine calcique An_{49} . Les cristaux analysés contenant toujours un peu d'épidote, il est possible que la composition originelle soit un peu plus basique.

L'amphibole, normalement associée à ses produits d'altération, notamment la chlorite, présente un fort pléochroïsme allant du vert (quelquefois brun) au jaune avec la formule pléochroïque suivante: n_{α} = jaune, n_{β} = vert ou brun, n_{γ} = vert ou brun foncé. L'angle d'extinction α_{γ} oscille entre 17°

method of Bence and Albee (1968) which can have a relative error of $\pm 5\%$.

A less-altered rock sample has a granular hypidiomorphous texture wherein, the plagioclase is euhedral to subhedral, the amphibole subhedral, and the quartz interstitial. The minerals which are always present are: plagioclase, amphibole, quartz, titaniferous magnetite, apatite and variable quantities of chlorite and epidote. The occasional accessory minerals are pyroxene, calcite, white mica, zircon, leucoxene, sphene and the sulphides (chalcopryrite and pyrite). Stain tests on rock slabs and thin sections revealed potash feldspar in only one instance.

The plagioclase is covered with clinzoisite which is sometimes concentrated in the core of the crystals. It is normally twinned (perhaps due to the metamorphism) and unzoned. Thin albite selvages sometimes adhere here and there to the crystals. The microprobe analyses give, respectively, An_{47} , An_{48} and An_{52} , the average composition of calcic andesine being An_{49} . As the analysed crystals always contained some epidote, it is possible that the original composition was slightly more basic.

The amphibole, normally associated with its alteration products, primarily chlorite, is strongly pleochroic from green (occasionally brown) to yellow with the following pleochroic formula: n_{α} = yellow, n_{β} = green or brown, n_{γ} = green or dark brown. The extinction angle varies from 17° to 25° .

et 25°. Cette amphibole est une hornblende commune et son origine est fort probablement primaire.

Le quartz, peu abondant, se loge de préférence entre les plagioclases. Le pyroxène est tout à fait exceptionnel puisqu'il n'a été vu que dans deux échantillons. Les quelques grains prismatiques et toujours résorbés sont entourés d'une couronne de hornblende qui les remplace même le long des clivages. Ses caractères optiques (incoloré, forte biréfringence, $c\Delta\gamma$ 45°) correspondent aux caractéristiques des augites.

Les minéraux opaques comprennent des oxydes et des sulfures. Parmi les oxydes, la magnétite titanifère s'entoure toujours de leucoxène. Parmi les sulfures, la pyrite se concentre dans les zones de minéralisation hydrothermale, tandis que la chalcoppyrite se trouve un peu partout dans le batholite et en particulier dans une région stérile à quelque 3500 pieds à l'est du lac Herbin. Sa distribution locale, plutôt rare dans les roches ignées, peut être considérée comme un caractère particulier de cette intrusion.

Les minéraux d'altération des plagioclases sont la clinozoïsite, l'albite et localement la calcite. La solubilisation des carbonates présents dans ces roches n'a révélé à l'analyse chimique que des traces de Fe, Mg et Mn. Très souvent, la calcite montre un faible angle 2V. La calcite en veinules est rare dans l'ensemble quoique l'on ait noté quelques exemples de carbonatation. La chlorite peut être pseudomorphe de l'amphibole, mais plus souvent, elle se présente sous forme d'agrégats. La

This amphibole is common hornblende and it is probably of primary origin.

The quartz is not abundant and is lodged between the plagioclase phenocrysts. The pyroxene is quite exceptional and was only seen in two specimens. Its few prismatic grains, always resorbed, are surrounded by an alteration rim of hornblende which replaces them along the cleavages. Its optical properties (uncoloured, strongly birefringent, $c\Delta\gamma$ 45°) correspond to that of augite.

The opaque minerals consist of oxides and sulphides. Among the oxides, titaniferous magnetite is always surrounded by leucoxene. Among the sulphides, pyrite is concentrated primarily in zones of hydrothermal mineralization whereas chalcoppyrite occurs throughout the batholith, particularly in a barren area approximately 3500 feet east of Herbin lake. This local distribution, rather rare in igneous rocks, can be considered to be a feature of this intrusion.

The plagioclase alteration minerals are clinozoisite, albite and locally calcite. The carbonates present in these rocks, when dissolved for analysis, revealed only traces of Fe, Mg and Mn. Often the calcite has a small 2V angle. On the whole, calcite is rare as veinlets, but a few examples of carbonitization were observed. The chlorite may be a pseudomorph of amphibole but more often it occurs as an aggregate. Pistachite, calcite, sphene and leucoxene are associated with the chlorite.

pistachite, la calcite, le sphène et le leucoxène sont associés à la chlorite. L'apatite est en petits prismes souvent noyés dans les minéraux secondaires. Le zircon, en cristaux idiomorphes, peut atteindre 1 mm de long et il semble préférer l'association avec les nids de chlorite. Il peut donc être d'origine secondaire, provenant de l'altération de l'amphibole (Vlasov, 1966).

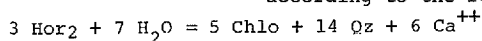
L'examen de faciès plus altérés indique une minéralogie de produits secondaires; on y note ainsi la disparition du pyroxène, la diminution de la hornblende fraîche, le changement local du type d'altération du plagioclase: une simple épidotisation passe à une épidotisation associée à une séricitisation et, fait plus saillant, à une grande augmentation de la quantité de quartz. Dans ce faciès à texture encore typiquement grenue quoique localement faiblement foliée, le plagioclase peut atteindre la composition d'une albite presque pure. La moyenne de quatre mesures à la microsonde (An_3 , An_5 , An_4 , An_6) donne une albite An_4 . Le plagioclase contient toujours les produits d'altération déjà vus, auxquels s'ajoute par endroits un minéral micacé en très fines paillettes. Les résultats négatifs des essais de coloration suggérés par Laduron (1971) nous amènent à considérer ce minéral micacé comme de la paragonite. Cette hypothèse peut se justifier par la faible teneur en potassium de ces roches (le batholite contient en moyenne 0.64% de K_2O). Cependant, on se demande si la méthode de coloration est sensible à des produits potassiques extrêmement fins. La mobilité locale du potassium se manifeste sous forme de paillettes sporadiques de biotite qui a tout l'aspect d'un minéral d'origine secondaire. Les minces

The apatite occurs as small prisms, often masked by the secondary minerals. Zircon occurs as idiomorphic crystals which can reach 1 mm in length and seem to be preferentially associated with the chlorite clusters. It is perhaps of secondary origin, resulting from the alteration of amphibole (Vlasov, 1966).

The study of the more altered phases shows that the mineralogy consists of secondary alteration products: the pyroxene has disappeared; there is less fresh hornblende; the local plagioclase alteration is of a different type, passing from simple epidotization to an epidotization associated with sericitization and, more importantly, to a considerable increase in the amount of quartz. In this altered phase, which still has a typical granular texture though locally weakly foliated, the plagioclase can be almost pure albite. The average of four microprobe determinations (An_3 , An_5 , An_4 , An_6) gives An_4 albite. The plagioclase always contains the alteration products previously mentioned and locally a micaceous mineral in fine platelets. Negative stain tests, using the method of Laduron (1971), lead to a conclusion that this micaceous mineral is paragonite. This hypotheses can be justified by the low potash content of these rocks (the batholith contains an average of 0.64% K_2O). However, perhaps the stain test is not sensitive for extremely fine potassic product. The mobility of potassium is locally seen by the sporadic appearance of biotite flakes which suggests a mineral of secondary origin. Thin, irregular albite selvages surrounding the plagioclase are common, proving a certain degree of mobility in the environment.

couches irrégulières d'albite autour des plagioclases altérés sont fréquentes, preuve d'une certaine mobilité dans le milieu.

Le quartz, généralement associé à la chlorite, se présente surtout en grains, plus gros que dans le faciès précédent, isolés ou en agrégats, mais rarement en veinules. Le lien étroit quartz (macroscopiquement bleuté)-chlorite suggère que cet assemblage est le produit de l'altération de la hornblende, selon la réaction:



Les faciès plus différenciés, situés dans la partie nord-ouest de l'intrusion, sont caractérisés par la présence d'un peu de biotite primaire, généralement associée à l'amphibole, par des traces sporadiques de feldspath potassique interstitiel et par des traînées de quartz à grain fin. Ce dernier caractère confère souvent à la roche une texture foliée. Les plagioclases montrent une séricitisation associée à l'épidotisation. Dans quelques cas, on a l'impression d'être en présence d'une roche hybride constituée de cristaux de plagioclase altéré baignant dans un mélange de quartz, de biotite et de feldspath potassique.

LES DYKES. Les dykes mélanocrates sont représentés souvent par des roches porphyriques et parfois par des roches microlitiques. Dans le premier groupe, les plagioclases complètement saussuritisés forment des phénocristaux isolés ou rarement, une texture glomérporphyrique. La pâte microcristalline renferme du plagioclase, de la hornblende verte, un peu de quartz et de minéraux opaques et de nombreux minéraux d'altération. Ces minéraux sont les épidotes

The quartz, which is generally associated with the chlorite, is primarily present as grains which are larger than in the preceding phase; they occur either individually or in aggregates but rarely as veinlets. The close association quartz (bluish macroscopically)-chlorite suggests that this assemblage is an alteration product of hornblende according to the reaction:

The more differentiated phases, located in the northwestern part of the intrusion, characteristically contain minor amounts of primary biotite, generally associated with the amphibole, sporadic traces of interstitial potassic feldspar, and fine-grained quartz stringers. This later characteristic often imparts a foliated texture to the rock. The plagioclases show sericitization associated with epidotization. In a few cases, there seems to be a hybrid rock consisting of altered plagioclase crystals floating in a mixture of quartz, biotite and potassic feldspar.

THE DYKES. The melanocratic dykes are often porphyritic and sometimes microlithic. In the porphyritic dykes, the completely saussuritized plagioclases form isolated phenocrysts or, rarely, a glomeroporphyritic texture. The microcrystalline groundmass contains plagioclase, green hornblende, minor quartz, opaque minerals and numerous alteration minerals. These latter minerals are the epidotes (more clinozoisite than pistachite), two types of chlorite, one grey

(plus de clinozoïsite que de pistachite), deux types de chlorite: l'une grise et l'autre violacée, les carbonates et le leucoxène. La fraction leucocrate des roches porphyriques est plus abondante que la fraction mélanocrate, alors que c'est le contraire dans les roches microlitiques. Les grains des roches microlitiques sont homogènes et un peu plus gros que ceux de la matrice des roches porphyriques; leur minéralogie primaire ne diffère pas de celle des roches porphyriques mais le rapport quantitatif différent entre les minéraux principaux, rend ces roches plus mafiques que les dykes porphyriques. En outre, les dykes microlitiques ne contiennent pas de carbonates et sont relativement peu altérés. L'altération est sélective, les plagioclases étant totalement saussuritisés alors que les hornblendes vertes primaires montrent une transformation partielle en actinote et en chlorite et pistachite.

Les dykes leucocrates sont constitués presque essentiellement de plagioclase et de quartz. Ils peuvent être porphyriques par la présence de rares phénocristaux de plagioclase altéré, de quelques phénocristaux de quartz plus petits que les précédents et d'agrégats isolés de chlorite, pistachite et leucoxène. L'altération des phénocristaux de plagioclase, dans certains cas séricitisés et dans d'autres, saussuritisés, évoque une variation de la composition primaire. Dans les faciès équi-granulaires et dans la matrice des faciès porphyriques, la dimension des grains est petite et leur composition minéralogique comprend beaucoup de plagioclase faiblement séricitisé, du quartz et des quantités moindres de chlorite, d'épidote et de leucoxène.

and the other violet, carbonates and leucoxene. The leucocratic fraction of the porphyritic rocks is more abundant than the melanocratic fraction whereas the converse is true for the microlithic rocks. The grains in the microlithic rocks are homogeneous and slightly larger than those found in the matrix of the porphyritic rocks; their primary mineralogy is no different than that of the porphyritic rocks but the relative abundance of major minerals makes these rocks more mafic than the porphyritic dykes. In fact, the microlithic dykes contain no carbonates and are relatively unaltered. Alteration is selective, the plagioclases being completely saussuritized whereas the green primary hornblendes are only partially transformed to actinolite, chlorite and pistachite.

The leucocratic dykes are made-up almost entirely of plagioclase and quartz. They can be porphyritic with a few rare, altered, plagioclase phenocrysts, a few smaller quartz phenocrysts and isolated aggregates of chlorite, pistachite and leucoxene. The alteration of the plagioclase phenocrysts, in a few cases sericitized and in others saussuritized, suggests a variation of the primary composition. In the equigranular phases and in the matrix of the porphyritic phases, the grain size is small and their mineralogical composition consists of much weakly-sericitized plagioclase, some quartz and minor quantities of chlorite, epidote and leucoxene.

CLASSIFICATION

La classification des roches appartenant au batholite de Bourlamaque pose des problèmes liés à l'ubiquité de l'altération, phénomène responsable de la quasi-absence d'une minéralogie primaire. En particulier, la présence de produits secondaires parfois si finement grenus que leur identification exacte au microscope est rendue impossible, fait déconseiller l'utilisation de l'analyse modale, technique sur laquelle sont fondées la plupart des classifications pétrographiques. Par contre, la conservation de la texture grenue primaire peut partiellement nous assurer que, lors de la phase post-magmatique, il n'y a probablement pas eu des changements chimiques qui auraient pu affecter la composition primaire de ces roches. Notre critère de classification, se base donc sur la composition chimique plus ou moins constante, car faute de résultats de l'analyse modale, il est toujours possible de reconstituer la minéralogie d'une roche à l'aide du calcul de la norme. Celle-ci nous fournit une minéralogie magmatique pouvant, si les transformations post-magmatiques ne sont pas très loin des réactions iso-chimiques, nous donner des renseignements assez fiables, du moins au niveau de quelques-unes des phases minéralogiques primaires. Puisque parmi les minéraux du batholite, les feldspaths représentent la famille des minéraux la plus abondante (fig. 6) et que leurs variations de composition sont fonction du degré de différenciation du magma (fig. 7), le choix des variations de composition de plagioclase pour classifier cet ensemble de roches semble justifié. Cette idée a déjà été utilisée avec succès par Hietanen (1961) dans l'étude du batholite de l'Idaho.

CLASSIFICATION

Classifying the rocks of the Bourlamaque batholith presents problems which are related to the ubiquitous alteration, a phenomena responsible for the almost total absence of a primary mineralogy. In particular, the presence of extremely fine grained secondary products, which are almost impossible to identify microscopically, prevents the effective use of the modal analysis on which most petrographic classifications are based. On the other hand, the fact that the primary granular texture is still present assures us that, during the post-magmatic phases, the primary composition of the rocks probably remained unaffected. The classification criteria used here is thus based on the hypothesis that the rocks maintained a more or less constant chemical composition. Since modal analysis is not possible another way of reconstituting the mineralogy of the rock is by calculating its norm. This gives a magmatic mineralogy which can provide useful information, at least for a few of the primary mineralogical phases, if the post-magmatic transformations where for all practical purposes close to isochemical. Since the feldspars are the most abundant mineral group (fig. 6) in the batholith, and their variation in chemical composition is a function of the degree of magmatic differentiation (fig. 7), then it seems justifiable to choose plagioclase compositional variation as a basis for classifying this suite of rocks. This classification scheme was previously used successfully by Hietanen (1961) in the study of the Idaho batholith.

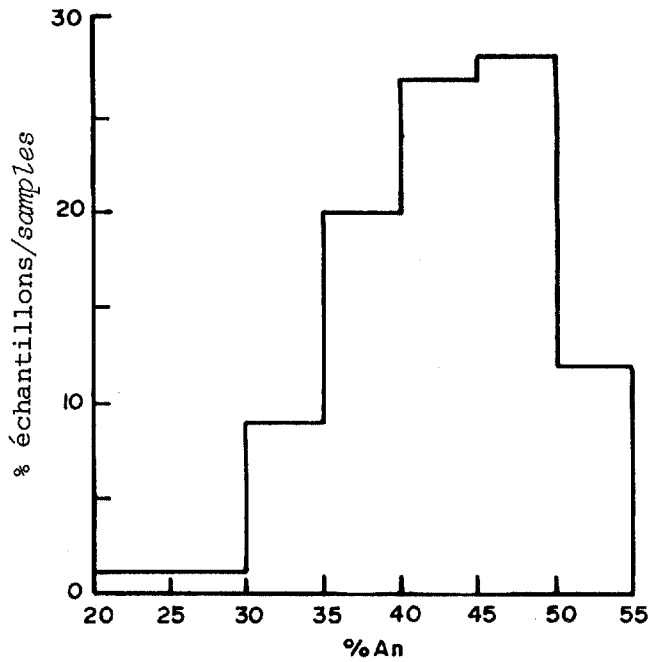


FIGURE 5 - Distribution de la calcicité du plagioclase normatif / The calcicity distribution of normative plagioclase.

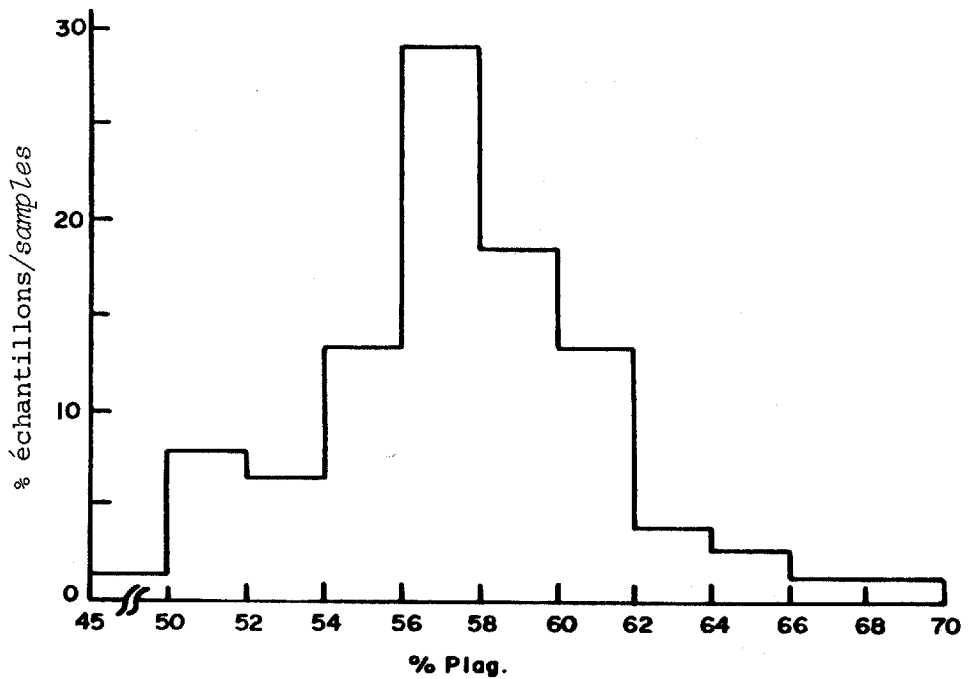


FIGURE 6 - Distribution de la quantité de plagioclase normatif dans le batholite. The distribution of the normative plagioclase content in the batholith.

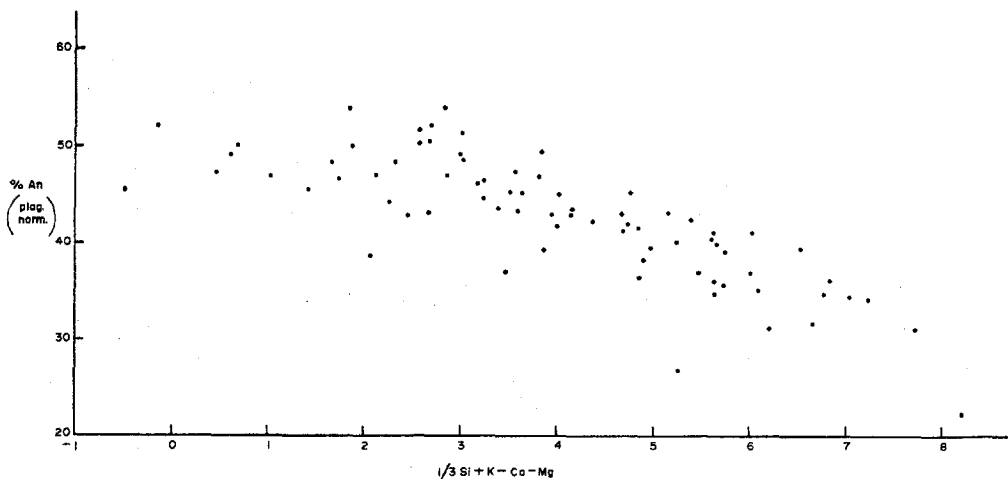


FIGURE 7 - Variations de la calcicité du plagioclase normatif en fonction de l'indice de Larsen modifié./ Variations in the calcicity of normative plagioclase relative to the modified Larsen index.

La classification choisie, loin d'être complètement satisfaisante, permet de considérer les variations locales les plus importantes de certains minéraux cardinaux sans tenir compte de la teneur en quartz de la roche. Le quartz est le minéral qui semble le plus affecté quantitativement par le métamorphisme: la chloritisation et la saussuritisation étant deux processus qui libèrent le quartz.

L'inexactitude du calcul normatif de la minéralogie primaire est due à la présence de l'amphibole comme minéral foncé primaire. La norme peut allouer du calcium aux minéraux ferromagnésiens en formant, s'il y a lieu, du

Even though the classification selected is not entirely satisfactory, it is nevertheless useful in the study of the most important local variations for certain major minerals without having to take into account the quartz content of the rock. Quantitatively, quartz appears to be the mineral which is the most affected by the metamorphism: chloritization and saussuritization both being processes which release quartz.

The uncertainty in the normative calculation of the primary minerals is due to the presence of amphibole as a primary mafic mineral. The norm can assign calcium to the ferromagnesian minerals by forming, when possible, some

diopside, mais elle est incapable de tenir compte de l'aluminium toujours présent dans les amphiboles. Il y a donc formation systématique d'un plagioclase plus calcique que celui qui devrait exister dans la roche. L'introduction d'un critère vaguement génétique et la reconstitution normative de la minéralogie primaire, dans la classification de ces roches, constitue une nécessité qui est justifiée par la situation géologique locale.

Suivant la classification adoptée, les échantillons ont été placés, d'après leur teneur en feldspaths normatifs, dans un diagramme triangulaire (fig. 8) ayant comme sommets les trois termes purs: orthose, albite et anorthite. Ces subdivisions, tout en étant inspirées des propositions de Hietanen (1961), ont été modifiées pour faire place aux diorites, qui n'apparaissent pas dans la classification de cet auteur. Nous considérons en effet comme diorites, les roches appelées par Hietanen diorites quartzites, et ayant un plagioclase $An_{35}-An_{50}$ et moins de 15% en Or. Les diorites quartziques et les tonalites constituant deux familles distinctes dans la classification originelle de Hietanen doivent être cependant considérées, selon l'usage courant en pétrographie (Streckeisen, 1967), comme étant plutôt des synonymes ou des roches très semblables, mais appartenant toujours à la famille des diorites quartzifères. Les figures 8 et 5 montrent que la plupart des roches (77%) appartenant au batholite sont des diorites accompagnées de quelques gabbros (12%) et des diorites quartziques (11%). Les teneurs en quartz (10-25%) et l'indice de coloration toujours au-dessous de 40 concordent assez bien avec la définition que nous avons donnée à ces roches.

diopside but it is unable to account for aluminium which is always present in the amphiboles. Thus a plagioclase more calcic than that which should be encountered is systematically formed in the rock. The introduction of a more or less genetic criteria and the normative reconstitution of the primary minerals necessary in classifying these rocks is entirely justified by the local geologic context.

Using the classification adopted here, the samples were plotted on a triangular diagram (fig. 8) according to their normative feldspar content. The three corners of the triangle correspond to the pure end members: orthoclase, albite and anorthite. These subdivisions, though inspired by those of Hietanen (1961), were modified to accommodate the diorites, which do not appear in that author's classification. Considered as diorites are those rocks which Hietanen called quartz diorites with a plagioclase of An_{35} to An_{50} and less than 15% Or. The quartz diorites and tonalites, though forming two distinct rock-groups in Hietanen's original classification, must, however, be considered according to current petrographic usage (Streckeisen, 1967) as being synonyms or at least being quite similar but belonging only to the quartz diorite group. Figures 8 and 5 show that most rocks (77%) of the batholith are diorites accompanied by some gabbro (12%) and quartz diorite (11%). The quartz content (10-25%) and colour index is always under 40 and corresponds rather well with the definition of these rocks.

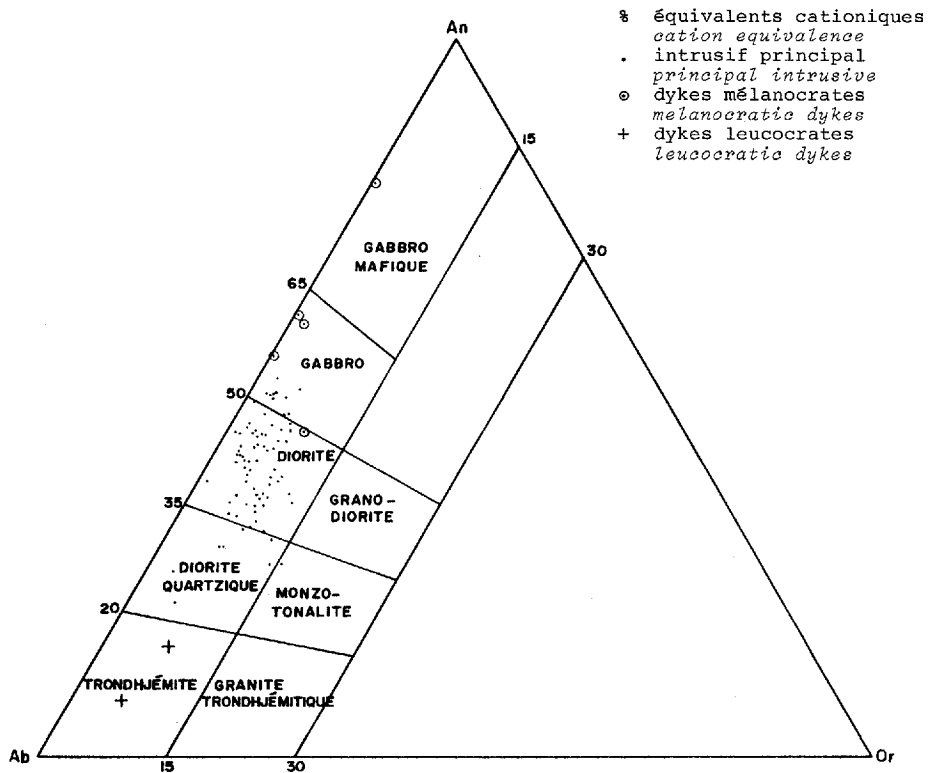


FIGURE 8 - Classification des roches de Bourlamaque d'après la teneur normative en feldspaths. (Hietanen A., 1961, modifié). / Classification of the Bourlamaque rocks according to their normative feldspar content (modified from Hietanen, 1961).

D'autre part, dans un certain nombre de cas, la quantité de quartz dépasse la valeur de 20%. Rappelons que la teneur en quartz estimée par Larsen (Wedepohl, 1969) et proposée comme étant typique d'une granodiorite est de 21%, pour une diorite quartzifère, cette teneur est de 22% et pour une diorite, de 20%. Donc, en considérant ce paramètre on devrait appeler la grande majorité des roches du batholite, des diorites quartziques.

L'utilisation du terme métadiorite (indispensable pour rendre compte de l'état d'altération) peut aider cependant à résoudre le problème. En effet, le préfixe "méta" devrait être suffisant pour expliquer la teneur élevée en quartz, en partie sûrement secondaire. Implicitement, le métamorphisme est un agent capable de transformer une diorite en une roche ressemblant de beaucoup à une diorite quartzifère. Les deux échantillons appartenant aux dykes leucocrates ne montrent pas d'enrichissement en potassium et de ce fait sont attribués à la famille des trondhjémites.

DISCUSSION

L'altération métamorphique omniprésente se manifeste localement par une minéralogie typique du faciès des schistes verts: quartz - albite - épidote - chlorite - calcite - mica blanc (paragonite ?) - leucoxène. Les effets locaux du métamorphisme ne sont pas comparables aux résultats d'une vague homogène qui a traversé le batholite: des minéraux tels qu'un plagioclase aussi calcique que de l'andésine calcique et de la hornblende pas du tout chloritisée étant encore présents dans le batholite. On peut donc affirmer que dans l'ensemble le métamorphisme appartient au faciès des

In a certain number of cases the quartz content exceeds 20%. It should be noted that the quartz content as estimated by Larsen (Wedepohl, 1969) and proposed by him as typical of granodiorite is 21%; it is 22% for quartz diorite and 20% for diorite. Considering this parameter then, most rocks of the batholith would be called quartz diorites.

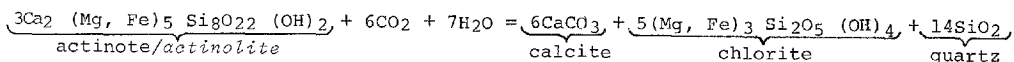
The usage of the term metadiorite (necessary to take into account the state of alteration) can, however, be quite useful in overcoming this problem. In fact, the "meta" prefix should by itself be sufficient to explain the high quartz content of largely secondary origin. It is implicit that metamorphism is a mechanism which can transform diorite into a rock closely resembling quartz diorite. The two samples belonging to the leucocratic dykes do not show potassium enrichment and on this basis are assigned to the trondhjémite series.

DISCUSSION

Locally, the pervasive metamorphic alteration appears to develop a mineral assemblage typical of the greenschist facies: quartz - albite - epidote - chlorite - calcite - white mica (paragonite?) - leucoxene. These local metamorphic effects cannot result from a homogeneous front which crossed the batholith since minerals such as plagioclase as calcic as calcic andesine and hornblende which is completely unchloritized are still present in the batholith. We can then state that, on the whole, the metamorphism belongs to the greenschist facies but that locally there still exist

schistes verts, mais que localement il existe encore des vestiges de minéraux caractéristiques d'équilibres de plus haute température. Les silicates ferromagnésiens ne sont que de la hornblende commune, considérée primaire, de la chlorite et un peu d'épidote.

La hornblende verte ou brune, avec la diminution du degré de métamorphisme, devrait généralement montrer une teinte vert bleuté (Miyashiro, 1968). Ce phénomène n'ayant jamais été observé dans les roches étudiées, pourrait confirmer l'état métastable de la hornblende au faciès des schistes verts et son appartenance à un faciès métamorphique plus élevé. On doit remarquer également l'absence de l'actinote*, l'amphibole typique du faciès des schistes verts, ainsi que la présence presque continue de la chlorite. D'après Miyashiro (1968), une modeste pression partielle de CO₂ serait suffisante dans une roche à actinote, selon l'équation:



pour déplacer l'équilibre vers la droite. La présence ou l'absence d'actinote serait ainsi fonction de la pression partielle de CO₂ qui a prévalu dans la roche. Le même raisonnement peut également être appliqué à la hornblende vu que la chlorite et la calcite sont localement ses produits d'altération.

vestiges of minerals which are characteristic of a higher temperature phase equilibrium. The ferromagnesian silicates are but common hornblende, considered to be primary, chlorite and some epidote.

The green or brown hornblende should generally show a bluish green colour as the degree of metamorphism decreases (Miyashiro, 1968). Since this phenomena was not observed in the rocks studied, it may confirm that hornblende is only metastable in the green-schist facies and, in fact, belongs to a higher metamorphic facies. It should also be noted that actinolite* is absent, even though it is typical of the green-schist facies, as is the ever-present chlorite. According to Miyashiro (1968), a weak CO₂ partial pressure would be sufficient in a rock containing actinolite, according to the equation:

to displace the phase equilibrium towards the right. The presence of absence of actinolite would thus be a function of the CO₂ partial pressure which acted on the rock. The same reasoning could equally be used to explain the transformation of hornblende to its alteration products, chlorite and calcite.

* Nous sommes conscients de l'impossibilité d'identifier l'actinote par un simple examen microscopique de routine. Par actinote nous considérons ici toute amphibole secondaire qui ne présente pas les caractéristiques de ce que l'on a considéré comme de la hornblende primaire.

* We realize of course that it is almost impossible to identify actinolite by routine microscope examination. By actinolite we refer to all secondary amphiboles which do not have the properties of primary hornblende.

La présence dans les régions métamorphiques de zones résiduelles hors d'équilibre est un phénomène plutôt commun: d'après l'étude des magmatites archéennes d'Australie (McCall, 1973), au faciès des schistes verts, les roches grenues sont préférentiellement épargnées par les transformations métamorphiques. Une situation analogue est présentée par le batholite de Bourlamaque où les roches moins affectées par le métamorphisme sont situées principalement dans la partie centrale de l'intrusion et, au point de vue pétrographique, comprennent les faciès les plus mafiques. Considérant le batholite comme étant un ensemble massif, sa partie centrale a été plus difficilement atteinte par les fluides qui, surtout au faciès des schistes verts, sont un facteur très important pour la manifestation du métamorphisme. La comparaison des teneurs moyennes des produits volatils H_2O et CO_2 déterminées dans le batholite avec celles des échantillons de la partie centrale n'appuie que d'une façon très limitée notre hypothèse. En effet, les contenus en H_2O ne diffèrent pratiquement pas, tandis que la quantité de CO_2 des échantillons les moins altérés (0.28%) est d'environ la moitié de la teneur moyenne en CO_2 du batholite (0.66%). D'autre part, CO_2 et H_2O sont des composants mobiles du métamorphisme et il est plus approprié de considérer les pressions partielles de ces fluides plutôt que leurs teneurs (absolues) comme facteurs de contrôle du métamorphisme (Miyashiro, 1968). Même si, en général, une plus haute pression partielle de H_2O et CO_2 se traduit dans la roche par une plus haute teneur de ces deux fluides, cette comparaison peut être faussée par la situation géologique locale. En effet les roches moins altérées sont aussi

Within metamorphic terrains it is rather common to find residual zones which have not reached a state of chemical equilibrium: according to the study of Australian Archean magmatites (McCall, 1973), at the greenschist facies, granular rocks are preferentially spared from metamorphic transformations. The Bourlamaque batholith presents a similar situation in that the rocks which are affected by metamorphism are located primarily in the central part of the intrusion and, from a petrographic point of view, form the more mafic facies. Considering that the batholith was a solid mass, it was difficult for the fluids to reach its central part, an important but negative factor controlling metamorphism, particularly in the greenschist facies. However, the average volatile content of H_2O and CO_2 of samples collected in the batholith compared with samples collected in the central part only weakly support this hypothesis. In fact, the H_2O content hardly varies whereas the CO_2 content of the least altered samples (0.28%) is about half that of the average CO_2 content of the batholith (0.66%). On the other hand, CO_2 and H_2O are inherent metamorphic volatiles and it is perhaps more appropriate to consider their partial pressures rather than their content (absolute values) as factors controlling metamorphism (Miyashiro, 1968). Even if, in general, a higher CO_2 and H_2O partial pressure yields a higher volatile content in the rock, the comparison can be altered by local geologic factors. In fact, the last altered rocks are also the most mafic (rather amphibole rich) while the more altered rocks are initially the poorest in ferromagnesian minerals. Nevertheless, the low-grade metamorphic equivalents of these mafic minerals, the

plus mafiques (assez riches en amphibole) tandis que les roches plus altérées sont au départ moins riches en minéraux ferromagnésiens dont leurs équivalents de faible métamorphisme, les chlorites, sont en définitive les plus importants minéraux hydrofères de la roche (13% en poids de H_2O). Yoder (1955) a reconnu la difficulté de présenter des solutions satisfaisantes au problème du métamorphisme là où l'on est uniquement en présence des produits finaux d'un processus.

En ce qui concerne la nature du métamorphisme, l'étude des lames minces permet de reconnaître sur place les produits secondaires issus de l'altération des assemblages peut-être primaires. L'addition de H_2O et CO_2 est indispensable à la stabilité de certaines phases métamorphiques notamment les chlorites et les carbonates.

La présence assez répandue de filons et filonnets de quartz laisse ouvert le problème de leur origine. Si leur origine est métamorphique et à se propos il ne faut pas oublier que les réactions chimiques d'altération (chloritisation saussuritisation) se font en libérant du quartz, il faut donc s'attendre à une désilicification de la roche; l'entité de ce processus reste encore obscur. D'autre part, la texture primaire grenue, encore très bien conservée, semble exclure la possibilité d'une migration importante de la silice. A la lumière de ces résultats, nous optons plutôt pour un métamorphisme d'ensemble isochimique.

L'étude pétrographique de la composition minéralogique primaire, indiquée qu'en toute probabilité elle était limitée à trois phases principales: plagioclase, amphibole et quartz. La distribution du pyroxène actuellement

chlorites, become in fact the most important hydrous minerals in these rock (13% by weight H_2O). Yoder (1955) recognized the difficulty of resolving the problems presented by metamorphism in areas where only the final alteration products remain.

With respect to the nature of the metamorphism, examination of thin sections allows us to recognize the secondary minerals which resulted from the alteration of what was probably a primary assemblage. The addition of H_2O and CO_2 is necessary for certain metamorphic phases to be stable, notably to chlorites and carbonates.

The rather widespread occurrence of quartz veins and veinlets does not in itself explain their origin. If the quartz is metamorphic, and one must not forget that the alteration reactions (chloritization, saussuritization) release quartz, then desilicification of the rock should result even though the exact processes involved are not well understood. On the other hand, the primary granular texture, which is still well preserved, seems to contradict the possibility of major silica migration. In the light of these results we consider the metamorphism as being essentially isochemical.

The petrographic study of the primary mineralogical composition indicates that only three principal phases were probably present: plagioclase, amphibole and quartz. The original distribution of pyroxene, found only as relicts

présent à l'état de relique dans les faciès les plus basiques reste indéterminée.

Les porphyres quartzofeldspathiques intrusifs dans la portion centre-est du batholite semblent être les produits de cristallisation des derniers résidus de cette portion. Ils ne montrent aucun enrichissement en potassium et forment ainsi une suite magmatique de type diorite-trondhjemite.

La partie nord-ouest se caractérise par la présence d'un peu de biotite primaire et des traces sporadiques de feldspath potassique. Considérant le processus de différenciation magmatique, cette portion est considérée comme la partie la plus différenciée du batholite, chronologiquement postérieure à l'ensemble centre-est.

En résumé, la texture foliée du batholite due au parallélisme des produits micacés secondaires démontre que l'intrusion a été soumise au métamorphisme régional. Par contre, en supposant que le batholith présente les caractères d'un massif subvolcanique, il se pourrait que certains minéraux magmatiques riches en produits volatils typiques d'un tel milieu et chronologiquement antérieurs au métamorphisme aient été transformés par des processus de propylitisation reliés à leur composition. Puisque les faciès propylite et schistes verts présentent pratiquement les mêmes assemblages minéralogiques il est impossible de préciser l'importance relative des processus hydrothermaux et métamorphiques. L'hypothèse de la propylitisation ne modifie pas le cadre géologique local parce que dans la reconstruction de l'histoire du batholite un tel phénomène précède le métamorphisme.

in the more mafic facies, remains unknown.

The quartzofeldspathic porphyry intrusives in the east-central part of the batholith seem to be the crystallization products of the final residual solutions. They show no potassium enrichment and thus form a diorite-trondhjemite magmatic suite.

A feature of the northwestern part is the presence of minor primary biotite and erratic traces of potassic feldspar. With respect to the processes of magmatic differentiation, this part is considered to be the most differentiated within the batholith, post-dating the east-central part.

To summarise, the foliated texture of the batholith, due to the parallel orientation of the secondary platy minerals, indicates that the intrusion was subjected to regional metamorphism. On the other hand, if the batholith has features characteristic of a subvolcanic complex, then it is possible that certain magmatic minerals, rich in volatile products typical of such an environment and earlier than the metamorphism, would have been transformed by propylitization, depending on their composition. Since the propylitic facies and greenschist facies yield almost the same mineralogical assemblages, it is impossible to indicate the relative importance of hydrothermal to metamorphic processes. The propylitization hypothesis does not alter the local geologic setting since, in reconstructing the geologic evolution of the batholith, such a phenomena precedes the metamorphism.

GEOCHIMIE

L'analyse chimique fournit les teneurs absolues des éléments pétrogéniques présents dans le batholite nous permettant de caractériser l'intrusion au point de vue géochimique. Les traits distinctifs du chimisme local, sans aucun traitement particulier des données, présentent un intérêt scientifique et économique.

En effet, au point de vue scientifique, les résultats apportent une contribution à la compilation de données sur la géochimie du métamorphisme, un domaine encore relativement peu connu si l'on considère ce qui a été publié à ce sujet. D'autre part, au point de vue économique, la connaissance des caractéristiques géochimiques des roches plus ou moins associées aux concentrations des métaux peut s'avérer très utile à la prospection minière dans l'important district minier situé autour du batholite. L'altération peut avoir joué par endroits un rôle très important dans la concentration de certains éléments métalliques mais la nature du métamorphisme n'influence pas l'utilisation des données géochimiques brutes.

Une situation tout à fait différente se présente au niveau de l'interprétation des résultats: toute étude, nécessairement basée sur un domaine spécifique, se heurte ici à une insuffisance de données sur la géochimie des roches métamorphiques. Par contre,

GEOCHEMISTRY

Chemical analysis provides the absolute values for petrogenic elements found within the batholith; this allows characterization of the intrusion on a geochemical basis. The distinctive characteristics of true local chemism are both of scientific and economic interest, even without any data processing.

Indeed, scientifically, the results contribute to data gathering for geochemistry of metamorphism; the literature published on that matter shows this domain to be fairly new. Economically, the understanding of the geochemical characteristics of the rocks associated to various extents with metal concentrations can prove to be very useful; this is especially true for the mining district located around this batholith. Alteration may have played a significant role in the concentration of certain metallic elements; however, the nature of metamorphism doesn't influence the use of raw geochemical data.

A somewhat different situation prevails in the interpretation of the results: any study based on a specific subject is bound to lack sufficient data on the geochemistry of metamorphic rocks. On the other hand, a study of some geochemical parameters*

* See next page.

l'étude de certains paramètres* géochimiques aide à reconnaître les faits saillants de l'histoire géologique du batholite en dégageant l'empreinte magmatique de l'influence du métamorphisme. Le degré d'utilisation des données pour fin de comparaison est intimement lié à l'entité de la composante allochimique du métamorphisme. Ainsi, dans le cas où les effets du métamorphisme pourront être identifiés, il sera possible de déceler les différences éventuelles entre le chimisme du plutonisme archéen local et le chimisme d'autres plutonites contemporaines ou plus récentes, si le métamorphisme ne camoufle pas complètement les signes du magmatisme. En dernier lieu, si les résultats géochimiques le permettent, on pourra se pencher sur quelques aspects pétrologiques et notamment sur les conditions physico-chimiques de la mise en place de l'intrusion et sur la nature des sources qui ont contribué à la formation du batholite.

may help in assessing the main characteristics of the geological story of the batholith; it does so by distinguishing the magmatic development from the metamorphic influence. The extent to which given data is closely related to the allochemic constituent of metamorphism. Hence, in the cases where metamorphic effects are outlined, it will be possible to distinguish between the chemistry of local Archean plutonism and other or more recent contemporaneous plutonics, if metamorphism does not completely blur the magmatic evidence. Finally, and granted that the geochemical results allow it, some petrological aspects, such as the physico-chemical conditions under which the intrusion occurred and the nature of sources which contributed to the formation of the batholith, will be assessed.

Au début de l'étude géochimique le problème de la distribution des éléments dans le batholite est traité du point de vue strictement magmatique.

The first part of the geochemical study on problems associated with the distribution of elements within the batholith will be dealt with from a strictly magmatic point of view.

* Pour définir les trois unités du batholite, des paramètres différents ont été utilisés dans les chapitres de la géochimie et de la pétrologie / In order to define the three units of the batholith, different parameters were used in the chapters on geochemistry and petrology.

Paramètre: Parameters	Géographie Geography	Stratigraphie volcanique Volcanic Stratigraphy	Différenciation magmatique Magmatic Differentiation	Altération Alteration	Mise en place Occurrence
Dénomination des intrusions Identification of intrusion	nord north	inférieure inferior	+ différenciée + differentiated	- altérée - altered	tardive late
	centrale central	centrale central	- différenciée - differentiated	moy. altérée relatively altered	précocce early
	sud south	supérieure superior	non différenciée (?) undifferentiated	très altérée highly altered	

La marque du métamorphisme peut ressortir suite aux comportements géochimiques incompatibles avec les processus typiquement magmatiques. De ce fait, l'analyse des teneurs absolues des éléments chimiques et de ses implications pétrologiques est reportée plus loin, où le rapport plutonisme versus métamorphisme sera mieux dégagé.

Selon notre hypothèse de travail, celle utilisée et admise par la majorité des chercheurs qui s'occupent de roches intrusives, les produits successifs de la cristallisation d'un magma montrent une composition chimique qui varie graduellement selon les deux tendances suivantes: une augmentation de SiO_2 et K_2O et une diminution de MgO , FeO et CaO . Ces variations doivent être également respectées par les éléments mineurs et en traces, cohérents au point de vue géochimique avec les éléments majeurs que nous venons de mentionner. Les teneurs d'un élément, comparées à celles d'un autre à tendance connue, indiquent son comportement dans la suite intrusive. A titre d'exemple, citons le prototype des diagrammes de variation, le diagramme de Harker où l'élément de comparaison est la silice. D'autre part, le même genre d'étude peut également être entrepris à l'aide d'autres paramètres issus de l'interaction de certains éléments ou minéraux ayant un comportement bien défini lors de la différenciation magmatique. Un de ces paramètres, connu sous le nom d'indice de Larsen modifié ($1/3\text{Si} + \text{K} - \text{Mg} - \text{Ca}$), ou indice de Nockolds, d'après l'auteur qui l'a proposé, offre l'avantage de dégager les tendances de la différenciation magmatique. A première vue, l'utilisation de cette fonction semble plus fiable que la solution proposée par Harker qui

Metamorphic evidence can be outlined because of geochemical behaviour which is inconsistent with typically magmatic processes. Further to this, the analysis of the absolute values of the chemical elements and its petrological implications will be discussed later; the plutonic versus metamorphic relationships will then be assessed in a more complete framework.

According to our working hypothesis, which is used and admitted by most people involved in the field of intrusive rocks, the successive products of crystallization of a magma show a chemical composition which varies according to the two following tendencies: an increase in the SiO_2 and K_2O content, and a decrease in MgO , FeO and CaO . These variations must also be followed up by both minor and trace elements coherent from a geochemical point of view with the major elements mentioned above. The content of one element, compared to another one with a known tendency often indicates its behaviour in the intrusive suite. The Harker variation diagram where silica is the comparative element illustrates this situation. On the other hand, a similar study may be undertaken using other parameters issued from the interaction of certain elements of minerals having a well-defined behaviour during the magmatic differentiation. One of these parameters, known as the Larsen modified index ($1/3\text{Si} + \text{K} - \text{Mg} - \text{Ca}$), or the Nockolds' index after its author, offers the advantage of distinguishing amongst tendencies within magmatic differentiation. At first glance, this function appears less workable than that proposed by Harker, who used a single chemical element as a base for comparison. However, according to Le

emploie un seul élément chimique de comparaison. Cependant, il s'agirait là d'une impression illusoire du moins d'après les résultats de Le Maître (1968) qui définit mathématiquement, à l'aide de la méthode statistique des composantes principales, la meilleure fonction linéaire capable de représenter la position d'une analyse dans une lignée donnée. Cet auteur conclut que, parmi les nombreux types de diagrammes de variation d'usage courant, c'est encore le plus simple, celui de Harker, qui offre la meilleure représentation.

Pour mettre en évidence les variations du chimisme local, malgré les conclusions de Le Maître, qui à notre avis sont biaisées du fait qu'il n'a pas effectué une standardisation des oxydes avant de faire son analyse, nous avons utilisé l'indice de Larsen modifié.

L'utilisation de ce paramètre donne de plus l'accès direct aux résultats des travaux géochimiques de Nockolds et Allen (1953) sur un certain nombre de suites calco-alkalines. Sur les diagrammes de variation, les produits successifs de la solidification où les processus de cristallisation fractionnée ont joué un rôle prédominant doivent se distribuer le long de courbes continues, régulières et à pente douce. La composition chimique des échantillons qui figurent à l'extrémité basique de ces courbes devrait représenter la composition du magma parent.

Maître's (1968) results, this is an illusive impression. Using the statistical method of main components, Le Maître mathematically defines the best linear function capable of representing the location of an analysis on a given line. This author concludes that amongst a wide variety of diagrams in common use, the Harker one is the simplest; it also offers the best representation.

To show variations in local chemism, Larsen's modified index was used. This was done despite Le Maître's conclusions, which are thought to be biased as no standardization on oxides was made before the analysis.

The use of this parameter further provides direct access to the results of the Nockolds and Allen (1953) geochemical studies on a certain number of calc-alkaline suites. The successive products of solidification, where the processes of fractional crystallization have played a dominant role must, on variation diagrams, fall along continuous and regular curves with a mild slope. The chemical content of the samples located at the base end of these curves should represent the composition of the parent magma.

MATERIEL EXAMINE

Le choix des échantillons soumis à l'analyse chimique a été basé sur la représentativité des faciès ignés et la distribution géographique sur le batholite entier. La densité de distribution des échantillons est plutôt hétérogène étant relative à celle des affleurements. Ainsi, 82 échantillons ont été choisis dont 75 appartenant à la masse principale, 5 aux dykes basiques et 2 aux dykes acides. Sans compter les dykes, ce nombre donne une densité d'un échantillon par deux kilomètres carrés. Cette densité, fonction de l'homogénéité de l'intrusion, conserve aux zones qui ont moins d'affleurements une certaine importance dans l'évaluation de la composition du batholite. Les échantillons analysés par voie chimique sont localisés sur la carte en pochette.

L'annexe B donne les méthodes d'analyse et de préparation des échantillons. Un soin particulier a été porté à la préparation des échantillons: le broyage et la pulvérisation ont été identiques pour tous les échantillons étudiés de façon à se restreindre au même type de contamination et aux mêmes erreurs au cours de cette opération. Les mêmes précautions ont été prises dans la phase analytique et toutes déterminations ont été caractérisées par les deux paramètres usuels: la justesse et la reproductibilité dont les valeurs nous assurent de la fiabilité de nos résultats.

MATERIAL EXAMINED

The choice of samples submitted to chemical analyses was based on both the representativeness of igneous facies and the geographical distribution within the whole batholith. The distribution density of the samples is somewhat heterogeneous being relative to that of the outcrops. Hence, of the 82 samples that were selected, 75 belong to the main body, 5 to basic dykes and 2 to acid dykes. Exclusive of the dykes, this figure indicates a density of one sample per two square kilometers. This density, which depends on the homogeneity of the intrusion, allows the zones with fewer outcrops to preserve a certain importance in the assessment of the composition of the batholith. The locations of the samples that were analyzed chemically are shown on the enclosed map.

Both analytical and sample preparation procedures are given in Appendix "B". Special care was given to sample preparation: crushing and pulverizing were identical for all samples studied so as to be confined to the same type of contamination and to the same errors throughout this operation. Identical measures were taken in the analytical phase and all determinations were characterized by the two usual parameters: accuracy and reproductiveness which ensure the reliability of the results.

L'analyse chimique comprend les oxydes essentiels et accessoires, dosés normalement dans une analyse complète de roche: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , K_2O , Na_2O , H_2O^+ et P_2O_5 . A cause de l'absence d'une signification géologique quelconque H_2O^- n'a pas été déterminé de même que CO_2 , à cause du type d'altération locale.

Une certain nombre d'éléments en traces ont été dosés et leur choix a été fait en tenant compte de la composition intermédiaire à affinité basique du batholite. Ainsi, on a déterminé les teneurs en Li, Rb, Sr, Zn, Cu, Co, V, Ni et Cr dans tous les échantillons et les teneurs en Zr, Mo et W dans un nombre restreint d'échantillons.

Les résultats des analyses chimiques sont présentés à l'annexe C.

DOSAGES DE Zr, Mo ET W

L'examen microscopique révèle que le zircon peut être d'origine métamorphique et relié à l'altération de l'amphibole et possiblement à celle du pyroxène. L'analyse effectuée sur 5 échantillons montre des valeurs en Zr allant de 80 à 150 ppm; ces teneurs sont faibles comparées aux teneurs moyennes proposées par Vinogradov (1962) pour une diorite (260 ppm). Ces résultats par contre peuvent s'accorder avec l'interprétation que nous avons donnée.

La présence dans le batholite d'un indice minéralisé en Cu et Mo constitue la raison de notre intérêt pour la distribution locale de ces deux éléments. Avec le dosage du W nous voulions premièrement établir un parallèle avec les concentrations en Mo et, en deuxième

The chemical analysis includes the essential and accessory oxides normally determined in a complete rock analysis: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , K_2O , Na_2O , H_2O^+ and P_2O_5 . Due to the absence of any geological meaning, H_2O^- was not determined. The same obtains for CO_2 because of the nature of local alteration.

Some trace elements were determined they were selected according to the intermediate content with the basic affinity of the batholith. The Li, Rb, Sr, Zn, Cu, Co, V, Ni, and Cr contents were hence determined in all the samples and the Zr, Mo and W contents in a restricted number of samples.

The results of the chemical analysis are shown in Appendix "C".

Zr, Mo AND W MEASUREMENTS

Microscopic examination shows that zircon is possibly of metamorphic origin and is related to the amphibole alteration and possibly to that of the pyroxene. The analyses made on 5 samples indicate Zr values ranging from 80 to 150 ppm. These values are low compared to the average suggested by Vinogradov (1962) for a diorite (260 ppm). These results may, however, be concordant with the interpretation that this study provided.

The occurrence of a Cu and Mo showing within the batholith explains the interest in the local distribution of these two elements. The W measurements were intended firstly, to establish a parallel with Mo concentration and secondly, to establish the W

lieu, connaître les teneurs en W de la diorite, type de roche où les analyses de W sont extrêmement rares.

Les teneurs en Mo ou en W de 40 échantillons ont de 0 à 1 ppm, ordre normal pour une diorite (Vinogradov, 1962). Ces observations et le fait d'être toujours situé à la limite de détection de la méthode nous ont fait abandonner la poursuite de ces dosages qui demandent assez de temps et beaucoup de soins.

PRESENTATION DES DONNEES

HISTOGRAMMES DES ELEMENTS

Les éléments analysés ont été d'abord étudiés d'après leurs histogrammes dont les paramètres de distribution apparaissent au tableau 2.

Cette présentation des données fait état des teneurs moyennes et de la gamme de variation de chacun des éléments et permet en même temps, d'après la forme des courbes de fréquence, de déceler certains processus géologiques très poussés et superposés à la seule différenciation magmatique et qui peuvent avoir régi la distribution des éléments. Un histogramme caractérisé par une courbe de fréquence bimodale ou d'ordre supérieur peut indiquer deux ou plusieurs intrusions totalement différentes, mais aussi un processus géologique erratique tel qu'un métasomatisme intense ou une forte contamination. Ces deux derniers phénomènes représentent sans doute des cas extrêmes. Néanmoins, ces processus étant toujours plutôt irréguliers dans leur expression

contents of the diorite - a type of rock where W analyses are extremely rare.

The Mo and W contents of 40 samples range from 0 to 1 ppm which is normal for a diorite (Vinogradov, 1962). These observations and the fact that results were at the limit of detection by this method led to the abandonment of these measurements, which were time-consuming and required considerably care.

DATA PRESENTATION

HISTOGRAMS OF THE ELEMENTS

The elements analyzed were first studied after their histograms, the distribution parameters of which are shown in Table 2.

This data presentation notes the average tenors and the range of variation for each of the elements; it also allows, through the shape of the frequency curves, for the disclosure of certain complex geological processes, superimposed on the simple magmatic differentiation, which may have governed the distribution of the elements. A histogram characterized by a bimodal frequency curve or one of higher order may indicate two or more totally different intrusions; however, it may also indicate an erratic geological process such as intense metasomatism or high contamination. These latter phenomena are probably extreme cases. Nevertheless these processes are mostly irregular in their expression and in contrast

TAB. 2 - PARAMETRES DE LA DISTRIBUTION DES ELEMENTS DANS LA POPULATION TOTALE
DES ECHANTILLONS DE BOURLAMAQUE./PARAMETERS OF THE DISTRIBUTION OF
THE ELEMENTS IN THE TOTAL POPULATION OF THE BOURLAMAQUE SAMPLES.

Elément ou oxyde Element or oxide	Valeur moyenne Arithmetic average ($\bar{x}$)	Ecart-type Standard deviation (σ)	Coefficient d'asymétrie Asymmetry coefficient (skewness) (a_s)	Coefficient d'aplatissement Flatness coefficient (kurtosis) (a_p)
SiO ₂	59.91%	3.04	-0.01	0.04
TiO ₂	0.68	0.16	0.92	1.84
Al ₂ O ₃	16.54	0.79	0.58	0.61
Fe ₂ O ₃	2.39	0.44	0.50	0.53
FeO	3.67	0.82	0.32	0.62
MnO	0.11	0.02	-0.10	-0.08
MgO	2.88	0.68	0.44	0.11
CaO	5.84	1.33	0.03	-0.50
Na ₂ O	3.80	0.46	0.46	0.71
K ₂ O	0.64	0.33	0.77	0.39
P ₂ O ₅	0.20	0.09	4.63	28.60
H ₂ O ⁺	2.26	0.46	0.27	-0.14
CO ₂	0.66	0.76	2.25	5.55
Li	21 ppm	6.31	2.28	8.02
V	127	43.67	2.03	9.09
Cr	32	27.01	3.94	16.90
Co	30	5.39	0.08	0.14
Ni	30	11.18	1.77	4.85
Cu	32	39.15	3.74	16.65
Zn	60	13.15	-0.02	-0.38
Rb	19	11.60	0.80	0.36
Sr	217	40.93	0.35	-0.09

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$a_s = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n} \right)$$

$$a_p = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n} \right) - 3$$

et en contraste avec les variations graduelles produites par une différenciation magmatique, ils devraient étaler les données et se manifester sur une courbe de fréquence par un indice d'aplatissement d'une certaine importance. Le critère adopté a une valeur purement locale et son application est justifiée par la composition relativement homogène du batholite de Bourlamaque.

L'examen des différents histogrammes démontre que pas un ne présente une distribution clairement bimodale ou d'ordre supérieur. Les roches du batholite sont vraisemblablement comagmatiques et s'il y a d'autres phénomènes géologiques superposés, pas un ne fut assez intense pour effacer complètement la distribution magmatique.

L'étude des coefficients d'aplatissement, paramètres qui font ressortir l'hétérogénéité dans une population donnée, montre qu'il y a des différences significatives parmi les éléments. La valeur numérique du coefficient d'aplatissement pour une distribution normale est 0, plus ou moins une certaine valeur, fonction du nombre d'observations. A titre d'exemple, d'après le nombre d'échantillons étudiés, la limite d'acceptabilité pour une distribution normale se situe à ± 0.83 (Preston, 1970).

Quelques éléments en traces montrent un degré d'aplatissement élevé: par ordre décroissant on trouve P_2O_5 , Cr, Cu, V, Li, CO_2 , Ni et TiO_2 . Il s'agit là d'éléments fémaphiles à l'exception de P_2O_5 , CO_2 et Li. Les éléments les plus mobiles dans le métamorphisme, potassium et calcium, ne montrent pas un coefficient d'aplatissement appréciable, tandis que le sodium

with the gradual variations produced by magmatic differentiation; the resulting data should consequently be spreaded out and the plotted frequency curve should display a flatness index of some size. The criterion adopted has only a local value; its application is justified by the relatively homogeneous composition of the Bourlamaque batholith.

The analyses of the different diagrams show none to have a clearly bimodal distribution or one of higher order. The rocks from the batholith are very likely comagmatic; should other superimposed geological phenomena be present, none were intense enough to completely erase the magmatic distribution.

The study of flatness coefficients, which are parameters that emphasize heterogeneity within a given population, indicates significant differences amongst elements. The numerical value of the flatness coefficient is 0 for a normal distribution; minor variations above or below the zero point are related to the number of observations. The acceptable limit for a normal distribution is, for example ± 0.83 (Preston, 1970), depending on the number of samples studied.

Some trace elements show a high degree of flatness: in decreasing order are found P_2O_5 , Cr, Cu, V, Li, CO_2 , Ni and TiO_2 . Except for P_2O_5 , CO_2 and Li, these are femaphile elements. Potassium and calcium, which are the most unstable elements during metamorphism, do not show a noticeable flatness coefficient whereas sodium, with a flatness coefficient

avec un aplatissement supérieur à ceux de K et Ca, se situe quand même à l'intérieur de la valeur 0.83.

Au point de vue géologique, nous pouvons attribuer ces valeurs de coefficient d'aplatissement de:

- Co_2 et Cu à leur distribution plutôt aléatoire dans le batholite;
- Cr, Ni, V et TiO_2 à la présence dans le batholite d'une zone fortement enrichie en ces éléments;
- Li et P_2O_5 aux teneurs anormalement élevées dans deux des échantillons analysés. L'abondance de la biotite dans l'un des échantillons explique la concentration de lithium, tandis qu'on n'a pas pu trouver une explication géologique pour la teneur extrêmement élevée en P_2O_5 du deuxième échantillon.

La signification géochimique d'une distribution statistique est encore plutôt obscure. Cependant, la distribution de SiO_2 , MgO, FeO, MnO, CaO, H_2O , Zn et Sr semble être de type normal, tandis que celle des autres éléments est plutôt de type lognormal. On peut trouver tous les histogrammes des éléments chimiques analysés dans Campligio (1974).

DIAGRAMMES DE VARIATIONS

Le comportement géochimique des éléments est ici examiné en fonction de l'indice de Larsen modifié qui est égal à $1/3 \text{ Si} + \text{K} - \text{Ca} - \text{Mg}$ (figures 9 à 12).

L'examen de ces diagrammes permet d'une part de reconnaître un comportement d'ensemble conforme aux

higher than those of K and Ca, is within the 0.83 value.

Geologically, the values of the flatness coefficients can be accounted for as follows:

- Co_2 and Cu to their somewhat random distribution within the batholith;
- Cr, Ni, V, and TiO_2 to the presence within the batholith of a zone highly enriched in these elements;
- Li and P_2O_5 to the abnormally high values in the two samples that were analyzed. The abundance of biotite in one of the samples explains the lithium concentration whereas the high value of P_2O_5 in the second sample is still without any sound geological explanation.

The geochemical meaning of a statistical distribution remains somewhat obscure. However, the distribution of SiO_2 , MgO, FeO, CaO, H_2O , Zn and Sr appears to be of the normal type whereas that of other elements is rather lognormal in nature. All of the histograms derived from the samples that were analyzed can be found in Campligio (1974).

VARIATION DIAGRAMS

The geochemical behaviour of the elements is examined here as a function of the Larsen modified index which is equal to $1/3 \text{ Si} + \text{K} - \text{Ca} - \text{Mg}$ (Figures 9 to 12).

On the one hand the study of these diagrams allows one to recognize a comprehensive behaviour in conformity

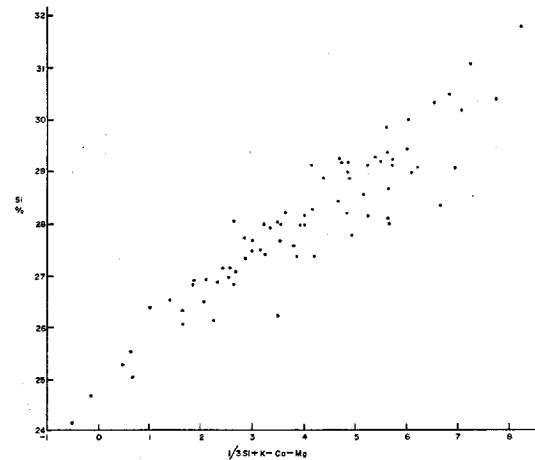
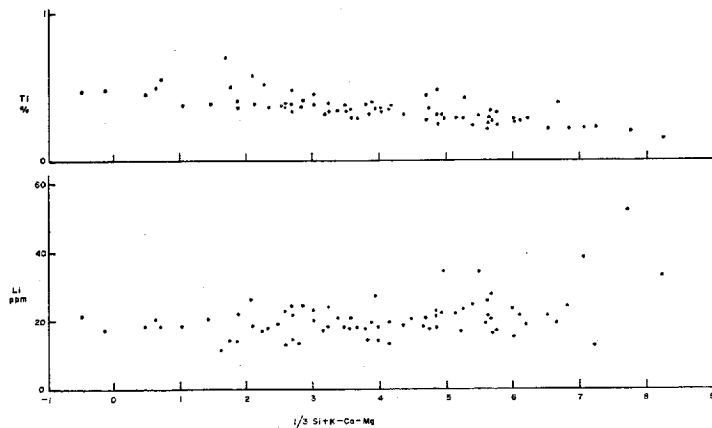
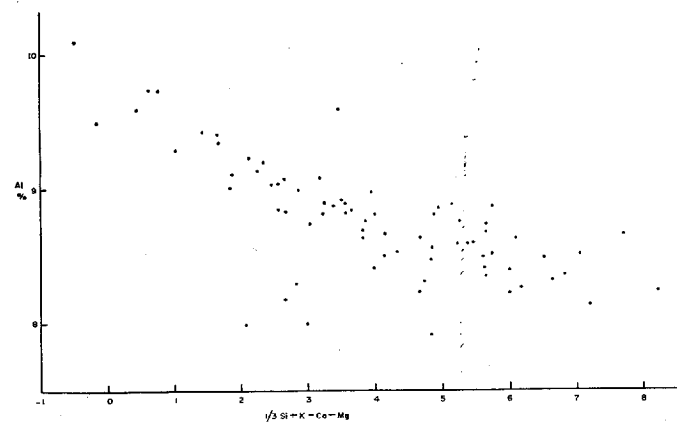
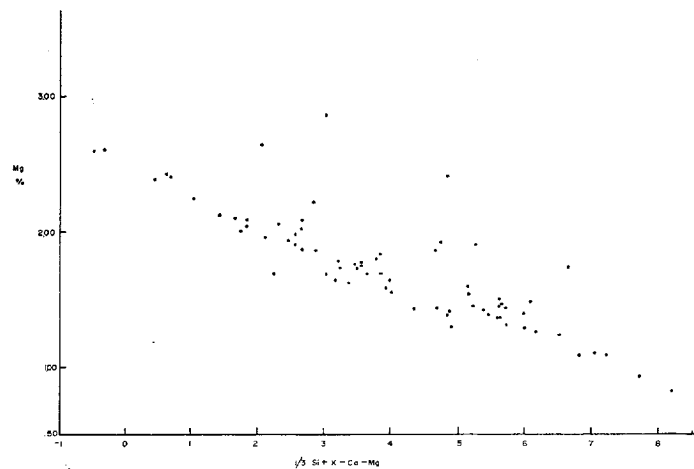


FIGURE 9 - Diagrammes de variations des éléments chimiques du batholite de Bourlamaque en fonction de l'indice de Larsen modifié / Variation diagrams for the chemical elements of the Bourlamaque batholith, plotted against the Larsen modified index.

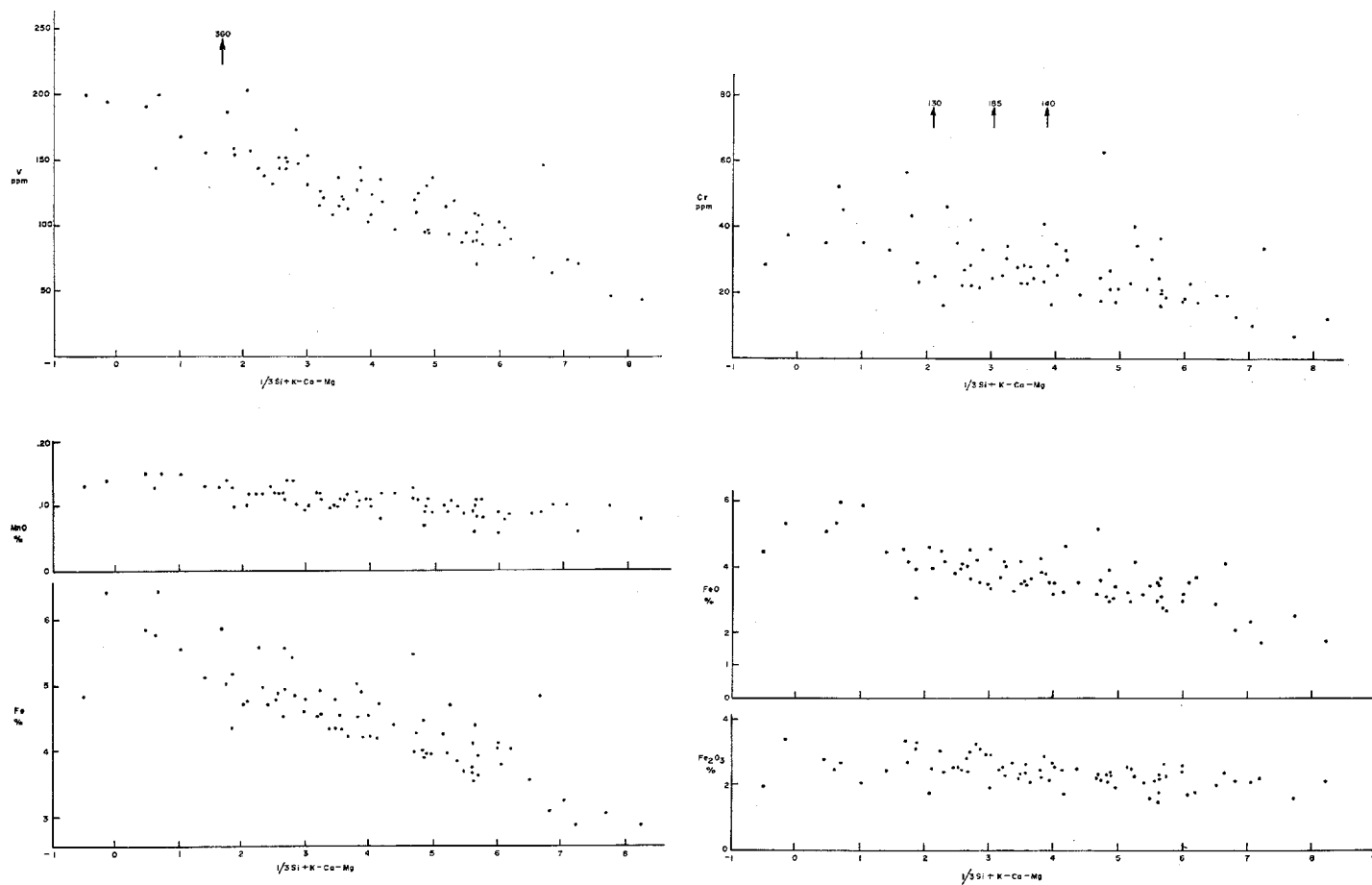


FIGURE 10 - Diagrammes de variation des éléments chimiques du batholite de Bourlamaque en fonction de l'indice de Larsen modifié
 Variation diagrams for the chemical elements of the Bourlamaque batholith plotted against the Larsen modified index.

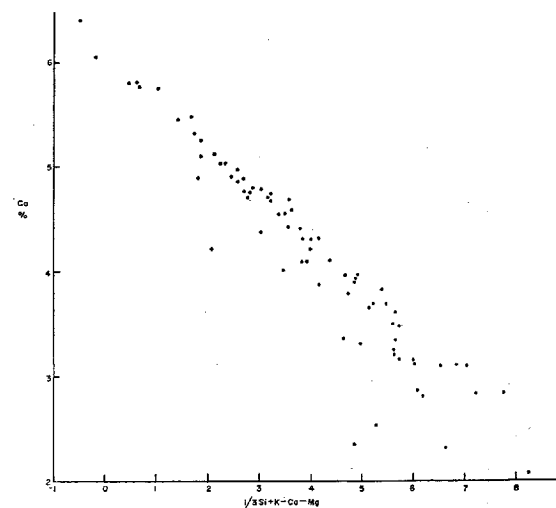
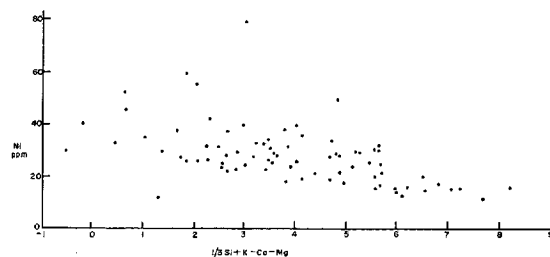
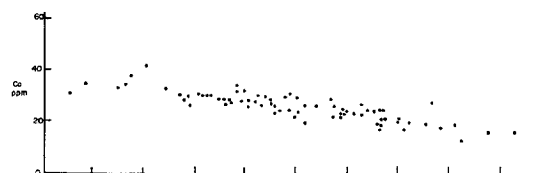
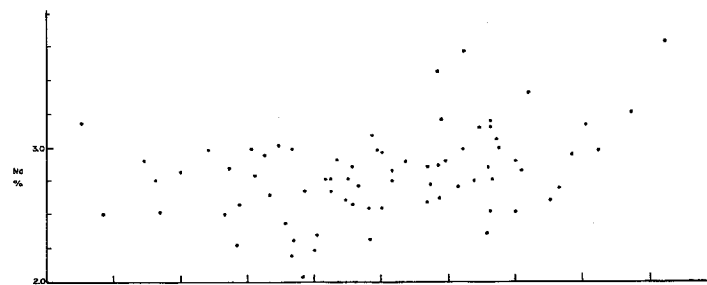
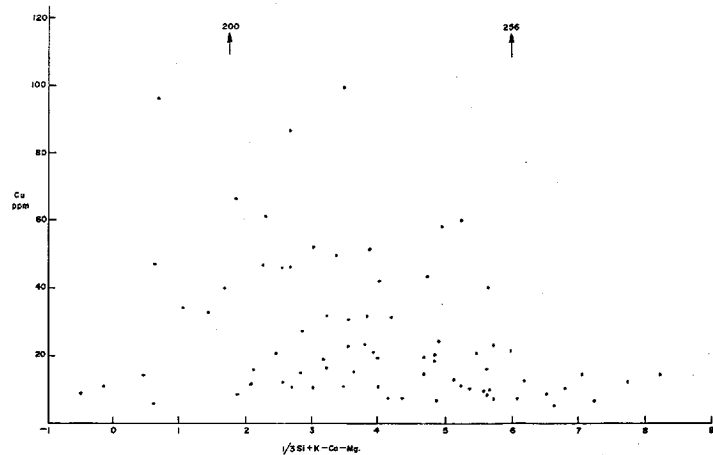


FIGURE 11 - Diagrammes de variation des éléments chimiques du batholite de Bourlamaque en fonction de l'indice de Larsen modifié.
Variation diagrams for the chemical elements of the Bourlamaque batholith plotted against the Larsen modified index.

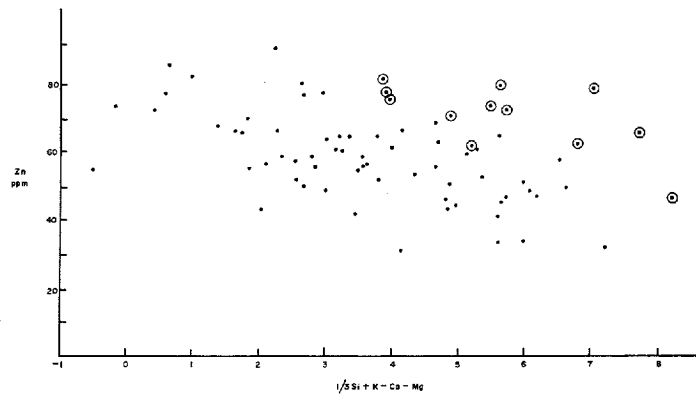
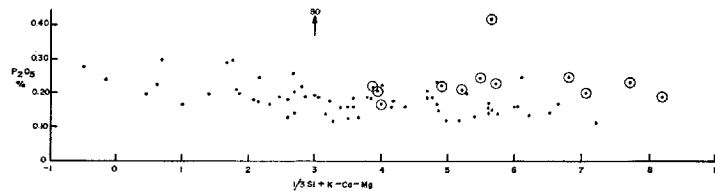
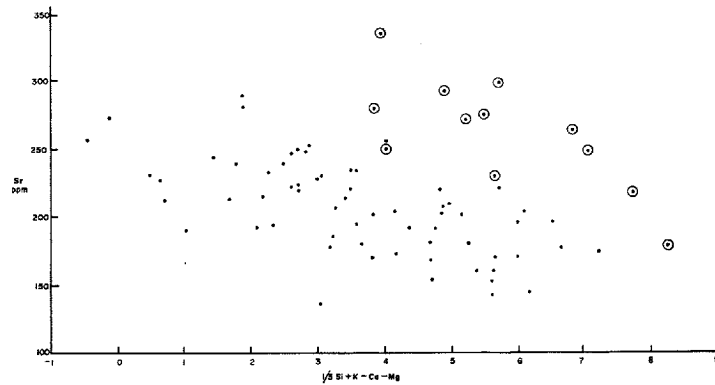
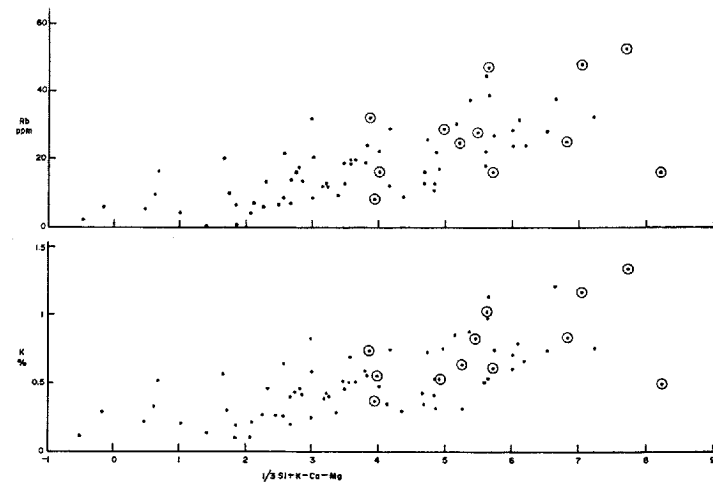


FIGURE 12 - Diagrammes de variation. Eléments chimiques en fonction de l'indice de Larsen modifié / Variation diagrams. Chemical elements plotted against the Larsen modified index.

- Intrusion précoce / Central intrusion
- ⊙ Intrusion tardive / Northern intrusion

lois de la cristallisation fractionnée et d'autre part de séparer le comportement du cuivre de celui de tout autre élément. Ainsi, les déviations de la plupart des éléments de leur comportement magmatique banal peuvent s'expliquer par des phénomènes qui se sont manifestés pendant la période magmatique. Le comportement du cuivre, pour sa part, est difficile à expliquer à la lumière d'une interprétation magmatique, il est le seul élément affecté sensiblement par un autre processus que le métamorphisme. La libération du cuivre lors de la chloritisation des minéraux mafiques d'une monzonite quartzique a été également signalée par Shrivastava et Proctor (1962).

On considère que le métamorphisme est également responsable de la dispersion modérée montrée par le sodium, le potassium, le rubidium et le lithium. La mobilité du potassium nécessite une explication particulière. En effet, dans la grande majorité des cas, cet élément étant présent dans les minéraux primaires sous forme de remplacement diadochique et de ce fait pouvant déjà montrer un comportement d'élément en trace, il est impossible de décider jusqu'à quel point sa dispersion est primaire ou acquise.

Il est intéressant de signaler pour fin de comparaison les résultats des travaux de Korzkinsky (1948) sur la mobilité des éléments chimiques dans une intrusion subvolcanique affectée par un métamorphisme de faible température. Cet auteur établit par ordre décroissant de mobilité la série suivante: H_2O , CO_2 , S, K_2O , Na_2O , O_2 , Cu, SiO_2 , CaO, MgO, Fe, P_2O_5 , Al_2O_3 , TiO_2 .

with the laws of fractional crystallization; on the other, to distinguish the behaviour of copper from that of any other element. Hence, the variation of most elements from their usual magmatic behaviour can be explained by phenomena that took place during the magmatic period. The behaviour of copper may, for one, be difficult to explain in the light of a magmatic interpretation; it is the only element noticeably influenced by a process other than metamorphism. The release of copper during the chloritization period of the mafic minerals of a quartz monzonite has been noted by Shrivastava and Proctor (1962).

Metamorphism is also considered to be responsible for the moderate dispersion shown by sodium, potassium, rubidium and lithium. The potassium mobility requires particular explanation. In most cases, this element is indeed present within the primary minerals as a diadochic replacement and as a result it may behave as a trace element which makes it impossible to decide whether the dispersion is primary or acquired.

For comparison, it is interesting to note the results of the work of Korzkinsky (1948) on the mobility of chemical elements within a sub-volcanic intrusion affected by a low temperature metamorphism. This author establishes the following series in decreasing order of mobility: H_2O , CO_2 , S, K_2O , Na_2O , O_2 , Cu, SiO_2 , CaO, MgO, Fe, P_2O_5 , Al_2O_3 , TiO_2 .

De plus, l'étude des diagrammes de variation nous permet de reconnaître au moins deux intrusions dans le batholite¹. L'une, qui occupe la partie occidentale nord, est caractérisée non seulement par des teneurs plus hautes qu'ailleurs en certains éléments felsiphiles (K, Rb, Li et Sr), mais aussi en Zn et en P. L'autre, qui s'identifie à la portion orientale sud et qui est moins différenciée que la précédente, montre au contact oriental sud avec les métavolcanites une zone enrichie en Mg, Cr et Ni.

Avant de donner une interprétation géochimique générale nous allons étudier les relations entre chacun des éléments examinés, la nature de ces rapports et leurs variations au sein du batholite.

RELATIONS ENTRE LES ELEMENTS

Les diagrammes de variation montrent qu'il existe des liens étroits entre les différents éléments chimiques constituant une roche ignée. Les courbes de ces diagrammes sont en effet l'expression de cette interaction mutuelle.

L'examen du comportement de chacun des éléments vis-à-vis les autres se base sur l'étude du coefficient de corrélation linéaire r donné par:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 - \sum (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{n \sigma_x \sigma_y}$$

Les propriétés de r ne sont donc pleinement valables que sous certaines conditions (corrélation linéaire).

1 - Voir* à la page 49.

In addition, a study of variation diagrams allows us to recognize at least two intrusions within the batholith¹. One, which lies in the north-western area, is characterized by higher values in both felsic elements (K, Rb, Li and Sr), and Zn and P. The other is identified with the southeastern portion and is, in addition, less differentiated than the previous one. A Mg, Cr and Ni enriched zone can be seen at the southeastern contact with the metavolcanic rocks.

Before proceeding with a general geochemical interpretation the relationships between each of the elements examined, the nature of these relationships and their variation within the batholith will be studied.

RELATIONSHIPS BETWEEN ELEMENTS

The variation diagrams show closer ties to exist between the different chemical elements which constitute an igneous rock. The curves of these diagrams are, in fact, the expression of this mutual interaction.

The analysis of the behaviour of each element compared to others is based on the study of the r linear correlation coefficient given by:

The r properties are thus only fully valuable under certain conditions (linear correlation).

1 - See* page 49.

Ainsi, afin que r ait un sens, il faut que le nuage de points puisse être considéré comme un échantillon d'une population binormale. Ceci signifie en particulier que le nuage doit avoir un axe linéaire (les courbes de régression sont des droites). La corrélation sera d'autant plus étroite que le nuage elliptique sera plus aplati. Toute déviation des conditions décrites ci-dessus diminue ou annule la signification de cet indice. Il est donc indispensable de connaître au préalable le comportement des éléments chimiques dans un ensemble donné avant de commencer toute interprétation à l'aide de ce paramètre.

Les diagrammes de variation des roches de Bourlamaque ont montré que:

- a - la presque totalité des éléments présentent des variations linéaires en fonction du même indice, soit la différenciation magmatique;
- b - le cuivre montre une distribution assez aléatoire;
- c - le sodium montre une faible tendance à s'enrichir et ses valeurs sont plutôt dispersées;
- d - le fer ferrique présente une distribution caractérisée par une certaine dispersion;
- e - le potassium, le lithium et le rubidium sont modérément dispersés et sont enrichis dans les produits finaux de la cristallisation;
- f - le phosphore, le zinc et le strontium se distribuent selon deux tendances parallèles, quoique rapprochées; leur dispersion respective est croissante dans l'ordre d'énumération.

Hence, the data cloud must be considered as a sample with a bimodal population for r to be meaningful. This means particularly that the cloud must have a linear axis (the regression curves are straight lines). The flatter the elliptic cloud is, the narrower the correlation will be. Any deviation from the above described conditions diminishes or annuls the meaning of this index. It is as essential to know in advance the behaviour of the chemical elements within a given series in order to begin any interpretation based on this parameter.

The variation diagrams of the Bourlamaque rocks have shown the following:

- a - most of the elements display linear variations as a function of the same index, the magmatic differentiation;
- b - copper shows a somewhat random distribution;
- c - sodium shows a slight tendency for enrichment and its values are mostly scattered;
- d - the ferric iron presents a distribution characterized by a certain dispersion;
- e - potassium, lithium and rubidium are moderately dispersed and are enriched in the final crystallisation products.
- f - phosphorus, zinc and strontium are distributed along two parallel, although close, trends; their respective dispersion increases in the order of enumeration.

Ces données géologiques, séparant les facteurs géochimiques des facteurs purement inhérents à la méthode utilisée (une mauvaise distribution statistique), permettent l'étude de la corrélation. Ainsi, dans les cas b à f, il sera normal de trouver des corrélations pas trop élevées.

Remarquons que le coefficient de corrélation, utile comme toute valeur chiffrée, quantifie un comportement de deux éléments mais il n'explique nullement, au point de vue géochimique, les causes de ce comportement. En effet, dans une corrélation positive ou négative, aussi excellente soit-elle, il faut toujours savoir distinguer entre comportement analogue, qui dépend du processus géologique traité (ex. V et Ca, $r = 0.81$), et comportement régi par rapports d'isomorphisme (ex. Fe* et Mg, $r = 0.83$). Dans l'étude des roches ignées où la distribution des éléments est interdépendante, l'absence plutôt que la présence de corrélation peut être significative.

Pour la population échantillonnée, la valeur critique de r ($r \neq 0$) est de ± 0.20 pour une probabilité de 95% et de ± 0.38 pour une probabilité de 99.95%. Le calcul de l'erreur dans l'estimation de r , effectué d'après la formule générale pour un nombre d'observations supérieur à 30, $\text{var}(r) = 1/n (1 - r^2)^2$, assure une variation possible de r de ± 0.10 , pour $r = |0.40|$ diminuant progressivement à ± 0.02 pour une valeur de $r = |0.90|$.

These geological data, which separate the geochemical factors from those purely inherent to the method used (a poor statistical distribution), allow a study of correlation. It is hence normal to find moderately correlation in the cases from b to f.

It should be noted that the correlation coefficient, useful like any numerical value, quantifies the behaviour of two elements; from a geological point of view it does not, however, explain in any way the reasons for this behaviour. Indeed, in a case of either positive or negative correlation whatever its degree of excellence, one must always distinguish between an analogous behaviour which depends on the geological process being dealt with (e.g. Ca, $r = 0.81$) and the behaviour governed by isomorphous relationships (e.g. Fe and Mg, $r = 0.83$).

The critical value of r ($r \neq 0$) is ± 0.20 for a probability of 95% and ± 0.38 for a probability of 99.95% in the case of the given population. The error measurement of r , after a general formula for a number of observations greater than 30, $\text{var}(r) = 1/n (1 - r^2)^2$, assures a possible variation of r of ± 0.10 for $r = |0.40|$, gradually decreasing to ± 0.02 for $r = |0.90|$.

* Fe' = FeO (fer ferreux)
Fe" = Fe₂O₃ (fer ferrique)

*Fe' = FeO (ferrous iron)
Fe" = Fe₂O₃ (ferric iron)

Sur cette base, les corrélations inférieures à 0.40 ne seront pas prises en considération. Ainsi, parmi les corrélations significatives, des seuils arbitraires permettent de faire les subdivisions suivantes:

Correlations inferior to 0.40 will not, on this account, be considered. Hence, within the meaningful correlations, arbitrary thresholds allows the following subdivisions:

Corrélation peu significative ...	$ 0.40 \leq r < 0.60 $	... meaningful correlation
Corrélation significative	$r > 0.60 $	 poor correlation
Corrélation bonne	$ 0.61 \leq r < 0.80 $	 good correlation
Corrélation très bonne	$ 0.81 \leq r < 0.90 $	 very good correlation
Corrélation excellente	$r > 0.91 $	 excellent correlation

LE BATHOLITE COMME ENTITE UNIQUE

THE BATHOLITH AS A UNIQUE ENTITY

Les coefficients de corrélation entre les éléments chimiques du batholite de Bourlamaque, obtenus de tous les échantillons excepté ceux de la portion reconnue comme étant anormalement riche en éléments de la famille du magnésium, sont données au tableau 3. Le tableau 4 donne les coefficients significatifs. Ces deux tableaux indiquent que, au point de vue statistique:

Table 3 shows the correlation coefficients between the chemical elements of the Bourlamaque batholith; these were obtained from all the samples except for those located in the portion known to be abnormally rich in elements of the magnesium family. Table 4 provides the significant coefficients. These two tables indicate that, on a statistical basis:

- Les meilleures corrélations sont présentées par les éléments femaphiles à l'exception de la silice et de la chaux qui montrent des corrélations respectivement excellente et très bonne;
- les couples: élément majeur-majeur, élément mineur-mineur et élément majeur et mineur offrent des corrélations significatives en plus grand nombre que les couples trace-élément majeur et trace-élément mineur;
- Les corrélations significatives entre deux éléments en trace sont rares et au mieux bonnes.
- The best correlations are those of the femaphile elements except for silica and lime which respectively show excellent and very good correlation.
- The couples: major - major element, minor - minor element and major-minor element display correlations that are more frequently meaningful than the major trace-element and minor trace-element couples.
- The meaningful correlations between two trace elements are not common and are, at best, good.

TAB. 3 - COEFFICIENTS DE CORRELATION DU BATHOLITE DE BOURLAMAQUE
CORRELATION COEFFICIENTS OF THE BOURLAMAQUE BATHOLITH

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	Li	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	
1.00	-.81	-.82	-.41	-.80	-.69	-.92	-.85	.30	.54	-.13	-.25	.02	.34	-.91	-.54	-.80	-.60	-.22	-.40	.55	-.29	SiO ₂
	1.00	.55	.53	.79	.70	.82	.69	-.26	-.53	.30	.18	-.20	-.41	.83	.56	.78	.59	.34	.54	-.54	.30	TiO ₂
		1.00	.22	.55	.59	.72	.76	.06	-.50	.05	-.07	-.19	-.11	.67	.48	.59	.52	.11	.34	-.54	.34	Al ₂ O ₃
			1.00	.15	.44	.45	.48	-.33	-.50	.22	.13	-.38	-.43	.48	.28	.50	.43	.18	.30	-.51	.44	Fe ₂ O ₃
				1.00	.73	.83	.66	-.30	-.41	.12	.16	-.10	-.31	.78	.54	.82	.53	.22	.49	-.42	-.02	FeO
					1.00	.76	.75	-.23	-.56	.13	-.03	-.47	-.24	.70	.45	.80	.53	.08	.68	-.58	.27	MnO
						1.00	.83	-.40	-.61	.13	.21	-.13	-.41	.94	.63	.85	.62	.15	.38	-.61	.21	MgO
							1.00	-.41	-.68	.09	-.00	-.34	-.39	.81	.56	.76	.63	.14	.41	-.67	.35	CaO
								1.00	.18	.08	-.45	-.11	.43	-.43	-.13	-.31	-.13	-.08	.02	.16	-.02	Na ₂ O
									1.00	.09	.01	.34	.50	-.57	-.43	-.56	-.46	-.11	-.17	.97	.24	K ₂ O
										1.00	-.23	-.20	.17	.11	.02	.21	.29	.17	.46	.10	.28	P ₂ O ₅
											1.00	.59	-.26	.28	-.05	.05	-.13	.00	-.19	.00	-.06	H ₂ O
												1.00	.10	-.06	-.25	-.32	-.35	-.18	-.45	.34	-.22	CO ₂
													1.00	-.44	-.44	-.34	-.22	-.19	.08	.48	.04	Li
														1.00	.52	.78	.48	.20	.29	-.57	.24	V
															1.00	.57	.67	.20	.29	-.43	.03	Cr
																1.00	.67	.20	.59	-.59	.20	Co
																	1.00	.08	.57	-.47	.25	Ni
																		1.00	.07	-.08	.07	Cu
																			1.00	-.20	.45	Zn
																				1.00	-.27	Rb
																					1.00	Sr

r ≠ 0 à 99.95% de probabilité si r > | 0.38 |

r ≠ 0 at 99.95% of probability if r > | 0.38 |

Les échantillons provenant de la zone anormalement riche en Mg, Cr et Ni sont exclus.
Samples from the abnormally high Mg, Cr and Ni zone are excluded.

TAB. 4 - Coefficients de corrélation significatifs du batholite de Bourlamaque. Les échantillons provenant de la zone anormalement riche en Mg, Cr, Ni et V ont été exclus. $r \neq 0$ si $|r| > |0.20|$ à 95% de probabilité. Les paires soulignées montrent une corrélation négative / Significant correlation coefficients of the Bourlamaque batholith. Samples from the abnormally high Mg, Cr, Ni and V zone are excluded. $r \neq 0$ si $|r| > |0.20|$ at 95% probably. The underlined pair show a negative correlation.

Corrélation excellente / Excellent correlation, $r > |0.91|$

0.97 : Rb-K

0.94 : V-Mg

0.92 : Si-Mg

0.91 : V-Si

Corrélation très bonne / Very good correlation, $|0.81| \leq r \leq |0.90|$

0.85 : Co-Mg; Ca-Si

0.83 : V-Ti; Mg-Fe'; Ca-Mg

0.82 : Co-Fe'; Mg-Ti; Si-Al

0.81 : V-Ca; Si-Ti

Corrélation bonne / Good correlation, $|0.61| \leq r \leq |0.80|$

0.80 : Co-Mn; Si-Fe'; Si-Co

0.79 : Fe'-Ti

0.78 : V-Fe'; Co-Ti; Co-V

0.76 : Mg-Mn; Ca-Al; Co-Ca

0.75 : Ca-Mn

0.73 : Mn-Fe'

0.72 : Mg-Al

0.70 : Mn-Ti; V-Mn

0.69 : Ca-Ti; Si-Mn

0.68 : Zn-Mn; Ca-K

0.67 : Ni-Co; Ni-Cr; Ca-Rb; V-Al

0.66 : Ca-Fe'

0.63 : Cr-Mg; Ni-Ca

0.62 : Ni-Mg

0.61 : K-Mg; Rb-Mg

Chayes et Kruskal (1966) ont présenté des raisons statistiques qui incitent à l'extrême prudence dans l'utilisation de cette technique et qui constituent une mise en garde surtout aux niveaux des corrélations des éléments majeurs et mineurs où entre en jeu le facteur de la somme constante de 100%.

Chayes and Kruskal (1966) have provided statistical reasons which incite extreme care in the utilisation of this technique; they also constitute a warning to those using it at the correlation levels for major and minor elements where the 100% constant total factor enters in action.

Ainsi le comportement prévu de Cu, Na, Fe^{3+} , K, Rb, Li, P, Zn et Sr, (tab. 3) se caractérise par des coefficients plus faibles que ceux d'autres éléments bien distribués statistiquement. Les comparaisons entre les corrélations se limitent ainsi aux seuls cas de comportements analogues.

Le plus important facteur de l'existence de corrélations parmi les éléments chimiques d'une roche ignée est intrinsèque à son mode de formation. Ainsi la présence d'un élément dans les phases principales d'une roche favorise la corrélation, tandis qu'un élément ne participant que d'une façon individuelle sous forme de minéral spécifique présentera peu de corrélation avec les autres. Le silicium et le phosphore constituent l'exemple des cas extrêmes: le premier est en effet la clef de voûte de toute roche silicatée et le deuxième ne fait son apparition dans une roche ignée que sous forme d'apatite.

Une mauvaise corrélation, telle celle du cuivre, peut être un indice du sort particulier d'un élément donné dans l'histoire d'une roche. Le cuivre est soustrait du système silicaté, sa distribution actuelle étant régie par la disponibilité du soufre, lui permettant d'apparaître sous forme de chalcopyrite.

Les facteurs géologiques fréquents qui font diminuer les corrélations semblent être la dispersion des valeurs d'un élément autour de sa tendance et le changement de comportement d'un élément au cours d'un processus donné. Le premier peut expliquer les liaisons relativement lâches des éléments en trace: leur

Hence, the anticipated behaviour of Cu, Na, Fe^{3+} , K, Rb, Li, P, Zn and Sr (table 3) is characterized by coefficients that are lower than those elements that are statistically well distributed. Comparisons between correlations are hence limited to cases of analogous behaviour.

The most important factor in the existence of correlation amongst the chemical elements of an igneous rock is intrinsic to its mode of formation. Hence the occurrence of an element within the main phases of a rock favors correlation, whereas the participation of an element on an individual basis a component of a specific mineral will show little correlation with the others. Silicon and phosphorus illustrate extreme cases: the first is the keystone of any silicated rock whereas the second only appears in an igneous rock as apatite.

A poor correlation, such as that of copper, can be a clue to the particular development of an element in the history of one rock. Copper is removed from the silicated system; its actual distribution being ruled by sulphur availability, therefore allowing it to appear as chalcopyrite.

The frequent geological factors which diminish correlations appear to be the dispersion of the values of an element around its trend and the change in behaviour of an element during a given process. The first can explain the relatively weak relationships of trace elements: their mode of distribution being probably (Goni, 1966)

mode de distributions étant vraisemblablement (Goni, 1966) assujetti à des lois moins strictes que celles régissant la distribution des éléments majeurs et mineurs. Le second facteur est le comportement local de K, Rb et Li fortement enrichis par l'apparition de la biotite.

Considérons maintenant quelques cas spécifiques, notamment où l'on peut invoquer le concept de cohérence géochimique. Les corrélations excellentes montrées par K et Rb ($r = +0.97$) et par Mg et V ($r = +0.94$) indiquent que ces deux paires d'éléments ont eu vraisemblablement un comportement géochimique très similaire lors du dernier processus géologique qui a affecté le batholite. La seule autre condition pour garder une si bonne corrélation est que, s'il y a eu des variations relatives, elles se sont manifestées d'une façon uniforme dans le batholite entier lors du dernier processus géologique local, soit le métamorphisme.

Les coefficients de corrélation des éléments en trace permettent d'identifier, d'après le type de corrélation montrée, les groupes d'éléments géochimiquement cohérents. Ainsi, les éléments fémaphiles se séparent des éléments felsiphiles en présentant, à l'exception de Cu, les meilleurs corrélations. La valeur géologique en est douteuse à cause de la différence de comportement des deux groupes. Peut-être plus significative est la constatation que, à l'intérieur du groupe fémaphile, il existe des différences dans les valeurs des coefficients; V et Co étant caractérisés par des corrélations très bonnes à excellentes; Ni et Cr, par des corrélations au mieux significatives et

subjected to laws that are less stringent than those governing the distribution of major and minor elements. The second factor is the local behaviour of K, Rb and Li highly enriched by the appearance of biotite.

Some specific cases, especially those where the concept of geochemical coherence can be invoked, are considered hereafter. The excellent correlations shown by K and Rb ($r = +0.97$) and by Mg and V ($r = +0.94$) indicate that these two pairs of elements most probably had a very similar geochemical behaviour during the last geochemical process which affected the batholith. The only other valid condition to maintain such a good correlation is the presence of relative variations which appeared uniformly in the whole batholith during the last local geological process, namely metamorphism.

The correlation coefficients of trace elements allows one, on the basis of the type of correlation shown, to identify the groups of elements geochemically coherent. Hence, the fémaphile elements are separated from the felsiphile ones by showing, apart from copper, the best correlations. The geological value is, however, questionable because of the difference in the behaviour of these two groups. More credible is the fact that, within the fémaphile group, differences exist in the value of the coefficients; V and Co are characterized by very good to excellent correlations whereas Ni and Cr have more significant correlations and the Zn correlations have a low level of significance. Zinc cannot be compared directly

Zn se rangeant au niveau des corrélations peu significatives. Le zinc ne peut être comparé directement avec les autres éléments à cause de sa distribution différente. Les autres éléments se regroupent deux à deux respectant ainsi les lois de la substitution atomique: V et Co substitués de Fe, et Cr et Ni substitués de Mg. La corrélation différente de ces quatre éléments peut s'expliquer à la lumière de leur dispersion différente: V et Co montrent une distribution dans le batholite moins dispersée que Cr et Ni.

LE BATHOLITE COMME ENTITE DOUBLE

On peut discerner au moins deux intrusions à l'intérieur du batholite quoique le tout soit fort probablement comagmatique. Dans l'ensemble, on peut dire que l'intrusion nord présente des corrélations plus étroites que l'intrusion centrale (tab. 5). Ainsi le cuivre est caractérisé par des corrélations (statistiquement bonnes et géologiquement significatives) avec les éléments ferromagnésiens dans l'intrusion nord et par l'absence totale de corrélation dans l'intrusion centrale. Le sodium et le lithium se comportent similairement. La corrélation d'ensemble du fer ferrique est plus lâche dans l'intrusion centrale que dans l'intrusion nord. L'absence de corrélation de CO_2 et H_2O , sauf entre eux, est commune aux deux intrusions, mais H_2O , dans l'intrusion nord, montre des corrélations un peu moins lâches. Le potassium et le rubidium montrent une corrélation excellente entre eux dans les deux intrusions, mais par rapport aux autres éléments les corrélations sont faibles; cependant, la bonne corrélation avec le lithium dans l'intrusion nord pourrait être due à l'effet de la cristallisation locale de la biotite.

with other elements because it has a different distribution. Other elements are grouped two by two thus respecting the laws of atomic substitution: V and Co substitute for Mg. The difference in correlation of these four elements can be explained in the light of their different dispersion; the V and Co distribution within the batholith is less dispersed than that of Cr and Ni.

THE BATHOLITH AS A DOUBLE ENTITY

At least two intrusions can be distinguished within the batholith although the whole is most probably comagmatic. As a whole, the northern intrusion can be said to have narrower correlations than the central one (tab. 5). Hence, copper is characterized by correlations (statistically good and geologically significant) with ferromagnesian elements in the northern intrusion and by a total lack of correlation in the central intrusion. Sodium and lithium behave similarly. The comprehensive correlation of ferric iron is looser in the central intrusion than in the northern one. The absence of correlation of CO_2 and H_2O , except between themselves, is common to both intrusions; the H_2O correlations are, however, somewhat firmer in the northern intrusion. Potassium and rubidium have an excellent correlation between themselves in both intrusions but are weakly correlated with other elements. However, the good correlation with lithium in the northern intrusion may be related to a local crystallization of biotite. With regards to the femaphile trace elements (except for copper), vanadium and cobalt are distinguished

TAB. 5 - COEFFICIENTS DE CORRELATIONS DES INTRUSIONS NORD ET CENTRALE DU BATHOLITHE DE BOURLAMAQUE.
CORRELATION COEFFICIENTS FOR NORTHERN AND CENTRAL INTRUSIONS OF THE BATHOLITH OF BOURLAMAQUE.

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	Li	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	
1.00	-0.95	-0.75	-0.56	-0.95	-0.70	-0.96	-0.96	0.69	0.40	-0.19	-0.50	-0.29	0.53	-0.96	-0.67	-0.82	-0.79	-0.71	-0.88	0.26	-0.51	SiO ₂
	1.00	0.62	0.63	0.92	0.58	0.92	0.88	-0.70	-0.37	0.36	0.45	0.17	-0.59	0.94	0.60	0.84	0.82	0.79	0.90	-0.24	0.51	TiO ₂
		1.00	0.27	0.61	0.72	0.70	0.71	-0.45	-0.46	-0.22	0.46	0.41	-0.31	0.69	0.43	0.56	0.36	0.27	0.60	-0.44	0.63	Al ₂ O ₃
			1.00	0.40	0.31	0.64	0.46	-0.46	-0.41	0.37	0.28	-0.06	-0.77	0.66	0.44	0.74	0.69	0.63	0.38	-0.31	0.09	Fe ₂ O ₃
				1.00	0.59	0.89	0.92	-0.57	-0.30	0.25	0.33	0.20	-0.39	0.89	0.67	0.74	0.81	0.73	0.89	-0.14	0.37	FeO
					1.00	0.57	0.65	-0.45	-0.22	-0.20	0.36	0.25	-0.33	0.61	0.22	0.33	0.32	0.39	0.71	-0.14	0.49	MnO
						1.00	0.91	-0.72	-0.48	0.26	0.52	0.25	-0.59	0.97	0.77	0.88	0.87	0.70	0.79	-0.37	0.41	MgO
							1.00	-0.72	-0.40	0.13	0.49	0.29	-0.52	0.91	0.71	0.78	0.76	0.60	0.83	-0.28	0.52	CaO
								1.00	0.13	-0.36	-0.59	-0.34	0.49	-0.65	-0.46	-0.63	-0.61	-0.35	-0.68	0.12	-0.55	Na ₂ O
									1.00	0.21	-0.56	-0.26	0.68	-0.46	-0.46	-0.39	-0.39	-0.10	-0.06	0.96	-0.40	K ₂ O
										1.00	-0.20	-0.27	0.00	0.19	-0.01	0.37	0.46	0.58	0.32	0.24	-0.26	P ₂ O ₅
											1.00	0.72	-0.55	0.47	0.37	0.30	0.26	0.06	0.28	-0.55	0.68	H ₂ O
												1.00	-0.12	0.14	0.20	-0.07	-0.01	-0.21	0.09	-0.22	0.52	CO ₂
													1.00	-0.63	-0.60	-0.60	-0.61	-0.30	-0.28	0.62	-0.46	Li
														1.00	0.73	0.88	0.82	0.76	0.82	-0.33	0.46	V
															1.00	0.69	0.79	0.36	0.38	-0.36	0.17	Cr
																1.00	0.85	0.70	0.68	-0.31	0.27	Co
																	1.00	0.69	0.66	-0.26	0.08	Ni
																		1.00	0.72	0.06	-0.01	Cu
																			1.00	0.05	0.47	Zn
																				1.00	-0.42	Rb
																					1.00	Sr

INTRUSION NORD
NORTHERN INTRUSION
si $r > |0.23|$, $r \neq 0$ à 95% de probabilité
if $r > |0.23|$, $r \neq 0$ at 95% of probability

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	Li	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	
1.00	-0.76	-0.83	-0.38	-0.74	-0.67	-0.89	-0.81	0.06	0.48	-0.55	-0.05	0.10	0.10	-0.88	-0.50	-0.75	-0.59	-0.09	-0.55	0.54	-0.57	SiO ₂
	1.00	0.49	0.54	0.78	0.70	0.79	0.61	-0.08	-0.50	0.72	0.03	-0.28	-0.27	0.79	0.52	0.76	0.56	0.19	0.68	-0.57	0.47	TiO ₂
		1.00	0.18	0.51	0.52	0.71	0.74	0.25	-0.48	0.35	-0.25	-0.25	0.06	0.64	0.51	0.56	0.54	-0.02	0.41	-0.53	0.48	Al ₂ O ₃
			1.00	0.16	0.44	0.43	0.50	-0.38	-0.53	0.36	0.09	-0.47	-0.38	0.48	0.18	0.46	0.39	0.14	0.40	-0.58	0.69	Fe ₂ O ₃
				1.00	0.78	0.80	0.57	-0.06	-0.34	0.56	-0.05	-0.22	-0.18	0.72	0.58	0.83	0.51	0.14	0.72	-0.39	0.14	FeO
					1.00	0.80	0.75	-0.16	-0.61	0.48	-0.16	-0.56	-0.28	0.71	0.54	0.87	0.56	-0.07	0.81	-0.66	0.36	MnO
						1.00	0.79	-0.18	-0.54	0.61	-0.04	-0.26	-0.18	0.92	0.60	0.83	0.61	0.03	0.60	-0.59	0.54	MgO
							1.00	0.60	-0.18	0.45	-0.27	-0.46	-0.30	0.76	0.52	0.73	0.64	0.01	0.56	-0.72	0.64	CaO
								1.00	-0.01	-0.10	-0.28	-0.02	0.28	-0.24	0.06	-0.15	-0.03	-0.05	-0.12	-0.04	-0.28	Na ₂ O
									1.00	-0.38	0.42	0.55	0.25	-0.48	-0.36	-0.55	-0.50	-0.04	-0.44	0.97	-0.54	K ₂ O
										1.00	0.07	-0.16	-0.24	0.61	0.35	0.47	0.38	0.13	0.53	-0.39	0.42	P ₂ O ₅
											1.00	0.60	0.20	0.09	-0.35	-0.15	-0.27	0.01	-0.12	0.42	0.01	H ₂ O
												1.00	0.39	-0.14	-0.40	-0.44	-0.41	-0.16	-0.50	0.55	-0.26	CO ₂
													1.00	-0.19	-0.16	-0.21	-0.09	-0.18	-0.21	0.27	-0.23	Li
														1.00	0.42	0.75	0.44	0.03	0.49	-0.53	0.59	V
															1.00	0.59	0.71	0.07	0.53	-0.42	0.18	Cr
																1.00	0.64	0.13	0.78	-0.62	0.39	Co
																	1.00	0.03	0.63	-0.56	0.35	Ni
																		1.00	0.01	-0.00	0.09	Cu
																			1.00	-0.50	0.25	Zn
																				1.00	-0.58	Rb
																					1.00	Sr

INTRUSION CENTRALE
CENTRAL INTRUSION
si $r > |0.46|$, $r \neq 0$ à 95% de probabilité
if $r > |0.46|$, $r \neq 0$ at 95% of probability

Concernant les éléments fémaphiles en trace (à l'exception du cuivre), le vanadium et le cobalt se distinguent par des corrélations d'ensemble, excellentes à très bonnes dans l'intrusion nord, tandis que dans l'intrusion centrale ils présentent une corrélation d'ensemble bonne et peu significative dans l'ordre donné ci-dessus. Le chrome, enfin, passe d'une corrélation bonne à très bonne dans l'intrusion nord, à une corrélation peu significative dans l'intrusion centrale. Pour ce qui est des corrélations spécifiques entre les éléments fémaphiles, le vanadium et le cobalt gardent à peu près la même corrélation dans les deux intrusions; il en est de même pour le chrome et le nickel.

La transposition des observations du domaine statistique au domaine géologique demande des précautions. Ainsi, si l'interprétation des différents comportements peut être raisonnablement acceptée en fonction de la dispersion relative, l'interprétation des causes de la dispersion n'est pas aussi simple. Le problème est de savoir si la dispersion est primaire ou secondaire.

Avant d'aborder le sujet de la dispersion, voyons si les caractéristiques des deux populations peuvent à elles seules expliquer les différents coefficients de corrélation. Le calcul de l'erreur dans l'estimation du coefficient r dans les deux intrusions apparaît ci-dessous:

by general correlations which are excellent to very good in the northern intrusion but respectively good and hardly significant in the central one. Finally, chromium ranges from a good to very good correlation in the northern intrusion to a hardly significant correlation in the central one. With respect to specific correlations between femaphile elements, vanadium and cobalt maintain a somewhat similar correlation in both intrusions; the same prevails for chromium and nickel.

The transposition of observations from the statistical domain to geology must be done with caution. Hence, even though the interpretation of the different behaviours can be reasonably accepted depending on relative dispersion, the interpretation of the causes of dispersion is not that simple. The problem is to know whether the dispersion is primary or secondary in nature.

Prior to addressing the subject of dispersion, the characteristics of the two populations are scrutinized to see if they, by themselves, can explain the different correlation coefficients. The error computation in the estimate of the r coefficient within both intrusions is as follows:

r	Intrusion nord <i>North intrusion</i>	Intrusion centrale <i>Central intrusion</i>
0.9	± 0.05	± 0.03
0.8	± 0.10	± 0.05
0.7	± 0.14	± 0.07
0.6	± 0.17	± 0.09
0.5	± 0.20	± 0.10
0.4	± 0.22	± 0.11

Les valeurs des écarts-types s'avèrent deux fois plus grandes dans l'intrusion nord et cela est normal vu le nombre différent d'échantillons. Même en tenant compte de l'erreur d'estimation, les deux intrusions restent différentes. En effet, la seule condition pour les rendre semblables est que, dans l'intrusion centrale, les coefficients r soient évalués dans tous les cas par défaut et qu'ils le soient par excès dans l'intrusion nord; ce qui constitue plutôt un cas limite.

On a évalué ainsi l'influence du nombre d'échantillons, mais celle de l'intervalle d'étalement de deux populations nous échappe. Ce paramètre, facilement appréciable d'après les gammes de différenciation, diffère d'une intrusion à l'autre et s'avère être de 5 unités pour l'intrusion nord et de 7 unités pour l'intrusion centrale. Malgré ce dernier aspect incertain, nous sommes portés à considérer les deux intrusions comme étant différentes de façon significative.

DISCUSSION

L'intrusion centrale, à minéralogie surtout métamorphique, présente aussi un comportement non magmatique du cuivre, tandis que l'intrusion nord, à minéralogie mixte (la biotite souvent n'est pas altérée), montre pour le même élément des liaisons magmatiques. De ce fait, l'altération qui a joué un rôle certain sur le cuivre, pourrait diminuer les coefficients de corrélation d'autres éléments, notamment ceux qui sont connus pour leur mobilité comme Na, Li, Rb et K.

Dans le groupe des éléments fémaphiles en trace, la situation particulière du cuivre comme on l'a déjà mentionné, peut s'expliquer à la

The standard deviation values are twice as great in the northern intrusion; this is normal due to the different number of samples. Despite the inclusion of the estimate error, the two intrusions remain different. Indeed, the only condition to make them similar is to appraise all the r coefficients by defect within the central intrusion and to evaluate them by excess in the northern intrusion; but this is a somewhat extreme case.

The influence of the number of samples has thus been appraised; that of the display interval of both population is still unknown. This parameter, easy to appraise after the differentiation series, differs from one intrusion to another; it is known to be 5 units for the northern intrusion and 7 units for the central one. Despite this latter uncertain aspect, both intrusions are considered as being significantly different.

DISCUSSION

The central intrusion, which has a generally metamorphic mineralogy, shows the copper behaviour to be non-magmatic; on the other hand, the northern intrusion with its mixed mineralogy (biotite is often unaltered) shows magmatic ties for that same element. Accordingly, alteration which played a clear role on copper, could diminish the correlation coefficients of other elements, in particular those that are known for their mobility, such as Na, Li, Rb and K.

The above-mentioned particular position of copper among the group of fémaphile trace elements can be explained in the light of the formation of chalcopyrite

lumière de la formation de chalcopryrite pendant l'altération. D'ailleurs, le comportement tout-à-fait particulier de Cu (et de CO_2) est confirmé par les résultats obtenus en appliquant la méthode statistique de l'analyse des correspondances aux données géochimiques de Bourlamaque (David *et al.*, 1974). Les autres éléments fémaphiles, se séparent en deux groupes: d'un côté le vanadium et le cobalt dont le comportement change peu dans les deux intrusions et de l'autre côté le chrome, le nickel et le zinc dont les rapports magmatiques dans l'intrusion nord deviennent plus lâches que dans l'intrusion centrale.

Le zinc (fig. 9) semble dispersé dans les phases ferromagnésiennes primaires de l'intrusion centrale (corrélation lâche), mais plutôt concentré par la biotite, minéral souvent non altéré, dans l'intrusion nord (corrélation bonne). D'autre part, dans la chloritisation de la biotite et de la hornblende, le zinc semble respectivement inerte ou concentré (Putman et Alfors, 1969). On est ainsi porté à relier ses corrélations à la manière avec laquelle il se présente dans les deux intrusions.

Le mode général de redistribution des éléments fémaphiles en trace dans le métamorphisme est encore mal connu vu le peu d'études sur le sujet et leurs résultats souvent contradictoires. Cann (1969) et Melson *et al.* (1968) affirment que les éléments ferromagnésiens sont peu mobiles lors du métamorphisme tandis que Cornwall et Rose (1957) sont d'opinion différente. D'après la distribution des éléments en trace dans des assemblages augite + chlorite ± olivine + oxydes métalliques, Cornwall et Rose montrent que la chloritisation cause constamment une réduction radicale (par un facteur de

during alteration. Besides, the very particular behaviour of copper (and of CO_2) is confirmed by the results obtained through applying the statistical method of correspondance analysis to the Bourlamaque geochemical data (David *et al.*, 1974). The other femaphile elements are separated in two groups: on the one hand, vanadium and cobalt the behaviour of which shows little change in both intrusions and, on the other, chromium, nickel and zinc, which show a looser magmatic relationship in the central intrusion than in the northern one.

Zinc (fig. 9) appears to be scattered in the primary ferromagnesian phases of the central intrusion (loose correlation) but is generally concentrated by biotite, often unaltered, in the northern intrusion (good correlation). On the other hand, zinc appears to be respectively inert or concentrated in the chloritization of biotite and of hornblende (Putman and Alfors, 1969). One is thus led to link these correlations with the way in which they appear in both intrusions.

The general pattern of redistribution of femaphile trace elements in metamorphism is not yet well known because of the few studies on the subject and their often contradictory results. Cann (1969) and Melson *et al.* (1968), assert that the ferromagnesian elements are hardly unstable during metamorphism, whereas Cornwall and Rose (1957) have opposite views. According to the trace elements distribution in the augite + chlorite ± olivine + metallic oxides series, Cornwall and Rose show that chloritization constantly causes a radical (by a factor in the order of 100) reduction in the chrome content and doubles the cobalt concentration. The nickel contents

l'ordre de 100), de la teneur en chrome et double la concentration en cobalt. Les teneurs en nickel s'avèrent très sensibles à la minéralogie primaire et cet élément ne devrait pas être trop mobile. Le vanadium s'appauvrit dans la chloritisation, mais la distribution finale de cet élément est évidemment contrôlée par les oxydes métalliques. Le comportement de Cr, V et Ni, décrit par Cornwall et Rose, concorde avec celui observé par Putman et Alfors (1969) dans la chloritisation de la hornblende dans une granodiorite.

Les données de De Vore (1955), fondées sur un nombre relativement grand d'observations semblent aussi confirmer les comportements reconnus par Cornwall et Rose.

La chloritisation de la hornblende et son adaptation aux températures diverses causent des effets différents sur les quatre éléments: Ni, Co, Cr et V (Tab. 6). Ainsi, d'après les données de De Vore, le vanadium est plutôt inerte; le cobalt double sa concentration mais le chrome et le nickel montrent de grandes variations.

Malgré les résultats plutôt concordants, toute généralisation est dangereuse. Cependant, le contrôle du processus de formation de la chalcoppyrite, attribué au métamorphisme, semble jouer un rôle quelconque dans le comportement différent du vanadium et du cobalt par rapport au chrome et au nickel.

are shown to be very sensitive to primary mineralogy and this element should be fairly stable. Vanadium grows poorer with chloritization but the final distribution of this element is evidently controlled by metallic oxides. The behaviours of Cr, V, and Ni described by Cornwall and Rose is concordant to that observed by Putman and Alfors (1969) in the chloritization of hornblende in a granodiorite.

The data of De Vore (1955), based on a relatively high number of observations, also appear to support the behaviours identified by Cornwall and Rose.

The chloritization of hornblende and its adaptation to various temperatures have different effects on Ni, Co, Cr, and V (tab. 6). Hence, according to De Vore's data, vanadium is rather inert, cobalt doubles its concentration whereas chromium and nickel show great variations.

Despite the somewhat concordant results, any generalization is dangerous. However, the control in the formation process of chalcoppyrite, attributed to metamorphism, appears to play some role in the different behaviour of vanadium and cobalt in relation to that of chromium and nickel.

TAB. 6 - CONCENTRATIONS MOYENNES (PPM) DE Cr_2O_3 , NiO , CoO et V_2O_3 DANS CERTAINES HORNBLENDES ET DANS LES CHLORITES. (Extrait de De Vore, 1955). / AVERAGE CONCENTRATIONS (PPM) OF Cr_2O_3 , NiO , CoO and V_2O_3 IN SOME HORNBLENDES AND IN THE CHLORITES (Abstracted from De Vore, 1955).

	1	2	3
Cr_2O_3	251	1877	270
NiO	171	878	416
CoO	89	65	132
V_2O_3	510	323	294

- 1- Hornblende moyenne du faciès amphibolite / Average hornblende of the amphibolite facies.
- 2- Hornblende moyenne du faciès amphibolite à épidote / Average hornblende of the epidote amphibolite facies.
- 3- Chlorite moyenne du faciès schistes verts et amphibolite à épidote / Average chlorite of the greenschist and epidote amphibolite facies.

Deux analyses de la chalcoppyrite à la microsonde donnent des teneurs variables en V (200 à 300 ppm), en Cr (100 à 150 ppm), en Co (150 à 500 ppm) et en Ni (0 à 300 ppm). Ces teneurs ne peuvent influencer le comportement dans la roche des quatre éléments mentionnés.

Two microprobe analyses of chalcoppyrite show variable contents in V (200 to 300 ppm), in Cr (100 to 150 ppm), in Co (150 to 500 ppm) and in Ni (0 to 300 ppm). These contents cannot influence the behaviour of these four elements within the rock.

CONCLUSIONS

Dans le batholite de Bourlamaque, l'étude de la corrélation entre les éléments chimiques s'est avérée utile, surtout dans le cas des deux intrusions principales du batholite. Chaque intrusion montre en effet une corrélation particulière: plus étroite dans l'intrusion nord et plus lâche dans l'intrusion centrale. Un degré si différent de corrélation a été, par hypothèse, mis en relation avec l'altération qui affecte davantage l'intrusion centrale que l'intrusion nord.

Certains éléments fémaphiles en trace, d'après leur corrélation d'ensemble, peuvent être séparés en deux groupes. Les causes des corrélations

CONCLUSIONS

The study of the correlation between the chemical elements proved to be very useful in the Bourlamaque batholith and especially in the two main intrusions. Each intrusion shows a particular correlation: a closer one in the northern intrusion and a looser one in the central one. Such a different degree of correlation has hypothetically been related to the alteration which affects the central intrusion to a greater extent than the northern one.

Some femaphile trace elements can, on the basis of their general correlation, be separated into two groups. The causes for different correlations in

différentes de ces deux groupes d'éléments sont restées inconnues en grande partie; si elles résident dans l'altération, seulement une étude spécifique pourrait le confirmer. On a aussi évoqué la possibilité que les causes soient en partie primaires, les quatre éléments se séparant en deux groupes qui respectent les principes de la substitution atomique: d'une part, Co et V substitués de Fe et d'autre part, Ni et Cr substitués de Mg.

La dispersion relative du cobalt et du vanadium par rapport au chrome et au nickel, est encore la cause la plus logique qui peut être invoquée pour justifier leurs comportements différents. A ce stade il est cependant impossible d'attribuer avec certitude la dispersion à la différenciation profonde ou à la transformation du pyroxène en amphibole durant la période magmatique plutôt qu'à la chloritisation de la période métamorphique ou bien encore à tous ces processus associés.

RAPPORT GEOCHIMIQUES

Nous avons vu que la cristallisation fractionnée règle la distribution des éléments en fonction des phases minéralogiques qui se séparent du magma et de leurs rapports quantitatifs. Dans ce chapitre, nous examinerons le comportement de quelques paires d'éléments, la plupart cohérents au point de vue géochimique, dans le but de:

- connaître les valeurs de leurs rapports quantitatifs dans une intrusion affectée par un métamorphisme de faible intensité;

these two groups of elements have remained mostly unknown; should they lie in alteration, a specific study would be the only way to assess it. The possibility that the causes be primary has also been suggested. The four elements have been separated in two groups that respect the principles of atomic substitution: on the one side, Co and V substituting for Fe and on the other side, Ni and Cr substituting for Mg.

The relative dispersion of cobalt and vanadium in relation to that of chromium and nickel is still the most logical cause that can be invoked to justify their different behaviours. It is however impossible at this point to attribute with certainty the dispersion to either deep differentiation or to transformation of pyroxene into amphibole during the magmatic period, or to chloritization during the metamorphic period or yet to all these associated processes.

GEOCHEMICAL RELATIONSHIPS

We have seen that fractional crystallization regulates the distribution of elements according to the mineralogical phases dissociated from the magma and their quantitative relationships. This chapter examines the behaviour of pairs of elements, most of them geologically coherent; the objectives are:

- to assess the value of their quantitative relationships within an intrusion affected by a low-intensity metamorphism;

- comparer les rapports géochimiques du batholite de Bourlamaque avec ceux d'autres suites ignées similaires afin de déceler l'influence du métamorphisme,
- vérifier le comportement de ces rapports dans les produits successifs de la cristallisation,
- utiliser éventuellement ces rapports pour la caractérisation pétrologique de l'intrusion.

Les valeurs des rapports calculés apparaissent dans Campiglio (1974, annexe E).

A propos de la notion de cohérence géochimique, c'est à Goldschmidt (1937, 1945) que nous devons la découverte des principes régissant la substitution mutuelle (diadochie ou isomorphisme) de deux éléments dans une structure donnée. Les lois de Goldschmidt se basent sur la valeur de la charge des ions et sur les dimensions de leurs rayons et s'appliquent à des structures purement ioniques. D'après les différentes relations entre les charges et les rayons des deux ions, le remplacement diadochique est qualifié de camouflage, capture ou admission.

Les lois de Goldschmidt, tout en étant solidement vérifiées par de nombreux exemples, sont incapables dans quelques cas d'expliquer certains comportements cristallochimiques. A ce propos, Pauling (1947), Fyfe (1951) et Ringwood (1955a) ont mis l'accent sur le fait que dans les minéraux on est très rarement en présence d'une liaison purement ionique et que la liaison covalente peut devenir prépondérante. Par conséquent, en quantifiant le degré de liaison covalente (électronégativité), ils ont pu expliquer, à la lumière de

- to compare the geochemical relationships of the Bourlamaque batholith with those of other similar igneous suites to try to detect the effect of metamorphism;
- to verify the behaviour of these relationships in the successive products of crystallization;
- to eventually use these relationships to characterize the intrusion on a petrologic basis.

The values of the calculated relationships appear in Campiglio (1974, appendix E).

With regards to geochemical coherence, Goldschmidt (1937, 1945) is responsible for discovering the principles governing mutual substitution (diadochy or isomorphism) of two elements within a given structure. The Goldschmidt rules are based on the charge value of the ions and on the dimensions of their radius; they apply to purely ionic structures. According to the different relations between the charges and the radius of the two ions, the diadochic replacement is qualified as either camouflage, capture or admission.

The Goldschmidt rules, despite the fact that they have been vigorously verified by numerous examples, fail, in a few cases, to explain some crystallochemical behaviours. In connection with this, Pauling (1947), Fyfe (1951), and Ringwood (1955a) have emphasized the fact that, with minerals, a purely ionic tie is seldom present and that the co-valent tie may become preponderant. Consequently the qualification of the degree of co-valence tie (electronegativity) allowed them to explain, in light of this third factor, the

ce troisième facteur, le comportement de certains éléments notamment ceux à affinité chalcophile.

La nécessité d'introduire des correctifs aux lois de Goldschmidt a poussé d'autres auteurs à formuler de nouvelles fonctions capables d'interpréter l'isomorphisme (Ahrens, 1953; Jedwab, 1951; Ringwood, 1955b). Il s'agit d'efforts très intéressants expliquant plutôt quelques comportements particuliers, mais généralement de peu d'envergure.

Au cours des dernières années on a émis des hypothèses sur la localisation des éléments en trace hors du réseau en se fondant sur les défauts cristallins et sur les recherches des métallurgistes concernant la croissance de cristaux. Ainsi De Vore (1955) essaya d'appliquer le concept d'absorption à l'étude des variations des éléments en trace dans les faciès métamorphiques divers. Dans le même contexte, d'autres auteurs, Riddel (1950) et Warren et Delavault (1960 et 1961) pour n'en citer que quelques-uns, ont utilisé des méthodes chimiques telles que la lavage à l'aide de divers réactifs pour prouver que certains éléments en trace sont facilement extraits d'une roche. Plus récemment, Goni (1966), à l'aide de la microsonde électronique et de lavages surtout par des acides organiques apporta une autre contribution à cette nouvelle optique. Ses résultats montrent que la distribution des traces est hétérogène au sein des roches et des cristaux, même quand on peut invoquer un remplacement typiquement diadochique, et que ces éléments se logent de préférence hors du réseau dans les discontinuités aussi bien primaires que secondaires et de ce fait s'avèrent très mobiles au point de vue géochimique.

behaviour of some elements, particularly those of chalcophile affinity.

The need to introduce corrective factors to the Goldschmidt rules has led other authors to formulate new functions able to interpretate isomorphism (Ahrens, 1953; Jedwab, 1951; Ringwood, 1955b). These are valuable efforts aimed at explaining some particular behaviours which are, however, very restricted.

Over the last few years, hypotheses have been suggested on the location of trace elements outside the lattice; these were based on crystalline defects and on research by metallurgists on crystal growth. Hence, De Vore (1955) tried to explain the absorption concept by studying the variations of trace elements in different metamorphic facies. In the same realm, other authors such as Riddel (1950) and Warren and Delavault (1960 and 1961) to name only a few, have used chemical methods such as washing with different reagents to prove that some trace elements can easily be extracted from a rock. More recently, Goni (1966) used electronic microprobe and washings with organic acids to make yet another contribution to this new perspective. His results show the distribution of trace elements to be heterogeneous in rocks and crystals even when a typical diadochic replacement can be invoked; these elements are preferably located outside the lattice in both primary and secondary discontinuities and are thus very mobile from a geochemical point of view.

Les suites ignées pour fin de comparaison ont été choisies dans le domaine des roches calco-alkalines. En effet, d'après le contexte géologique local, c'est dans ce domaine que les roches du batholite de Bourlamaque devraient se situer de préférence. Le problème de la nature des roches de Bourlamaque sera discuté ultérieurement dans le chapitre traitant de la pétrologie. Parmi les suites calco-alkalines étudiées par Nockolds et Allen (1953), nous en avons choisi deux à faible teneur en potassium (laves des Petites Antilles et de Crater Lake), la seule suite de roches intrusives présentée par ces auteurs (le batholite de la Californie du Sud) et la seule suite magmatique à caractère intrusif et volcanique (les roches ignées calédoniennes d'Ecosse).

POTASSIUM ET RUBIDIUM

D'après leurs constantes cristallochimiques, la relation entre le rubidium et le potassium peut être définie comme étant un cas typique de camouflage. Par contre, lors d'une différenciation fractionnée poussée, le facteur dimension ionique détermine la concentration du rubidium dans les produits les plus différenciés. Cette situation entraîne en général un maintien ou une décroissance du rapport K/Rb, d'après le degré de différenciation d'une roche, caractère normalement relié à une minéralogie particulière.

Dans les minéraux, d'après Shaw (1968), la valeur du rapport K/Rb peut être de 80 dans la biotite, de 200 à 300 dans la muscovite et les pyroxènes, de 300 dans le plagioclase, de 1110 dans l'amphibole. La présence de la biotite doit donc diminuer la valeur de K/Rb dans la roche tandis que la présence de l'amphibole doit l'augmenter. Evidemment le

Igneous suites have been selected to be representative of calc-alkaline rocks. Indeed, the local geological context suggests this domain to preferably include the rocks from the Bourlamaque batholith. A following chapter dealing with petrology will assess the problem related to the nature of the Bourlamaque rocks. From the calc-alkaline suites studied by Nockolds and Allen (1953) a selection has been made of two potassium poor suites (Lesser Antilles and Crater Lake lavas), the only intrusive rock suite presented by these authors (the southern California batholith) and the only magmatic suite which is intrusive and volcanic in nature (the Caledonian igneous rocks from Scotland).

POTASSIUM AND RUBIDIUM

The relationship between rubidium and potassium may, according to their crystallo-chemical constants, be defined as being a typical case of camouflage. On the other hand, the ionic dimension factor determines, during an elaborate fractional differentiation, the concentration of rubidium within the most differentiated products. This situation generally leads to an upholding or a decrease of the K/Rb ratio according to the degree of differentiation of the rock. This latter characteristic is normally related to a particular mineralogy.

According to Shaw (1968), the value of the K/Rb ratio can, for minerals, be 80 for biotite, 200 to 300 for muscovite and pyroxenes, 300 for plagioclase and 1110 for amphibole. The occurrence of biotite must hence lower the value of K/Rb in a rock whereas that of amphibole must increase it. The final control over the value of the ratio within

contrôle final de la valeur du rapport dans la roche est exercé par les teneurs modales de chacune des phases présentes.

Dans les roches ignées, la valeur du rapport K/Rb varie de 160 à 300 (Taylor, 1965). Le batholite de Bourlamaque présente une valeur moyenne de 280 avec un écart-type de 65. Les deux intrusions formant le batholite ne montrent pas de variations au niveau de leurs valeurs moyennes. Cependant, dans les faciès où la minéralogie primaire est la mieux conservée il existe en fonction de la teneur en K (fig. 13), une tendance significative vers des valeurs moins élevées du rapport K/Rb. Ce rapport est égal à 524 dans les cumulites, à 340 dans les faciès basiques et à 250 dans les faciès plus différenciés.

La comparaison de la valeur locale K/Rb avec celles d'autres suites calco-alcalines (Nockolds et Allen, 1953) montre que seulement les deux suites volcaniques pauvres en potassium des Petites Antilles et de Crater Lake sont semblables à celle de Bourlamaque. Les roches plus potassiques du batholite de la Californie du Sud et les roches ignées calédoniennes de l'Ecosse montrent des rapports plus faibles.

Batholite de Bourlamaque	K/Rb = 280	Bourlamaque batholith
Petites Antilles	K/Rb = 278	Lesser Antilles
Crater Lake	K/Rb = 357	Crater Lake
Batholite de la Californie du Sud	K/Rb = 123	Southern California batholith
Roches ignées calédoniennes de l'Ecosse	K/Rb = 190	Caledonian igneous rocks from Scotland

Heier et Adams (1964) et Hart (1969) ont exprimé l'avis qu'un faible métamorphisme devrait faire augmenter le rapport K/Rb. Hart (1969) dans l'étude de l'altération des basaltes en metabasaltés a signalé un appauvrissement sélectif en K et Rb dans les metabasaltés. Le

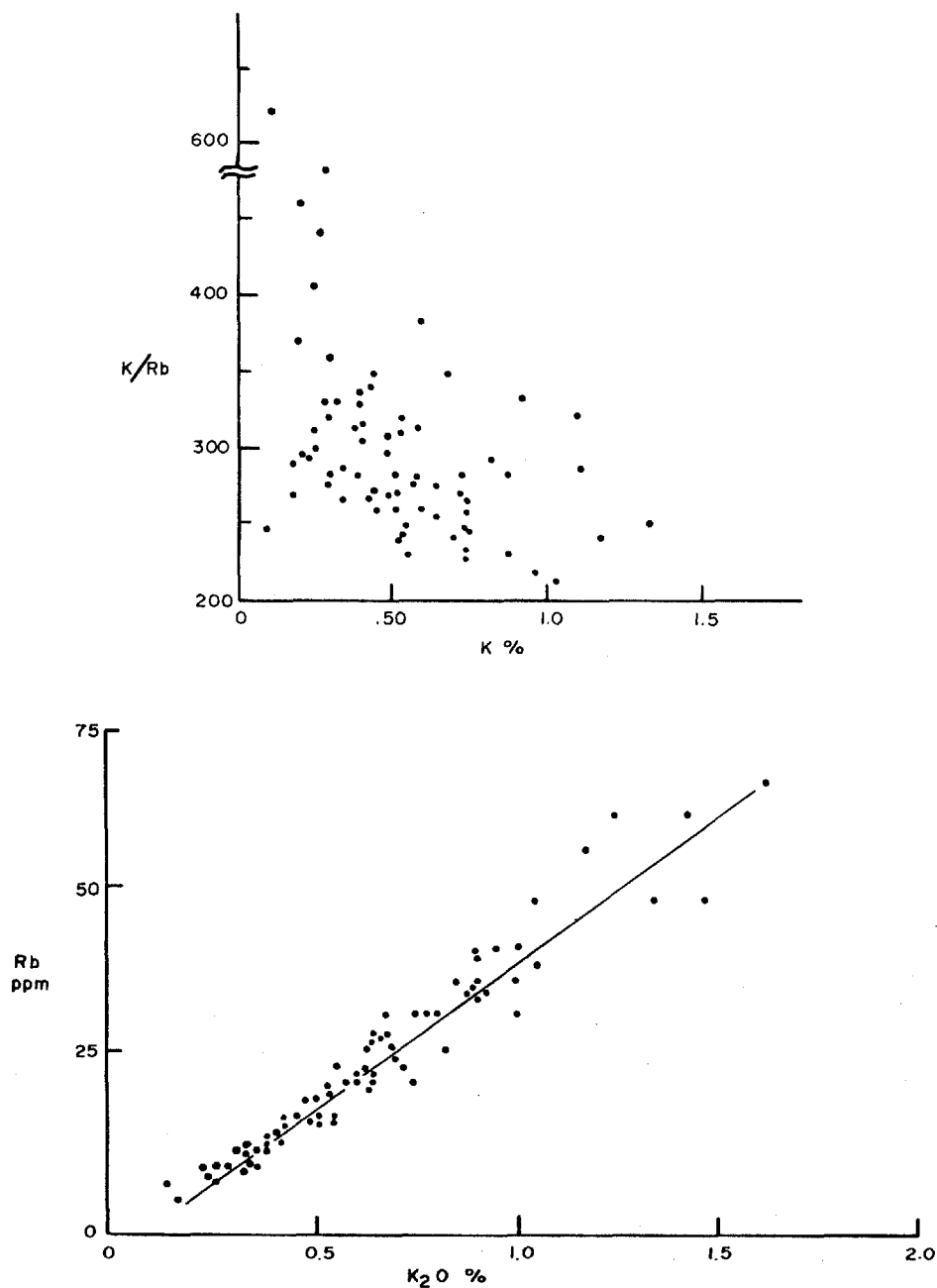
the rocks is evidently exercised by the modal contents of each of the preceding phases.

The value of the K/Rb ratio in igneous rocks varies from 160 to 300 (Taylor, 1965). The Bourlamaque batholith shows an average value of 280 with a standard deviation of 65. The two intrusions of the batholith do not show variations in their average values. However, a significant tendency towards lower values of the K/Rb ratio occurs with regards to the K content (fig. 13) in facies where primary mineralogy is the best preserved. This ratio reads 524 in cumulites, 340 in basic facies and 250 in more differentiated facies.

Comparison between a local value of K/Rb with that of other calc-alkaline suites (Nockolds and Allen, 1953) indicates the two potassium-poor volcanics suites from Lesser Antilles and Crater Lake to be the only ones similar to that of Bourlamaque. The more potassic rocks of the southern California batholith and the Caledonian igneous rocks from Scotland show lower ratios.

Heier and Adams (1964) and Hart (1969) have expressed the idea that a low metamorphism should increase the K/Rb ratio. The Hart's study (1969) on alteration from basalts to metabasalts mentioned a selective impoverishment in K/Rb ratio in metabasalts is, according

FIGURE 13 - Variations de Rb et K_2O et du rapport K/Rb en fonction de K.
Variations of Rb and K_2O and of the K/Rb rates against K.



rapport K/Rb élevé des metabasaltés est dû, selon le même auteur, à une concentration de potassium, le rubidium étant lavé plus facilement que le potassium. Le batholite de Bourlamaque présente une situation opposée à celle décrite par Hart: le rubidium plutôt que le potassium semblant être concentré dans les roches du batholite (p. 119). La faible valeur du rapport K/Rb dans les deux suites non altérées et pauvres en potassium des Petites Antilles et de Crater Lake est, selon Taylor *et al.* (1956), attribuable à un enrichissement en Rb.

Le rôle du métamorphisme dans les roches de Bourlamaque est difficile à évaluer, mais la corrélation excellente ($r = +0.97$) entre rubidium et potassium (fig. 13) ne devrait pas indiquer de variations relatives entre ces deux éléments. Dans les métavolcanites du Bouclier canadien qu'ils ont étudiées, Hart *et al.* (1970) n'ont pas trouvé d'évidences de migrations sélectives d'alkalis directement reliées au faible métamorphisme qui a affecté ces roches. Le développement de mica blanc dans l'intrusion peut avoir baissé la valeur originelle du rapport K/Rb; l'importance de ce phénomène est fonction du minéral source du potassium: il sera plus prononcé si le potassium de la hornblende a contribué à la formation du mica blanc et moins important si le potassium provient seulement du plagioclase. D'autre part, l'examen pétrographique montre que les produits micacés sont limités à l'intérieur des plagioclases, mais une migration intergranulaire d'un élément aussi mobile que le potassium ne peut pas être exclue.

D'après le modèle d'évolution de la croûte continentale proposé par Shaw (1968) (diminution progressive de

to this author, related to a concentration of potassium, rubidium being washed more easily than potassium. The Bourlamaque batholith situation is completely different than that proposed by Hart: rubidium instead of potassium appears to be concentrated in the rocks within the batholith (p. 119). The low value of the K/Rb ratio in the two unaltered and potassium poor suites of Lesser Antilles and Crater Lake is, according to Taylor *et al.* (1956) attributable to an enrichment in Rb.

The role of metamorphism in the Bourlamaque rocks is difficult to assess; however, the excellent correlation ($r = +0.97$) between rubidium and potassium (fig. 13) should not indicate relative variations between these two elements. Hart *et al.* (1970) in their studies of the metavolcanics from the Canadian Shield have found no evidence of selective migrations of the alkalis directly related to the low degree of metamorphism which affected these rocks. The presence of white mica in the intrusion may have lowered the original value of the K/Rb ratio; the importance of this phenomenon depends on the source mineral of potassium: it will be broader if the potassium from hornblende contributed to the formation of white mica and less so if potassium only originates from plagioclase. On the other hand, a petrographical study shows the micaceous products to be confined within plagioclases; however an intergranular migration of such an unstable element as potassium cannot be excluded.

According to Shaw's (1968) proposed model for the continental crust evolution (progressive diminution of the K/Rb

la valeur de K/Rb en fonction du nombre de période d'anatexis), il est possible que les roches du batholite de Bourlamaque soient primaires. En effet la valeur locale de K/Rb = 280 est tout près de la limite supérieure (300) de ce qui est considéré comme un rapport "normal" et diffère seulement de 20% de celle trouvée (330) par Hart *et al.* (1970) dans des volcanites archéennes fort semblables à celles dans lesquelles le batholite est intrusif.

On pourrait s'interroger sur la validité de la comparaison entre une lave qui est un liquide refroidi brusquement et une roche plutonique qui est plutôt le résultat de processus pétrogénétiques multiples. La raison d'une telle comparaison réside dans les affinités indéniables et particulières du chimisme des roches du batholite avec les volcanites encaissantes en particulier et avec certaines suites volcaniques en général.

CALCIUM ET STRONTIUM

La substitution mutuelle du calcium et du strontium est due à l'égalité de leurs charges et de leur électronégativité et à une faible différence de leur rayon ionique: celui du Sr étant 18% plus grand que celui du Ca. Ce dernier fait indique la possibilité d'admission du Sr dans les sites occupés par le Ca. La géochimie du Sr, élément de dimensions intermédiaires entre le Ca et le K, est en général compliquée par les relations de capture du Sr par le K. Ce dernier facteur n'intervient pas dans les roches de Bourlamaque puisque les phases potassiques et potentiellement strontifères sont localement absentes.

value depending on the number of anatexis periods), the rock from the Bourlamaque batholith could be primary in origin. Indeed, the local value of K/Rb = 280 is close to the upper limit (300) of what is considered to be a "normal" ratio and only differs by 20% from that found (330) by Hart *et al.* (1970) in Archean volcanic rocks highly similar to those in which the batholith intrudes.

One could question the validity of comparison between an abruptly chilled liquid such as a lava and a plutonic rock which is rather the result of multiple petrogenetic processes. Such a comparison can be explained by the undeniable and particular affinities in the chemistry of the rocks from the batholith with the country rock in particular and with some volcanic suites in general.

CALCIUM AND STRONTIUM

The mutual substitution of calcium and strontium is due to an equality in their charges and their electronegativity and to the small difference in their ionic radius: that of Sr is 18% greater than that of Ca. This makes it possible for Sr to substitute for Ca. The geochemistry of Sr, which is an element with intermediate dimensions between Ca and K, is generally complicated by capture relationships of Sr by K. The latter factor does not occur in the Bourlamaque rocks because of the local absence of potassic and potentially strontium phases.

Mogarowskiy et Mel'nichenko (1967) ont trouvé que les teneurs en Sr du plagioclase, de la hornblende et de la biotite d'une diorite quartzique sont respectivement de 610, 410 et 260 ppm; par contre à cause du facteur modal, c'est le plagioclase qui contribue pour 88% à la teneur totale du Sr dans cette roche.

Nockolds et Mitchell (1948) sont arrivés à la même conclusion dans l'étude des roches plutoniques d'Ecosse où les minéraux ferromagnésiens calcifères contiennent très peu de Sr.

Dans le batholite de Bourlamaque les minéraux primaires calcifères et strontifères sont essentiellement les plagioclases et, en moindre importance, les hornblendes. Le métamorphisme, transformant les plagioclases basiques en plusieurs phases calciques (épidote, calcite, et plagioclase acide) et les hornblendes en une phase dépourvue de calcium (chlorite), peut vraisemblablement avoir changé les rapports primaires du Ca et du Sr dans la roche. Il ne faut pas oublier que ces transformations se font exclusivement en présence de fluides tels que H_2O et CO_2 .

Le rapport $Sr/Ca \cdot 10^2$ varie entre 0.4 et 0.9, sa moyenne étant de 0.54 avec un écart-type de 0.14. Cependant la dispersion de l'ordre de 26% est loin de représenter une distribution hétérogène; elle est plutôt le résultat de la présence de deux courbes subparallèles issues de deux suites différentes. Ainsi, en considérant séparément les deux intrusions, nous trouvons deux rapports différents et dans l'ensemble sensiblement homogènes. L'intrusion précoce présente un rapport moyen de 0.47 avec un coefficient de variation de 15% et l'intrusion tardive une valeur moyenne de 0.76 avec une variation de 13%.

Mogarowskiy and Mel'nichenko (1967) have found the Sr content in plagioclase, hornblende and biotite from a quartzitic diorite to be respectively 610, 410 and 260 ppm; however the plagioclase, because of the modal factor, contributes to some 88% of the total Sr content in this rock.

Nockolds and Mitchell (1948) came to the same conclusions in their study of plutonic rocks from Scotland where the calciferous ferromagnesian minerals contained very little Sr.

The calcium-rich and strontium-rich primary minerals of the Bourlamaque batholith are essentially plagioclases and, to a lesser extent, hornblendes. Metamorphism which changed basic plagioclase into many calcic phases (epidote, calcite and acid plagioclase) and hornblendes into a calcium-stripped phase (chlorite), may very likely have changed the primary Ca and Sr ratios in the rock. One should remember that these changes are made exclusively in the presence of fluids such as H_2O and CO_2 .

The $Sr/Ca \cdot 10^2$ ratio varies between 0.4 and 0.9; its mean reads 0.54 and its standard deviation is 0.14. However, its dispersion is in the order of 26% and is far from representing a heterogeneous distribution; it is rather the resultant of the presence of two subparallel curves derived from two different suites. Hence, when the two intrusives are considered separately, they indicate two different ratios that are in general almost homogeneous. The early intrusion has an average ratio of 0.47 with a variation coefficient of 15% whereas the late intrusion has an average value of 0.76 with a variation of 13%.

Le graphique calcium versus strontium (fig. 14) montre un nuage de points assez large et à pente positive. D'après la distribution géographique des échantillons il est possible de reconnaître deux lignées caractérisées par des rapports Sr/Ca différents. Les deux courbes de la figure 14, obtenues d'après les valeurs moyennes des échantillons qui ne montrent pas d'évidences de fortes modifications post-magmatiques, constituent un essai de reconstruction des tendances originelles des intrusions.

Le graphique $Sr \times 100/Ca$ versus l'indice de Larsen modifié, tout en montrant une augmentation du rapport Sr/Ca pour les produits plus différenciés, n'est pas propre à mettre en évidence les deux lignées. L'utilisation du graphique $Sr \times 100/Ca$ versus Ca (fig. 14) permet de distinguer les deux intrusions et de montrer en même temps, les échantillons, dont le rapport Sr/Ca est élevé, qui ont subi un lavage de calcium. La très faible variation du rapport Sr/Ca à l'intérieur des deux intrusions est attribuée surtout à l'absence du feldspath potassique mais aussi à la distribution monotone de la teneur modale et de la calcicité du plagioclase (fig. 5 et 6). L'intrusion tardive est enrichie en strontium par rapport à l'intrusion précoce.

Puisque les caractères géochimiques des deux intrusions appuient l'hypothèse d'un lien génétique entre ces deux intrusions, la concentration en strontium dans la portion tardive peut être la conséquence de l'admission au point de vue géochimique du Sr dans les plagioclases précoces. Cette situation aurait déterminé un enrichissement en Sr dans les liquides résiduels et, à cause de l'absence du feldspath potassique, son admission dans les plagioclases tardifs. Soulignons ici que d'après la figure 12 l'intrusion tardive

The graphic, calcium versus strontium (fig. 14), illustrates a rather wide cloud of observations with a positive slope. According to the geographical distribution of the samples it is possible to identify two lines that are characterized by different Sr/Ca ratios. The two curves on figure 14 were obtained from the average values of the samples which do not show strong evidence of post-magmatic changes; they are part of a test aimed at rebuilding the original tendencies of these intrusions.

The graphic of $Sr \times 100/Ca$ versus the modified Larsen index indicates an increase in the Sr/Ca ratio for the most differentiated products; however, it cannot be used to show the two lines. The use of the $Sr \times 100/Ca$ versus Ca graph (fig. 14) allows one to distinguish between the two intrusions; at the same time it shows the samples with high Sr/Ca ratios, that have been washed out by calcium. The very small variation in the Sr/Ca ratio within the two intrusions is attributable to the absence of potassic feldspar as well as to the a monotonous distribution of the modal tenor and to the calcite content of plagioclase (fig. 5 and 6). The late intrusion is enriched in strontium compared to the early one.

As the geochemical characteristics of both intrusions support the hypothesis of a genetic link between them; the strontium concentration in the late portion can be the result of the admittance, from a geochemical point of view, of Sr in early plagioclases. This situation would have determined an enrichment in Sr in residual liquids and, because of the absence of potassic feldspar, its admittance in late plagioclases. It is worthwhile mentioning here that according to figure 12 the late intrusion is impoverished in strontium much faster than

Les triangles représentent des valeurs moyennes obtenues en éliminant les échantillons plus altérés et correspondant au degré de différenciation indiqué par l'indice de Larsen modifié (chiffre à côté du triangle) / Triangles represent the average values issued from the elimination of the more altered samples and corresponding to the differentiation level indicated by the Larsen modified index (number besides triangles).

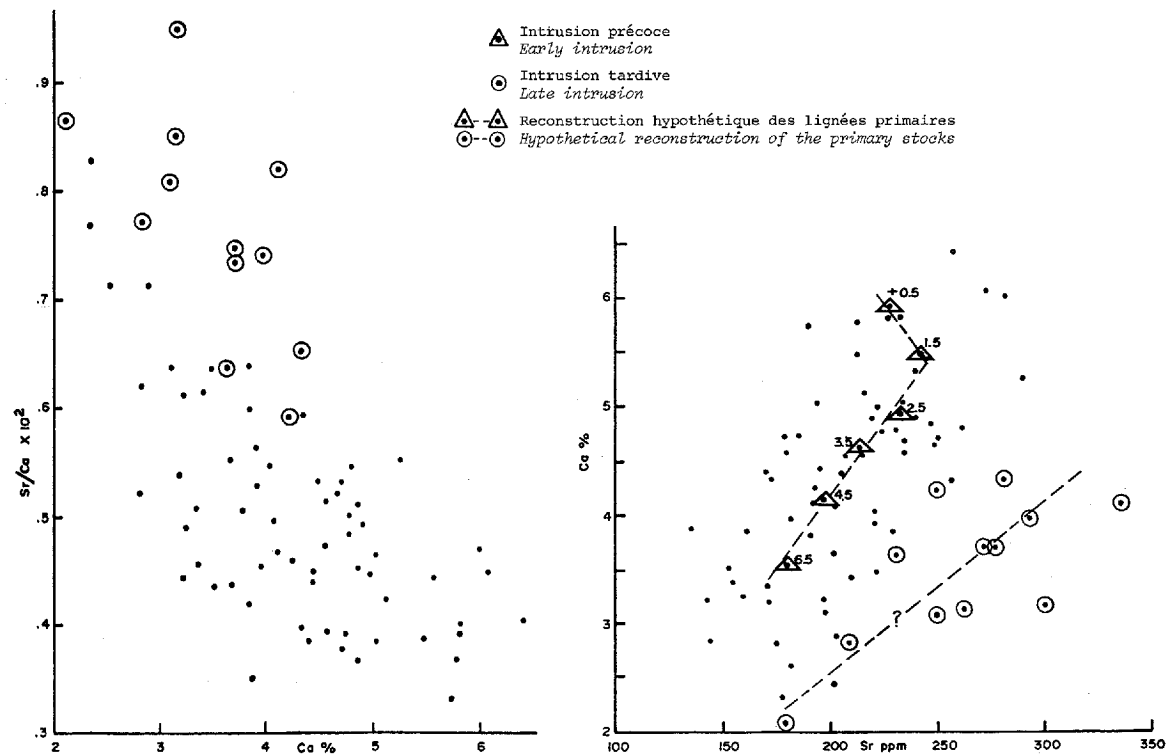


FIGURE 14 - Diagrammes Ca vs Sr/Ca et Sr vs Ca / Ca vs Sr/Ca and Sr vs Ca diagrams.

est appauvrie en strontium plus rapidement que l'intrusion précoce.

D'après Nockolds et Allen (1953), le comportement de quelques suites calco-alkalines dans le même intervalle de différenciation que celui de Bourlamaque, il existe des différences qui peuvent être reliées à la teneur en potassium. Ainsi les suites pauvres en K, comme celle de Bourlamaque, montrent des valeurs de Sr/Ca à peu près constantes tandis que celles plus potassiques présentent des valeurs de Sr/Ca croissantes en fonction de la différenciation. Les valeurs moyennes de ce rapport pour le premier groupe sont de 0.66 dans la suite des Petites Antilles et de 1.9 dans celle de Crater Lake; le batholite de la Californie du Sud ainsi que les roches calédoniennes d'Ecosse, qui appartiennent au deuxième groupe, ont un rapport Sr/Ca moyen respectivement de 0.59 et 2.5. Comme dans les roches de Bourlamaque, la faible valeur de Sr/Ca est reliée à une composition primaire pauvre en strontium (Petites Antilles et batholite de la Californie du Sud). Egalement pauvres en strontium sont les laves archéennes locales, qui à ce point de vue, se comparent bien avec le batholite de Bourlamaque. En effet, l'andésite moyenne de l'Abitibi (55.5% SiO_2) - Barragar et Goodwin (1969) - est caractérisée par un rapport Sr/Ca de 0.32, du même ordre que la valeur 0.39 obtenue des roches du batholite (54% SiO_2).

POTASSIUM ET STRONTIUM

La figure 15 montre que les variations de Sr sont inférieures à celles de K et que les variations des deux éléments sont plutôt indépendantes. La variation du rapport K/Sr en fonction de la différenciation, indique une corrélation positive médiocre à cause de la dispersion des points. A cet égard, il faut souligner que dans les roches de Bourlamaque, le

the early intrusion.

According to the Nockolds and Allen (1953) study on the behaviour of some calc-alkaline suites, which are in the same differentiation interval as that of Bourlamaque, differences occur that can be related to the potassium content. Hence, the K-poor suites, such as that of Bourlamaque, show Sr/Ca values that are almost constant whereas the more potassic ones show Sr/Ca values that increase with the differentiation. The average values of this ratio for the first group are 0.66 for the Lesser Antilles suites and 1.9 for the Crater Lake one; the Southern California batholith as well as the Caledonian rocks from Scotland, which belong to the second group, have a respective average Sr/Ca values of 0.59 and 2.5. As for the Bourlamaque rocks, the low Sr/Ca value is related to a strontium-poor primary composition (Lesser Antilles and Southern California batholith). The local Archean rocks are also poor in strontium and for this matter can be compared with the Bourlamaque batholith. Indeed, the average andesite from Abitibi (55.5% SiO_2) - Barragar and Goodwin (1969) - is characterized by a Sr/Ca ratio of 0.32; this is somewhat similar in magnitude to the value of 0.39 obtained from rocks within the batholith (54% SiO_2).

POTASSIUM AND STRONTIUM

Figure 15 shows the Sr variations to be smaller than those of K and the variations of the two elements to be mostly independent of one another. The variation of the K/Sr ratio with differentiation points to a poor positive correlation because of dispersion. In line with this, it must be mentioned that within the Bourlamaque rocks potassium and strontium must be considered as traces;

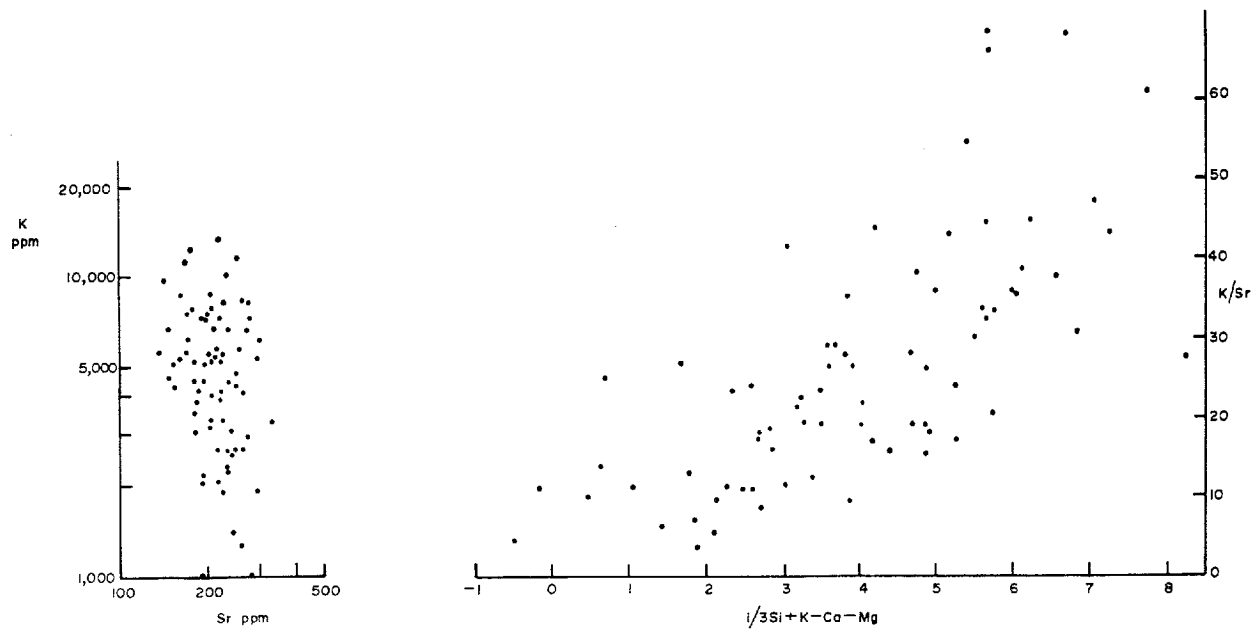


FIGURE 15 - Variations de K en fonction de Sr et de leur rapport en fonction de l'indice de Larsen modifié./Variations of K against Sr and their ratios against the Larsen modified index.

potassium et le strontium doivent être considérés comme des traces et de ce fait il est probable que, même dans des conditions tout-à-fait magmatiques, leur distribution ne soit pas régie par des lois trop rigides. En outre, la distribution locale de ces deux éléments, qui se logent dans des minéraux différents, n'est pas soumise à un rapport d'isomorphisme (substitution atomique). Malgré ces limitations, plusieurs points de la figure 15 sont sensiblement en dehors de la tendance générale. Ainsi les roches de l'intrusion sud, se disposant de part et d'autre de la tendance moyenne, dénoncent soit des enrichissements en K, soit des appauvrissements en Sr, soit les deux phénomènes associés. La pauvreté en Sr peut être expliquée par son mode de formation, mais les hautes teneurs en K doivent être reliées à sa mobilité dans cette partie du batholite. En effet, les mêmes échantillons sont caractérisés par des teneurs très élevées en CO_2 et H_2O . Pour ce qui est de la mobilité de K dans la phase post-magmatique nous trouvons soit des échantillons très enrichis en K, autour de la valeur 6 de l'indice de Nockolds, soit d'autres échantillons appauvris en cet élément. Les causes de ces variations sont parfois évidentes au microscope: une chloritisation poussée ou des produits micacés secondaires. Dans d'autres cas, l'étude pétrographique s'avère impuissante à donner une réponse. Ainsi, quelque 20% des échantillons montrent des évidences incontestables de la mobilité du K. L'intrusion tardive et localement porteuse de biotite présente des valeurs moins dispersées que la phase précoce à amphibole atteinte par une chloritisation plus avancée. Le potassium fait donc preuve d'une certaine mobilité, sans effacer le comportement magmatique d'ensemble.

La valeur moyenne du rapport K/Sr dans le batholite de Bourlamaque

it is hence probable that, even in completely magmatic conditions, their distribution depends on laws that are not very strict. In addition, the local distribution of these two elements, which are found in different minerals, is not submitted to an isomorphic ratio (atomic substitution). Despite these limitations several observations on figure 15 noticeably lie outside of the general tendency. Hence the rocks from the southern intrusion are scattered on each side of the general tendency; they indicate either an enrichment in K, an impoverishment in Sr or the two phenomena associated. The low Sr content can be explained by its mode of formation; the high K value must, however, be related to its mobility in this part of the batholith. Indeed, the same samples are characterized by very high CO_2 and H_2O contents. With regards to the mobility of K in the post-magmatic phase, samples were found that were either enriched in K, a value of around 6 on the Nockolds index, or deficient in this element. The reasons for these variations are sometimes evident under the microscope: a high level of chloritization or secondary micaceous products. In other cases, the petrographic study cannot provide an answer. Hence some 20% of the samples show indisputable evidence of the mobility of K. The locally biotite-bearing, late intrusion shows values that are less scattered than the amphibole-rich early phase which was affected by a higher level of chloritization. Potassium thus gives proof of a certain mobility, without obliterating the general magmatic behaviour.

The average value of the K/Sr ratio in the Bourlamaque batholith is 22

est de 22 avec un coefficient de variation de 50%; en effet, ce rapport a une valeur de 20 dans l'intrusion précoce et de 30 dans l'intrusion tardive. Parmi les suites calco-alcalines, celle des Petites Antilles montre un rapport K/Sr (24) très semblable à celui du batholite de Bourlamaque. Les roches calédoniennes d'Ecosse et la suite de Crater Lake présentent des rapports K/Sr plus faibles (18.4 et 13 respectivement), tandis que le batholite de la Californie du Sud, riche en K et pauvre en Sr, a un rapport très élevé (51). En outre, on trouve une bonne analogie avec les volcanites archéennes d'Abitibi où la valeur de K/Sr est évaluée à 24 ($\text{SiO}_2 = 56\%$) par Hart *et al.* (1970) et à 30 ($\text{SiO}_2 = 55.5\%$) par Baragar et Goodwin (1969).

with a variation coefficient of 50%; indeed, this ratio has a value of 20 in the early intrusion and 30 in the late one. The Lesser Antilles amongst the calc-alkaline suites, shows a K/Sr ratio (24) which is very similar to that of the Bourlamaque batholith. The Caledonian rocks of Scotland and the Crater Lake suite show smaller K/Sr ratios (18.4 and 13 respectively) whereas that of the K-rich, Sr-poor Southern California batholith has a very high ratio (51). In addition, there is a good analogy with the Archean volcanics from Abitibi where the K/Sr value was estimated at 24 ($\text{SiO}_2 = 56\%$) by Hart *et al.* (1970) and at 30 ($\text{SiO}_2 = 55.5\%$) by Baragar and Goodwin (1969).

FER FERREUX ET FER FERRIQUE

Les rapports des deux états d'oxydation du fer dans le batholite sont présentés à la figure 16 où les teneurs en fer ferrique s'avèrent dans l'ensemble indépendantes de celles en fer ferreux. La valeur du rapport Fe'/Fe'' est variable dans les roches du batholite, mais tend à diminuer en fonction du degré de différenciation des échantillons. La valeur Fe'/Fe'' passe de 2.10 dans les roches représentant peut-être le magma parent et à 0.90 dans les roches les plus différenciées. Un certain nombre de roches ayant des valeurs Fe'/Fe'' plus élevées que les autres sont aussi caractérisées par des teneurs en CO_2 nettement supérieures au reste des échantillons. Ce fait pourrait expliquer que la carbonatation locale s'est produite dans des conditions réductrices pour le fer.

FERROUS IRON AND FERRIC IRON

Figure 16 shows these two states of iron oxidation in the batholith; the ferric iron content generally appear to be independant of that of ferrous iron. The value of the Fe'/Fe'' ratio varies in the rocks of the batholith but tends to diminish according to the degree of differentiation of the samples. The Fe'/Fe'' value ranges from 2.10 in rocks that could be representative of the same magma to 0.90 in more differentiated rocks. Some rocks with higher Fe'/Fe'' contents are also characterized by CO_2 contents noticeably higher than the rest of the samples. This could explain that local carbonatation has occurred during reducing conditions. On the other hand, this local event is opposed to the general situation which indicates a rather high degree of oxidation. Indeed, the average value of Fe'/Fe'' within

* $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$

* $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$

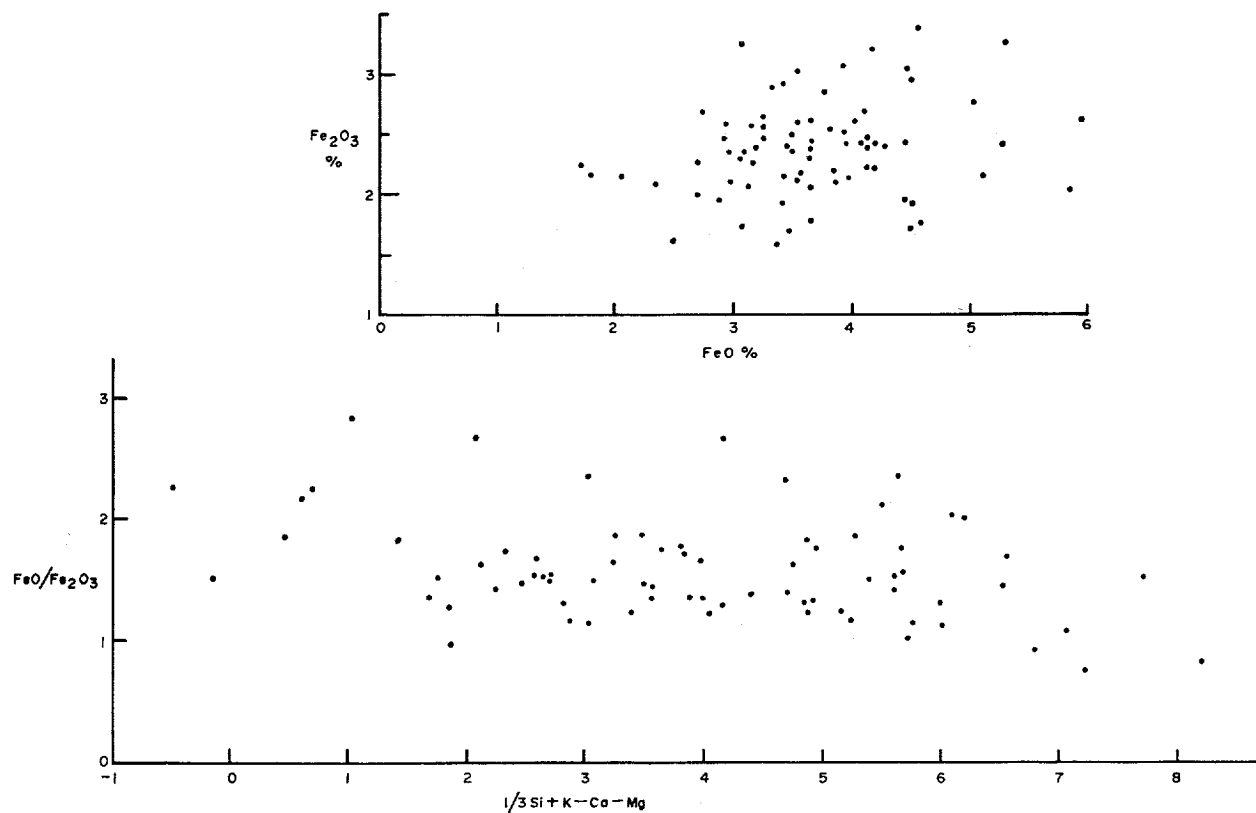


FIGURE 16 - Variations de FeO et de Fe_2O_3 et de leur rapport en fonction de l'indice de Larsen modifié / Variations of FeO and Fe_2O_3 and their ratio against the Larsen modified index.

D'autre part, cette situation locale est opposée à la situation générale qui indique plutôt une oxydation élevée. En effet, la valeur moyenne Fe'/Fe'' dans le batholite est de 1.51 avec un coefficient de variation de 30%. Evidemment l'élimination des échantillons avec un rapport plus élevé rendrait l'ensemble plus homogène et abaisserait ultérieurement la moyenne; la valeur locale du rapport Fe'/Fe'' inscrit l'intrusion de Bourlamaque au niveau des états d'oxydation typiques des roches volcaniques phanérozoïques. Le tableau suivant compare l'indice d'oxydation locale avec ceux de quelques roches ignées moyennes (Nockolds, 1954) et ceux de quelques suites calco-alcalines (Nockolds et Allen, 1953) calculés dans l'intervalle de différenciation du batholite de Bourlamaque.

Batholite de Bourlamaque	$Fe'/Fe'' = 1.51$	Bourlamaque batholith
Petites Antilles	" = 1.66	Lesser Antilles
Crater Lake	" = 1.69	Crater Lake
Andésite moyenne	" = 1.58	Average andesite
Dacite moyenne	" = 1.33	Average dacite
Batholite de la Californie du Sud	" = 3.80	Southern California batholith
Roches ignées calédoniennes de l'Ecosse	" = 4.90	Caledonian igneous rocks for Scotland
Diorite moyenne	" = 2.55	Average diorite
Tonalite moyenne	" = 2.51	Average tonalite

Ces roches n'étant pas altérées, la faible valeur du batholite de Bourlamaque semble attribuable au métamorphisme, seul paramètre qui le distingue des autres roches. Par contre, l'hypothèse qui relie l'état d'oxydation du batholite uniquement au métamorphisme n'est pas vérifiée par les valeurs du rapport Fe'/Fe'' des suites ignées archéennes qui ont été étudiées dans le Bouclier canadien. Parmi les intrusions non altérées, le rapport de la tonalite de Saganaga (62% SiO_2 , Goldich *et al.*, 1972) est de 1.58 et celui du batholite de Preissac-Lacorne (67% SiO_2 , Dawson, 1966), de 1.98; parmi les intrusions

the batholith is 1.51 with a variation coefficient of 30%. The elimination of those samples with a higher ratio would evidently makes this entity more homogeneous and would ultimately lower the average; the local value of the Fe'/Fe'' ratio puts the Bourlamaque intrusive at a level of oxidation typical of the Phanerozoic volcanic rocks. The following table compares the local oxidation index with those of some average igneous rocks (Nockolds, 1954) and those of some calc - alkaline suites (Nockolds and Allen 1953); the latter are calculated in the differentiation interval of the Bourlamaque batholith.

These rocks being unaltered, the low value associated with the Bourlamaque batholith appears to be related to metamorphism which alone distinguishes it from other rock varieties. On the other hand, the hypothesis relating the oxidation state of the batholith solely to metamorphism does not check with the values of the Fe'/Fe'' ratios of the Archean igneous suites studied in the Canadian Shield. Amongst unaltered intrusions the ratio of the Saganaga tonalite (62% SiO_2 , Goldich *et al.* 1972) stands at 1.58 while that of the Preissac-Lacorne batholith (67% SiO_2 , Dawson, 1966) is at 1.98;

faiblement altérées, le pluton d'Opémisca (Wolhuter, 1971) a un rapport de 0.56 dans le granite normal (68% SiO_2) et de 0.98 dans le granite contaminé (62% SiO_2). D'autre part, les volcanites archéennes de l'Abitibi, métamorphisées au faciès schistes verts, ont un rapport Fe'/Fe'' de 3.5 (Baragar et Goodwin, 1969) qui indique un état plutôt réduit qu'oxydé. De même, dans les volcanites de Val-d'Or, les deux lignées de différenciation magmatique, plutôt mal définies mais reconnues par Alsac *et al.* (1971), montrent un rapport Fe'/Fe'' pratiquement identique pour le groupe tholéitique (4.1) et pour le groupe calco-alcalin (3.9), mais révèlent dans l'ensemble un état d'oxydation réduit.

Glikson (1972) attribue l'état réduit des metabasites de l'Australie et du Canada au métamorphisme régional ou à des conditions physiques particulières lors de la cristallisation. Puisqu'il semble exister une différence fondamentale entre l'état d'oxydation des volcanites archéennes et celui des volcanites plus récentes, la nature réductrice de l'atmosphère précambrienne plutôt dépourvue d'oxygène (Rankama, 1955) pourrait avoir été responsable en partie du faible état d'oxydation particulier aux laves plus anciennes. D'après la comparaison avec les plutonites archéennes, l'état d'oxydation semble être plutôt un caractère primaire, typique de ces intrusions, qu'un phénomène secondaire directement relié au métamorphisme.

Au sujet de l'influence du métamorphisme sur l'état d'oxydation du fer les opinions sont divisées. Cependant tous semblent accepter, malgré les réserves de Eugster (1972), qu'aux niveaux élevés du métamorphisme progressif le fer ferrique est réduit en fer ferreux (Mason, 1949; Goldschmidt, 1945; Rankama et Sahama, 1950). Ainsi donc, l'oxydation semble être le processus qui accompagne normalement le

amongst weakly altered intrusions, that of the Opemiska pluton (Wolhuter, 1971) has a 0.56 ratio in normal granite (68.5% SiO_2) and a 0.98 ratio in altered granite (62% SiO_2). On the other hand the Archean volcanics from Abitibi, metamorphosed to the green schist facies, have a Fe'/Fe'' ratio of 3.5 (Baragar and Goodwin, 1969); this is indicative of a reducing state rather than of an oxidizing one. In the same way, the two lines of magmatic differentiation within the Val-d'Or volcanics, although poorly defined but identified by Alsac *et al.* (1971), show a Fe'/Fe'' ratio almost similar for the tholeiitic group (4.1) and for the calc-alkaline group (3.9); however, altogether they show a reduced oxidation state.

Glikson (1972) attributes the reduced state of Australian and Canadian metabasites to regional metamorphism or to very peculiar physical conditions during crystallization. The probable existence of a fundamental difference between the state of oxidation of Archean volcanics and that of younger volcanics suggests that the reducing nature of the oxygen-free Precambrian atmosphere (Rankama, 1955) could be partly responsible for the low state of oxidation typical of older lavas. Using the Archean plutonics as a basis for comparison, the oxidation state appears to be primary in character, typical of these intrusions, rather than a secondary phenomenon directly associated with metamorphism.

Opinions are divided on the influence of metamorphism on the state of oxidation of iron. However, despite reservations by Eugster (1972), there appears to be general agreement that at high levels of progressive metamorphism, ferric iron is reduced to ferrous iron (Mason, 1949; Goldschmidt, 1945; Rankama and Sahama, 1950). Hence, oxidation appears to be the process normally associated with retrometamorphism; this

rétrométamorphisme, phénomène caractérisé par la présence d'oxydants tels que H_2O et CO_2 . Mais Goldschmidt (1943) remarque qu'une roche garde souvent son état d'oxydation jusqu'aux degrés métamorphiques plus faibles et la même hypothèse est émise par Eugster (1972). Dans les intrusions archéennes examinées, le remplacement magmatique du pyroxène par l'amphibole (tonalite de Saganaga granite d'Opémisca, métadiorite de Bourlamaque), ou la présence d'amphibole primaire (batholite de Preissac-Lacorne) sont des phénomènes courants.

Le processus d'amphibolisation montre que ces roches cristallisèrent sous des conditions de pression de vapeur d'eau appréciable. La dissociation de l'eau, qui se produit à température et pression élevées (Hamilton et Anderson, 1967), pourrait être l'une des causes possibles de l'oxydation de ces types de plutonites. En effet, la décomposition de l'eau, selon l'équation $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$, offre un modèle simple et une source acceptable pour l'oxydation de grandes masses rocheuses comme les batholites.

En contraste avec la réduction qui a souvent été invoquée dans les ceintures volcaniques archéennes métamorphiques et hautement réduites, l'influence du rétro-métamorphisme, qui se manifeste essentiellement par une hydratation et une faible carbonatation devrait dans l'ensemble augmenter l'oxydation, même si elle est plus faible que dans la phase magmatique à cause des plus basses températures en jeu. L'état oxydé du batholite de Bourlamaque semble être le résultat d'un processus en majeure partie primaire et magmatique et, à un degré moindre seulement, secondaire et métamorphique.

L'impossibilité de dégager avec certitude l'influence du magmatisme

latter phenomenon is characterized by the occurrence of oxidizers such as H_2O and CO_2 . However, Goldschmidt (1943) notes that it is common for a rock to retain its state of oxidation up to lower degrees of metamorphism; Eugster (1972) has also proposed the same hypothesis. Amongst the Archean intrusions examined the magmatic replacement of pyroxene by amphibole (Saganaga tonalite, Opemiska granite, Bourlamaque metadiorite), or the occurrence of primary amphibole (Preissac-Lacorne batholith) were found to be common phenomena.

The amphibolitization process indicates that these rocks will crystallize under appreciable water vapor pressure conditions. The decomposition of water which occurs at high temperature and pressure levels (Hamilton and Anderson, 1967) could be a cause of oxidation of these types of plutonites. Indeed, water decomposition according to the equation $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$, offers a simple model and a valuable source for the oxidation of large bodies of rocks such as batholiths.

In contrast with reduction, which has often been invoked in metamorphic and highly reduced Archean volcanic belts, retrometamorphism, which is essentially indicated by hydration and weak carbonatation, should, on the whole, augment the oxidation, even if it is weaker in the magmatic phase because of the lower temperatures in effect. The oxidized state of the Bourlamaque batholith appears to result from a primary magmatic process and, to a lesser extent, from a secondary metamorphic one.

The fact that it is impossible to distinguish the influence of magmatism

de celle du métamorphisme sur le rapport Fe'/Fe'' ne permet pas d'attribuer une signification génétique aux rapports géochimiques dans lesquels le fer entre en jeu comme fer total. Pour cette raison nous allons nous servir plutôt des rapports utilisant le magnésium. Nockolds et Allen (1953) utilisent aussi le fer total dans les rapports géochimiques des différentes suites qu'ils comparent entre elles et ils ne semblent pas tellement se soucier des valeurs des états d'oxydation parfois très différentes d'une suite à l'autre (voir aussi p. 94).

from that of metamorphism on the Fe'/Fe'' ratio with any confidence does not allow one to attribute a genetic meaning to the geochemical ratios in which iron comes in as total iron. In this regard, it appears preferable to use magnesium ratios. Nockolds and Allen (1953) also used total iron in the geochemical ratios of different suites which are compared; they apparently do not care about the values of the oxidation state which often vary substantially from one suite to another (see also p. 94).

TAB. 7 - Comparaison entre certains rapports géochimiques du batholite de Bourlamaque, ceux de quelques suites calco-alcalines (Nockolds et Allen, 1953), calculés dans le même intervalle de différenciation que le batholite de Bourlamaque, et ceux de l'andésite moyenne (55.5% SiO_2) de la ceinture volcanique de l'Abitibi (Baragar et Goodwin, 1969)/ *Comparison between certain geochemical ratios of the Bourlamaque batholith, those of some calc-alkaline (Nockolds and Allen, 1953) suites, calculated within the same differentiation interval as the Bourlamaque batholith and those of the average andesite (55.5% SiO_2) of the Abitibi volcanic belt (Baragar and Goodwin, 1969).*

Suite ignée	Fe/Mg	Cr/Mg	Ni/Mg	Co/Mg	V/Mg	Co/Fe	V/Fe	Igneous suite
Petites Antilles	2.8	0.45	0.28	0.95	7.95	0.34	2.87	Lesser Antilles
Crater Lake	2.2	3.02	2.15	0.90	6.44	0.41	2.96	Crater Lake
Batholite de la Californie du Sud	2.8	1.69	0.96	0.73	5.99	0.27	2.19	Southern California batholith
Roches ignées calédoniennes de l'Ecosse	1.8	5.27	1.84	0.89	3.83	0.48	2.03	Caledonian igneous rocks from Scotland
Batholite de Bourlamaque	2.7	1.52-	1.65	1.51	7.15	0.57	2.76	Bourlamaque batholith
Andésite de l'Abitibi	2.4	4.07	2.77	0.73	9.92	0.31	4.18	Abitibi andesites

FER ET MAGNESIUM

Dans le batholite de Bourlamaque le rapport Fe/Mg augmente faiblement en fonction de la différenciation, la diminution du fer étant de 50% et celle du magnésium de 60% si on considère respectivement les faciès les moins différenciés (54% SiO_2) et les plus différenciés (64.5% SiO_2) du batholite. La valeur moyenne de ce rapport est de 2.7; le coefficient de variation qui est de 12% représente essentiellement la variation

IRON AND MAGNESIUM

The Fe/Mg ratio within the Bourlamaque batholith increases slowly depending on differentiation; the decrease in iron is 50% and that of magnesium 60% if the least differentiated facies (54% SiO_2) and the most differentiated facies (64.5% SiO_2) of the batholith are considered respectively. The average value of this ratio is 2.7; the variation coefficient is 12% and essentially represent the Fe/Mg variation

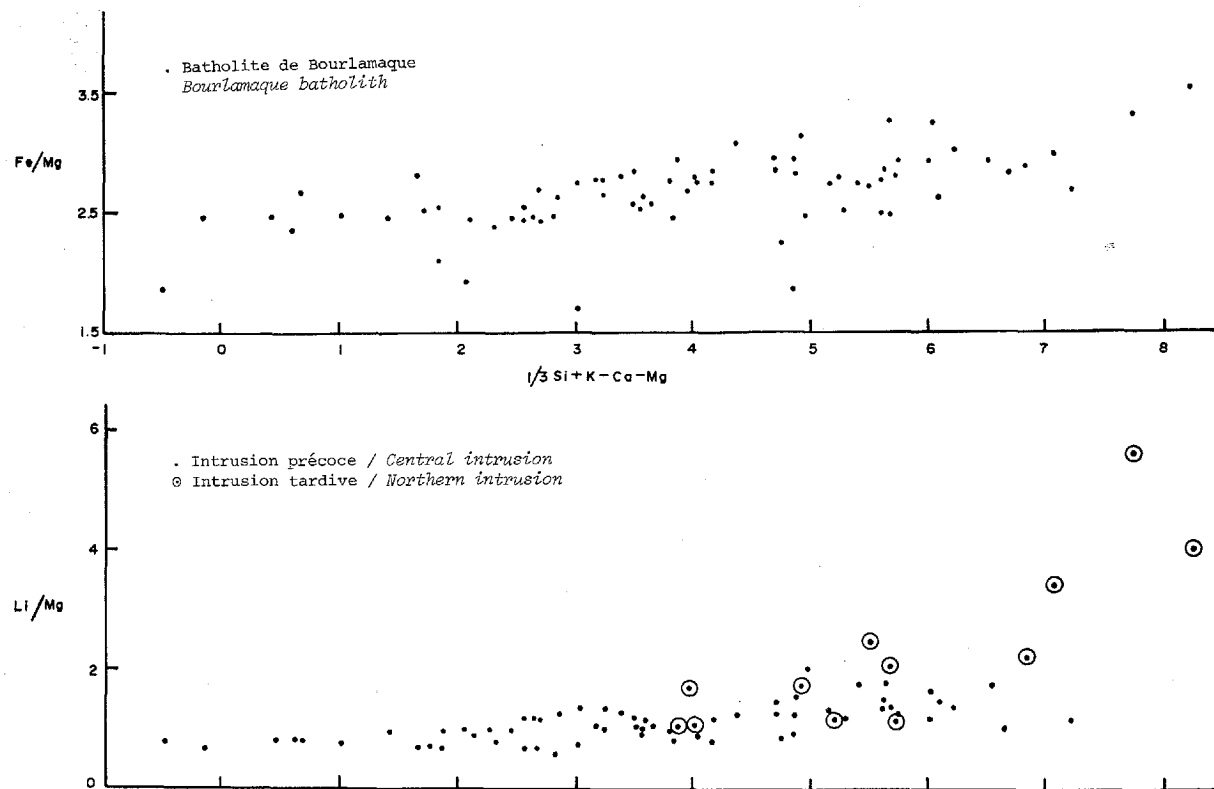


FIGURE 17 - Variations des rapports Fe/Mg et Li/Mg en fonction de l'indice de Larsen modifié / Variations of the Fe/Mg and Li/Mg ratios against the Larsen modified index.

de la valeur de Fe/Mg lors de la différenciation et non pas une dispersion des données (fig. 17). La valeur de Fe/Mg du batholite de Bourlamaque révèle une intrusion relativement pauvre en magnésium, caractère partagé une fois de plus par la suite volcanique des Petites Antilles (tab. 7).

LITHIUM ET MAGNESIUM

Le lithium et le magnésium constituent une paire géochimique dont le comportement s'accorde avec les lois de Goldschmidt. Avec un rayon ionique pratiquement égal, la différence de charge fait que le lithium est admis dans les positions occupées par le magnésium. Ainsi, dans une suite ignée, le comportement normal du rapport Li/Mg est une augmentation en fonction de la différenciation. Cette situation est entièrement confirmée par les roches du batholite de Bourlamaque (fig. 17). Le brusque changement de pente dans la partie plus différenciée du nuage de points représente un changement dans la minéralogie, soit l'apparition de la biotite, minéral dans lequel le lithium se concentre.

La valeur moyenne de Li/Mg dans le batholite est de 1.32; celle de l'écart-type est de 0.77. Le paramètre Li/Mg, étant lui-même un indice de différenciation (Strock, 1936), permet de séparer les intrusions reconnues à l'intérieur du batholite: l'intrusion centrale montre des valeurs Li/Mg allant de 0.8 à 1.75 avec une moyenne de 1.13 tandis que l'intrusion du nord, variant de 1.4 à 5.7, présente une moyenne de 2.47. On peut comparer ces valeurs à celle des roches ignées intermédiaires donnée par Vinogradov (1962) et à celles de quelques suites calco-alcalines données par Nockolds et Allen (1953) et calculées pour le même intervalle de différenciation que le batholite de Bourlamaque.

during differentiation and not a dispersion of data (fig. 17). The Fe/Mg value of the Bourlamaque batholith reveals a relatively magnesium-poor intrusion; this character is again shared by the Lesser Antilles volcanic suite (table 7).

LITHIUM AND MAGNESIUM

Lithium and magnesium are a geochemical pair which behave in accordance with Goldschmidt's laws. With almost equal ionic radii the charge difference allows lithium to be admitted into positions held by magnesium. Hence, within a given suite, the normal behaviour of the Li/Mg ratio is to increase as a function of differentiation. This situation is completely confirmed by the rocks of the Bourlamaque batholith (fig. 17). The sudden change in slope in the more differentiated portion of the cloud of observations indicates a change in mineralogy; this is related to the appearance of biotite, a mineral in which lithium concentrates.

The average value of Li/Mg in the batholith is 1.32; that of the standard deviation is 0.77. The Li/Mg parameter is in itself a differentiation index (Strock, 1936); it allows one to distinguish among intrusions identified within the batholith; the central intrusion indicates Li/Mg values ranging from 0.8 to 1.75 with an average value of 1.13; that of the northern intrusion varies between 1.4 and 5.7 and has an average of 2.47. These values can be compared with those of intermediate igneous rocks provided by Vinogradov (1962) and to those of some calc-alkaline suites by Nockolds and Allen (1953); these were calculated for the same differentiation interval as that of the Bourlamaque batholith.

Batholite de Bourlamaque:	Li/Mg	Bourlamaque batholith:
moyenne	1.3	average
intrusion centrale	1.13	central intrusion
intrusion nord	2.47	northern intrusion
Moyenne des roches ignées intermédiaires (Vinogradov, 1962)	0.9	average of intermediate igneous rocks (Vinogradov, 1962)
Batholite de la Californie du Sud	2.4	Southern California batholith
Roches ignées calédonien- nes de l'Ecosse	1.3	Caledonian igneous rocks from Scotland
Petites Antilles	2.0	Lesser Antilles
Crater Lake	1.3	Crater Lake

La différence entre les roches de Bourlamaque et celles des Petites Antilles est seulement fictive, car elle dépend essentiellement de quantités différentes d'échantillons à différents indices de différenciation dans les deux suites prises en considération. En effet, les magmas des Petites Antilles et de Bourlamaque montrent pratiquement le même rapport soit respectivement 0.83 et 0.875.

La valeur locale du rapport Li/Mg, issu de l'interaction d'un élément considéré peu mobile (Mg) et d'un élément considéré mobile (Li) surtout dans un milieu hydraté (Heier et Adams, 1964), se compare dans l'ensemble avec celles des roches ignées et, toujours au niveau de l'ensemble, semble exclure des variations importantes de lithium dans le contexte local. Par contre, au niveau de l'échantillon, il existe des différences qui, en partie, sont attribuables à la minéralogie primaire (hornblende ou biotite) mais localement, dénotent indéniablement une mobilité de cet élément. D'après Holland et Lambert (1972) le lithium se comporte comme un élément inerte dans la transformation du pyroxène en amphibole qui correspond au métamorphisme rétrograde du faciès des granulites au faciès de l'amphibolite à épidote. D'après nos résultats, ce comportement semble s'étendre jusqu'au faciès des schistes verts, du

The difference between the Bourlamaque igneous rocks and those of the Lesser Antilles is only fictitious; it depends essentially on the different numbers of samples with different differentiation indices in the two suites that are considered. In fact, the magmas of the Lesser Antilles and of Bourlamaque show practically the same ratios; these are, respectively, 0.83 and 0.875.

The local value of the Li/Mg ratio, the result of the interaction of an element with low mobility (Mg) and an element considered to be mobile (Li), especially in a hydrated environment (Heier and Adams, 1964), is generally comparable to that of igneous rocks and, still at the local level, seems to exclude large lithium variations in the local context. On the other hand, at the sample level, there are differences which, in part, are attributable to primary mineralogy (hornblende or biotite) but locally they unquestionably show this element to be mobile. According to Holland and Lambert (1972), lithium behaves as an inert element in the transformation of pyroxene into amphibole; this corresponds to retrograde metamorphism from the granulite facies to that of the amphibolite-epidote facies. The results indicate that this behaviour of lithium is taken into consideration.

moins si on prend en considération le comportement moyen du lithium.

RAPPORTS Cr/Mg et Ni/Mg

Les deux rapports Cr/Mg et Ni/Mg diminuent en fonction du degré de différenciation (fig. 18). Le graphique de la figure 18 montre quelques échantillons provenant de la partie sud-orientale du batholite; ils sont enrichis surtout en chrome et le rapport moyen Cr/Mg est de 4.63. Les valeurs moyennes des paramètres Cr/Mg et Ni/Mg dans le batholite sont respectivement de 1.52 (1.83, si on considère aussi les échantillons à haute teneur en chrome) et de 1.65. La dispersion de 25% de ces rapports - Cr/Mg sans les échantillons les plus chromifères - est imputable aux variations locales plutôt qu'aux diminutions des rapports lors de la différenciation.

Les valeurs des rapports Cr/Mg et Ni/Mg du batholite de Bourlamaque (tab. 7) sont nettement supérieures à celles des Petites Antilles et inférieures à celles des autres suites à l'exception du batholite de la Californie du Sud qui montre un rapport Ni/Mg inférieur d'environ un tiers à celui de Bourlamaque.

La teneur en magnésium du batholite de Bourlamaque est égale à celle des Petites Antilles et inférieure à celles des autres suites; il en résulte que les roches de Bourlamaque sont enrichies en Cr et Ni par rapport à celles des Petites Antilles et appauvries en Cr par rapport aux quatre autres suites. Pour ce qui est du Ni, il semble être environ du même ordre que dans le batholite de la Californie du Sud et nettement supérieur dans les suites de Crater Lake, des roches ignées calédoniennes de l'Ecosse et de celles de l'Abitibi.

Cr/Mg and Ni/Mg RATIOS

Both Cr/Mg and Ni/Mg ratios diminish according to the level of differentiation (fig. 18). Figure 18 shows samples originating from the southeastern portion of the batholith; they are enriched in chromium and have an average Cr/Mg ratio of 4.63. The average values of the Cr/Mg and Ni/Mg parameters within the batholith are respectively 1.52 (1.83, if the samples with a high chromium content are considered) and 1.65. The 25% dispersion of these ratios - Cr/Mg without the samples having the highest chromium content - is attributable to local variations rather than to a decrease in the ratios during differentiation.

The values of the Cr/Mg and Ni/Mg ratios of the Bourlamaque batholith (table 7) are clearly higher than those of the Lesser Antilles and lower than those of the other suites except for the southern California batholith which shows a Ni/Mg ratio about one third lower than that of Bourlamaque.

The magnesium content of the Bourlamaque batholith is equal to that of the Lesser Antilles and lower than that of the other suites; thus the Bourlamaque rocks are enriched in Cr and Ni compared to those of the Lesser Antilles and impoverished in Cr compared to the four other suites. As for Ni, it appears to be of the same magnitude as in the Southern California batholith and is clearly lighter than the Crater Lake suites, Caledonian igneous rocks of Scotland and the Abitibi igneous rocks.

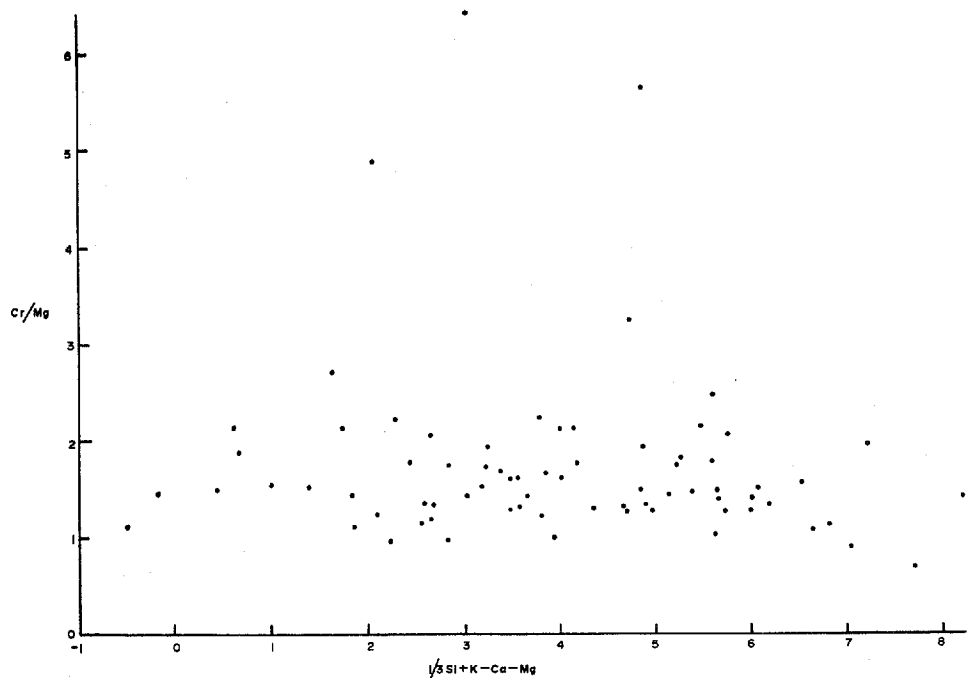


FIGURE 18 - Variation du rapport Cr/Mg en fonction de l'indice de Larsen modifié / Variation of the Cr/Mg ratio against the Larsen modified index.

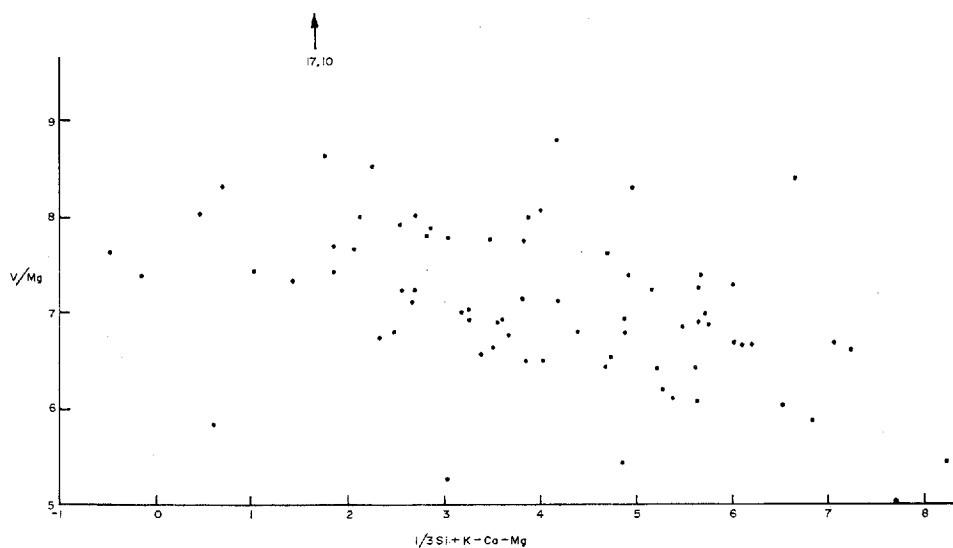


FIGURE 19 - Variation du rapport V/Mg en fonction de l'indice de Larsen modifié / Variation of the V/Mg ratio against the Larsen modified index.

RAPPORTS Co/Mg et V/Mg

Dans les roches de Bourlamaque le magnésium montre une cohérence plus étroite avec le cobalt et le vanadium qu'avec le chrome et le nickel.

Les rapports Co/Mg et V/Mg décroissent en fonction de la différenciation. Dans la figure 19, l'abondance de magnétite dans l'échantillon en abscisse 1.67 justifie le rapport V/Mg élevé. Le faible rapport V/Mg de l'échantillon en abscisse + 0.61 s'explique de la même façon, mais par une soustraction locale d'oxydes métalliques.

La valeur V/Mg dans les suites calco-alcalines de Nockolds et Allen (1953) (tab. 7), augmente en général en fonction de la différenciation, à l'exception des roches des Petites Antilles où elle diminue faiblement. Cette suite, comme le batholite de Bourlamaque, dénote un appauvrissement plus marqué en V qu'en Mg.

La valeur moyenne du rapport Co/Mg (1.51) dans le batholite de Bourlamaque diffère sensiblement de la valeur 0.9 considérée comme étant assez constante par Nockolds et Allen. Cette différence est due aux teneurs locales plus élevées en cobalt et moins élevées en magnésium dans le batholite de Bourlamaque que dans les suites considérées.

La valeur moyenne du rapport V/Mg (7.15) dans les roches de Bourlamaque est parmi les plus élevées du tableau 7; le fait que les hautes teneurs en V du batholite de Bourlamaque sont associées aux plus faibles valeurs en Mg en est l'explication.

La figure 20 illustre les relations entre V et Mg et V et Fe; le vanadium montre plus de cohérence avec le magnésium qu'avec le fer total, ce

Co/Mg and V/Mg RATIOS

Magnesium in the Bourlamaque rocks shows greater coherence with cobalt and vanadium than with chromium and nickel.

The Co/Mg and V/Mg ratios decrease in line with differentiation. Figure 19 shows that the abundance of magnetite in the sample corresponding to the 1.67 abscissa justifies the high V/Mg ratio. The low V/Mg ratio of the sample corresponding to the + 0.61 abscissa can be explained in the same way; however, a local subtraction of metallic oxides is involved.

The V/Mg value in the calc-alkaline suites of Nockolds and Allen (1953) (Table 7) generally increases with the level of differentiation; however, it decreases slightly in the case of the Lesser Antilles rocks. This suite, as well as that of the Bourlamaque batholith, shows an impoverishment which is greater for V than for Mg.

The average value of the Co/Mg ratio (1.51) in the Bourlamaque batholith differs slightly from the 0.9 value considered to be fairly constant by Nockolds and Allen. This difference is related to and lower in magnesium in the Bourlamaque batholith than in the other suites that have been considered.

The average value of the V/Mg ratio (7.15) in the Bourlamaque rocks is amongst the highest in table 7; this is explained by the fact that the high V values of the Bourlamaque batholith are associated with the lowest Mg values.

Figure 20 indicates the relationships between V and Mg and V and Fe; vanadium shows higher coherence with magnesium than with total iron; this

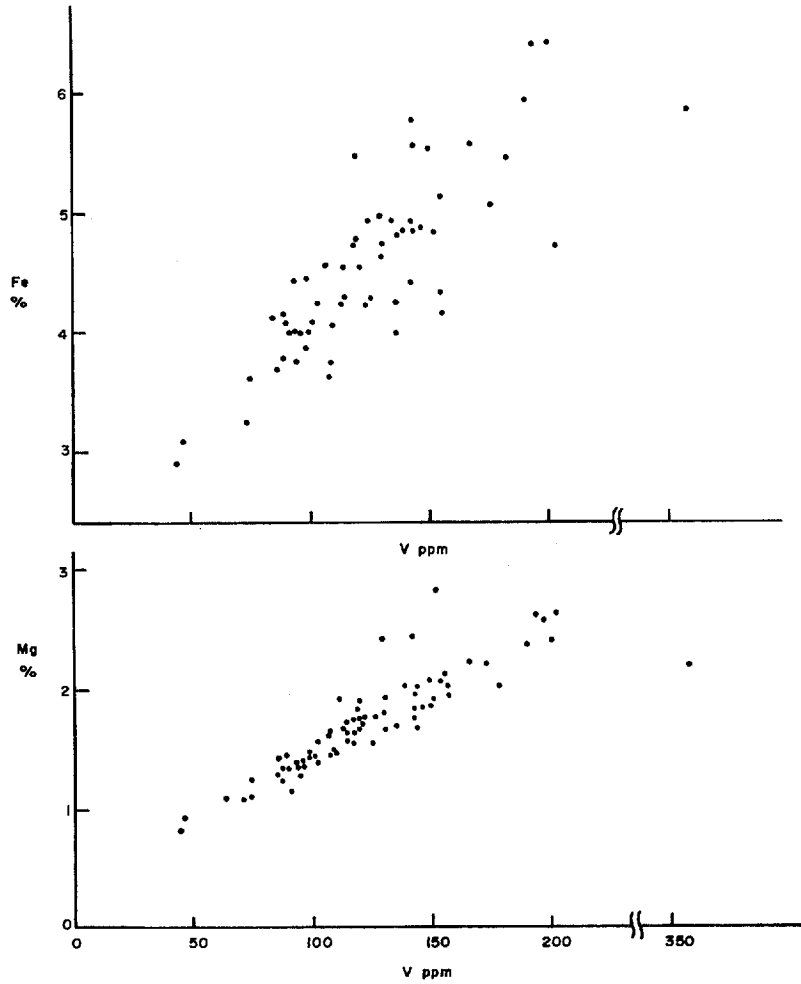


FIGURE 20 - Variations du vanadium en fonction du fer et du magnésium
Variations of vanadium against iron and magnesium.

qui confirme les données des coefficients de corrélation où le vanadium est en corrélation excellente avec le magnésium ($r = +0.94$), bonne avec le fer ferreux ($r = +0.78$) et peu significative avec le fer ferrique ($r = +0.48$).

RAPPORTS Co/Fe et V/Fe

Dans le batholite de Bourlamaque, le cobalt et le fer ne montrent pratiquement pas de fractionnement relatif tout au long de la différenciation (fig. 21). La moyenne du rapport Co/Fe est de 0.57 et le coefficient de variation est de 10%, ce qui indique essentiellement des variations locales, bien que les roches les plus différenciées montrent une très faible diminution (-5%). Le rapport V/Fe décroît progressivement avec la diminution de l'indice de Larsen modifié et montre une dispersion modérée aux différents degrés de différenciation.

Les variations les plus marquées en dehors de la tendance générale sont dues soit à une accumulation d'oxydes métalliques, soit à une soustraction probable lors de la cristallisation des mêmes minéraux. Dans toutes les suites examinées, les différences sont moindres dans les rapports des éléments fémaphiles en trace avec le fer que dans les rapports des mêmes éléments avec le magnésium.

La valeur élevée de Co/Fe (tab. 7) du batholite de Bourlamaque s'explique par des teneurs en Co supérieures à celles des autres suites ignées, tandis que la valeur de V/Fe range l'intrusion de Bourlamaque parmi les plus vanadifères. La valeur élevée de V/Fe de la suite de Crater Lake est due à sa teneur en fer un peu plus faible, tandis que le rapport très élevé V/Fe des andésites de l'Abitibi est dû à leur teneur très élevée en V.

confirms the correlation coefficient data where vanadium shows an excellent correlation with magnesium ($r = +0.94$), a good one with ferrous iron ($r = +0.78$) and a poor one with ferric iron ($r = +0.48$).

Co/Fe and V/Fe RATIOS

In the Bourlamaque batholith, cobalt and iron show practically no relative fractionation during differentiation (figure 21). The average Co/Fe ratio is of 0.57 and the variation coefficient is 10%; this is essentially indicative of local variations despite the fact that the most differentiated rocks show a very low decrease (-5%). The V/Fe ratio decreases progressively with the decrease of the modified Larsen index; it also shows a moderate variation to the different levels of differentiation.

The most noticeable variations outside the general trend are due to either an accumulation of metallic oxides or a subtraction of the same minerals during crystallization. In all the suites examined, the differences were less in the ratios of the fémaphile trace elements with iron than in the ratios of the same elements with magnesium.

The higher value of Co/Fe (table 7) in the Bourlamaque batholith are explained by Co contents higher than those of other igneous suites; the V/Fe value puts the Bourlamaque intrusion amongst the most vanadiferous ones. The high V/Fe value of the Crater Lake suite is due to its somewhat lower iron content whereas the very high V/Fe ratio of the Abitibi andesites can be explained by their high V content.

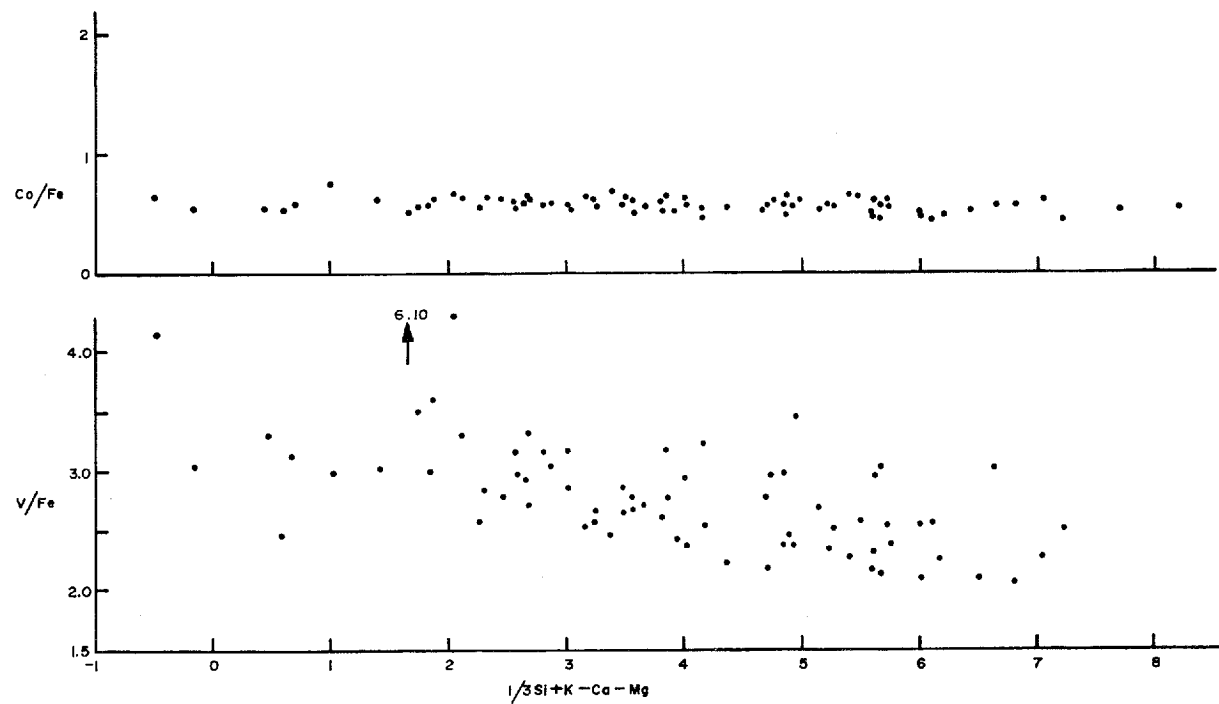


FIGURE 21 - Variations des rapports Co/Fe et V/Fe en fonction de l'indice de Larsen modifié / Variations of the Co/Fe and V/Fe ratios against the Larsen modified index.

CONCLUSIONS

L'étude de certains paramètres géochimiques permet d'affirmer que les variations chimiques introduites par le métamorphisme dans le chimisme du batholite de Bourlamaque ont été mineures étant donné que les rapports des éléments étudiés ont gardé un comportement d'ensemble conforme aux lois de la différenciation magmatique. Le métamorphisme local peut être ainsi considéré dans l'ensemble comme isochimique. Cependant, l'utilisation des données provenant d'un seul échantillon, surtout celles du potassium (et par conséquent du rubidium), du lithium et, à un moindre degré, du calcium demande beaucoup de précautions.

La mobilité du potassium, du calcium et du lithium a été étudiée en comparant leur comportement à celui d'éléments peu mobiles tels que le strontium et le magnésium. Ces trois éléments montrent en effet une certaine mobilité locale, qui, par contre, n'efface pas leur comportement magmatique d'ensemble.

La valeur moyenne de K/Sr de Bourlamaque se compare bien à celles des laves récentes des Petites Antilles et des volcanites archéennes de l'Abitibi.

Le rapport Sr/Ca montre des variations imputables à une mobilité modérée du calcium: en effet, le comportement d'ensemble de ce rapport est magmatique. En outre, l'étude de ce paramètre a révélé des similitudes entre le batholite de Bourlamaque et les laves récentes pauvres en potassium. Encore une fois les roches de Bourlamaque montrent leur analogie avec les volcanites archéennes du Bouclier canadien. Les valeurs locales de Sr/Ca indiquent clairement la

CONCLUSIONS

The study of geochemical parameters tends to confirm that the chemical variations introduced into the chemism of the Bourlamaque batholith by metamorphism were minor ones because the ratios of the elements studied have retained a general behaviour that is consistent with the laws of magmatic differentiation. Therefore local metamorphism may be considered as being generally isochemical. However, the use of data from only one sample, especially those of potassium (and consequently of rubidium), of lithium and, to a lesser extent, those of calcium requires a number of precautions.

The mobility of potassium, of calcium and of lithium was studied by comparing their behaviour with that of less mobile elements such as strontium and magnesium. Whereas these three elements do show a certain local mobility it does not, however, erase their general magmatic behaviour.

The average K/Sr value of Bourlamaque can be easily compared with that of recent lava from the Lesser Antilles and that of the Archean volcanics of Abitibi.

The Sr/Ca ratio shows variations that are imputable to a moderate mobility of calcium: indeed, the general behaviour of this ratio is magmatic. In addition, the study of this parameter has revealed similarities between the Bourlamaque batholith and potassium-poor recent lavas. Again the Bourlamaque rocks show their analogy with Archean volcanics of the Canadian Shield. Local values of Sr/Ca clearly indicate the occurrence of two distinct intrusions within the batholith and permit the establishment of their

présence de deux intrusions distinctes dans le batholite et permettent d'établir leurs rapports chronologiques réciproques. L'intrusion interprétée comme étant précoce montre un rapport Sr/Ca inférieur à celui de l'intrusion tardive. Cette différence a été attribuée à un enrichissement en Sr dans les plagioclases tardifs. Les deux intrusions peuvent aussi être aisément identifiées à l'aide du rapport Li/Mg dont la valeur moyenne est tout à fait en accord avec celle des roches ignées fraîches de même composition chimique.

Le rapport K/Rb, décroissant en fonction de la différenciation et dont la valeur est égale à 280, situe le batholite de Bourlamaque parmi les suites ignées normales. Cependant, les roches de Bourlamaque sont enrichies en rubidium par rapport aux volcanites récentes (K/Rb plus élevé); cette observation par contre ne s'applique pas aux volcanites archéennes locales, lesquelles ont un rapport K/Rb tout à fait comparable à celui de Bourlamaque.

L'étude du rapport $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ a mis en évidence l'état d'oxydation élevé des roches de Bourlamaque, de l'ordre de celui des volcanites récentes. L'oxydation a été attribuée surtout aux conditions de pression appréciable de vapeur d'eau lors de la cristallisation primaire mais aussi au métamorphisme régressif.

Les rapports géochimiques déjà examinés montrent plus de variations dans le batholite que ceux dont l'étude va suivre et qui intéressent essentiellement les éléments ferromagnésiens.

Si on considère les rapports géochimiques des éléments ferromagnésiens des suites calco-alcalines déjà examinées, ceux du batholite de Bourlamaque peuvent être définis comme étant élevés pour Fe/Mg, Co/Mg, V/Mg; moyens pour Co/Fe, F/Fe, Ni/Mg; et faible pour Cr/Mg.

reciprocal chronological relationships. The intrusion interpreted as being early shows a Sr/Ca ratio lower than that of the late intrusion. This difference is attributable to a Sr enrichment in late plagioclases. Both intrusions can easily be identified by using the Li/Mg ratio; the average value of this ratio is in harmony with that of fresh igneous rocks with a similar chemical composition.

The K/Rb ratio, which decreases with the level of concentration, has a value of 280; this places the Bourlamaque batholith amongst the normal igneous suites. However, the Bourlamaque rocks are enriched in Rb compared to recent volcanics (K/Rb higher); but this does not apply to local Archean volcanics which have a K/Rb ratio quite similar to that of Bourlamaque.

The study of the $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ratio has indicated a high level of oxidation in the Bourlamaque rocks, which is comparable to that of recent volcanics. Oxidation has been attributed mainly to conditions of appreciable water vapor pressure during crystallization but also to regressive metamorphism.

The geochemical ratios already examined showed more variations within the batholith than those for which the study will follow and which deal essentially with ferromagnesian elements.

Taking into account the geochemical ratios of the ferromagnesian elements belonging to calc-alkaline suites already examined, those of the Bourlamaque batholith can be defined as being high for Fe/Mg, Co/Mg and V/Mg; average for Co/Fe, F/Fe and Ni/Mg; and low for Cr/Mg.

Par rapport aux laves archéennes de l'Abitibi de même teneur en SiO_2 , les roches de Bourlamaque présentent environ les mêmes rapports Fe/Mg et Co/Fe, mais un rapport double Co/Mg et des rapports Cr/Mg, Ni/Mg, V/Mg et V/Fe nettement moins élevés.

L'intrusion de Bourlamaque présente donc certaines caractéristiques chimiques qui la rattachent plutôt à des suites volcaniques qu'à des suites typiquement intrusives comme le batholite de la Californie du Sud ou à des suites partiellement intrusives comme les roches ignées calédoniennes de l'Ecosse. Des similitudes ont ainsi été trouvées avec les volcanites pauvres en potassium des Petites Antilles ainsi qu'avec les laves archéennes dans lesquelles le batholite est intrusif. A cet égard, il est significatif de noter que c'est au niveau des rapports géochimiques des éléments felsiphiles que les roches intrusives de Bourlamaque présentent plus de similitude avec les laves archéennes locales. Les rapports géochimiques des éléments femaphiles indiquent en effet un état d'oxydation particulier au batholite de Bourlamaque et, fait encore plus important, un fractionnement plus poussé dans ce dernier que dans les volcanites (tab. 8).

Compared to the Archean Abitibi lavas with similar SiO_2 content, the Bourlamaque rocks indicate the same Fe/Mg and Co/Fe ratios; a Co/Mg ratio which is double; and clearly lower Cr/Mg, Ni/Mg, V/Mg and V/Fe ratios.

The Bourlamaque intrusion hence shows some chemical characteristics which ties it to volcanic suites rather than to typically intrusive suites such as the Southern California batholith or to partially intrusive suites such as the Caledonian igneous rocks of Scotland. Similarities have also been found with potassium-poor volcanics from the Lesser Antilles as well as with the Archean lavas into which the batholith intrudes. In line with this, it is worthwhile mentioning that it is at the level of the geochemical ratios of felsiphile elements that the Bourlamaque intrusive rocks show the greatest similarity with the local Archean lavas. The geochemical ratios of the femaphile elements show an oxidation state peculiar to the Bourlamaque batholith; more important, however, is a higher degree of fractionation in the latter than in volcanics (table 8).

TAB. 8 - COMPARAISON ENTRE CERTAINS PARAMETRES GEOCHIMIQUES DES VOLCANITES ET DES PLUTONITES ARCHEENNES DE L'ABITIBI / COMPARISON BETWEEN SOME GEOCHEMICAL PARAMETERS OF THE ARCHEAN VOLCANIC AND PLUTONIC ROCKS FROM ABITIBI

	A	B	C	D	E
Fe/Mg	2.67	2.50	2.20	2.37	
Cr/Mg.10 ³	4.77	1.82	4.58	4.07	
Ni/Mg.10 ³	3.46	1.72	2.22	2.77	
Co/Mg.10 ³	1.30	1.40	0.90	0.70	
V/Mg.10 ³	7.79	7.73	9.48	9.92	
Co/Fe.10 ³	0.50	0.56	0.45	0.31	
V/Fe.10 ³	2.94	3.20	4.50	4.18	
K/Rb	300	342	-	-	280 - 360
K/Sr	8	17	17	29.8	12 - 24
Sr/Ca.10 ²	0.30	0.39	0.18	0.32	-

A: dykes synplutoniques (SiO₂ = 49.2%) /synplutonic dykes (SiO₂ = 49.2%)

B: magma primaire hypothétique de Bourlamaque (SiO₂ = 54%) /Bourlamaque hypothetical primary magma (SiO₂ = 54%)

C: basalte moyen de l'Abitibi (SiO₂ = 49.9%; Baragar et Goodwin, 1969) /average basalt from Abitibi (SiO₂ = 49.9%; Baragar and Goodwin, 1969)

D: andésite moyenne de l'Abitibi (SiO₂ = 55.5%; Baragar et Goodwin, 1969) /average basalt from Abitibi (SiO₂ = 55.5%; Baragar and Goodwin, 1969)

E: volcanites archéennes du Canada (SiO₂, recalculé sans les produits volatils = 51% à 56%; Hart et al., 1970) / Archean volcanic rocks from Canada (SiO₂, calculated without volatile products = 51% to 56%; Hart et al., 1970).

DISTRIBUTION DES ELEMENTS

La distribution géographique des quelques éléments du batholite est présentée à l'annexe D. Sur le même principe que les histogrammes, chaque population des éléments chimiques a été divisée dans un nombre de classes dont l'étendue est égale à 0.5 fois l'écart-type de sa distribution. La distribution de tous les éléments chimiques analysés apparaît dans Campiglio (1974).

La distribution géographique des teneurs de chacun des éléments permet de dresser un tableau qui dans l'ensemble ne montre pas de contradiction. Par contre, il semble normal que les éléments les plus mobiles comme Cu, K, Na, Rb et Li peuvent montrer des dispersions qui ne s'adaptent pas parfaitement au modèle suggéré; pour cette raison la

DISTRIBUTION OF THE ELEMENTS

The geographical distribution of some elements of the batholith is shown in Appendix D. Based on the same principle as the histograms, each population of chemical elements has been divided into a number of classes the extent of which is equal to 0.5 time the standard deviation of its distribution. The distribution of all the chemical elements that have been analyzed can be found in Campiglio (1974).

The geographic distribution of the tenors of each of the elements allows a table to be drawn which on the whole does not show any contradiction. On the other hand, it seems normal that the most mobile elements such as Cu, K, Na, Rb and Li may show dispersions which are not easily adaptable to the model suggested;

reconstruction ne devrait pas être infirmée par un tel fait.

Le batholite peut être ainsi divisé du point de vue chimique en trois zones ayant des contacts probables sub-parallèles de direction 50° à 60° . Les deux zones au nord sont allongées et affleurent sur environ la même superficie. La partie septentrionale est plus mince, mais deux fois plus allongée que la partie centrale.

Au point de vue échantillonnage, la relation d'égalité n'est cependant pas respectée, la partie nord étant sous-estimée à cause de sa faible densité d'affleurements. La partie méridionale ne représente qu'une fraction minime du batholite au point de vue superficie; par contre, elle est surestimée dans l'échantillonnage par rapport aux deux autres. Les trois zones du nord au sud, sont représentées respectivement par environ 20%, 70% et 10% des échantillons.

Malgré ces limitations, la portion nord du batholite est plus riche en éléments granitophiles (K, Li, Rb et Sr), en zinc et en phosphore et peut être considérée comme une intrusion distincte de la portion centrale plus mafique. En outre, ces deux intrusions montrent un zonage marqué par des roches plus mafiques au nord qu'au sud. Ceci n'est qu'une généralisation d'une situation plus complexe où, par exemple, les contacts entre les intrusions semblent être des zones hybrides pouvant indiquer que le magma n'était pas complètement solidifié lors de la mise en place de l'intrusion successive. La notion de zonage a été présentée en prenant surtout comme base la situation de l'intrusion centrale et ce modèle s'adapte à l'intrusion nord. Dans l'intrusion centrale les roches les plus différenciées se situent environ aux $3/4$ de son épaisseur, s'étalant dans une direction est-ouest parallèle aux

the reconstruction should not however be invalidated because of this.

From a geochemical point of view, the batholith can thus be divided into three zones having probable sub-parallel contacts with a 50° to 60° orientation. The two northern zones are elongated and outcrop in about the same area. The northern part is thinner but twice as long as the central part.

From a sampling point of view, the relation of equality is not respected, however, the northern portion being underestimated because of the low density of outcrops. The southern part only represents a small fraction of the batholith from the point of view of surface area; on the other hand, it is overestimated in the sampling as compared to the other two. The three zones are, from north to south respectively, represented by 20%, 70% and 10% of the samples.

Despite these limitations, the northern part of the batholith is richer in granitophile elements (K, Li, Rb and Sr), in zinc and in phosphorus; it can be considered as an intrusion which is distinct from the more mafic central part. In addition, these two intrusions show a zoning evidenced by rocks that are more mafic in the north than in the south. This is only one generalization of a more complex situation where, for example, the boundaries between intrusions appear to be hybrid zones that could indicate that the magma was not completely solidified when the following intrusion took place. The notion of zoning has been presented on the basis of the situation of the central intrusion; this model can also be adopted to the northern intrusion. The most differentiated rocks of the central intrusion are located at about $3/4$ of its thickness in an east-west direction parallel to that of the

contacts et sont représentées par les faciès les plus siliciques de l'intrusif principal et par les porphyres leucocrates. Ces dykes représentent probablement les produits de la cristallisation des résidus magmatiques locaux. Dans la zone médiane et vers la base de l'intrusion se trouvent des blocs mélanocrates à grains grossiers (cumulites), composés surtout de hornblende plus ou moins chloritisée, d'un peu de plagioclase et de quartz (traces). On trouve les roches les plus différenciées de l'intrusion nord à peu près à la même position que dans l'intrusion centrale où cristallise le seul feldspath potassique local; le toit de l'intrusion n'est pas accessible à cause de l'absence d'affleurements. La troisième zone du batholite qui est située au contact sud-oriental du batholite avec les volcanites encaissantes présente une composition particulière. Elle est appauvrie en Al par rapport aux deux autres intrusions et fortement enrichie en Cr, Mg et Ni même par rapport à l'intrusion centrale plus mafique.

La distribution des éléments en bandes parallèles amène à penser que le batholite de Bourlamaque est un massif stratoïde formé de couches superposées dont les sommets, d'après leur zonage géochimique, se situent vers le sud, tandis que leurs compositions respectives deviennent plus mafiques dans la même direction. L'épaisseur des trois intrusions nord au sud est respectivement d'environ 2 milles, 4 milles et 1 mille.

Ce massif stratoïde lui-même ne montre aucune trace de rubanement typique des cas classiques du Skaergaard ou du Stillwater. Chacune des intrusions est en effet composée d'un ensemble dont la minéralogie monotone dénote plutôt une variation des proportions relatives des minéraux présents.

contacts and are represented by the most siliceous facies of the main intrusion and by leucocrate porphyries. These dykes probably represent the crystallization products of local magmatic residues. Coarse-grained melanocratic blocks (cumulites), essentially formed of more or less chloritized hornblende, a little plagioclase and quartz (traces) are found in the center and towards the bottom of the intrusion. The most differentiated rocks of the northern intrusion are found at about the same location as within the central intrusion where the only local potassic feldspar crystallizes; the hanging wall of the intrusion cannot be seen because of the lack of outcrops. The third zone of the batholith, which is located at the southeastern border, shows a particular composition. It is impoverished in Al compared to the two other intrusions and highly enriched in Cr, Mg and Ni, even when compared with the more mafic central intrusion.

The distribution of the elements in parallel zones suggests that the Bourlamaque batholith is a stratoid body formed of superimposed layers with their tops, according to their geochemical zoning, lying to the south whereas their respective compositions become more mafic in the same direction. The thickness of the three intrusions are respectively, from north to south, about 2 miles, 4 miles and 1 mile.

This stratoid body does not show any sign of banding typical of the classic cases of the Skaergaard or of the Stillwater complexes. Each of the intrusions is in fact made up of a monotonous mineralogic assemblage that if anything shows a change in relative proportions of the minerals present.

La zonalité chimique à l'intérieur des deux intrusions principales et la stratigraphie locale qui se situe au nord la base de l'empilement volcanique (Alsac *et al.*, 1971) amènent à penser que la mise en place des unités du batholite s'est produite d'une façon concordante à l'intérieur des volcanites avant leur redressement quand celles-ci étaient encore subhorizontales dans le bassin d'épanchement. Le zonage chimique peut-être chronologiquement relié à la période magmatique et causé par des phénomènes de séparation par densité et de décantation ou de flottation, que le milieu subvolcanique riche en produits volatils facilite. Ce phénomène se serait produit lors d'un processus de cristallisation fractionnée à grande échelle impliquant presque en même temps un mélange primitif relativement homogène.

C'est pourquoi le batholite de Bourlamaque est ici considéré comme un massif stratoïde, formé de filons-couches superposés, mis en place dans les volcanites subhorizontales et sans aucun lien immédiat avec l'orogénèse. De même, à cause de ses affinités géochimiques étroites avec le domaine volcanique local le batholite est un exemple typique d'intrusion subvolcanique générée par des pulsations successives d'un magma se différenciant en profondeur. D'après cette interprétation, il serait plus exact de parler de filon-couche de Bourlamaque; la dénomination de batholite est conservée seulement parce que ce terme a été adopté dans les publications géologiques locales.

Dans l'étude des volcanites (équivalentes des roches encaissantes du batholite) de Noranda (70 milles à l'ouest de Bourlamaque), Baragar (1968) a décrit des filons-couches de dolérite localement zonés. Dans la partie inférieure du filon-couche, il a noté une accumulation d'olivine, d'hypersthène et de plagioclase; ce dernier peut aussi se rencontrer dans la partie supérieure.

The chemical zoning within the two main intrusions and the local stratigraphy that lies to the north of the volcanic pile (Alsac *et al.*, 1971) suggest that the batholithic units were emplaced concordantly within the volcanics prior to their straightening out and when they were still subhorizontal in the effusion basin. The chemical zoning is chronologically related to the magmatic period and is caused by density separation and decantation or flotation phenomena which are made easier by a volatile-rich, subvolcanic environment. This phenomenon would have occurred during a large scale fractional crystallization process involving almost simultaneously a relatively homogeneous primary mix.

Hence, the Bourlamaque batholith is here considered as being a stratoid body, made up of superimposed sills emplaced in subhorizontal volcanics and without any immediate link with the orogenesis. Also, because of its close geochemical affinities with the local volcanic domain, the batholith is a typical example of a subvolcanic intrusion generated by successive pulsations of a magma differentiating in depth. According to this interpretation, it would be more accurate to talk about the Bourlamaque sill; the name batholith is only preserved because it has been adopted in local geological publications.

In the study of the Noranda (70 miles west of Bourlamaque) volcanics (equivalent to the country rocks enclosing the batholith), Baragar (1968) described locally zoned dolerite sills. In the lower portion of the sill he noted an accumulation of olivine, hypersthene and plagioclase; the latter may also be concentrated in the upper part.

D'autres filons-couches ont été décrits par McCall (1973) comme étant un phénomène assez commun dans les ceintures volcaniques archéennes de l'Australie occidentale. Ces filons-couches peuvent être de composition ultrabasique montrant une succession de couches de dunites et de pyroxénites qui passent à des pyroxénites feldspathiques et à des gabbros jusqu'à des granophyres ou bien être de composition mafique et de ce fait dépourvus de la partie inférieure de la séquence citée.

Notre interprétation, par contre, contraste avec celle d'Ingham (1942) qui considère le batholite comme une intrusion syncinématique ou mieux tardi-tectonique puisqu'elle serait un diapir dans les volcanites verticales. Comment alors concilier une telle hypothèse avec le métamorphisme commun qui affecte également les volcanites et ce batholite intrusif dans les volcanites? A ce propos, la plupart des chercheurs semblent accepter que le métamorphisme suit normalement le phénomène orogénique. De même, le zonage chimique en bandes parallèles s'accorde mal avec une mise en place diapirique et le fait que le batholite est recoupé par des dykes de basalte, dont la composition peut être considérée représentative du type de volcanisme basique local, pourrait indiquer dans une certaine mesure que la mise en place du batholite de Bourlamaque est chronologiquement rapprochée de la phase magmatique initiale. Finalement, l'analogie entre le chimisme du batholite et les volcanites dans lesquelles il est intrusif amène à relier étroitement le plutonisme et le volcanisme locaux et à les considérer comme deux aspects du même phénomène.

Other sills have been described by McCall (1973) as being a common phenomenon in the Archean volcanic belts of Western Australia. The sills may be ultrabasic in nature showing a sequence of dunite and pyroxenite layers which range through feldspathic pyroxenites and gabbros up to granophyres or they may be mafic in composition and hence excluded from the lower portion of the sequence described above.

On the other hand, our interpretation contrasts with that of Ingham (1942) who considered the batholith as a syncinematic intrusion or late-tectonic since it would be a diapir in vertical volcanics. How then can one reconcile such a hypothesis with the metamorphism which is common to the volcanics and the batholith which intrudes them? In line with this, most researchers appear to accept that metamorphism normally follows the orogenesis phenomenon. Furthermore, chemical zoning in parallel bands hardly agrees with a diapiric setting and the fact that the batholith is transected by basalt dykes, the composition of which can be considered as being representative of local basic volcanism, could indicate to a certain extent that the emplacement of the Bourlamaque batholith is chronologically close to the initial magmatic phase. Finally, the analogy between the chemism of the batholith and the volcanics into which it intrudes leads to the assumption of a close relationship between the plutonism and the local volcanism and to considering them as being two aspects of the same phenomenon.

ABONDANCE DES ELEMENTS

La composition chimique des deux intrusions principales est plutôt similaire (tab. 9) et confirme l'impression d'homogénéité remarquée sur le terrain. Les éléments chimiques montrent des variations différentes d'une intrusion à l'autre et peuvent être ainsi regroupés en trois classes par ordre croissant de variation. Le premier groupe comprend les éléments dont les variations sont inférieures à 5%, soit SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , et Ni. Le deuxième groupe, présentant dans l'intrusion nord une diminution de l'ordre de 10% à 20% par rapport à l'intrusion centrale, est constitué des éléments fémaphiles, du sodium, du calcium et du strontium. Le troisième groupe réunit les éléments fortement enrichis, 40 à 60%, dans l'intrusion nord par rapport à l'intrusion centrale mafique, soit les éléments granitophiles (K, Rb et Li) et le phosphore.

Le chimisme du batholite de Bourlamaque par rapport à celui des roches ignées moyennes établi par Nockolds (1954), à l'exception du potassium qui est très faible dans les roches du batholite, se compare bien à celui d'une roche volcanique, soit la dacite moyenne, mais beaucoup moins bien avec l'équivalent intrusif de cette dernière, la tonalite moyenne. Cependant, dans le clan des roches grenues, la tonalite à hornblende et à biotite présente une composition assez similaire à celle de Bourlamaque.

Dans l'analyse des particularités chimiques d'une suite ignée, il est préférable de considérer la composition du magma parent plutôt que la composition

ABUNDANCE OF ELEMENTS

The chemical composition of the two main intrusions is similar (table 9) and supports the impression of homogeneity noted on the field. The chemical elements show different variations from one intrusion to the other; they can be regrouped in three classes by increasing order of variation. The first group includes elements with variations lower than 5%: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , and Ni. The second group, which in the northern intrusion shows a decrease of about 10% to 20% compared to the central one, constitutes the femaphile elements, sodium, calcium and strontium. The third group includes highly enriched elements, 40% to 60% in the northern intrusion in relation to the mafic central intrusion, which are granitophile elements (K, Rb, and Li) and phosphorus.

The chemism of the Bourlamaque batholith as compared with that of average igneous rocks established by Nockolds (1954), with the exception of potassium which is very low in the batholith rocks, compares well with that of a volcanic rock, that is with an average dacite, but not nearly as well with the intrusive equivalent of this latter, the average tonalite. However, in the group of granular granulite rocks, the hornblende-biotite tonalite shows a composition somewhat similar to that of Bourlamaque.

In the analyses of the chemical particularities of an igneous suite, it is preferable to consider the composition of the parent magma than that of

TAB. 9 - COMPOSITIONS CHIMIQUES MOYENNES DES DEUX INTRUSIONS PRINCIPALES ET DU BATHOLITE/AVERAGE CHEMICAL COMPOSITIONS OF THE TWO MAIN INTRUSIONS AND OF THE BATHOLITH.

	A	B	C	D
SiO ₂	62.08	59.40	59.91	60.74
TiO ₂	0.59	0.67	0.68	0.63
Al ₂ O ₃	16.35	16.68	16.54	16.47
Fe ₂ O ₃	2.32	2.40	2.39	2.36
FeO	3.05	3.83	3.67	3.44
MnO	0.10	0.11	0.11	0.10 ₅
MgO	2.30	2.94	2.88	2.62
CaO	5.04	6.08	5.84	5.56
Na ₂ O	4.19	3.69	3.80	3.94
K ₂ O	0.89	0.59	0.64	0.74
P ₂ O ₅	0.28	0.18	0.19	0.23
H ₂ O+	1.91	2.34	2.26	2.12
CO ₂	0.40	0.63	0.66	0.51 ₅
Li	27 ₅	19 ₇	21	23
V	93 ₄	129 ₁	122	111
Cr	22 ₁	27 ₀	26	25
Co	23 ₃	26 ₇	26	25
Ni	26 ₉	27 ₉	27 ₅	27
Cu	25 ₈	31 ₇	29	29
Zn	71 ₃	58 ₀	60	65
Rb	27 ₂	17 ₁	19	22
Sr	259 ₄	208 ₅	217	234

A: composition moyenne de l'intrusion nord.

B: composition moyenne de l'intrusion centrale

C: composition moyenne du batholite ($\bar{x}$ arithmétique des échantillons analysés).

D: composition moyenne pondérée du batholite.

A: average composition of the northern intrusion.

B: average composition of the central intrusion.

C: average composition of the batholith (arithmetic $\bar{x}$ of the analysed samples).

D: weighted average composition of the batholith.

moyenne. La composition du magma parent est en effet indépendante des problèmes que posent le calcul de la composition moyenne, comme la mauvaise exposition locale et la difficulté d'évaluer correctement la contribution de chacun des faciès. Les diagrammes de variation montrent trois échantillons de chimisme presque identique, situés à l'extrémité mafique des courbes qui peuvent représenter la composition du magma parent local. La notion de magma parent utilisée ici est celle définie par Nockolds et

the average one. The composition of the parent magma is independent of the problems arising from the calculation of the average composition, such as the poor local exposure and the difficulty of correctly evaluating the contribution of each and every facies. The variation diagrams show three samples of chemism that are almost similar; they are located at the mafic ends of the curves and can represent the composition of the local parent magma. The notion of parent magma used in this study is the one defined by Nockolds

Allen (1953), soit la composition des premiers produits de cristallisation d'une suite ignée, non affectés par des processus d'accumulation par gravité.

La composition du magma parent de Bourlamaque se compare mieux avec l'andésite moyenne de Nockolds (1954) qu'avec la diorite moyenne. Par rapport à cette dernière, les roches de Bourlamaque sont enrichies en Si et Al et appauvries en Fe, Mg et K et par rapport à l'andésite, elles sont nettement plus riches en K. La diorite à hornblende et biotite de Nockolds, à part sa teneur en potasse qui est quatre fois plus élevée, peut être aussi comparée aux roches de Bourlamaque. En effet, les autres différences sont mineures et indiquent que les roches de Bourlamaque sont appauvries en minéraux ferromagnésiens et faiblement enrichies en plagioclase.

Il est intéressant de noter que le magma parent hypothétique de Bourlamaque est similaire à ceux que Nockolds et Allen (1953) suggèrent pour représenter les magmas parents de certaines suites calco-alcalines (tab. 10). Il existe évidemment des caractères particuliers à chacune des suites. Ainsi, le batholite de Bourlamaque se sépare nettement des autres suites par sa teneur extrêmement faible en potassium. Ce même caractère l'apparente aux deux suites volcaniques des Petites Antilles et de Crater Lake et le différencie des plutonites de la Californie du Sud et de la suite mixte, intrusive et volcanique, des roches calédoniennes de l'Ecosse. Au point de vue chimisme, les roches des Petites Antilles et celles de l'Ecosse sont respectivement les plus et les moins semblables aux roches de Bourlamaque tandis que les plutonites de la Californie du Sud et les laves de Crater Lake occupent une position intermédiaire. Les faibles teneurs en K, Mg, Rb, Cr et Li et les teneurs élevées

and Allen (1953); it is the composition of the first crystallization products in an igneous suite that are unaffected by gravity accumulation processes.

The composition of the Bourlamaque parent magma is easier to compare with Nockolds' average andesite (1954) than with the average diorite. Compared with the latter, the Bourlamaque rocks are enriched in Si and Al and impoverished in Fe, Mg and K; compared to the andesite they are notably richer in K. The Nockolds hornblende-biotite diorite, apart from its potash content which is four times higher, can also be compared with that of the Bourlamaque rocks. Indeed, the other differences are minor ones and indicate that the Bourlamaque rocks are impoverished in ferromagnesian minerals and slightly enriched in plagioclase.

It is worth mentioning that the hypothetical Bourlamaque parent magma is similar to those suggested by Nockolds and Allen (1953) to represent the parent magmas of some calc-alkaline suites (table 10). There are of course characteristics that are peculiar to each of these suites. Hence, the Bourlamaque batholith is clearly distinguished from other suites by its extremely low potassium content. This same characteristic relates it to the two volcanic suites of the Lesser Antilles and Crater Lake; it distinguishes it from the Southern California plutonic rocks and from the mixed intrusive-volcanic suite of the Caledonian rocks of Scotland. From a chemism point of view, the Lesser Antilles and Scottish rocks are respectively the most and the least similar to the Bourlamaque rocks, whereas the Southern California plutonic rocks and the Crater Lake lavas lie in an intermediate. The low K, Mg, Rb, Cr, and Li content and, to a lesser extent, the high content in V, Al and Fe are distinctive features which justify the chemical analogy between the

TAB. 10 - MAGMAS PRIMAIRES PARENTS PROBABLES DE BOURLAMAQUE ET DE QUELQUES SERIES CALCO-ALCALINES D'APRES NOCKOLDS ET ALLEN, 1953.
PROBABLE PARENT PRIMARY MAGMAS OF BOURLAMAQUE AND OF OTHER CALC-ALKALINE SERIES AFTER NOCKOLDS AND ALLEN, (1953).

	A	B	C	D	E
SiO ₂	55.41	53.4	54.9	56.3	54.4
TiO ₂	0.94	1.1	0.8	1.1	1.0
Al ₂ O ₃	18.43	19.0	18.1	17.3	16.5
Fe ₂ O ₃	2.67	3.2	3.9	1.0	1.6
FeO	5.54	5.9	3.8	6.3	6.4
MnO	0.14	0.1	0.1	0.1	0.2
MgO	4.10	4.0	5.4	4.7	6.6
CaO	8.31	9.3	8.6	7.9	7.8
Na ₂ O	3.75	3.1	3.4	3.1	3.5
K ₂ O	0.45	0.8	0.8	1.7	1.7
P ₂ O ₅	0.25	0.1	0.2	0.1	0.3
Li	19	20	(15)	25	25
V	197	225	(150)	150	100
Cr	44	15	(150)	60	220
Co	35	30	(30)	20	40
Ni	44	5	(85)	30	80
Cu	53	-	-	-	-
Zn	79	-	-	-	-
Rb	11	20	-	100	100
Sr	224	750	(1100)	275	1000

A: batholite de Bourlamaque (recalculé sans produits volatils)

B: laves des Petites Antilles

C: laves de Crater Lake*

D: batholite de la Californie du Sud

E: roches calédoniennes de l'Ecosse

* Les teneurs des éléments en trace ont été extrapolées des diagrammes de variations.

A: Bourlamaque batholith (recalculated without the volatile elements)

B: Lesser Antilles lavas

C: Crater Lake lavas*

D: Southern California batholith

E: Caledonian rocks from Scotland

* The value of the trace elements have been extrapolated from the variation diagrams.

en V, Al et Fe à un degré moindre, sont les caractères distinctifs qui justifient l'analogie chimique entre les roches de Bourlamaque et celles des Petites Antilles et en même temps permettent de séparer ces deux suites des autres. Les analogies chimiques du batholite de Bourlamaque avec des volcanites (dacite et andésite moyennes de Nockolds, laves des Petites Antilles) sont trop évidentes et étroites pour ne pas être prises en considération.

Bourlamaque rocks and those of the Lesser Antilles while concurrently allowing the distinction of these two suites from the others. The chemical analogies between the Bourlamaque batholith and volcanics (Nockolds' average dacite and andesite, Lesser Antilles lavas) are too evident and close not to be taken into consideration.

L'uniformité remarquable de la composition initiale présentée par les séries calco-alkalines analysées par Nockolds et Allen et confirmée par le chimisme de Bourlamaque suggèrent une origine similaire et particulière de ce groupe de roches ignées.

Une idée plus précise des particularités chimiques du batholite de Bourlamaque apparaît au tableau 11 où on compare son chimisme avec celui de l'andésite calco-alkaline moyenne (Taylor, 1969).

The remarkable uniformity of the initial composition shown by the calc-alkaline series analyzed by Nockolds and Allen and confirmed by the Bourlamaque chemism suggests a similar and particular origin of this group of igneous rocks.

Table 11 provides a more accurate idea of the chemical particularities of the Bourlamaque batholith; its chemism is compared with that of the average calc-alkaline andesite (Taylor, 1969).

TAB. 11 - COMPOSITION CHIMIQUE MOYENNE DU BATHOLITE DE BOUR-LAMAQUE COMPAREE A CELLE DE L'ANDESITE CALCO-ALKALINE
AVERAGE CHEMICAL COMPOSITION OF THE BOURLAMAQUE BATHOLITH COMPARED TO THAT OF THE CALC-ALKALINE ANDESITE

	A	B
% SiO ₂	59.50	62.20
TiO ₂	0.70	0.65
Al ₂ O ₃	17.20	16.90
FeO	6.10	6.02
MgO	3.42	2.69
CaO	7.03	6.01
Na ₂ O	3.68	4.04
K ₂ O	1.60	0.76
ppm Rb	31	22
Sr	385	234
Cu	54	29
Co	24	25
Ni	18	27
Li	10	23
V	175	111
Cr	56	25

A: Andésite calco-alkaline (Taylor, 1969).

B: Composition moyenne de Bourlamaque recalculée sans les éléments volatils.

A: Calc-alkaline andesite (Taylor, 1969).

B: Average composition of Bourlamaque recalculated without the volatile elements.

Par rapport à l'andésite calco-alkaline de Taylor (*op. cit.*), le batholite de Bourlamaque est fortement appauvri en K, Sr, Cu et Cr, appauvri en Mg, Ca, Rb et V et enrichi en Na et Li. La signification de ces différences sera discutée ultérieurement

With regards to Taylor's calc-alkaline andesite (*op. cit.*), the Bourlamaque batholith is highly impoverished in K, Sr, Cu and Cr, impoverished in Mg, Ca, Rb and V, and enriched in Na and Li. The meaning of these differences is discussed in a following

dans la section pétrologique. A ce moment notons seulement que la valeur du rapport K/Rb de Bourlamaque est due à des concentrations en Rb localement plus élevées que celles des roches calco-alcalines récentes possédant la même teneur en K. En effet, les andésites pauvres en K de Taylor (1969) contiennent seulement 10 ppm pour un pourcentage en K_2O égal à 0.70.

section on petrology. Suffice to say for the present that the value of the Bourlamaque K/Rb ratio is related to Rb concentrations that are locally higher than those of recent calc-alkaline rocks having a similar K content. Indeed, Taylor's (1969) K-poor andesites contain only 10 ppm for a K_2O percentage of 0.70.

PETROLOGIE / PETROLOGY

L'étude géochimique a montré que lors du métamorphisme les roches de Bourlamaque n'ont pas été affectées par des changements chimiques importants. Cette constatation permet d'utiliser les données géochimiques pour l'étude pétrologique.

The geochemical study has indicated that the Bourlamaque rocks were not affected by large chemical changes during metamorphism. This allows use of the geochemical data for the petrological study.

APERCU DES SERIES MAGMATIQUES

OUTLINE OF MAGMATIC SERIES

Les études faites au début du siècle, surtout aux E.U., sur la cristallisation des bains silicatés fondus ont montré, en mettant l'accent sur le processus de cristallisation fractionnée, l'importance des roches basaltiques. Ce processus est nécessaire mais non suffisant, pour expliquer la formation des roches ignées. L'idée que les basaltes peuvent être considérés comme une source possible de tout autre magmatite introduit le concept de magma initial ou fondamental.

Studies conducted in the early part of the century, mostly in the U.S.A., on the crystallization of melted silicated baths, while putting the accent on the fractional crystallization process, pointed to the importance of basaltic rocks. This process is necessary but not sufficient to explain the formation of igneous rocks. The idea that basalts can be considered as a possible source of any other magmatic rock introduces the concept of initial or fundamental magma.

Les tendances de la pétrologie moderne s'accordent à reconnaître au moins deux types de magmas initiaux: les magmas alcalins et les magmas

Modern petrology trends agree upon the recognition of at least two types of initial magmas: the alkaline magmas and the sub-alkaline ones (Chayes,

subalcalins (Chayes, 1966). Ils se distinguent, pour une même teneur en silice, par des teneurs différentes en alcalins et en titane et souvent par leur minéralogie spécifique.

MacDonald et Katsura (1964), en définissant sur le diagramme silice versus alcalis les domaines des magmas alcalins et des magmas subalcalins, ont présenté un moyen simple et efficace de distinguer les deux types de magmas.

Kuno (1960), suite à ses études sur les séries magmatiques du Japon, fut le premier à mettre en relation la composition d'un magma donné avec sa profondeur d'origine; ainsi, suivant la diminution de profondeur, il reconnut trois magmas fondamentaux soit les basaltes alcalins, les basaltes riches en alumine ("high-alumina") et les basaltes tholéitiques. Il présente aussi une série de graphiques alumine versus alcalis qui permettent de séparer les trois domaines envisagés par sa classification. Une quatrième série, la série calco-alcaline, peut être obtenue dans des conditions spéciales à partir des trois magmas fondamentaux. Cette idée est très importante parce qu'implicitement, elle nie le statut fondamental ou primaire aux magmas calco-alcalins.

Yoder et Tilley (1962), après avoir constaté le déplacement en fonction de la pression de certaines barrières thermiques de quelques systèmes particulièrement importants au point de vue pétrogénique, ont proposé que l'on peut obtenir, en fonction de la pression, des produits différents à partir de magmas basaltiques de composition initiale identique. Yoder et Tilley (*op. cit.*) ne reconnaissent qu'un magma fondamental, dont la cristallisation à faible pression engendrerait les basaltes tholéitiques. Les basaltes alcalins ainsi que les

1966). They are distinguished, in the case of an identical silica content, by different alkaline and titanium contents and often by their specific mineralogy.

MacDonald and Katsura (1964), while defining the alkaline and sub-alkaline magma on the silica versus alkalis diagram, have provided a simple and efficient way to distinguish between the two types of magma.

Kuno's studies (1960) on Japanese magmatic series was the first to relate the composition of a given magma to its original depth; hence, based on depth, he recognized three fundamental magmas: alkaline basalts, high-alumina basalts and tholeiitic basalts. He also provided a series of alumina versus alkalis diagrams which allow separation of the three domains envisaged by his classification. A fourth series, the calco-alkaline one, can be obtained in special conditions from the three fundamental magmas. This idea is very important since it implicitly denies fundamental or primary status to calco-alkaline magmas.

Yoder and Tilley (1962), after having noted the displacement related to the pressure of some thermal barriers which are particularly important from a petrogenic point of view, suggested that, depending upon pressure, one can obtain different products from basaltic magmas with identical initial composition. Yoder and Tilley (*op. cit.*) only recognize one fundamental magma which under low-pressure crystallization would generate tholeiitic basalts. Alkaline basalts as well as high-alumina basalts would result from the fractional crystallization of the same

basaltes riches en alumine seraient produits par la cristallisation fractionnée du même magma fondamental originel dans des réservoirs plus profonds; ainsi, les magmas alcalins prendraient naissance dans le manteau tandis que les magmas riches en alumine se différencieraient dans la partie supérieure du manteau ou dans les zones les plus profondes de l'écorce terrestre. La classification des basaltes adoptée par Yoder et Tilley utilise comme critère les associations minéralogiques normatives (norme CIPW). Le tétraèdre Ne-Ol-Qz-Cpx a été choisi pour représenter ce type de roches. A l'intérieur de ce tétraèdre les plans de sous-saturation critique et de saturation en silice ayant la composition respective à olivine (assemblage: Cpx, Pl, Ol) et d'un basalte à hypersthène (assemblage: Cpx, Pl, Opx) définissent trois domaines: celui des basaltes alcalins, celui des tholéites à olivine et celui des tholéites quartziques. Ainsi, selon ces auteurs, les magmas subalcalins peuvent correspondre, d'après leur composition normative, soit à des tholéites sous-saturées soit à des tholéites sur-saturées.

L'école australienne avec T.H. Green, D.H. Green, A.E. Ringwood et leurs collaborateurs a développé les idées de Yoder et Tilley par de nombreux travaux expérimentaux et avec des résultats fort intéressants. Selon ces auteurs les produits de la fusion partielle du manteau montent vers la surface comme un diapir, d'abord sous forme d'un mélange de cristaux et de liquide résiduel et ensuite, avec la séparation des résidus cristallins, sous forme de magmas; la profondeur où se produit la séparation de la phase solide est responsable du chimisme particulier du magma basaltique.

Les traits distinctifs et reconnus de tous pour la série calco-

original fundamental magma in deeper reservoirs; also, alkaline magmas would originate in the mantle whereas high-alumina magmas would differentiate in the upper part of the mantle or in the deepest zones of the earth's crust. The basalt classification adopted by Yoder and Tilley uses normative (CIPW norm) mineralogical associations as criteria. The Ne - Ol - Qz - Cpx tetrahedon was selected to represent this type of rocks. Within this tetrahedon the critical subsaturation and the silica saturation planes having respectively the olivine (Cpx, Pl, Ol assemblage) and hypersthene basalt (Cpx, Pl, Opx) compositions outline three domains: that of alkaline basalts, that of olivine tholeites, and that of quartzitic tholeites. Hence, according to these authors, the sub-alkaline magmas may correspond, according to their normative composition, either to sub-saturated tholeites or over-saturated tholeites.

The Australian school with T.H. Green, D.H. Green, A.E. Ringwood and their collaborators have developed Yoder and Tilley's ideas by numerous experimental works; their results are highly interesting. According to these authors, the products resulting from a partial fusion of the mantle get to the surface as a diapir, first as a mix of crystals and of residual liquid then, with the separation of crystalline residues, as magmas; the depth at which the separation of the solid phase occurs is responsible for the particular chemism of the basaltic magma.

The widely known distinctive features of the calc-alkaline series are,

alcaline sont, du point de vue pétrologique, sa différenciation sans enrichissement en fer, et du point de vue chimique, sa haute teneur en alumine (voir fig. 25). Cette dernière se manifeste surtout à partir des andésites. Pour décrire l'enrichissement en fer, le diagramme ternaire alcalis-fer-magnésium de Wager et Deer (1939) est habituellement utilisé dans toutes ses variantes; récemment Coats (1968) a proposé l'indice ferrofémique dans le but de pouvoir chiffrer le degré d'enrichissement en fer d'une série donnée.

La notion de série calco-alcaline, souvent confondue et de ce fait considérée comme synonyme de volcanisme orogénique, a dans notre esprit une signification purement pétrologique.

A propos de l'origine des roches de la série calco-alcaline, plusieurs hypothèses ont été avancées: aussi, pour une revue complète du sujet le lecteur se référera aux articles de T.H. Green et de Ringwood (1968) et Kuno (1968). Ces théories peuvent être séparées en deux grands groupes reflétant l'évolution dans le temps des idées sur le sujet. Ainsi le premier groupe invoque directement ou indirectement l'anatexie des matériaux de l'écorce terrestre et notamment des roches sédimentaires (Turner et Verhoogen, 1960; Winkler, 1967; Wyllie et Tuttle, 1961), et s'appuie sur des hypothèses qui tiennent compte de la teneur généralement élevée en Al_2O_3 de la série calco-alcaline, mais n'expliquent ni les données isotopiques du strontium (Taylor et White, 1965), indiquant une origine plus profonde que l'écorce, ni l'abondance de termes aussi mafiques que les andésites, ni l'aspect extrusif dominant de cette série. Les hypothèses du deuxième groupe, représentant le point de vue le plus suivi actuellement, tentent d'expliquer la genèse de la série

from a petrological point of view, its differentiation without iron enrichment, and from a chemical point of view, its high-alumina content (see fig. 25). The latter mainly occurs starting with the andesites. To describe the iron enrichment, the Wager and Deer's (1939) alkalis-iron-magnesium ternary diagram is normally used in all possible ways; recently Coats (1968) has proposed the ferrofemic index to calculate the degree of iron enrichment in a given series.

The notion of calc-alkaline series, often mistaken for and therefore considered as a synonym of orogenic volcanism has, according to our standards, a purely petrological meaning.

Many hypotheses have been put forward with regards to the origin of the rocks belonging to the calc-alkaline series; hence, for a complete review on the subject the reader is referred to articles by T.H. Green and Ringwood (1968) and by Kuno (1968). These theories can be separated in two broad groups which, timewise, reflect the evolution of the ideas on the subject. Hence the first group directly or indirectly calls upon anatexis of materials from the earth's crust and particularly that of sedimentary rocks (Turner and Verhoogen, 1960; Winkler, 1967; Wyllie and Tuttle, 1961), and is based on hypotheses which take into account the high Al_2O_3 content of the calc-alkaline series; however, they explain neither the strontium isotopic data (Taylor and White, 1965) which are indicative of an origin deeper than that of the crust, nor the abundance of such mafic limits as andesites or the dominant extrusive aspect of this series. The hypotheses of the second group, which is actually the most followed, try to explain the genesis of the calc-alkaline series by igneous phenomena

calco-alkaline par des phénomènes ignés en présence des produits uniquement magmatiques. Les processus envisagés vont de l'anatexie du manteau à la différenciation magmatique. L'anatexie du manteau pourrait se produire dans des conditions diverses (Taylor et White, 1966; Green et Ringwood, 1968) tandis que la différenciation magmatique s'effectuerait sous le contrôle d'une pression d'eau appréciable (Osborne, 1959 et 1962; Hamilton, 1964; O'Hara, 1968). Ces dernières hypothèses s'appuient sur les résultats de nombreux travaux expérimentaux et s'intègrent bien au concept moderne de tectonique globale.

in the presence of solely magmatic products. The processes envisaged range from anatexis of the mantle to magmatic differentiation. The anatexis of the crust could occur in different conditions (Taylor and White, 1966; Green and Ringwood, 1968) while that of magmatic differentiation would occur under the control of a noticeable water pressure (Osborne, 1959 and 1962; Hamilton, 1964; O'Hara, 1968). The latter hypotheses are based on the results of experimental work and integrate well into the modern concept of global tectonics.

QUELQUES ASPECTS CHIMIQUES ET GÉNÉTIQUES DU VOLCANISME ARCHEEN DU BOUCLIER CANADIEN

SOME CHEMICAL AND GENETIC ASPECTS OF THE ARCHEAN VOLCANISM OF THE CANADIAN SHIELD

Wilson *et al.* (1965) dans un excellent article s'attachèrent à l'étude du contexte géologique des volcanites archéennes du Bouclier canadien: le volcanisme local appartient à l'association basalte-andésite-rhyolite (série calco-alkaline), typique des ceintures orogéniques continentales et des systèmes insulaires en guirlande. En outre, selon ces auteurs ces roches ne sont pas des spilites et n'appartiennent ni à l'association pétrographique des basaltes alcalins à olivine qu'on retrouve dans les bassins océaniques, ni à l'association continentale des éruptions fissurales, ni à l'association cratonique alcaline. Ces auteurs soulignèrent aussi la teneur extrêmement faible en potasse qui caractérise la suite volcanique archéenne.

Wilson *et al.* (1965), in an excellent article, paid attention to the study of the geological context of Archean volcanics from the Canadian Shield: local volcanism belongs to the basalt-andesite-rhyolite (calc-alkaline series) association which is typical of continental orogenic belts and of island-arcs systems. In addition, and in agreement with these authors, these rocks are not spilites and belong to neither the olivine-rich, alkaline basalt petrographic series that are found in oceanic basins, nor the continental association of fissure eruptions or to the alkaline cratonic association. These authors also underline the extremely low potash content which characterizes the Archean volcanic suite.

Goodwin (1968) reconnut la présence de deux types de volcanites archéennes: des roches tholéitiques abondantes surtout dans les épanchements basaltiques et des roches calco-

Goodwin (1968) recognized the occurrence of two types of Archean volcanics: tholeiitic rocks mostly abundant in basalt effusions and calc-alkaline rocks which occur in the more differentiated

alcalines qui sont présentes dans les produits plus différenciés. Le volcanisme archéen, du point de vue chimique, peut être caractérisé par sa déficience en K_2O et TiO_2 et par sa teneur élevée en FeO .

Baragar, en 1968, dans l'étude des volcanites de Noranda, précisa les idées de Goodwin (1968) en reconnaissant d'une part une analogie chimique d'ensemble des roches de Noranda avec les basaltes circumocéaniques (Chayes, 1964) à l'exception de teneurs faibles en Al_2O_3 et K_2O , et d'autre part, une affinité partielle, due au teneurs en K_2O , avec les basaltes océaniques tholéitiques de Engel *et al.* (1965).

Baragar, en 1972, en considérant cette fois plusieurs ceintures volcaniques, attribua aux termes basaltiques une affinité avec les basaltes océaniques. Les différences entre les deux ensembles résident dans les teneurs des roches archéennes, plus faibles en alumine, un peu plus faibles en TiO_2 et plus élevées en potasse et dans le rapport fer-magnésium. La lignée de différenciation locale la plus répandue est de type calco-alcalin; à cette lignée peut se superposer la lignée tholéitique. Cette dernière est attribuée à une différenciation dans des réservoirs situés à faible profondeur. En outre, par rapport à la série calco-alcaline des ceintures circumpaci-fiques récentes, la séquence volcanique archéenne est caractérisée par une faible teneur en K_2O et par un comportement aléatoire de l'alumine. En effet, dans les laves circumpaci-fiques, la teneur en alumine décroît en fonction de la différenciation tandis que la tendance locale du même oxyde est variable, pouvant augmenter, diminuer ou rester constante.

L'étude de Alsac *et al.* (1971) des volcanites de Val-d'Or, dans

products. The Archean volcanism can, from a chemical point of view, be characterized by its deficiency in K_2O and TiO_2 and its high FeO content.

Baragar's (1968) study on the Noranda volcanics specifies Goodwin's (1968) ideas by recognizing, first, a general chemical analogy between the Noranda rocks and the circum-oceanic basalts (Chayes, 1964), except for low values in Al_2O_3 and in K_2O , and second, a partial affinity, due to K_2O content, with tholeiitic oceanic basalts of Engel *et al.* (1965).

In 1972, Baragar, then considering many other volcanic belts, attributed to the basaltic conditions an affinity with the oceanic basalts. The differences between the two groups lie in the contents of the Archean rocks which are lower in alumina, a little lower in TiO_2 and higher in potash and in the iron-magnesium ratio. The most widespread local differentiation line is a calc-alkaline one on which a tholeiitic line can be superimposed. The latter is attributable to differentiation in reservoirs that are shallowly located. In addition, and with regards to the calc-alkaline series of recent circum-Pacific belts, the Archean volcanic sequence is characterized by a low K_2O value and by a random behaviour of alumina. In fact, within circum-behaviour of alumina. within circum-Pacific lavas, the alumina content decreases with differentiation whereas the local tendency of the same oxide is variable - it may increase, decrease or remain constant.

Alsac's *et al.* (1971) study of the Val-d'Or volcanic rocks which are

lesquelles le batholite de Bourlamaque est intrusif, a mis en évidence deux tendance de différenciation: tholéitique et calco-alkaline. En outre, une partie des basaltes de la deuxième série sont du type riche en alumine.

Hart *et al.* (1970), en se basant sur l'étude de quelques éléments en trace, soulignent l'analogie qui existe entre les volcanites archéennes du Canada et les tholéites modernes pauvres en potassium des arcs insulaires. Pour ce qui est de leur origine, les mêmes auteurs proposent une fusion supérieure à 30% du manteau à faible profondeur (<50 km) et sous une écorce à composition essentiellement mafique.

En plus des particularités chimiques des laves et des propositions génétiques qui en découlent, il résulte de ces travaux que, localement, deux séries magmatiques peuvent être simultanément présentes: la série tholéitique et la série calco-alkaline.

CLASSIFICATION PETROLOGIQUE DU BATHOLITE

Les roches du batholite de Bourlamaque ne montrent aucune affinité avec les magmas alcalins. Leur nature franchement subalkaline (Chayes, 1964) apparaît dans les diagrammes $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ vs SiO_2 (MacDonald et Katsura, 1964) et Ne-Ol-Qz normatifs (Yoder et Tilley, 1962) (fig. 22). Dans le diagramme ternaire les roches de Bourlamaque s'avèrent correspondre à un ensemble sursaturé en quartz et ce caractère est partagé même par les dykes basaltiques synplutoniques locaux. Dans le

intruded by the Bourlamaque batholith has evidenced two differentiation trends: tholeitic and calc-alkaline. In addition, part of the basalts from the second series are of the high-alumina type.

Hart *et al.* (1970), while relying on the study of some trace elements, underline the existing analogy between Archean volcanics from Canada and potassium-poor modern tholeites from the island arcs. As for their origin, these authors suggest a greater than 30% fusion of the mantle at low depth (<50 km) and under an essentially mafic crust.

In addition to these chemical particularities of the lava and of the genetic propositions which follow therefrom, the results of the study are that, locally, two magmatic series can be simultaneously present: the tholeitic series and the calc-alkaline one.

PETROLOGICAL CLASSIFICATION OF THE BATHOLITH

The rocks from the Bourlamaque batholith do not show any affinity for alkaline magmas. Their purely sub-alkaline nature (Chayes, 1964) is shown in the $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ vs SiO_2 (MacDonald and Katsura, 1964) and Ne - Ol - Qz normative diagrams (Yoder and Tilley, 1962) (fig. 22). The ternary diagram shows the Bourlamaque rocks to correspond to a supersaturated quartz unit; this character is even shared by local synplutonic basaltic dykes. In the AFM diagram (figure 23) describing

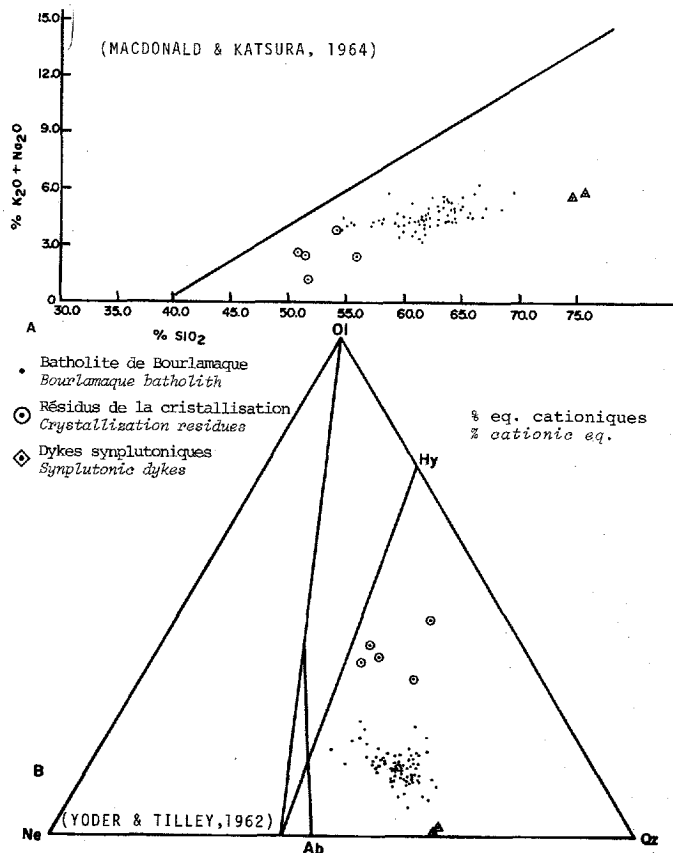


FIGURE 22 - Diagrammes silice versus alcalis et Ne-Ol-Qz.
Silica versus alkalis and Ne-Ol-Qz diagrams.

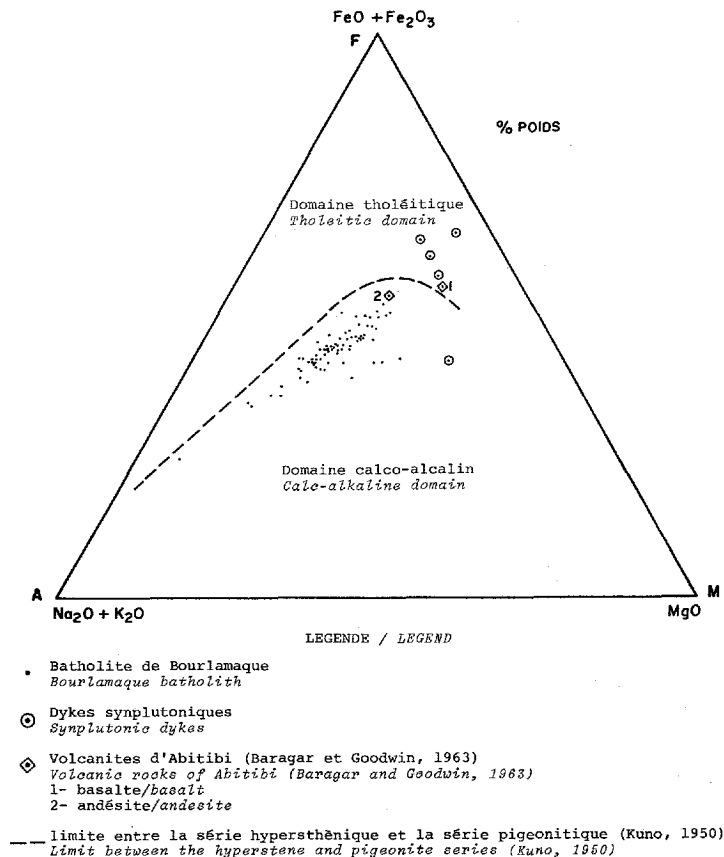


FIGURE 23 - Diagramme AFM du batholite de Bourlamaque.
AFM diagram of the Bourlamaque batholith.

diagramme AFM (figure 23), décrivant dans une suite donnée les variations du rapport FeO/MgO en fonction de la variation en alcalis, les roches de Bourlamaque sont situées dans le domaine calco-alcalin défini par Kuno (1950) et se distribuent suivant une lignée montrant un rapport FeO/MgO presque constant. Une répartition d'échantillons comagmatiques le long d'une droite telle que montrée à la figure 23 est typique de la série calco-alcaline (Nockolds et Allen, 1953). Remarquons que l'intervalle de différenciation du batholite de Bourlamaque est plutôt restreint, la série calco-alcaline typique étant d'habitude plus différenciée. Par contre la présence d'une série calco-alcaline est confirmée par la constatation que les lithotypes prépondérants sont des roches à composition intermédiaire ($X_{SiO_2} = 60\%$).

Dans le diagramme AFM, les dykes synplutoniques, qui dans notre interprétation devraient représenter des faciès moins différenciés, quoique comagmatiques avec les roches du batholite, se situent dans le domaine tholéitique. Le chevauchement de la ligne Kuno (*op. cit.*), qui devrait séparer les séries tholéitiques des séries calco-alcalines est indiqué aussi par les volcanites de l'Abitibi (figure 23). D'après L. Gélinas (1974, communication orale) ce phénomène est fréquent dans de nombreuses ceintures volcaniques archéennes. Puisque la nature pétrologique d'une série ignée est donnée par sa tendance générale et non par la localisation de quelques uns de ses échantillons, le fait que nous venons d'observer pourrait poser le problème suivant: le magma tholéitique peut-il dans des conditions particulières, évoluer dans le domaine calco-alcalin? (Ce sujet sera repris plus loin dans le paragraphe sur l'origine du batholite).

the variations of the FeO/MgO ratio for a given suite with regards to the variations in alkalis, the Bourlamaque rocks are located in the calc-alkaline domain defined by Kuno (1950); they are distributed according to a line which indicates an almost constant FeO/MgO ratio. A distribution of comagmatic samples along a straight line such as that indicated by figure 23 is typical of the calc-alkaline series (Nockolds and Allen, 1953). It is worth noting that the differentiation interval of the Bourlamaque batholith is rather restricted, the typical one usually being more differentiated. On the other hand, the occurrence of a calc-alkaline series is supported by ascertaining that the preponderant lithotypes are rocks intermediate in composition ($X_{SiO_2} = 60\%$).

In the AFM diagram, the synplutonic dykes which, according to our interpretation, should represent less differentiated facies, although comagmatic with the batholith rocks, lie in the tholeiitic domain. The overlapping of the Kuno line (*op. cit.*), which should distinguish the tholeiitic series from the calc-alkaline ones, is also indicated by the Abitibi volcanics (figure 23). According to L. Gélinas (1974, oral communication), this phenomenon is common in numerous Archean volcanic belts. Since the petrological nature of an igneous series is given by its general tendency rather than by the location of some of its samples, the above-mentioned fact could present the following problem: can, in particular conditions, tholeiitic magma evolve in a calc-alkaline domain? (This subject will be discussed later in the paragraph on the origin of the batholith).

Une réponse affirmative semble d'une part offerte par le diagramme de Miyashiro (1973) qui étudie les variations FeO/MgO en fonction de SiO_2 (figure 24) et qui effectivement montre une région commune où prennent naissance les deux types de magmas. Bien que les deux diagrammes considérés constituent une vue partielle de l'ensemble de n plans (où n =nombre d'éléments chimiques d'une roche), le fait que l'observation porte sur les paramètres utilisés couramment pour différencier les deux séries plaide en faveur de sa validité. Sur le graphique de Miyashiro (figure 24) les roches de Bourlamaque appartiennent incontestablement au domaine calco-alkalin. Sur ce graphique deux des trois échantillons utilisés pour définir le magma primaire de Bourlamaque tombent tout près de la ligne de séparation des deux séries mais dans le champ tholéitique. A la lumière de cette constatation il semble difficile de différencier les deux séries au niveau des basaltes, du moins d'après les paramètres jusqu'ici pris en considération.

D'autre part le diagramme $\text{alkalis versus alumine}$ de Kuno (1960) semble appuyer l'hypothèse selon laquelle un magma tholéitique peut évoluer dans le domaine calco-alkalin (figure 25). A vrai dire, ce diagramme ne montre pas un domaine calco-alkalin spécifique, mais un domaine riche en alumine. Or puisque le magma primaire de Bourlamaque et tous les magmas parents des séries calco-alkalines présentées par Nockolds et Allen (1953) tombent dans le champ riche en alumine de Kuno, cela nous amène à envisager que s'il y a un magma commun à partir duquel la série calco-alkaline se génère, sa composition chimique est probablement semblable à celle des magmas de la série riche en alumine. Cette idée est partagée par quelques auteurs, entre autres par Osborn (1959, 1962),

Miyashiro's (1973) diagram appears to provide a positive answer to this question; it studies the FeO/MgO variations with regards to SiO_2 (fig. 24) and it actually shows a common region where the two types of magma originate. Although the two diagrams considered form a partial view of the whole of the n plans (where n = number of chemical elements in a rock), the fact that the observation deals with parameters which are frequently used to differentiate between the two series argues for its validity. The Bourlamaque rocks on Miyashiro's diagram (fig. 24) clearly belong to the calc-alkaline domain. On this graph, two of three samples that were used to define the Bourlamaque primary magma fall close to the boundary line of the two series but within the tholeiitic field. In the light of this observation it appears difficult to differentiate the two series at the basalt level, at least after the parameters that have been considered thus far.

On the other hand, Kuno's (1960) $\text{alkalis versus alumina}$ diagram appears to support the hypothesis according to which a tholeiitic magma can evolve in a calc-alkaline domain (figure 25). As a matter of fact, this diagram does not show a specific calc-alkaline domain but rather a high-alumina one. Yet, since the Bourlamaque primary magma and all the parent magmas of the calc-alkaline series presented by Nockolds and Allen (1953) fall in Kuno's high-alumina field, we are led to believe that, if there is a common magma from which a calc-alkaline series is generated, its chemical composition is probably similar to that of the magmas belonging to the high-alumina series. This idea is shared by some authors such as Osborn (1959, 1962), Hamilton (1964), O'Hara (1965), and Lewis (1967).

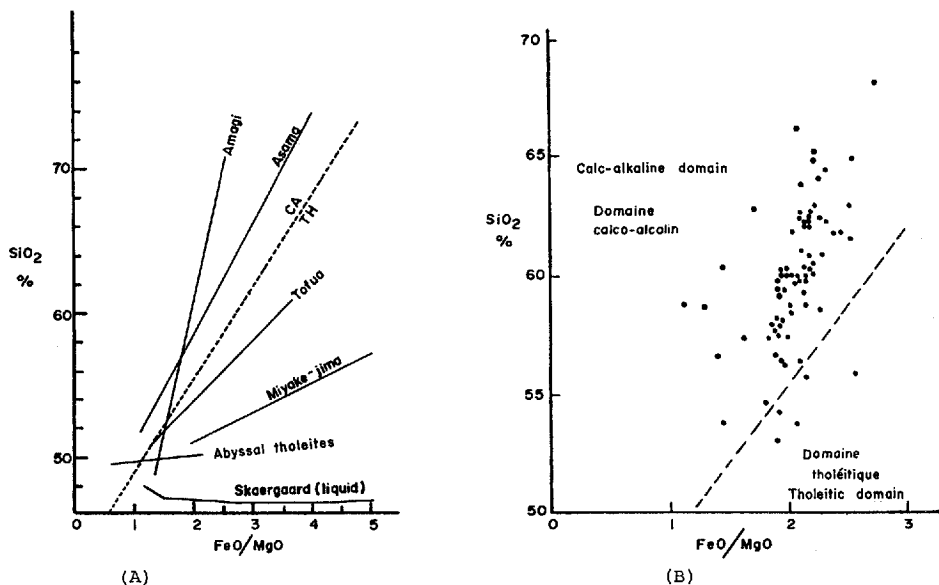
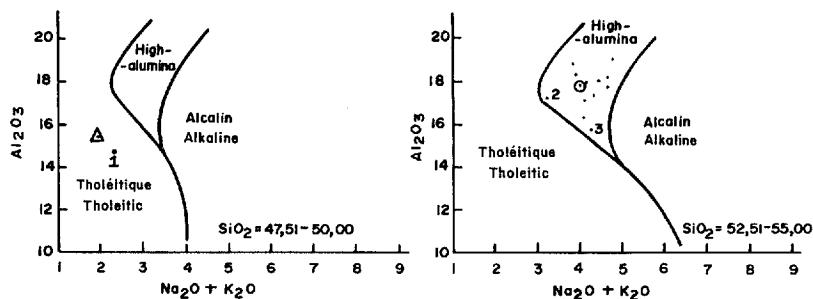


FIGURE 24 - Diagramme SiO_2 vs FeO/MgO montrant (A) quelques suites ignées (Miyashiro, 1973) et (B) la localisation des roches de Bourlamaque / SiO_2 vs FeO/MgO diagram showing (A) some igneous suites (Miyashiro, 1973) and (B) location of the Bourlamaque rocks.



LEGENDE/LEGEND

magma parent du batholite de Bourlamaque	⊙ parent magma of the Bourlamaque batholith
dykes synplutoniques	△ synplutonic dikes
basalte des volcanites d'Abitibi (Baragar et Goodwin, 1969)	1 Abitibi volcanic basalts (Baragar and Goodwin, 1969)
leucobasalte	2 leucobasalt
andésite	3 andesite
magmas parents des suites calco-alcalines. de Nockolds et Allen (1953)	parent magmas of the calc-alkaline suites form Nockolds and Allen (1953)

FIGURE 25 - Domaines des séries magmatiques d'après Kuno (1960) / Domains of the magmatic series after Kuno (1960).

Hamilton (1964), O'Hara (1965) et Lewis (1967).

La figure 25 montre la composition chimique des volcanites de l'Abitibi, dont la consanguinité est un fait accepté (Baragar, 1968; Alsac *et al.*, 1971). Elle permet aussi de mettre en évidence que les basaltes d'une part, et les andésites et les leucobasaltes* d'autre part tombent respectivement dans le domaine tholéitique et riche en alumine. De même, le magma parent de Bourlamaque montre un caractère riche en alumine accentué tandis que les leucobasaltes, tout en appartenant déjà à la série riche en alumine, occupent une position intermédiaire entre Bourlamaque et les basaltes locaux. L'andésite moyenne de l'Abitibi, peu enrichie en Al par rapport au basalte, confirme l'opinion de Baragar (1972) suivant laquelle l'alumine a pu avoir un comportement différent lors de la différenciation de la suite volcanique de l'Abitibi.

Un autre discriminant utile pour séparer les deux séries subalkalines est, d'après Miyashiro (1973), le comportement de TiO_2 lors de la différenciation. Cette idée est basée sur la cohérence géochimique de Ti avec Fe', ces deux éléments s'enrichissant également dans la différenciation des magmas tholéitiques (Al'mukhamenov, 1967). Ainsi, ces derniers, caractérisés par un enrichissement en TiO_2 avec un maximum lors de la cristallisation fractionnée (figure 9), pourraient être distingués des magmas calco-alkalins qui montreraient une diminution progressive en TiO_2 . Le paramètre de Miyashiro ci-haut mentionné confirme l'appartenance des roches de Bourlamaque, au domaine calco-alkalin.

* basalte riche en minéraux leucocrates, (Streckeisen, 1967).

Figure 25 shows the chemical composition of the Abitibi volcanics the consanguinity of which is an accepted fact (Baragar, 1968; Alsac *et al.*, 1971). It also allows the proposal that the basalts on the one hand and the andesite and leucobasalts* on the other hand respectively fall in the tholeiitic and high-alumina domain. In addition, the Bourlamaque parent magma shows a high-alumina character whereas leucobasalts, while already belonging to the high-alumina series, occupy an intermediate position between Bourlamaque and the local basalts. The average Abitibi andesite, poorly enriched in Al compared to basalt, supports Baragar's (1972) opinion that alumina could have had a different behaviour during the differentiation of the Abitibi volcanic suite.

Another useful discriminant in distinguishing between the two sub-alkaline series is, according to Miyashiro (1973), the behaviour of TiO_2 during crystallization. This idea is based on the geochemical coherence of Ti with Fe'; these two elements become equally enriched during the differentiation of the tholeiitic magmas (Al'mukhamenov, 1967). Hence, these latter, which are characterized by a TiO_2 enrichment reaching its maximum during fractional differentiation (fig. 9), could be distinguished from calc-alkaline magmas that would show a progressive decrease in TiO_2 . The above-mentioned Miyashiro's parameter supports the connection of the Bourlamaque rocks with the calc-alkaline domain.

* basalt rich in leucocratic minerals (Streckeisen, 1967).

Une particularité de l'intrusion de Bourlamaque ressort du diagramme AFM de la figure 26 où sa lignée de différenciation est comparée à celle d'autres suite magmatiques calco-alcalines (Nockolds et Allen, 1953). La lignée de Bourlamaque, caractérisée, comme nous l'avons vu, par un rapport Fe/Mg presque constant, recoupe les autres lignées qui montrent une croissance lente de ce même rapport. Le comportement particulier des roches de Bourlamaque pourrait s'expliquer par la minéralogie monotone du batholite où la distribution du fer et du magnésium est contrôlée par la cristallisation de la hornblende et par des quantités mineures de magnétite titanifère. Cette hypothèse est en accord avec l'opinion émise par T.H. Green (1972) selon laquelle, dans une suite andésitique, l'amphibole est la seule phase ferromagnésienne à se séparer; la cristallisation simultanée de quelque 2% de magnétite serait suffisante pour stabiliser le rapport Fe/Mg à des valeurs à peu près constantes.

Le diagramme $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ (figure 27) montre l'extrême pauvreté en potasse du magma de Bourlamaque. La différenciation se produit avec un faible enrichissement en potassium. Considérant séparément les faciès les plus différenciés des deux intrusions principales, l'intrusion précoce évolue vers des termes trondhjémiques sans un enrichissement appréciable en potassium, tandis que l'intrusion tardive, tout en gardant un caractère déficient en K, montre un enrichissement plus rapide en cet élément. L'évolution de l'intrusion précoce vers des produits essentiellement sodiques, avec un très faible enrichissement d'ensemble en potassium, est un phénomène commun aux séries pauvres en potassium (cf. les volcanites locales, Baragar, 1972). Miyashiro *et al.* (1970) citent une aplite ($\text{SiO}_2 = 78\%$) produit probable de la différenciation des tholéites

One peculiarity of the Bourlamaque intrusive arises from the AFM diagram of figure 26 where the differentiation line is compared to that of other calc-alkaline magmatic suites (Nockolds and Allen, 1953). The Bourlamaque line is characterized, as we have seen, by an almost constant Fe/Mg ratio; it cuts across other lines which show a slow growth of this same ratio. The particular behaviour of the Bourlamaque rocks may be explained by the monotonous mineralogy of the batholith where iron and magnesium distribution is controlled by the crystallization of hornblende and by minor amounts of titaniferous magnetite. This hypothesis is in agreement with the opinion brought forward by T.H. Green (1972) according to which, in the case of an andesite suite, the amphibole is the only ferromagnesian phase to separate; the simultaneous crystallization of some 2% of magnetite would be sufficient to stabilize the Fe/Mg ratio at almost constant values.

The $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$ diagram (figure 27) shows the extreme potash poverty of the Bourlamaque magma. Differentiation occurs with a weak enrichment in potassium. When the most differentiated facies of the two main intrusions are considered separately, the early intrusion evolves towards trondhjemitic terms, without any noticeable potassium enrichment whereas the late intrusion, while keeping a K deficient character, shows a more rapid enrichment in this element. The evolution of the late intrusion towards essentially sodic products, with a very low general enrichment in potassium, is a phenomenon which is common to potassium-poor series (cf. local volcanics, Baragar, 1972). Miyashiro *et al.* (1970) mention an aplite ($\text{SiO}_2 = 78\%$) which is a probable product of the differentiation of abyssal tholeiites, with 0.06% in K_2O ; Gill (1970) points to a rhyolite ($\text{SiO}_2 = 75\%$) derived from the differentiation

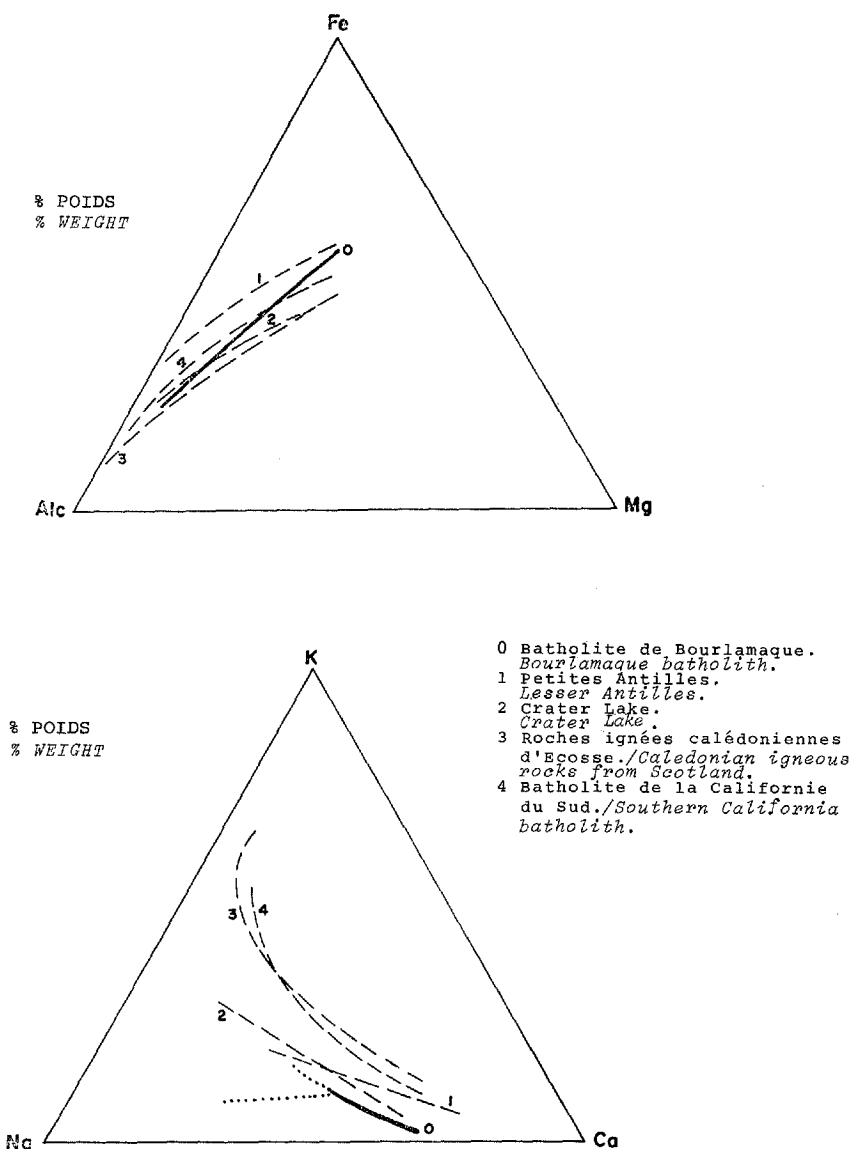


FIGURE 26 - Comparaison sur les diagrammes AMF et KCN de la lignée de Bourlamaque avec celles d'autres suites calco-alkalines (Nockolds et Allen, 1953)./Comparison on AMF and KCN diagrams of the Bourlamaque stock with that of other calc-alkaline suites (Nockolds and Allen, 1953).

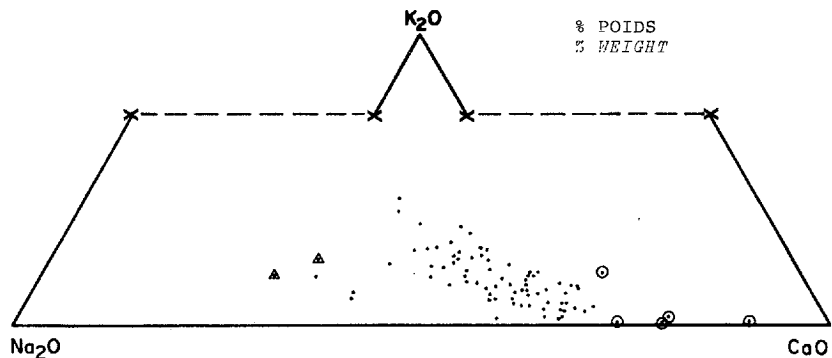


FIGURE 27 - Diagramme Na_2O - K_2O - CaO du batholite de Bourlamaque (.) et des dykes synplutoniques (⊙). A noter l'affinité Trondhjémite des résidus de la cristallisation (Δ) de l'intrusion précoce. / Na_2O - K_2O - CaO diagram of the Bourlamaque batholith and other synplutonic dykes (⊙). Note the trondhjemitic affinity of the crystallization residues (Δ) of the early intrusion.

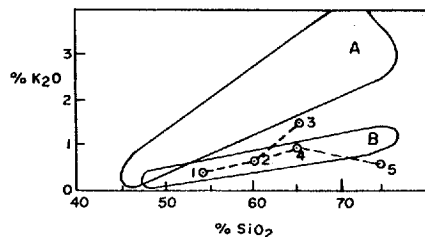


FIGURE 28 - Les domaines magmatiques récents: (A) calco-alcalin et (B) tholéitique des arcs insulaires. (Extrait de Jakes et Gill, 1970). Recent magmatic domains: (A) calc-alkaline and (B) island arc tholeiites (from Jakes and Gill, 1970).

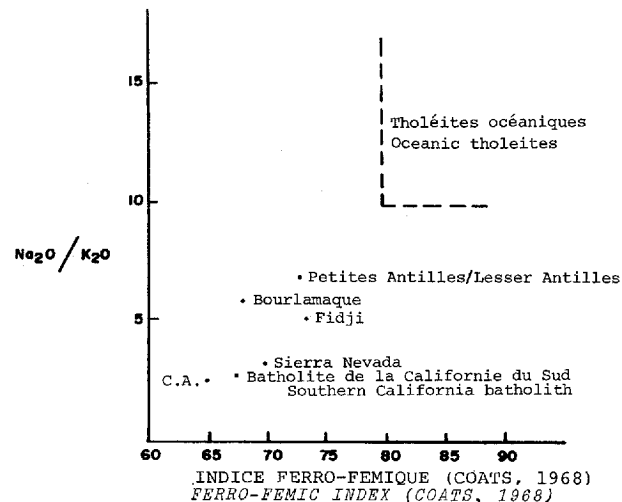


FIGURE 29 - Diagramme suggéré pour séparer la série des tholéites océaniques de la série calco-alkaline (C.A.). Les tholéites des arcs insulaires occupent une position intermédiaire. Suggested diagram to distinguish the oceanic tholeiitic series from the calc-alkaline series (C.A.). The island arcs tholeiites lie in an intermediate position.

⊙ BATHOLITE DE BOURLAMAQUE/BOURLAMAQUE BATHOLITH

1 Magma primaire/Primary magma

2 Termes moins différenciés de l'intrusion tardive et composition moyenne du batholite/Less differentiated terms of the late intrusion and average composition of the batholith.

3 Termes plus différenciés de l'intrusion tardive / More differentiated terms of the late intrusion

4 Termes plus différenciés de l'intrusion précoce / More differentiated terms of the early intrusion

5 Résidus de la cristallisation de l'intrusion précoce / Crystallization residues of the early intrusion.

abyssales, avec 0.06% en K_2O ; Gill (1970) signale une rhyolite ($SiO_2 = 75\%$) issue de la différenciation des plutonites appartenant aux tholéites des arcs insulaires, qui contient 0.24% en K_2O . Le comportement de l'intrusion précoce évoluant vers des termes trondhjémiques pourrait être vaguement comparé à celui d'une série tholéitique, tandis que celui de l'intrusion tardive enrichie modérément en potassium pourrait signifier une tendance de type calco-alcalin (figure 28).

L'analogie des roches de Bourlamaque avec celles des Petites Antilles et aussi avec celles de Crater Lake, est évidente sur le diagramme KCN (figure 26). La même figure montre encore qu'il existe d'autres suites calco-alcalines (batholite de la Californie du Sud; roches ignées calédoniennes de l'Ecosse) dans lesquelles le comportement du potassium est totalement différent de celui observé dans les suites précédentes; abondant au départ, il le devient de plus en plus dans les produits plus différenciés. Dickinson (1967) a déjà avancé une subdivision des séries calco-alcalines en fonction de la teneur en potassium: les séries calco-alcalines des arcs insulaires seraient plus pauvres en potassium que celles des bordures continentales.

D'après les différents critères considérés, l'appartenance des roches de Bourlamaque à la série calco-alcaline semble se confirmer. Cependant, un paramètre (la présence de potassium en teneur extrêmement faible et un enrichissement peu marqué de cet élément hors de la différenciation) ne semble pas satisfaire complètement aux exigences de la série calco-alcaline. Ce caractère, qu'on a déjà vu partagé avec la suite des Petites Antilles, est typique d'un certain nombre de suites volcaniques modernes appartenant aux arcs insulaires (Dickinson, 1967; Gill, 1970). Jakes et Gill

of plutonic rocks which belong to island arc tholeites; the K_2O content reaches 0.24%. The behaviour of the early intrusion which evolves towards trondhjemitic conditions could be vaguely compared to that of a tholeitic series whereas that of the moderately potassium-enriched late intrusion could be interpreted as a tendency to a calc-alkaline type (figure 28).

The analogy of the Bourlamaque rocks with those of Lesser Antilles and also those of Crater Lake is evident in the KCN diagram (figure 26). This same figure also shows other calc-alkaline series to exist (Southern California batholith, Calendonian igneous rocks from Scotland) in which the behaviour of potassium is entirely different from that observed in the preceding suites; abundant in the beginning, it becomes more and more so in the most differentiated products. Dickinson (1967) has already suggested a subdivision of the calc-alkaline series based on the potassium content: the island arcs calc-alkaline series would be poorer in potassium than those of the continental margins.

According to the different criteria that were considered, the connection of the Bourlamaque rocks with the calc-alkaline series appears to be corroborated. However, one parameter (the occurrence of an extremely low potassium content and a hardly noticeable enrichment of this element outside the differentiation) does not appear to entirely satisfy the requirements of the calc-alkaline series. This character, which was shared by the Lesser Antilles suites, is typical of a certain number of modern volcanic suites associated with island arcs (Dickinson, 1967; Gill, 1970). Jakes and Gill (1970),

(1970) en attribuant à ces magmas pauvres en potasse plus d'affinités avec les tholéïtes océaniques ont proposé la dénomination de tholéïtes des arcs insulaires. Les mêmes auteurs ont également proposé, en reprenant une idée de Dickinson (1968), un graphique silice/potasse (figure 28) séparant le domaine calco-alcalin de celui de leur nouvelle série magmatique. Les tholéïtes des arcs insulaires actuels présentent dans l'ensemble des caractéristiques chimiques intermédiaires entre celles de la série tholéïtique et celles de la série calco-alcaline (tab. 12), tel que montré par leurs teneurs en SiO_2 , TiO_2 , Rb et Sr et par les valeurs de leur rapport $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ et Sr/Rb . De plus, elles montrent un rapport K/Rb de type tholéïtique et de faibles teneurs en Cr et Ni comparables à celles de la suite calco-alcaline. Les roches de Bourlamaque, du point de vue chimisme, se situent entre la série calco-alcaline et la série des tholéïtes des arcs insulaires de Jakes et Gill. En effet, de la série calco-alcaline sont typiques les teneurs en SiO_2 et TiO_2 et les rapports Sr/Rb ; tandis que la teneur en K et les variations de cet élément lors de la différenciation, le rapport $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ et les teneurs en Sr et Cr apparentent les roches du batholite à la série des tholéïtes des arcs insulaires.

Le tableau 12 nous montre encore qu'il existe une variation continue entre les tholéïtes océaniques et les roches calco-alcalines du moins au niveau de certains paramètres. Le rapport Na/K et le degré d'enrichissement en fer nous semblent deux variables "indépendantes" qui pourraient être utilisées pour séparer graphiquement les deux séries (figure 29). Mais l'utilisation du rapport $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ peut avoir l'inconvénient de ne pas représenter la distribution primaire de ces deux éléments relativement mobiles

attributing a greater affinity of these potash-poor magmas to the oceanic tholeites, have suggested the name of island arcs tholeites. The same authors have also proposed, after Dickinson (1968), a silica/potash graph (figure 28) which separates the calc-alkaline domain from that of their new magmatic series. The current island-arcs tholeites generally show chemical characteristics that are intermediate between those of the tholeitic series and those of the calc-alkaline one (table 12); this is indicated by their SiO_2 , TiO_2 , Rb and Sr contents and by the values of their $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ and Sr/Rb ratios. In addition, they show a K/Rb ratio which is typical of tholeites and low values in Cr and Ni similar to those of the calc-alkaline series. From a chemical point of view the Bourlamaque rocks are located between the calc-alkaline series and the Jakes and Gill island arcs tholeitic series. Indeed, the SiO_2 and TiO_2 contents and the Sr/Rb ratios are typical of the calc-alkaline series; the K content and the variations of $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ratio and the Sr and Cr contents relate the batholith rocks with the island-arcs tholeitic series.

Table 12 also shows the existence of a continuous variation between the oceanic tholeites and the calc-alkaline rocks, at least for some parameters. The Na/K ratio and the level of iron enrichment appear to be to independent variables which could be used to graphically distinguish between the two series (figure 29). However, the use of the $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ratio may have the disadvantage of not representing the primary distribution of these two relatively mobile elements during metamorphism. In that case, the use of the

lors du métamorphisme. Le cas échéant, on suggère l'emploi des teneurs en strontium, élément peu mobile qui aussi, d'après le tableau 12, montre une variation progressive entre les deux séries.

strontium content, which is also a rather stable element, is suggested; table 12 also shows this element to have a progressive variation between the two series.

TAB. 12 - QUELQUES PARAMETRES GEOCHIMIQUES DU BATHOLITE DE BOURLAMAQUE COMPARES A CEUX DES SERIES CALCO-ALCALINES, DES THOLEITES DES ARCS INSULAIRES ET DES THOLEITES OCEANIQUES (extrait de Jakes et Gill, 1970 et de Gill, 1970).
SOME GEOCHEMICAL PARAMETERS OF THE BOURLAMAQUE BATHOLITH COMPARED TO THOSE OF CALC-ALKALINE SERIES, ISLAND ARCS THOLEITES, AND OCEANIC THOLEITES (from Jakes and Gill, 1970 and Gill, 1970).)

		A	B	C	D
% SiO ₂	gamme/series	53-70	53-68	45-70	47-62
	mode /mode	59	60	53	49
% TiO ₂		0.5-1.2	0.7-1.0	0.5-1.5	1.0-2.5
% Al ₂ O ₃		16-19	15-19	14-19	14-19
ppm Rb		30	22	3-10	0.2-5.0
ppm Sr		380	234	100-200	70-150
ppm Ni		18	27	0-30	30-200
ppm Cr		56	25	0-50	200-400
Na ₂ O/K ₂ O		2-3	3.5-8	4-6	10-15
K/Rb		400-500	250-340	1000	1000
Sr/Rb		13	11	23	46
% K ₂ O à/at 60% SiO ₂		1-1.5	0.64	0.6	-
Δ K ₂ O en % pour 5% SiO ₂		0.5	0.2	0.2	-
Δ K ₂ O in % for 5% SiO ₂					
Indice ferro-fémique Ferrofemic index		65	68.2	74	>80

A: Série calco-alkaline

B: Batholite de Bourlamaque

C: Série des tholéites des arcs insulaires

D: Série des tholéites océaniques.

A: Calc-alkaline series

B: Bourlamaque batholith

C: Island arcs tholeite series

D: Oceanic tholeite series

Les diagrammes précédents basés sur le degré d'enrichissement en fer d'une série magmatique donnée ne permettent pas de distinguer les basaltes de la série calco-alkaline de ceux de la série tholéitique océanique. Par contre, un certain nombre d'autres paramètres géochimiques (Lewis, 1971) semblent être plus adéquats et offrir une alternative intéressante. Ainsi le tableau 13 montre d'une part le pouvoir discriminatoire des teneurs

The preceding diagrams, which were based on the level of iron enrichment of a given magmatic series, do not allow for the distinction of basalts of the calc-alkaline series from those of the oceanic tholeiitic series. On the contrary, a certain number of other geochemical parameters (Lewis, 1971) appear to be more adequate and to offer an interesting alternative. Hence, table 13 shows, on the one hand, the discriminatory power of the Ti and K contents and

en Ti et K et des rapports Na/K, K/Rb, Sr/Rb et Ni/Co dans les faciès basaltiques des deux suites et d'autre part confirme la nature plutôt calco-alkaline du magma primaire du batholite de Bourlamaque. Le basalte moyen de l'Abitibi (Baragar et Goodwin, 1969) est manifestement différent des tholéites océaniques et il occupe une position intermédiaire entre ces dernières et le magma de Bourlamaque exactement comme les tholéites des arcs insulaires de Jakes et Gill (*op. cit.*). Les paramètres géochimiques du tableau 13 révèlent encore que les basaltes de l'Abitibi et le magma de Bourlamaque, à l'exception des teneurs en K et en Ti, ressemblent plus aux basaltes océaniques alcalins qu'aux basaltes tholéitiques. La valeur du rapport Ni/Co (0.98) des basaltes calco-alkalins circum-océaniques de Lewis (*op. cit.*) doit être prise avec précaution, étant donné qu'elle provient de deux populations bien différentes et d'une troisième à caractère intermédiaire. La première population avec une moyenne de Ni/Co = 2.5 est représentée par les laves de Lassen Peak (Ni/Co = 2), de Crater Lake (2.8), de Paricutin (3.3) et de la suite intrusive et effusive des roches ignées calédoniennes de l'Ecosse (2). Le deuxième groupe, dont la valeur moyenne est de 0.54, comprend les laves des Petites Antilles (0.54), de la Sierra Nevada centro-orientale (0.5) et du volcan Hakone, série hypersthénique (0.6). Les roches du batholite de la Californie du Sud ont un rapport intermédiaire entre les deux précédents, soit 1.5, très semblable à celui de Bourlamaque qui est égal à 1.2.

of the Na/K, K/Rb, Sr/Rb and Ni/Co ratios in the basaltic facies of both suites, and on the other hand, support the calc-alkaline nature of the Bourlamaque batholith primary magma. The average Abitibi basalt (Baragar and Goodwin, 1969) is clearly different than the oceanic basalts; it holds an intermediate position between the latter and the Bourlamaque magma, exactly like the Jakes and Gill island arcs tholeites (*op. cit.*). The geochemical parameters of table 13 also reveal that the Abitibi basalts and the Bourlamaque magma, except for the K and Ti contents, look more like the alkaline oceanic basalts than like the tholeiitic basalts. The value of the Ni/Co ratio within Lewis' (*op. cit.*) circum-oceanic calc-alkaline basalts is 0.98; however, it must be used with caution since it originates from two very different populations and from a third intermediate one. The first population has an average Ni/Co value of 2.5 and is represented by lavas from Lassen Peak (Ni/Co = 2), from Crater Lake (2.8), from Paricutin (3.3) and from both the intrusive and effusive suites of the Scottish Caledonian igneous rocks (2). The second group, with an average value of 0.54, includes lavas from the Lesser Antilles (0.54), from the mid-eastern Sierra Nevada (0.5) and from the Hakone volcano hypersthénic series (0.6). The rocks from the Southern California batholith have a ratio which is intermediate between the first two, that is 1.5; it is very similar to that of Bourlamaque which is equal to 1.2.

TAB. 13 - COMPARAISON DE CERTAINS PARAMETRES GEOCHIMIQUES DES MAGMATITES ARCHEENNES DE L'ABITIBI (C: BARAGAR ET GOODWIN, 1969) AVEC CEUX DES SERIES MAGMATIQUES RECONNUES (extraits de Lewis, 1971; A: Lewis, 1971 et Nockolds et Allen, 1953; D et E: Engel et al., 1965) / COMPARISON BETWEEN SOME GEOCHEMICAL PARAMETERS OF ARCHEAN MAGMATIC ROCKS FROM ABITIBI (C: BARAGAR AND GOODWIN, 1969) AND KNOWN MAGMATIC SERIES (from Lewis, 1971; A: Lewis, 1971 and Nockolds and Allen, 1953; D and E: Engel et al., 1965).

	A	B	C	D	E
Ti	0.66	0.55	0.65	0.89	1.72
K	0.40	0.37	0.21	0.13	1.37
Na/K	5	7	7	16	2
K/Rb	364	336	330	1300	418
Sr/Rb	26	20	25	130	25
Ni/Co	0.98	1.20	2.4	3	2

A: basalte moyen circum-océanique calco-alkalin

B: magma primaire du batholite de Bourlamaque.

C: basalte moyen de l'Abitibi

D: tholéïte océanique moyenne

E: basalte alcalin océanique moyen

A: circum-oceanic calc-alkaline average basalt

B: primary magma from the Bourlamaque batholith

C: average basalt from Abitibi

D: average oceanic tholeiite

E: average oceanic alkaline basalt

Le rapport Ni/Co dans les roches volcaniques de Fidji (Gill, 1970) ne montre pratiquement pas de différence entre la série des tholéïtes des arcs insulaires (0.3) et la série calco-alkaline (0.5); ce fait pourrait être interprété comme un facteur qui joue en faveur d'une origine similaire aux deux séries. Toujours dans les îles Fidji, les intrusifs de Tholo, considérés comme étant comagmatiques avec les tholéïtes des arcs insulaires (Dickinson, 1967) montrent un rapport Ni/Co allant de 2.5 à 0.5 pour une même teneur en SiO₂ (50%). Malgré les observations limitées aux trois échantillons disponibles, on peut encore noter que le chrome se comporte comme le nickel. Ainsi, les deux échantillons à tendance tholéïtique (Ni/Co = 2.5) contiennent 170 ppm de chrome tandis que l'échantillon à tendance calco-alkaline (Ni/Co = 0.5) n'en contient que 12. Une situation géologique analogue à celle décrite est présentée par le batholite de Bourlamaque où les dykes synplutoniques et

The Ni/Co ratio within the Fidji volcanics (Gill, 1970) shows almost no difference between the island-arcs tholeiitic series (0.3) and the calc-alkaline series (0.5); this could be interpreted as a factor playing for a similar origin for both series. The Fidji Island Tholo intrusives which are considered as being comagmatic with the island-arcs tholeiites (Dickinson, 1967), show a Ni/Co ratio ranging from 2.5 to 0.5 for an identical silica content (50%). Despite the fact that observations were limited to the three available samples, it can still be noted that chromium behaves like nickel. Hence, the two tholeiitic-inclined samples (Ni/Co = 2.5) contain 170 ppm of chromium whereas the calc-alkaline-oriented sample (Ni/Co = 0.5) only contains 12 ppm. A geological situation analogous to that described occurs in the Bourlamaque batholith where the synplutonic dikes and the primary magma show a variation in the Ni/Co ratio and in the Cr content ranging respectively from 2.5 and 116 ppm to 1.2 and 44 ppm.

le magma primaire montrent une variation dans le rapport Ni/Co et dans les teneurs en Cr allant respectivement de 2.5 et 116 ppm à 1.2 et 44 ppm.

Puisque le rapport Ni/Co semble être un paramètre sensible aux phénomènes d'accumulation de cristaux et notamment des olivines, il peut être utilisé avec succès pour détecter les suites ignées contrôlées par un fractionnement dû à la gravité lors de leur évolution. C'est le cas des suites calco-alcalines des Petites Antilles (Wager 1962; Lewis, 1973) et du volcan Hakone au Japon (Aoki et Kuno, 1973). Et cela pourrait être aussi le cas du batholite de la Californie du Sud où les faciès accumulés et les faciès précoces du gabbro de San Marcos sont extrêmement appauvris en Ni (Larsen, 1948).

Le rapport Ni/Co peut être très utile pour caractériser certaines suites calco-alcalines dans la mesure où s'est produite localement une séparation du liquide magmatique d'une portion résiduelle partiellement solide et composée essentiellement de silicates ferromagnésiens. Ce phénomène semble plus typique de la série calco-alcaline que la série tholéitique (Brown et Schairer, 1971; Lewis, 1973) et il a été évoqué par ces auteurs comme un processus possible pour expliquer l'origine de quelques séries calco-alcalines.

Selon les paramètres utilisés couramment, le batholite de Bourlamaque montre plus de similitudes avec la série calco-alcaline; cependant il présente certaines particularités, notamment les faibles teneurs en K, Sr et Rb caractéristiques du magmatisme archéen du Canada. Les volcanites de l'Abitibi, qui sont l'expression extrusive de ce magmatisme, s'apparentent aux tholéites modernes des arcs

Since the Ni/Co ratio appears to be a parameter sensitive to crystal accumulation phenomena, and especially that of the olivines, it can successfully be used to detect the igneous suites which are controlled by fractionation due to gravity during their evolution. The calc-alkaline suites from the Lesser Antilles (Wager, 1962; Lewis, 1973) and from the Japanese Hakone volcano (Aoki and Kuno, 1973) will illustrate this situation. This could also be the case of the Southern California batholith where the accumulated facies and the early facies from the San Marcos gabbro are extremely impoverished in Ni (Larsen, 1948).

The Ni/Co ratio can be very useful to characterize some calc-alkaline suites in so far as a separation of the magmatic liquid from a partially solid residual portion composed largely of ferro-magnesian silicates is produced locally. This phenomenon appears to be more typical of the calc-alkaline series than of the tholeiitic one (Brown and Schairer, 1971; Lewis, 1973); it was invoked by these authors as a possible process to explain the origin of some calc-alkaline series.

According to the currently used parameters, the Bourlamaque batholith shows more similarities with the calc-alkaline series; however, it shows some peculiarities, notably the low K, Sr, Rb contents, which are characteristics of Canadian Archean volcanism. The Abitibi volcanics, which are the extrusive expression of magmatism are connected with modern island-arcs tholeiites although the latter have a K/Rb ratio greater than

insulaire quoique ces dernières aient un rapport K/Rb supérieur à toutes magmatites archéennes locales.

Il est intéressant de noter que, du point de vue chimisme, il existe entre les tholéites océaniques et les roches calco-alcalines une certaine variation progressive où les termes intermédiaires sont représentés par les tholéites modernes des arcs insulaires, les tholéites archéennes et les roches de Bourlamaque. Dans cette optique, le caractère particulier des magmas pauvres en potasse des îles en guirlande semble relié à un environnement géologique spécifique. Le chimisme intermédiaire de ces magmas pourrait leur donner la possibilité, en fonction des conditions physico-chimiques de la cristallisation, d'évoluer vers des termes calco-alcalins ou bien de retenir leur caractère primaire à tendance tholéitique. Ainsi, le caractère des roches de Bourlamaque, sous certains aspects, intermédiaire entre la série calco-alcaline et tholéitique, peut être expliqué par son appartenance à l'environnement spécifique des îles en arc.

Puisque dans les roches de Bourlamaque une contamination par des matériaux de l'écorce est plutôt à exclure, on peut signaler qu'elles représentent un exemple de magma "calco-alcalin" engendré par des processus ignés d'un magma probablement primitif en présence de produits uniquement magmatiques.

De plus amples études sur des suites ignées faisant intervenir les environnements géologiques dans l'espace et dans le temps sont nécessaires afin de pouvoir établir les causes qui régissent leur distribution.

A ce propos, il est important de rappeler l'absence, à notre connaissance, de séries magmatiques archéennes

that of any of the local Archean magmatites.

It is interesting to note that, from a chemical point of view, a certain progressive variation occurs between the oceanic volcanics and the calc-alkaline rocks; the intermediate conditions are represented by the modern island arcs tholeites, the Archean tholeites and the Bourlamaque rocks. In line with this, the peculiar character of the island arc, potash-poor magmas appears to be related to a specific geological environment. The intermediate chemism of these magmas could allow them, depending on the physico-chemical conditions of crystallization, to evolve towards calc-alkaline ends or to retain their tholeiitic-oriented primary character. Hence, the character of the Bourlamaque rocks, intermediate between the calc-alkaline and the tholeiitic series could, under certain aspects, be explained by their connection to the specific environment of the island arcs.

Since a contamination by crust materials in the Bourlamaque rocks is to be excluded, it should be noted that they illustrate a calc-alkaline magma generated by the igneous processes of a probably primitive magma together with uniquely magmatic products.

Further studies on igneous suites in which geological environment intervenes spacewise and timewise are needed to establish the reasons for their distribution.

In line with this, it is important to recall the absence of Archean magmatic series showing a complete

montrant une similitude complète avec la série calco-alkaline qui a été définie à partir des suites magmatiques modernes. Si cette observation se vérifie, alors le magmatisme précambrien à tendance calco-alkaline doit être assimilé au magmatisme récent et pauvre en potassium des arcs insulaires.

La présence unique dans les boucliers précambriens de certains types de roches volcaniques ultramafiques - les komatiite de Viljoen et Viljoen (1969) en Afrique du Sud, de McCall et Leishman (1971) en Australie, de Brooks et Hart (1972) et de Naldrett (1972) au Canada - impose une révision critique de l'acceptation sans réserve du principe de l'uniformitarisme (Lyell, 1830), non pas pour ce qui est des processus géologiques précambriens, mais au niveau des matériaux géologiques présents à ce moment-là et des produits qui en résultaient.

L'association de plusieurs critères (distribution sur les diagrammes AFM et FeO/MgO vs SiO_2 , composition chimique moyenne ($\text{SiO}_2 = 60\%$), teneur en TiO_2 et son comportement lors de la différenciation, et rapports Sr/Rb et K/Rb) permet d'apparenter les roches de Bourlamaque aux roches calco-alkalines. Cependant, la distribution des roches de Bourlamaque sur le diagramme $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO}$ ne montrant pas un enrichissement marqué en potassium lors de la différenciation n'est pas de type calco-alkalin. D'ailleurs, les roches de Bourlamaque montrent une affinité partielle avec les roches de la série des tholéïtes des arcs insulaires à cause de leur teneur en K, des variations de cet élément lors de la différenciation (figure 28), des teneurs en Sr et Cr et des valeurs du rapport $\text{Na}_2\text{O/K}_2\text{O}$.

similarity with the calc-alkaline series defined after modern magmatic suites. Should this observation proved to be true, then the calc-alkaline oriented Precambrian magmatism must be assimilated to the island arcs potassium-poor recent magmatism.

The unique occurrence within the Precambrian Shield of certain types of ultramafic volcanic rocks - the Viljoen and Viljoen (1969) komatiite of South Africa, those of McCall and Leishman (1971) in Australia, and those of Brooks and Hart (1972) and of Naldrett (1972) in Canada - imposes a critical revision of the acceptance without reserve of the principle of uniformitarianism (Lyell, 1830); this should be done, not on the basis of Precambrian geological processes, but at the level of the geological materials present at that time and of resulting products.

The association of many criteria (distribution on the AFM and FeO/MgO vs SiO_2 diagrams, average chemical composition ($\text{SiO}_2 = 60\%$), TiO_2 content and its behaviour during differentiation, and the Sr/Rb and K/Rb ratios) allows one to relate the Bourlamaque rocks to the calc-alkaline ones. However, the distribution of the Bourlamaque rocks on the $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O-CaO}$ diagram does not show a pronounced potassium enrichment during differentiation and is therefore not of the calc-alkaline type. Besides, the Bourlamaque rocks show a partial affinity with the rocks of the island arcs tholeiite series because of their K content, of the variations of this element during differentiation (figure 28), of the Sr and Cr contents, and of the values of the $\text{Na}_2\text{O/K}_2\text{O}$ ratio.

COMPARAISON DU CHIMISME DE BOURLAMAQUE AVEC CELUI DES VOLCANITES LOCALES

Dans cette partie, nous analyserons le chimisme de Bourlamaque à la lumière de la composition des dykes basaltiques synplutoniques et de celle des volcanites locales (Baragar et Goodwin, 1969),

Comme l'étude géochimique a déjà montré certaines similitudes entre les unités intrusives et effusives locales, nous essayerons d'établir si ces affinités peuvent permettre d'envisager aussi la présence d'un lien génétique entre le volcanisme et le plutonisme. Pour ce faire, on utilisera les données du tableau 14 qui compare entre elles les entités suivantes:

- la composition chimique du magma primaire hypothétique de Bourlamaque,
- le chimisme moyen de trois dykes synplutoniques du batholite de Bourlamaque,
- la composition chimique moyenne de trois faciès de la ceinture volcanique de Timmins - Noranda (Abitibi) telle qu'établie par Baragar et Goodwin (1969): soit le basalte, l'andésite et le lithotype appelé type B.

La classification des volcaniques de l'Abitibi se base sur l'indice de coloration normatif et la composition du plagioclase. Le type B, étant une roche caractérisée par un indice de coloration andésitique et par un plagioclase calcique (teneur en anorthite: >50%), appartient aux basaltes riches en alumine de Kuno (1960) ou, peut être considéré comme un leucobasalte (basalte riche en minéraux leucocrates, Streckeisen, 1967).

L'examen du tableau 14 montre une bonne analogie de composition entre

COMPARISON BETWEEN THE BOURLAMAQUE CHEMISM AND THAT OF THE LOCAL VOLCANICS

This section analyses the Bourlamaque chemism in the light of the composition of the synplutonic basaltic dikes and of the local volcanics (Baragar and Goodwin, 1969).

The geochemical study has already shown certain similarities between the local intrusive and effusive units; from this an attempt will be made to establish whether these affinities allow envisagement of the genetic tie between volcanism and plutonism. In order to do this, the data from table 14 that compare the following entities will be used:

- the chemical composition of the hypothetical Bourlamaque primary magma,
- the average chemism of the three synplutonic dikes from the Bourlamaque batholith,
- the average chemical composition of three facies from the Timmins-Noranda (Abitibi) volcanic belt as established by Baragar and Goodwin (1969); these are basalt, andesite and the so-called type B lithotype.

The classification of the Abitibi volcanics is based upon the normative coloration index and the composition of the plagioclase. Type B is a rock characterized by an andesitic coloration index and by a calcic index (anorthite content: >50%), it hence belongs to Kuno's (1960) high-alumina basalts or can be considered as a leucobasalt (a basalt rich in leucocrate minerals, Streckeisen, 1967).

The analysis of table 14 shows a good composition analogy between the

TAB. 14 - COMPARAISON ENTRE LA COMPOSITION CHIMIQUE DU BATHOLITE DE BOURLAMAQUE ET CELLE DES ROCHES VOLCANIQUES DE L'ABITIBI (d'après Baragar et Goodwin, 1969)/COMPARISON BETWEEN THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE BOURLAMAQUE BATHOLITH AND THAT OF VOLCANIC ROCKS FROM ABITIBI (after Baragar and Goodwin, 1969).

	A	B	C	D	E
SiO ₂	49.23	49.9	56.6	54.06	55.5
TiO ₂	1.17	1.09	0.94	0.92	1.10
Al ₂ O ₃	15.55	14.8	17.4	17.98	15.9
Fe ₂ O ₃	4.84	2.36	1.67	2.61	1.78
FeO	7.76	8.20	5.30	5.41	6.34
MnO	0.15	0.19	0.13	0.14	0.17
MgO	5.97	6.36	3.79	4.00	4.33
CaO	9.25	9.75	8.50	8.10	6.20
Na ₂ O	1.86	2.07	2.61	3.66	3.82
K ₂ O	0.09	0.25	0.67	0.44	0.51
P ₂ O ₅	0.30	0.11	0.13	0.24	0.16
H ₂ O	3.12	3.52	3.10	2.21	3.03
CO ₂	0.76	0.85	0.68	0.17	0.87
FeO total	12.11	10.32	6.80	7.76	7.94
Li	21	--	--	19	--
V	276	362	384	197	258
Cr	173	175	130	44	106
Co	47	36	43	35	19
Ni	116	85	59	44	72
Cu	100	115	97	53	69
Zn	96	99	125	79	92
Rb	4	--	--	11	--
Sr	196	124	96	224	142

A: dykes basaltiques recoupant le batholite de Bourlamaque

A: basaltes dikes cross-cutting the Bourlamaque batholith

B: basaltes de l'Abitibi

B: basalts from Abitibi

C: leucobasaltes (type B) de l'Abitibi

C: leucobasalts (type B) from Abitibi

D: magma parent hypothétique du batholite de Bourlamaque

D: hypothetical parent magma of the Bourlamaque batholith

E: andésites de l'Abitibi.

E: andesites from Abitibi

les dykes synplutoniques et le basalte moyen de l'Abitibi au niveau des éléments majeurs comme au niveau des traces.

synplutonic dikes and the average Abitibi basalt, at the level of both major and trace elements.

Puisque le volcanisme local semble être rythmique, le fait que le batholite soit recoupé par des dykes basaltiques est insuffisant pour situer chronologiquement la mise en place de

Since local volcanism appears to be rhythmic, the fact that the batholith is intersected by basaltic dikes is inadequate to chronologically locate the emplacement of the intrusion. The

l'intrusion. L'attribution de la mise en place à une période relativement précoce de l'histoire magmatique de la région se base plutôt sur les rapports communs des volcanites et des plutonites de Bourlamaque avec la déformation et le métamorphisme.

Si on revient aux dykes syn-plutoniques, ils sont deux fois plus oxydés que le basalte moyen, ils contiennent 50% plus de strontium et 30% moins de vanadium et ils s'avèrent faiblement enrichis en fer total et faiblement appauvris en magnésium (FeO/MgO des dykes = 2/1.6 du basalte moyen). Malgré ces différences que nous considérons mineures, et qu'on peut expliquer par une cristallisation des dykes en présence d'eau et par un degré plus poussé de différenciation, nous retenons ces deux ensembles comme étant comagmatiques. En effet, nous attachons une importance particulière à d'autres paramètres, notamment les teneurs extrêmement faibles en K, Rb et Sr qui constituent les traits distinctifs du volcanisme archéen canadien (Hart *et al.*, 1970).

Dans les volcanites, les variations chimiques entre le basalte et l'andésite peuvent être considérées comme étant représentatives du type de différenciation magmatique probablement le plus commun qui a opéré localement. Ces variations révèlent un comportement plutôt banal de chacun des éléments chimiques et conforme à une distribution régie par une cristallisation fractionnée où les phénomènes d'accumulation de cristaux n'ont pas été trop importants.

Par contre, la présence de leucobasaltes témoigne de l'existence d'un autre processus dont l'interprétation plus immédiate est un enrichissement local en plagioclase. Nous croyons surtout que la séparation d'une certaine quantité d'olivine

attribution of the emplacement at a relatively early period of the area's magmatic history is based rather on the common ratios of the Bourlamaque volcanic and plutonic rocks with deformation and metamorphism.

As for the synplutonic dikes, they are twice as oxidized as the average basalt, they contain 50% more strontium and 30% less vanadium; they are poorly enriched in total iron and poorly impoverished in magnesium (FeO/MgO of dikes = 2/1.6 of average basalt). Despite these differences, which can be explained by a crystallization of the dikes in presence of water and by a higher degree of differentiation, these two suites should be regarded as being comagmatic. Indeed, other parameters are given particular attention; notably the extremely low K, Rb and Sr contents which are the distinctive characteristics of Canadian Archean volcanism (Hart *et al.*, 1970).

Within the volcanics, the chemical variations between basalt and andesite can be considered as being representative of probably the most common type of magmatic differentiation which operated locally. These variations reveal a rather common behaviour of each of the elements; this is consonant with distribution ruled by fractional differentiation where crystal accumulation phenomena were not very important.

On the other hand, the occurrence of leucobasalts gives evidence of the existence of another process, the most recent interpretation of which suggests a local plagioclase enrichment. The separation of a given quantity of olivine is thought to justify the

peut justifier le chimisme des leucobasaltes qui sont des roches riches en Al, Ca et Na et pauvres en Mg, Fe et Ni; elles sont même plus pauvres en nickel que les andésites.

Les paramètres K, Rb et Sr du magma primaire de Bourlamaque nous assurent qu'il s'agit du même type de magmatisme que celui qui a généré l'ensemble volcanique. Le chimisme de Bourlamaque présente en première approximation une certaine similitude avec celui des leucobasaltes, comme le souligne leur appartenance commune à la série riche en alumine de Kuno (figure 25). De même, dans la comparaison avec les volcanites locales, il nous semble important d'attirer l'attention sur les teneurs très faibles en Cr, mais aussi en Ni des roches de Bourlamaque qui, d'ailleurs, sont également pauvres en Mg.

ORIGINE DU BATHOLITE DE BOURLAMAQUE

La composition du magma initial qui a donné lieu aux volcanites de l'Abitibi n'est pas connue; par contre, il nous semble possible de considérer la composition des faciès basaltiques locaux comme celle qui approche le plus de la composition du magma initial. Une telle supposition n'exclut pas d'une part que les basaltes puissent être eux-mêmes les produits d'une différenciation profonde et d'autre part que d'autres types de roches primitives, mais moins abondants, soient aussi présents dans l'ensemble volcanique en fonction, par exemple, de l'intensité du phénomène anatectique lors de leur genèse.

Nous avons déjà remarqué que le magma primaire de Bourlamaque est relativement riche en Al et Ca mais surtout pauvre en Mg, Cr et Ni et modérément pauvre en Ti. Rappelons aussi les

chemism of leucobasalts which are Al, Ca and Na-rich and Mg, Fe and Ni-poor rocks: they are even poorer in nickel than andesites.

The K, Rb and Sr parameters of the Bourlamaque primary magma offer assurance that it is the same type of magmatism which generated the volcanic assemblage. At first sight, the Bourlamaque chemism shows a certain similarity with that of the leucobasalts as underlined by their common connection with Kuno's high-alumina series (Figure 25). Likewise, in the comparison with local volcanics, it is worthwhile mentioning the very low values in Cr as well as in Ni of the Bourlamaque rocks which are also poor in Mg.

ORIGIN OF THE BOURLAMAQUE BATHOLITH

The composition of the initial magma from which the Abitibi volcanics originated is unknown; however, it seems possible that the composition of the local basaltic facies is closest to that of the original magma. Such an assumption does not exclude the basalts being the products of a deep differentiation or the presence of other types of less-abundant primitive rocks in the volcanic series; the latter would be dependent on the intensity of the anatectic phenomena during their genesis.

It has already been noted that the Bourlamaque primary magma is relatively rich in Al and Ca but rather poor in Mg, Cr, Ni and moderately poor in Ti. The three superimposed intrusions

trois intrusions superposées constituant le batholite: au sommet stratigraphique, on retrouve une unité riche en Mg, Cr et Ni et pauvre en Al, Ca et Sr; dans la partie centrale un filon-couche à composition dioritique et dans la partie inférieure, un filon-couche plus différencié que le précédent et enrichi en K, P, Sr, Li, Rb et Zn.

Les trois unités sont ici interprétées comme étant le résultat de trois pulsations d'un magma se différenciant en profondeur. La portion supérieure, la première à se mettre en place, a une composition chimique comparable à celle des volcanites. Chronologiquement elle se serait mise en place avant que le processus de fractionnement envisagé ci-dessous ait pu modifier substantiellement la composition du magma originel. Une autre hypothèse serait que cette portion représente une partie de l'intrusion centrale contaminée par l'assimilation des roches volcaniques encaissantes. Une telle interprétation est chimiquement acceptable, mais elle n'est pas soutenue par des observations sur place qui ne montrent pas cette assimilation comme évidente.

Ce que nous invoquons pour expliquer le chimisme des deux intrusions successives, c'est la présence d'un réservoir profond où se serait produit une différenciation par densité, une accumulation de phases ferromagnésiennes dans le fond de la chambre magmatique et un enrichissement progressif en éléments chimiques incompatibles avec les minéraux séparés dans sa partie supérieure. Dans notre interprétation, c'est à partir de la portion supérieure, enrichie surtout en plagioclase potentiel, qu'auraient pris naissance les deux filons-couches constituant les intrusions principales du batholite. Parallèlement le réservoir se serait

making up the batholith were as follows: at the stratigraphic top, a Mg, Cr, Ni-rich and Al, Ca, Sr-poor unit; in the central portion, a dioritic sill and, at the bottom, a sill which is more differentiated than the central one and enriched in K, P, Sr, Li, Rb and Zn.

The three units are here interpreted as being the result of three pulsations of a magma differentiating at depth. The upper portion, which was first to be emplaced, has a chemical composition comparable to that of the volcanics. Timewise it would have intruded before the fractionation process could have substantially modified the original composition of the magma. Another hypothesis is that this portion represents part of the central intrusion contaminated through assimilation of volcanic country rocks. Such an interpretation is chemically acceptable; however, it is not supported by in situ observations which do not show this assimilation as being evident.

The following are called upon to explain the chemism of the two successive intrusions: the presence of a deep reservoir where density differentiation could have occurred; an accumulation of ferromagnesian phases at the bottom of the magmatic chamber; and a progressive enrichment in chemical elements incompatible with the minerals separated in its upper portion. In our explanation, the two sills making up the main intrusions of the batholith originate from the upper portion which is mostly enriched in potential plagioclase. In a parallel direction, the reservoir could have been enriched in mafic minerals. Dike No. 338 (Figure A.1) could come from this area; its chemical

enrichi en minéraux mafiques. De cette région pourrait provenir le dyke no 338 (figure A.1) dont la composition chimique montre d'une part des teneurs en Al_2O_3 relativement faibles (14.6%) et d'autre part un rapport $\text{Ni}/\text{Co} = 4.5$ et des teneurs en MgO (8.24%), en Cr (605 ppm) et en Ni (135 ppm) très élevées et supérieures aux valeurs du batholite et des volcanites locales. Il faut noter que ce dyke est aussi riche en K et Rb probablement en raison de l'abondante hornblende modale.

Après la mise en place de chacun des filons-couches sous forme de magma pas encore totalement solidifié, il y aurait eu une deuxième différenciation où un certain fractionnement par gravité aurait été facilité cette fois par une pression d'eau considérable. A ce sujet, l'abondance de phases hydratées primaires est confirmée par l'examen pétrographique tandis que l'état fortement oxydé du fer pourrait être, du moins en partie, secondaire et causé par le métamorphisme. Une cristallisation fractionnée caractérisée par une différenciation par gravité modérée serait ainsi responsable des assemblages minéralogiques primaires du batholite. Rappelons ici que d'après l'étude pétrographique la paragenèse primaire de la métadiorite de Bourlamaque était, fort probablement, essentiellement composée de clinopyroxène, d'andésine An_{50} , de hornblende, de quartz et de magnétite titanifère. Nous ne pouvons pas préciser si les conditions de pression d'eau élevées, qui ont prévalu lors de la cristallisation dans le réservoir supérieur, existaient déjà pendant le fractionnement en profondeur. De ce fait, le rôle de l'eau, agent qui aurait pu favoriser la différenciation profonde est dans une certaine mesure, hypothétique. Notons cependant à l'appui de cette hypothèse que les dykes basaltiques synplutoniques sont deux fois plus oxydés

composition shows a relatively low Al_2O_3 content (14.6%), a Ni/Co ratio of 4.5 and amounts of MgO (8.24%), Cr (605 ppm) and Ni (135 ppm) which are very high and superior to those of the batholith and of local volcanics. It should be noted that this dike is also rich in K and Rb ; this is probably related to the abundance of modal hornblende.

The emplacement of the two sills in the form of yet incompletely solidified magma could have been followed by a second differentiation wherein a certain amount of gravity fractionation would have been facilitated by considerable water pressure. In line with this, the abundance of the primary hydrated phases is confirmed through petrographic examination whereas the highly oxidized state of iron could be, at least partially, secondary and caused by metamorphism. Fractional crystallization characterized by moderate gravity differentiation would thus be responsible for the primary mineralogical assemblage of the batholith. It should be noted that, according to the petrographic study, the primary paragenesis of the Bourlamaque meta-diorite most probably consisted essentially of clinopyroxene, andesine An_{50} , hornblende, quartz and titaniferous magnetite. We can not state precisely if the high water pressures that prevailed during crystallization in the upper reservoir already existed during fractionation at depth. Thus, the role of water, a factor which could have favored differentiation at depth, remains, under certain limits, hypothetical. In support of this hypothesis it should, however, be mentioned that the synplutonic basaltic dikes are twice as oxidized as the local basalts (Baragar and Goodwin, 1969). In addition, these dikes only contain

que les basaltes locaux (Baragar et Goodwin, 1969). En outre, ces dykes ne contiennent comme phase ferromagnésienne primaire que de l'amphibole tandis que les études pétrographiques de L. Gélinas (1973, communication orale) n'ont révélé, dans les basaltes de l'Abitibi, que des phases primaires anhydres. Rappelons encore, dans le même ordre d'idées, le travail de Yoder (1965) sur le système anorthite-diopside. Cet auteur a montré que des pressions d'eau élevées déplacent l'eutectique de ce système des compositions "gabbroïques" à des compositions "anorthositiques": c'est-à-dire que la teneur en plagioclase d'un magma peut augmenter en fonction de l'augmentation de la pression d'eau locale.

D'après la composition minéralogique des cumulites associées à des magmas calco-alkalins, ainsi que d'après les résultats des expériences de laboratoire sur les systèmes silicatés en présence ou en absence de fluides, on peut formuler l'hypothèse que les minéraux ferromagnésiens qui auraient pu se séparer du liquide magmatique dans la différenciation profonde des roches de Bourlamaque sont les olivines, les pyroxènes, les amphiboles et la magnétite. Chacun de ces minéraux possède des conditions optimales de cristallisation qui dépendent surtout de la composition du magma initial, mais aussi de la température, de la pression, de la présence ou de l'absence de fluides et d'autres paramètres moins bien connus.

Nous examinerons d'abord l'influence de la séparation de chacun des minéraux cités sur l'évolution d'un magma donné; ensuite nous essayerons de définir le minéral ou l'assemblage minéralogique pouvant mieux justifier le chimisme particulier du magma parent de Bourlamaque.

La séparation des olivines précoces appauvrit le magma résiduel

amphibole as primary ferromagnesian phases whereas the petrographic studies of L. Gélinas (1973, verbal communication) have shown the Abitibi basalts to contain only primary anhydrous phases. In line with this, Yoder's (1965) work on the anorthite-diopside system needs to be recalled. This author has shown high water pressures to displace the eutectic of this system from "gabbroic" compositions to "anorthositic" compositions: that is to say that the plagioclase content of a magma can increase as a function of the increase of local water pressure.

According to the mineralogical composition of the cumulites associated with calc-alkaline magmas and to the results of laboratory experiments on silicated systems with or without fluids, one can state the following hypothesis: the ferromagnesian minerals which could have separated from the magmatic liquid during differentiation of the Bourlamaque rocks at depth are the olivines, pyroxenes and amphiboles, and magnetite. Each of these minerals has optimal conditions of crystallization that mostly depend on the composition of the initial magma; but they also depend on pressure, the presence or the absence of fluids and on other less well known parameters.

We will first examine the influence of the separation of each of the minerals mentioned above on the evolution of a given magma; we will then try to define the mineral or the mineralogical assemblage that could best justify the particular chemism of the Bourlamaque parent magma.

The separation of the early olivines mostly impoverishes the residual

surtout en Mg et Ni mais aussi en Co et l'enrichit en éléments felsiphiles et en Cr. Pour chiffrer ce processus rappelons les résultats de Gunn (1971): dans la répartition entre l'olivine et le liquide, le Ni montre un coefficient de distribution de 10, le Mg de 4.5 et le Co de 3.0. De même l'olivine peut contenir des inclusions de spinelle chromifère qui appauvrissent de façon considérable les liquides résiduels également en chrome.

La séparation du clinopyroxène dans un magma basaltique devrait, d'après Gast (1968), appauvrir fortement le liquide en Cr ($K_{Cr} \text{ liq/cpx} = 0.1$) et l'enrichir en K, Rb, Sr et Ba; le nickel, avec un $K \text{ liq/cpx} = 1$, devrait se partager dans la même mesure entre la phase solide et la phase liquide.

La séparation de l'amphibole kaersutite dans un massif de gabbro appartenant à la province alcaline des Collines Montérégiennes, appauvrit le magma en Cr, Ni et Mg, l'enrichit en Sr, Zn, Fe^{3+} , Cu et Rb et n'a pas un effet important sur la distribution des autres éléments normalement dosés dans une roche ignée (Gunn, 1972).

Enfin, il est évident que la séparation de magnétite entraîne une diminution des teneurs en Fe et en V et dans certains cas en Ti.

Les tendances chimiques que l'on vient de décrire doivent être utilisées avec une extrême prudence à cause du manque presque total de données locales; cependant nous estimons les considérations précédentes utiles pour le traitement du problème.

Si l'on considère la composition des basaltes locaux, il est évident que la soustraction d'un seul minéral ne peut expliquer à elle seule le chimisme de Bourlamaque. En effet, l'olivine

magma in Mg and Ni but also in Co and enriches it in felsiphile elements and in Cr. Gunn's (1971) results can be used to figure out this process: in the distribution between the olivine and the liquid, Ni shows a distribution coefficient of 10, Mg of 4.5 and Co of 3.0. Olivine can also contain inclusions of chromiferous spinel which considerably impoverishes the residual liquids in chromium.

The separation of clinopyroxene in a basaltic magma should, according to Gast (1968), greatly impoverish the liquid in Cr ($K_{Cr} \text{ liq/cpx} = 0.1$) and enrich it in K, Rb, Sr and Ba; nickel with a $K \text{ liq/cpx} = 1$, should be equally distributed between the solid and the liquid phases.

The separation of the kaersutite amphibole within a body of gabbro belonging to the alkaline province of the Monteregian Hills should impoverish the magma in Cr, Ni and Mg and enrich it in Sr, Zn, Fe^{3+} , Cu and Rb; it does not have a great effect on the distribution of the other elements that are normally determined in an igneous rock (Gunn, 1972).

Finally, it is evident that the separation of magnetite leads to a decrease in the Fe and V contents and sometimes in that of Ti.

The chemical tendencies that have just been described must be utilized with extreme caution because of the almost total lack of local data; however, the above considerations are believed to be useful in dealing with the problem.

When the composition of the local basalts is considered, it becomes evident that the subtraction of a single element cannot alone explain the Bourlamaque chemism. In fact, *olivine* does not

ne justifie pas dans les roches de Bourlamaque les faibles teneurs en Cr, ni les teneurs constantes en Co; le *clinopyroxène* n'explique pas la diminution en Fe et en Mg; l'*amphibole* se heurte dans un certain sens aux résultats de l'examen pétrographique qui montrent que ce minéral coexiste avec le clinopyroxène; et la *magnétite* n'est pas la seule responsable des faibles teneurs en Mg, Cr et Ni.

Suite à ces considérations nous sommes enclin à envisager la séparation de plusieurs minéraux plutôt qu'une phase unique. Nous pensons que le clinopyroxène est le minéral le plus abondant dans l'assemblage séparé du magma. En effet, le clinopyroxène est encore présent dans la roche de Bourlamaque à l'état de relique; dans les études expérimentales, il apparaît au liquidus dans une vaste gamme de conditions de cristallisation (fait qui nous a fait préférer la séparation de ce minéral à celle de l'orthopyroxène) et il peut de plus motiver la déficience marquée en chrome, peut-être celle en nickel et sans doute celle en magnésium. Les études des complexes ignés du Skaergaard (Wager et Mitchell, 1948) et du Stillwater (Turekian et Carr, 1960) montrent que les clinopyroxènes précoces concentrent particulièrement le chrome et le nickel.

Nous ne favorisons pas la séparation de l'olivine en quantité trop abondante parce qu'elle appauvrirait trop le magma résiduel en nickel et en cobalt (Taylor, 1969). La présence éventuelle d'inclusions de spinelle dans l'olivine pourrait expliquer l'appauvrissement en Cr mais ne justifie pas l'appauvrissement en Ca dans les produits résiduels. D'autre part, si les coefficients de distribution du nickel entre le liquide et le clinopyroxène et entre le clinopyroxène et l'orthopyroxène proposé par Gast (1968) sont exacts, la séparation d'une certaine

justify the low Cr contents nor the constant Co values in the Bourlamaque rocks; *clinopyroxene* does not explain the decrease in Fe and Mg; *amphibole* clashes, in a way, with the results of the petrographic studies which show that this mineral coexists with clinopyroxene; and *magnetite* is not solely responsible for the low values in Mg, Cr and Ni.

With regards to the above, one is inclined to envision the separation of several minerals rather than a unique phase. Clinopyroxene is thought to be the most abundant mineral in the separated assemblage of the magma. In fact, clinopyroxene is still present in the Bourlamaque rock as a relic; in the experimental studies, it appears in the liquidus in a wide range of crystallization conditions (which led to the preference for the separation of this mineral rather than orthopyroxene); furthermore it can justify the marked chromium deficiency, possibly that of nickel, and most probably that of magnesium. Studies of the Skaergaard (Wager and Mitchell, 1948) and Stillwater (Turekian and Carr, 1960) igneous complexes show the early clinopyroxenes to particularly concentrate both chromium and nickel.

The separation of olivine in very large quantity is not favored since it would impoverish the residual magma too much in nickel and cobalt (Taylor, 1969). The possible occurrence of spinel inclusions in olivine could explain the impoverishment in Cr but does not justify that of Ca in the residual products. On the other hand, if the distribution coefficients of nickel between the liquid and the pyroxene and between the clinopyroxene and the orthopyroxene suggested by Gast (1968) are exact, the separation of a certain quantity of olivine is needed since, in both

quantité d'olivine s'impose puisque dans les deux cas la valeur de ces coefficients est égale à 1. En outre, étant donné que les phases silicatées ferromagnésiennes précoces sont riches en magnésium et puisque localement le fer est plus appauvri que le magnésium, nous proposons la séparation simultanée d'une certaine quantité de magnétite avec le clinopyroxène et l'olivine.

Taylor (1969) n'admet pas que la séparation de la magnétite puisse être un facteur à prendre en considération dans la genèse des roches calco-alcalines, parce que ce minéral appauvrirait trop les magmas résiduels en V, soit 60 ppm pour la séparation de 1% de magnétite. Mais la teneur en V des magnétites donnée par Taylor (*op. cit.*) est supérieure à celle trouvée par d'autres auteurs. Shcherbina (1965) attribue aux magnétites des teneurs en V qui varient entre 0.27% et 0.54%, mais avec la possibilité d'avoir souvent des concentrations aussi faibles que 0.068% à 0.034%. Les magnétites des gabbros à olivine du Skaergaard contiennent 0.06% de V (Wager et Mitchell, 1948). Lewis (1973) signale aussi des quantités faibles de vanadium (0.11%) dans les magnétites des cumulites de la série calco-alcaline des Petites Antilles. Comme l'on a vu, si l'on attribue à la séparation de 1% de magnétite une diminution dans le magma résiduel de 20-25 ppm de vanadium, ce dernier élément ne constitue plus un problème majeur. Ainsi la séparation de ce minéral par un très léger pourcentage (<5%) peut-être invoquée de façon valable et, à ce propos, notons que les roches de Bourlamaque et les dykes synplutoniques sont en effet appauvris en vanadium par rapport aux basaltes locaux (voir tab. 14).

cases, the value of the coefficients equals one. In addition, considering the fact that the early ferromagnesian silicated phases are rich in magnesium and that, locally, iron is more impoverished than magnesium, the simultaneous separation of a certain quantity of magnetite with clinopyroxene and olivine is advocated.

Taylor (1969) does not admit magnetic separation to be a factor to be considered in the genesis of calc-alkaline rocks since this mineral would severely impoverish the residual magmas in V, that is 60 ppm for the separation of 1% of magnetite. But the V value of the magnetites given by Taylor (*op. cit.*) is higher than that found by other authors. Shcherbina (1965) attributes to magnetites those V values that vary from 0.27% to 0.54%, but with the possibility of frequently having concentrations as low as from 0.068% to 0.034%. The magnetites from the Skaergaard olivine gabbros contain 0.06% V (Wager and Mitchell, 1948). Lewis (1973) also indicates low values in vanadium (0.11%) in the magnetites of the cumulites belonging to the Lesser Antilles calc-alkaline series. As indicated above, if one attributes to the separation of 1% of magnetite a decrease within the residual magma of 20-25 ppm of vanadium, then this element does not create any major problem. Hence, the separation of this mineral by a very slight percentage (<5%) can be soundly invoked; in line with this, it is worthwhile mentioning that the Bourlamaque rocks and the synplutonic dikes are indeed impoverished in vanadium compared to the local basalts (see table 14).

L'amphibole est une phase très abondante dans tout système silicaté étudié en présence d'eau et de ce fait elle est de plus en plus considérée comme un minéral susceptible de jouer un rôle majeur dans la genèse des roches calco-alcalines. Cependant, dans le cas de Bourlamaque, les quelques blocs riches en hornblende observés dans le batholite sont trop peu abondants pour être responsables d'un changement radical de sa composition chimique. La séparation de la hornblende, minéral qui incorpore le potassium de préférence au rubidium, aurait dû baisser sensiblement la valeur du rapport K/Rb dans les roches du batholite: cela est contraire à ce que l'on observe puisque les valeurs de K/Rb du batholite et des volcanites locales sont pratiquement les mêmes (cf. p. 85).

Les travaux de Green et Ringwood (1967, 1968) montrent qu'il existe pour une vaste gamme de compositions basaltiques, une région située à une profondeur de 40-60 km où la différenciation magmatique est contrôlée essentiellement par la cristallisation des pyroxènes, les olivines étant absentes ou présentes en quantités limitées.

L'accumulation de pyroxène constitue sans aucun doute un mécanisme très efficace pour enrichir un magma en Al et pour l'appauvrir en Mg, Ni et Cr. L'hypothèse d'un processus de ce type ne pourrait expliquer l'origine des roches de Bourlamaque de façon acceptable que dans la mesure où l'on fait abstraction du cadre géologique local. En effet, en attribuant à tout magma local une composition riche en Al, on se heurte à la présence en Abitibi de deux séries volcaniques différentes, soit la série tholéitique relativement pauvre en Al, et la série calco-alcaline, plus riche en cet élément.

Amphibole is a very abundant phase in the whole silicated system studied here; as such, it is increasingly considered as a mineral likely to play a major role in the genesis of calc-alkaline rocks. In the case of Bourlamaque, however, the few hornblende-rich rocks observed within the batholith are not abundant enough to be responsible for a radical change of its chemical composition. The separation of hornblende, a mineral that embodies potassium in preference to rubidium, should have noticeably lowered the value of the K/Rb ratio in the rocks of the batholith: that is contrary to what is observed since the K/Rb values of the batholith and of the local volcanics are almost the same (cf. p. 85).

Studies by Green and Ringwood (1967, 1968) show that there is, for a wide array of basaltic compositions, an area located at a depth of 40-60 km where magmatic differentiation is essentially controlled by the crystallization of pyroxenes; the olivines are absent or present in very limited amounts.

The accumulation of pyroxene is without any doubt a very efficient mechanism for enriching a magma in Al and impoverishing it in Mg, Ni and Cr. The hypothesis of such a process can only explain the origin of the Bourlamaque rocks in an acceptable way if the local geological framework is ignored. Indeed, attributing an Al-rich composition to all of the local magma clashes with the presence of two different volcanic series in Abitibi, the relatively Al-poor tholeitic series and the calc-alkaline series where Al is more abundant.

Au sujet de l'origine des volcanites archéennes de l'Abitibi, nous adoptons l'interprétation de Hart *et al.*, (1970) qui considèrent ces roches comme étant le produit d'une fusion partielle (>30%) du manteau à une profondeur inférieure à 50 km.

Il est important de noter que la tendance calco-alkaline se manifeste seulement dans les produits déjà différenciés, donc chronologiquement après la naissance du magma local. Une fois acceptée une origine commune pour les laves tholéitiques et les laves calco-alkalines, dont le batholite de Bourlamaque est l'expression intrusive, il est normal de chercher la cause qui aurait pu déterminer l'évolution du magma dans une direction plutôt que dans l'autre.

La teneur en eau d'une zone donnée peut déterminer son évolution dans la direction calco-alkaline. Les résultats expérimentaux obtenus des systèmes basaltiques ont clairement montré l'existence d'un lien causal entre la teneur en eau d'un magma et l'ordre d'apparition des minéraux.

En milieu hydraté et à des pressions plus élevées que la pression atmosphérique, le début de la cristallisation est retardé dans l'ensemble (Yoder et Tilley, 1962), mais il se produit une séparation assez nette entre l'apparition précoce des phases ferromagnésiennes et l'apparition tardive des plagioclases (Yoder et Tilley, 1962; Green et Ringwood, 1967). Ce phénomène permet d'envisager deux phases dans la différenciation d'un magma: l'une essentiellement solide et constituée de minéraux ferromagnésiens et l'autre en grande partie liquide et enrichie dans la fraction potentiellement feldspathique. En outre, la présence d'eau, qui augmente sensiblement l'intervalle de cristallisation (Yoder et Tilley,

With regard to the origin of the Abitibi Archean volcanics, the Hart *et al.* (1970) interpretation is adopted; these authors consider these rocks as the product of a partial fusion (>30%) of the mantle at a depth of less than 50 km.

It is important to note that the calc-alkaline series only appears in the already differentiated products, hence chronologically after the rise of the local magma. Once the idea of a common origin for both tholeiitic and calc-alkaline lavas, of which the Bourlamaque batholith is an intrusive expression, is accepted it is normal to look for the reason why the magma evolved in one way rather than the other.

The water content of a given zone can determine its evolution in the calc-alkaline direction. The experimental results obtained from the basaltic systems clearly indicate the existence of a causal link between the water content of a magma and the order of appearance of the minerals.

In a hydrated environment and at pressures higher than the atmospheric pressure, the beginning of crystallization is generally retarded (Yoder and Tilley, 1962); however, a rather clean separation occurs between the early appearance of ferromagnesians and the late appearance of plagioclases (Yoder and Tilley, 1962; Green and Ringwood, 1967). This phenomenon allows one to envisage two phases of differentiation of a magma: one that is essentially solid and made of ferromagnesian minerals and the other which is mostly liquid and enriched in the potentially feldspathic fraction. In addition, the presence of water, which noticeably increases the crystallization interval (Yoder and Tilley, 1962; Lambert and

1962; Lambert et Wyllie, 1970) et qui abaisse la viscosité déjà peu élevée d'un magma basaltique, devrait favoriser ultérieurement un tel processus de fractionnement.

Wyllie (1971) a déterminé les relations entre les phases d'un gabbro cristallisant en milieu anhydre et en présence d'excès d'eau à des pressions variant entre 0 et 30 kb. Nous ne considérons pas la cristallisation sèche puisqu'au liquidus le pyroxène est immédiatement suivi, en fonction des pressions décroissantes, par deux phases aluminifères, le grenat et le plagioclase, dont la cristallisation n'expliquerait pas le chimisme de Bourlamaque. En milieu peu hydraté ($H_2O < 2\%$) la cristallisation est contrôlée par les mêmes phases qu'en milieu anhydre. Avec des teneurs en $H_2O > 2\%$ et des pressions supérieures à 14 kb la cristallisation est caractérisée premièrement par des assemblages où le grenat est ubiquiste et deuxièmement par l'apparition du quartz avant le plagioclase; de telles conditions ne s'adaptent pas à la cristallisation des roches de Bourlamaque où le grenat est absent et le quartz interstitiel. Lorsque la pression est autour de 10 kb et que les teneurs en H_2O sont entre 2 et 5%, les produits de la cristallisation sont comparables à ce que l'on observe dans les roches du batholite; en effet, en fonction de la diminution de la température les assemblages stables sont respectivement: cpx + liq; cpx + horn + liq et horn + plag + liq. La température de cristallisation du plagioclase diminue aussi en fonction de l'augmentation de la teneur en H_2O du système: elle égale quelque 850°C en présence de 5% de H_2O .

Une étude analogue effectuée par Holloway et Burnham (1972) donne des résultats semblables à ceux de Wyllie (*op. cit.*). Ces auteurs ont étudié la cristallisation d'une tholéite pauvre en Al à des pressions entre 2

Wyllie, 1970) and which lowers the already low viscosity of a basaltic magma, should subsequently favor such a fractionation process.

Wyllie (1971) has determined the relationships between the phases of a gabbro that crystallizes in an anhydrous environment and in the presence of an excess of water under pressures ranging between 0 and 30 kb. The crystallization is not considered to be a dry one since at the liquidus the pyroxene is immediately followed, in function of decreasing pressures, by two aluminiferous phases, garnet and plagioclase; the crystallization of these phases does not explain the Bourlamaque chemism. In a weakly hydrated environment ($H_2O < 2\%$), crystallization is controlled by the same phases as in an anhydrous environment. With values of $H_2O > 2\%$ and pressures greater than 14 kb crystallization is first characterized by assemblages where garnet is ubiquitous and second by the appearance of quartz prior to plagioclase; such conditions do not fit with the crystallization of the Bourlamaque rocks where garnet is absent and quartz is interstitial. With pressure around 10 kb and H_2O values between 2% and 5%, the crystallization products are comparable to what is observed within the rocks of the batholith; in fact, depending on the decrease in temperature, the stable assemblages are respectively: cpx+liq; cpx+horn+liq and horn+plag+liq. The crystallization temperature of plagioclase also diminishes as a function of the increase in the H_2O value of the system: it is equal to 850°C with 5% H_2O .

An analogous study carried out by Holloway and Burnham (1972) provides results similar to those of Wyllie (*op. cit.*). These authors studied the crystallization of an Al-poor tholeite under pressures between 2 and 8 kb, in

et 8 kb, en présence de H_2O et CO_2 et en conditions de P_{H_2O} contrôlée (dans les systèmes naturels il est peu probable que $P_{H_2O} = P_{tot}$ (Yoder et Tilley, 1962). Selon cette étude, entre 5 et 8 kb et à des températures supérieures à environ $900^{\circ}C$, le plagioclase ne se sépare pas encore du liquide et les assemblages qui cristallisent dépendent presque exclusivement de la température: ils sont représentés par $cpx + cl \pm mt \pm amph$. Pour des températures plus hautes, les phases cristallines sont essentiellement le clinopyroxène (15-25%) avec des quantités moindres d'olivine (1-9%) et de magnétite (3%); pour les températures inférieures, mais avant l'apparition du plagioclase, c'est surtout l'amphibole (~50%) qui cristallise accompagnée par les mêmes quantités de pyroxène et de magnétite que dans le cas précédent, mais avec la disparition de l'olivine. La cristallisation d'un assemblage, constitué essentiellement de clinopyroxène avec des quantités moindres d'olivine et de magnétite, se produit à une pression entre 5 et 8 kb et à une température entre 1000° et $1050^{\circ}C$.

Notre interprétation sur l'origine du magma de Bourlamaque se heurte surtout à l'impossibilité de connaître la nature exacte des produits magmatiques initiaux; cette situation nous oblige d'une part à avancer l'hypothèse que la composition des basaltes locaux peut vraisemblablement représenter la composition du magma local initial, et, d'autre part à donner une interprétation basée essentiellement sur les produits finaux (magma primaire de Bourlamaque) et obtenue en hiérarchisant les paramètres géochimiques disponibles.

the presence of H_2O and CO_2 and under conditions of controlled P_{H_2O} (in the natural systems it is not likely that $P_{H_2O} = P_{tot}$ (Yoder and Tilley, 1962). According to this study, for pressure conditions between 5 and 8 kb and temperatures higher than about $900^{\circ}C$, the plagioclase does not yet separate from the liquid and the assemblages which crystallize depend almost exclusively on temperature: they are represented by $cpx + cl \pm mt \pm amph$. For higher temperatures the crystalline phases are essentially the clinopyroxene (15-25%) with lesser amounts of olivine (1-9%) and of magnetite (3%); for lower temperatures, but prior to the appearance of plagioclase, it is mainly amphibole that crystallizes (~50%) together with the some amounts of pyroxene and magnetite as in the preceding case, but with the disappearance of olivine. The crystallization of an assemblage, essentially made up of clinopyroxene with lesser amounts of olivine and magnetite, occurs at a pressure between 5 and 8 kb and at a temperature ranging between 1000° and $1050^{\circ}C$.

The interpretation of the origin of the Bourlamaque magma is confronted with the impossibility of recognizing the exact nature of the initial magmatic products. This situation leads, on the one hand, to the submission of the hypothesis that the composition of the local basalts very likely represents the composition of the initial local magma and, on the other hand, to providing an interpretation that is essentially based on the final products (Bourlamaque primary magma) obtained by grading the geochemical parameters that are available.

Selon notre interprétation, les cumulats cristallins locaux devraient avoir une composition essentiellement pyroxénitique. Dans la région de Val-d'Or, et plus particulièrement dans la partie inférieure du groupe volcanique de Malartic, on retrouve des roches qui ont été cartographiées comme des péridotites mais qui sont considérées actuellement (Imreh, 1972) comme des laves ultramafiques (komatiites). Une hypothèse veut que les komatiites doivent leur origine à des phénomènes anatectiques du manteau plus intenses que ceux qui donnent origine aux basaltes (Brooks et Hart, 1972). Mais, dans une étude des magmatites archéennes de l'Australie, McCall (1973), à cause de l'association intime tholéites-laves ultramafiques, semble plutôt favoriser une différenciation profonde pour expliquer l'origine de telles roches, extrêmement riches en magnésium mais différentes des picrites par leur rapport $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ élevé. L'origine des komatiites va au-delà des buts de notre étude; cependant une mobilisation des produits accumulés avec une subséquente extrusion ne nous semble pas impossible dans l'environnement des énormes séquences volcaniques archéennes. Et cela, surtout à la lumière du gradient géothermique de l'époque qui était environ le double de celui que l'on observe actuellement.

En adoptant la thèse de la différenciation profonde, qui permet d'expliquer à la fois une origine intrusive ou effusive des komatiites et leur association intime avec les tholéites, nous avons voulu nous faire une idée de l'importance éventuelle du phénomène d'accumulation de cristaux en essayant de le chiffrer. Nous avons ainsi choisi deux roches à composition chimique conforme à notre interprétation: le pyroxénite moyenne à olivine de Nockolds (1954) et une komatiite basaltique archéenne du Canada (Brooks

According to this interpretation, the local crystalline cumulates should have an essentially pyroxenitic composition. In the Val-d'Or area, and most particularly in the lower portion of the Malartic Group volcanic rocks, are found rocks that were originally mapped as peridotite but that are now considered (Imreh, 1972) as ultramafic lavas (komatiites). On hypothesis is that the komatiites owe their origin to anatectic phenomena of the crust stronger than those that originate the basalts (Brooks and Hart, 1972). However, in his study of Archean magmatic rocks from Australia, McCall (1973) seems, because of the close association between tholeites and ultramafic lavas, to prefer a deep differentiation to explain the origin of such rocks, which are extremely rich in magnesium but differ from the picrites by their high $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio. The origin of the komatiites is beyond the scope of this study; however, a mobilization of the accumulated products together with a subsequent extrusion is not to be excluded in the environment of huge Archean volcanic sequences. And this, especially in the light of the geothermic gradient of that time which was about twice that of today.

By adopting the hypothesis of deep differentiation, which permits both an intrusive or extrusive origin of the komatiites and their close association with tholeites, an attempt was made to have some idea of the possible importance of the phenomenon of crystal accumulation by trying to evaluate it. Two rocks with chemical composition in conformity with this interpretation have been selected: the Nockolds (1954) average olivine pyroxenite and an Canadian Archean basaltic komatiite (Brooks and Hart, 1972). The following

et Hart, 1972). Le tableau suivant montre que par la soustraction au basalte moyen de l'Abitibi (Baragar et Goodwin, 1969) de quelque 20% de l'une ou l'autre de ces deux roches ou mieux encore d'une roche à composition intermédiaire, le chimisme résultant concorde dans l'ensemble avec celui du magma parent de Bourlamaque mais se montre déficient dans les éléments mobiles (Na et K) ou volatils (P) qui sont concentrés dans les roches de Bourlamaque.

table shows that by subtraction from the average Abitibi basalt (Baragar and Goodwin, 1969) of some 20% of either of these two rocks, or better yet of a rock with an intermediate composition, the resulting chemism is generally concordant with that of the Bourlamaque parent magma; however, it is deficient in mobile elements (Na and K) or volatiles (P) that are concentrated in the Bourlamaque rocks.

	A	B	C
SiO ₂	55.41	54.51	53.56
TiO ₂	0.94	1.15	1.13
Al ₂ O ₃	18.43	18.40	17.61
FeO tot.	12.61	10.60	10.37
MgO	4.10	3.62	4.20
CaO	8.31	8.62	10.00
Na ₂ O	3.75	2.63	2.57
K ₂ O	0.45	0.25	0.31
P ₂ O ₅	0.25	--	0.06

A: magma parent de Bourlamaque / Bourlamaque parent magma.

B: basalte moyen de l'Abitibi (Baragar et Goodwin, 1969) - 20% de pyroxénite moyenne à olivine (Nockolds, 1954). / average basalt from Abitibi (Baragar and Goodwin, 1969) - 20% average olivine pyroxenite (Nockolds, 1954).

C: basalte moyen de l'Abitibi (ibidem) - 20% de komatiite basaltique (Brooks et Hart, 1972). / average basalt from Abitibi (ibidem) - 20% basaltic komatiite (Brooks and Hart, 1972).

L'étude pétrographique permet de mieux préciser les conditions de cristallisation. Selon toute probabilité la minéralogie primaire était constituée par: cpx + hornb + plag + qtz + Ti-mt, le clinopyroxène étant résorbé par l'amphibole et le quartz interstitiel.

The petrographic study allows for a more precise outline of crystallization conditions. According to all probabilities the primary mineralogy consisted of: cpx + hornb + plag + qtz + Ti-mt with clinopyroxene being resorbed by amphibole and quartz interstitial.

La composition chimique d'un clinopyroxène presque totalement résorbé par l'amphibole a été obtenue à la microsonde. Sa formule structurale est Na_{0.03} Ca_{0.83} Mg_{0.65} Mn_{0.01} Fe_{0.33} Ti_{0.01} Al_{0.10} Si_{2.00} O₆ et le rapport Mg: (Fe, Mn): Ca est égal à 35.6: 18.7: 45.7. D'après Tröger (1959) une telle composition correspond à une faïssaitte (diopside pauvre en Ca). Les faibles

The chemical composition of a clinopyroxene almost entirely resorbed by amphibole was obtained with a microprobe. Its structural formula is Na_{0.03} Ca_{0.83} Mg_{0.65} Mn_{0.01} Fe_{0.33} Ti_{0.01} Al_{0.10} Si_{2.00} O₆ and the Mg: (Fe, Mn): Ca ratio is equal to 35.6: 18.7: 45.7. According to Tröger (1959) such a composition corresponds to a faïssaitte (Ca poor diopside).

concentrations de Ti et Al sont typiques des pyroxènes des roches volcaniques tholéitiques (Kushiro, 1960, Le Bas, 1962). La faible teneur en Al_2O_3 et en jadéite indiquerait selon Hess (1960) et Yoder et Tilley (1962) une cristallisation à faible pression. De plus, la teneur élevée en Ca dénonce la quasi-absence d'orthopyroxène en solution solide. La cristallisation de ce pyroxène d'après ses relations texturales et ses teneurs élevées en Fe et faibles en Al peut être attribuée à une période tardive dans l'évolution des roches de Bourlamaque. De ce fait les renseignements qu'un tel pyroxène peut fournir sur l'évolution chimique précoce sont plutôt limités. Cependant, si sa teneur en Al n'a pas changé de beaucoup lors de la différenciation - et les études de Green et de Ringwood (1967) montrent que le pyroxène devient alumineux seulement à des profondeurs supérieures à quelques 35 km -, ce paramètre s'associerait à l'impossibilité du plagioclase de cristalliser dans le processus d'enrichissement en Al des magmas résiduels.

Ainsi, l'abondance de plagioclase dans les roches de Bourlamaque caractériserait une cristallisation sous des pressions d'eau relativement élevées, fait d'ailleurs confirmé par la présence d'amphibole primaire, tandis que la composition chimique du pyroxène, la nature interstitielle du quartz et l'absence de grenat indiqueraient un assemblage primaire de faible profondeur.

Dans le but de délimiter les conditions de cristallisation du batholite de Bourlamaque il semble intéressant de considérer l'étude de Green (1972) sur la cristallisation d'une andésite dont la composition chimique se compare bien (à l'exception de ses teneurs plus élevées en K_2O et en CaO) à celle de Bourlamaque. Cette étude confirme d'une part certains aspects déjà vus de la cristallisation en milieu de plus en plus riche en eau, telles les températures progressivement

The low Ti and Al concentrations are typical of the pyroxenes associated with tholeiitic volcanic rocks (Kushiro, 1960; Le Bas, 1962). The low Al_2O_3 and jadeite content would indicate, according to Hess (1960) and Yoder and Tilley (1962), a low pressure crystallization. In addition, the high Ca content indicates orthopyroxene in solid solution to be almost absent. The crystallization of this pyroxene can, according to its textural relationships, its high Fe and its low Al content, be attributed to a late period in the evolution of the Bourlamaque rocks. As a result, the information that such a pyroxene can provide on the early chemical evolution is rather limited. However, if the Al content has not changed much during differentiation - and Green and Ringwood's studies (1967) indicate that the pyroxene becomes aluminous only at depth greater than 35 km - this parameter would be associated to the impossibility of plagioclase crystallizing within the Al-enrichment process of the residual magmas.

Hence, the abundance of plagioclase in the Bourlamaque rocks would characterize a crystallization under relatively high water pressure; this fact is also confirmed by the occurrence of primary amphibole, whereas the chemical composition of pyroxene, the interstitial nature of quartz and the absence of garnet would indicate a shallow primary assemblage.

In order to outline the crystallization conditions of the Bourlamaque batholith, it is interesting to consider Green's study (1972) on the crystallization of an andesite, the chemical composition of which is easily comparable (with the exception of its higher K_2O and CaO values) to that of Bourlamaque. On the hand, this study supports some previously noted aspects of crystallization in an environment which is increasingly enriched in water, for example: the progressively lower

moins élevées des surfaces des liquidi, ainsi que les températures relativement faibles d'apparition du plagioclase et du quartz et l'importance du volume de cristallisation de l'amphibole. D'autre part, elle précise aussi les relations de stabilité de certains minéraux qui peuvent être utiles à la compréhension de la cristallisation locale. Nous nous sommes donc particulièrement intéressés aux conditions de formation du grenat, phase absente dans les assemblages de Bourlamaque. Si l'on exclut, selon Green (*op. cit.*) la possibilité d'une réaction grenat + liquide = amphibole, la cristallisation du grenat est contrôlée par la pression et la teneur en eau; pour des valeurs de plus en plus grandes de ces deux paramètres, sa stabilité est favorisée aux dépens du clinopyroxène.

Des teneurs en eau de l'ordre de 2 à 5% et des pressions autour de 5 kb (20 km) sont les conditions proposées pour la cristallisation des roches de Bourlamaque. En effet, ces conditions éliminent la cristallisation du grenat en augmentant le domaine de stabilité du clinopyroxène et permettent la cristallisation dans l'ordre suivant: clinopyroxène, amphibole, plagioclase et quartz.

Les études expérimentales constituent des "fenêtres pétrogéniques" indiquant les relations minéralogiques dans des conditions spécifiques de genèse. Indéniablement, les renseignements fournis par ce genre d'études sont indispensables à la compréhension de l'évolution magmatique, mais l'aspect dynamique d'un tel processus n'a pas encore été suffisamment étudié. En effet, nous considérons l'évolution d'une roche ignée comme un processus continu débutant lors de la genèse du magma et se terminant par la fin de sa cristallisation. Nous sommes plus près du modèle pétrogénique de O'Hara (1968) que de celui proposé

temperatures of the liquid surfaces, as well as the relatively lower temperatures of plagioclase and quartz and the importance of the volume of crystallization of amphibole. On the other hand, it also specifies the stability relationships of some minerals which can be useful to the understanding of local crystallization. Of particular interest are the conditions leading to the formation of garnet which is a phase that is lacking in the Bourlamaque assemblages. If, according to Green (*op. cit.*), the possibility of a reaction garnet+liquid = amphibole is excluded, the crystallization of garnet is controlled by pressure and water content; for still greater values of these two parameters, its stability is favored at the expense of clinopyroxene.

Water content in the order of 2 to 5% and pressures around 5 kb (20 km) are the conditions suggested for the crystallization of the Bourlamaque rocks. Indeed, these conditions eliminate the crystallization of garnet while increasing the stability domain of clinopyroxene; they also allow crystallization in the following order: clinopyroxene, amphibole, plagioclase and quartz.

Experimental studies provide "petrogenic windows" indicating the mineralogical relationships in specific conditions of genesis. Undeniably, the information provided by this type of study is essential to the understanding of magmatic evolution; however, the dynamic aspect of such a process has not yet been sufficiently analyzed. Indeed, the evolution of an igneous rock is considered as a continuous process initiated during the genesis of the magma and ending at the conclusion of crystallization. We are closer to O'Hara's (1968) petrogenic model than to the one suggested by the Australian school. This school, in grading the importance of

par l'école australienne. Cette école, en hiérarchisant l'importance des différents paramètres, souligne certains moments de l'évolution d'un magma en leur attribuant la presque complète responsabilité de son chimisme. Nous proposons que soient mieux étudiés les effets de la cristallisation fractionnée, espacée tout au long de la période de remontée d'un magma et caractérisée à chaque instant par des paramètres physico-chimiques différents.

Le batholite de Bourlamaque devrait représenter le produit de la cristallisation de la partie résiduelle issue du fractionnement d'un magma ayant une composition chimique très similaire à celle qui a donné lieu aux laves en Abitibi. En outre, toujours d'après notre modèle, les cumulites devraient avoir une composition pyroxénitique très semblable aux komatiites basaltiques locales.

Les travaux expérimentaux sur les roches basaltiques de Tilley et Yoder (1964) et de Green et Ringwood (1967) ont montré que l'olivine, qui se présente au liquidus dans des conditions de pression faible, est remplacée par le clinopyroxène aussitôt que la cristallisation se produit dans des régions de plus haute pression. Selon cette constatation, les laves locales de la suite tholéitique qui montrent souvent des pseudomorphes de phénocristaux d'olivine et de plagioclase (Gélinas et Brooks, 1974) pourraient être les produits d'une cristallisation plutôt sèche dans des réservoirs relativement peu profonds tandis que l'origine des roches grenues de Bourlamaque et des volcanites à caractère calco-alcalin serait due à une cristallisation plus profonde en présence de fluides.

the different parameters, underlines certain periods in the evolution of a magma by attributing to them the almost complete responsibility for its chemism. It is proposed that the effects of fractional crystallization be studied in greater detail, at different periods of magma replenishment, and be characterized at each point by different physico-chemical parameters.

The Bourlamaque batholith should represent the product of crystallization of the residual portion resulting from the fractionation of a magma with a chemical composition very similar to the one that produced the Abitibi lavas. In addition, and following the same model, the cumulites should have a pyroxenitic composition very similar to that of the local basaltic komatiites.

The experimental studies of Tilley and Yoder (1954) and Green and Ringwood (1967) have shown olivine, which occurs at the liquidus under low-pressure conditions, to be replaced by clinopyroxene as soon as crystallization occurs in the areas of highest pressure. Accordingly, the local lavas of the tholeiitic suite, which often show pseudomorphs of olivine and plagioclase crystals (Gélinas and Brooks, 1974), could be the products of a rather dry crystallization within relatively shallow reservoirs; on the other hand, the origin of the Bourlamaque granular rocks and of the calco-alkaline volcanics would be related to crystallization at greater depths in the presence of fluids.

Ce modèle génétique proposé pour les roches de Bourlamaque considère les plutonites de Bourlamaque et les laves de l'Abitibi comme étant les produits de la cristallisation de magmas semblables mais cristallisés dans des conditions physico-chimiques différentes. Le fait que les roches de Bourlamaque par rapport aux laves de l'Abitibi soient fortement appauvries en éléments de la famille du magnésium constitue la base de notre interprétation. A partir de cette même constatation une origine différente que celle proposée pourrait être également envisagée. Nombre d'auteurs, entre autres Glikson (1972), Hanson et Goldich (1972), ont invoqué en effet l'anatexie des volcanites archéennes pour expliquer l'origine de complexes ignés, à caractère trondhjémitique, intrusifs dans les laves archéennes.

Malheureusement, l'anatexie et la cristallisation fractionnée sont deux processus pouvant donner les mêmes produits; actuellement, malgré la tentative de Presnall (1969) de caractériser les deux phénomènes, les paramètres permettant de séparer la cristallisation fractionnée de la fusion fractionnée restent largement inconnus. Cependant, si l'on en croit les résultats de Hanson et Goldich (1972), l'anatexie de quelques 20% de volcanites mafiques enrichit les liquides résiduels en K, Rb et Sr par un facteur de l'ordre de 5 par rapport aux teneurs originelles dans les laves. Les roches de Bourlamaque sont seulement modérément enrichies en K, Rb et Sr: une telle différence de comportement ne montre pas nécessairement une origine différente, mais elle peut aussi indiquer un degré d'anatexie locale plus élevé. Malgré l'ambiguïté persistante, les roches de Bourlamaque sont de peu plus siliceuses que les lithotypes volcaniques prépondérants; or, si elles proviennent

The genetic model suggested for the Bourlamaque rocks looks upon the Bourlamaque plutonics and the Abitibi lavas as being the crystallization products of similar magmas which, however, crystallized under different physico-chemical conditions. The fact that the Bourlamaque rocks are compared to the Abitibi lavas, highly impoverished in elements of the magnesium family, constitutes the basis of this interpretation. From these same findings a different origin than the one suggested can also be envisaged. Several authors, such as Glikson (1972) and Hanson and Goldich (1972), have in fact referred to anatexis to explain the origin of igneous trondhjemitic complexes intruding Archean lavas.

Unfortunately, anatexis and fractional differentiation are two processes that can yield the same products; actually, despite Presnall's (1969) attempt to characterize the two phenomena, the parameters allowing one to distinguish fractional crystallization from fractional fusion are generally unknown. However, if Hanson and Goldich's (1972) results are to be trusted, the anatexis of some 20% of mafic volcanics enriches the residual liquids in K, Rb and Sr by a factor of 5 compared to the initial contents in the lavas. The Bourlamaque rocks are only moderately enriched in K, Rb and Sr; such a difference in behaviour does not necessarily indicate a different origin but it could also indicate a high level of local anatexis. Despite persistent ambiguity, the Bourlamaque rocks are somewhat more siliceous than the preponderant volcanic lithotypes; yet if they originate from anatexis the latter should be relatively high, as would occur under conditions of moderately low (depth) pressure.

de l'anatexie, celle-ci doit être relativement poussée, ce qui se produit dans des conditions de pression (profondeur) modérément élevée.

Les relations texturales des roches de Bourlamaque, notamment la nature interstitielle du quartz et l'absence locale de grenat, s'opposant à l'hypothèse d'une cristallisation à haute pression, semblent ainsi plutôt infirmer l'éventualité de leur origine par anatexie des laves archéennes.

Une étude de la distribution des terres rares dans le batholite pourrait être efficace pour définir la profondeur à laquelle la cristallisation des roches locales a débuté. Puisque dans une roche donnée il semble que non seulement les teneurs en terres rares totales mais aussi les quantités relatives des différentes terres rares sont des paramètres sensibles pour les phénomènes d'accumulation des différents types de cristaux, l'étude de la distribution de ces éléments permettrait peut-être de mieux reconnaître les phases minéralogiques éventuelles qui ont contrôlé l'évolution magmatique précoce des roches de Bourlamaque.

The textural relationships of the Bourlamaque rocks, such as the interstitial nature of quartz and the local absence of garnet, are in opposition to the hypothesis of a high pressure crystallization; as a result, they invalidate the possibility of their origin through anatexis of the Archean lavas.

A study on the distribution of rare earths within the batholith might be effective in determining the depth at which crystallization of the local rocks was initiated. For a given rock, it appears that not only the value in total rare earths but also the relative amounts of different rare earths are sensitive parameters in accumulation phenomena of different types of crystals; hence, a study of the distribution of these elements might perhaps allow a better identification of the eventual mineralogical phases that have controlled the early magmatic evolution of the Bourlamaque rocks.

SOMMAIRE ET CONCLUSIONS

L'étude pétrographique du batholite archéen de Bourlamaque a montré que cette unité possède dans l'ensemble une minéralogie secondaire pouvant être assimilée au faciès métamorphique des schistes verts. Cette minéralogie est en effet représentée par l'assemblage: albite - quartz - chlorite - épidote - mica blanc - leucoxène. Les quelques rares reliques de minéraux, témoins d'équilibres de plus haute température, ont d'ailleurs permis de reconstituer la paragenèse primaire qui, fort probablement, était essentiellement composée d'andésine An_{50} , de clinopyroxène, de hornblende, de quartz et de magnétite titanifère.

L'étude géochimique a permis de reconnaître, à l'intérieur du batholite constituant un ensemble cosanguin, au moins deux intrusions plutôt semblables, mais chacune pouvant représenter deux degrés divers de différenciation magmatique. Une troisième intrusion peut aussi être présente, mais elle est mal définie. L'intrusion du nord, la plus différenciée, puisqu'elle est la plus riche en éléments felsiphiles (K, Rb, Li et Sr), est aussi la plus riche en Zn et P, tandis que c'est à la bordure sud de l'intrusion centrale peu différenciée que se situe l'unité très riche en Mg, Cr et Ni (troisième intrusion?). Ces venues magmatiques ont été interprétées comme des pulsations d'un magma différencié en profondeur.

Le comportement géochimique des éléments analysés, encore largement explicable à la lumière de processus ignés, nous a fait attribuer au métamorphisme un caractère d'ensemble isochimique. Cependant, Cu et CO_2 ne s'accordent pas à une distribution magmatique; de

SUMMARY AND CONCLUSIONS

The petrographic study of the Archean Bourlamaque batholith has shown this unit generally to have a secondary mineralogy that can be likened to the greenschist metamorphic facies. This mineralogy is in fact represented by the assemblage: albite - quartz - chlorite - epidote - white mica - leucoxene. The few mineral relics, witnesses of higher temperature equilibrium, have moreover allowed a reconstruction of the primary paragenesis which, most likely, consisted essentially of andesine An_{50} , clinopyroxene, hornblende, quartz and titaniferous magnetite.

The geochemical study has led to the recognition, within the cosanguineous batholith of at least two rather similar intrusions; however, each of these may represent two different degrees of magmatic differentiation. A third intrusion may also be present but it is poorly defined. The northern intrusion, the most differentiated one because of its richness in felsiphile elements (K, Rb, Li, and Sr), is also the richest in Zn and P whereas, at the southern boundary of the poorly differentiated central intrusion, a unit very rich in Mg, Cr and Ni occurs (third intrusion?). These magmatic bursts have been interpreted as pulsations from a magma differentiated at depth.

The geochemical behaviour of the elements analyzed, still widely explicable in the light of igneous process, has led us to assign to metamorphism a general isochemical character. However, Cu and CO_2 do not agree with a magmatic distribution; therefore,

ce fait, ils semblent plutôt avoir été contrôlés par le processus métamorphique. A ce sujet, la redistribution du cuivre dans le métamorphisme peut avoir de l'intérêt pour l'exploration minérale. D'ailleurs le comportement tout-à-fait particulier de Cu (et de CO_2) a été mis en évidence aussi par l'analyse des correspondances des données géochimiques de Bourlamaque et par l'étude des coefficients de corrélation des éléments chimiques. Cette dernière étude a de plus montré un degré différent de corrélation dans les deux intrusions principales. Cette différence de corrélation a été hypothétiquement attribuée à l'altération qui semble avoir affecté davantage l'intrusion moins différenciée.

La distribution géographique des éléments chimiques montre un zonage vertical et permet ainsi de mieux définir les intrusions qui peuvent être considérées comme des filons-couches superposés mis en place dans les volcanites encaissantes quand celles-ci étaient encore subhorizontales dans leur bassin d'épanchement.

L'étude de l'abondance des éléments a montré d'une part que les roches de Bourlamaque sont pauvres en Mg, Cr et Ni et d'autre part que leurs teneurs en K, Rb et Sr sont caractéristiques du volcanisme archéen local.

L'analyse pétrologique a été rendue possible par le fait que le chimisme local, peu affecté par le métamorphisme, peut être considéré comme primaire dans l'ensemble malgré la présence d'une minéralogie largement secondaire.

L'étude pétrologique a révélé le caractère calco-alkalin particulier des roches de Bourlamaque. Ces roches sont en effet comparables par

they appear to have been controlled rather by a metamorphic process. In line with this, the redistribution of copper through metamorphism may be of interest for mineral exploration. Besides, the very particular behaviour of copper (and of CO_2) was also evidenced by the correlation analysis of the Bourlamaque geochemical data and by the study of the correlation coefficients of the chemical elements. This latter study has also shown a different degree of correlation between the two main intrusions. This difference in correlation has been hypothetically attributed to alteration, which appears to have influenced the less differentiated intrusion to a greater extent.

The geographical distribution of the chemical elements shows a vertical zoning; it also allows better definition of the intrusions that can be considered as superimposed sills that settled in the surrounding volcanics when these were still sub-horizontal in their effusion basin.

The study of the abundance of elements has shown that, on the one hand, the Bourlamaque rocks are poor in Mg, Cr and Ni and, on the other hand, their K, Rb and Sr contents are characteristic of local Archean volcanism.

The petrological analysis was made possible because of the fact that the local chemism, which is little affected by metamorphism, can be considered as primary on the whole despite the presence of a wide secondary mineralogy.

The petrological study revealed the particular calc-alkaline character of the Bourlamaque rocks. These rocks are indeed comparable, through

leur déficience en K, Rb et Sr aux suites magmatiques des tholéites des arcs insulaires récents. Pour expliquer le chimisme des roches de Bourlamaque, nous proposons un processus de différenciation magmatique en profondeur, caractérisé par des phénomènes de fractionnement par densité. A la lumière des données de la pétrologie expérimentale, le magma primitif se serait libéré d'un résidu de composition essentiellement pyroxénitique. Dans un esprit spéculatif, la soustraction de quelque 20% de pyroxénite à olivine ou de komatiite d'un magma aussi primitif que celui qui a donné origine aux basaltes locaux semble justifier le chimisme particulier de Bourlamaque. Dans un tel processus, un accent particulier a été mis sur l'importance de l'eau dont la présence à un moment donné de la cristallisation est prouvée par l'abondance d'amphibole primaire. Cependant, l'eau peut avoir commencé à jouer un rôle bien avant la cristallisation des minéraux hydratés dès le stade magmatique de la métadiorite de Bourlamaque. Nous croyons que les roches de Bourlamaque ont cristallisé en présence de teneurs d'eau de l'ordre de 2 à 5% et à des pressions autour de 5 kb (20 km).

En dernier lieu, en se basant sur les similitudes chimiques entre les métavolcanites de l'Abitibi et la métadiorite de Bourlamaque, un modèle génétique a été proposé pouvant expliquer les produits différents du magmatisme archéen de la ceinture volcanique de l'Abitibi en fonction seulement de paramètres physico-chimiques différents de la cristallisation. Ainsi, à partir du même type de magma, la plupart des volcanites locales, qui montrent une tendance tholéitique, seraient les produits d'une cristallisation relativement sèche dans des réservoirs peu profonds, tandis que les magmatites "calco-alkalines", dont la métadiorite de Bourlamaque

their deficiency in K, Rb and Sr, to the magmatic suites of the recent island arcs. In order to explain the chemism of the Bourlamaque rocks, a process of magmatic differentiation at depth is suggested, characterized by density fractionation phenomena. In the light of data from experimental petrology, the primitive magma would have been freed from an essentially pyroxenitic residue. On a speculative basis, the subtraction of some 20% olivine pyroxenite or komatiite from such a primitive magma as the one that gave rise to local basalts appears to justify the particular chemism of Bourlamaque. In such a process, a particular accent has been placed on the importance of water which, at a given time during crystallization is proven by the abundance of primary amphibole. However, water may have started to play a role much before the crystallization of hydrated minerals, as early as the magmatic stage of the Bourlamaque metadiorite. We believe the Bourlamaque rocks to have crystallized in the presence of water contents in the order of 2 to 5% and under pressures around 5 kb (20 km).

Finally, and based on chemical similarities between the Abitibi metavolcanics and the Bourlamaque metadiorite, a genetic model has been suggested that can explain the different products of the Archean magmatism of the Abitibi volcanic belt; this is done solely on the basis of different physico-chemical characteristics of crystallization. Hence, starting with the same type of magma, most local volcanics which show a tholeiitic tendency would be the products of a relatively dry crystallization in shallow reservoirs; on the other hand, the "calc-alkaline" magmatics, of which the Bourlamaque metadiorite is a good intrusive example,

est un exemple intrusif, seraient issues
d'une cristallisation plus profonde et
partiellement contrôlée par la présence
d'eau.

would have developed from a deeper
crystallization partially controlled
by the presence of water.

REFERENCES

L'astérisque à la suite d'un millésime de publication signale l'existence d'une traduction.
The asterisk following a publication date indicates the existence of a translation.

- ABBEY, S. -
1967 - *Analysis of rocks and minerals by atomic absorption spectroscopy*; Part 1; Determination of magnesium, lithium, zinc and iron; G.S.C.; Paper 67-37.
- 1968 - *Analysis of rocks and minerals by atomic absorption spectroscopy*; Part 2; Determination of total iron, magnesium, calcium, sodium and potassium; G.S.C.; Paper 68-20.
- 1971 - *Analysis of rocks and minerals by atomic absorption and flame emission spectroscopy*; Part 4; A composite scheme for the less common alkali and alkaline-earth elements; G.S.C.; Paper 71-50.
- 1972 - "Standard Samples" of silicate rocks and minerals-A review and compilation; G.S.C.; Paper 72-30.
- AHRENS, L.H. -
1953 - *The use of ionisation potentials*; Part 2. Geoch. Cosmo. Acta; Vol. 3, pp. 1-29.
- AL'MUKHAMENOV, A.I. -
1967 - *Behavior of titanium during differentiation of basaltic magma*; Geoch. Int.; Vol. 4, p. 47.
- ALSAC, C. - LAMARCHE, R. - LATULIPPE, M. -
1971 - *Caractérisation pétrologique des formations paléovolcaniques minéralisées d'après l'exemple des régions de Val-d'Or et Weedon-Thetford (Canada)*; Com. Franc. Québ. Coop. Géol. Min. B.R.G.M. et M.R.N.Q; GM-27885.
- ANGINO, E.E. - BILLINGS, G.K. -
1967 - "Atomic Absorption Spectrometry in Geology"; Elsevier, Amsterdam.
- ANHAEUSSER, C.R. - MASSON, R. - VILJOEN, M.J. - VILJOEN, R.P. -
1969 - *A reappraisal of some aspects of Precambrian shield geology*; Geol. Soc. Am., Bull.; Vol. 80, pp. 2175-2200.
- AOKI, K. - KUNO, H. -
1973 - *Gabbro-quartz diorite inclusions from Izu-Hakone region, Japan*; Bull. Volc.; Vol. 36, No. 1, pp. 1-10.
- BARAGAR, W.R.A. -
1968 - *Major-element geochemistry of the Noranda volcanic belt, Quebec-Ontario*; Can. J. Earth Sci.; Vol. 5, pp. 773-790.
- 1972 - *Some physical and chemical aspects of Precambrian volcanic belts of the Canadian Shield*; Can. Cont. No. 9, Geodyn. Project, pp. 129-140.
- BARAGAR, W.R.A. - GOODWIN, A.M. -
1969 - *Andesites and Archean volcanism of the Canadian Shield*; Proc. Andes. McBirney Ed., Oregon Dept. of Geology Mineral Industries; Bull. 65, pp. 121-149.

- BARNETT, P. - HULEATT, W. - RADER, L. - MYERS, A. -
 1955 - *Spectrographic determination of contamination of rock samples after grinding with alumina ceramic*; Am. J. Sci.; Vol. 253, pp. 121-124.
- BASS, M.N. -
 1961 - *Regional tectonics of part of the southern Canadian Shield*; J. Geol. Vol. 69, pp. 668-702.
- BELT, C.B. -
 1964 - *Atomic absorption spectrophotometry and the analysis of silicate rocks for copper and zinc*; Econ. Geol.; Vol. 59, pp. 240-258.
- BENCE, A.E. - ALBEE, A.L. -
 1968 - *Empirical correction factors for the electron micro-analysis of silicates and rocks*; J. Geol.; Vol. 76, No. 4, pp. 382-403.
- BROOKS, C. - HART, S. -
 1972 - *An extrusive basaltic komatiite from a Canadian Archean metavolcanic belt*; Can. J. Earth Sci.; Vol. 9, pp. 1250-1253.
- BROWN, G.M. - SCHAIRER, J.F. -
 1971 - *Chemical and melting relations of some calc-alkaline volcanic rocks*; Geol. Soc. Am.; Mem. 130, pp. 139-157.
- CAMPIGLIO, C. -
 1974 - *Etude géochimique et pétrologique du batholite de Bourlamaque, Abitibi, Québec*; Thèse de doctorat inédite. Ecole Polytechnique, Montréal, Canada.
- CANN, J.R. -
 1969 - *Splites from the Carlsberg Ridge, Indian Ocean*; J. Petr.; Vol. 10, pp. 1-19.
- CHAYES, F. -
 1964 - *A petrographic distinction between Cenozoic volcanics in and around the open oceans*; J. Geoph. Res.; Vol. 69, pp. 1573-1588.
- 1966 - *Alkaline and subalkaline basalts*; Am. J. Sci.; Vol. 264, No. 2, pp. 128-145.
- CHAYES, F. - KRUSKAL, W. -
 1966 - *An approximate statistical test for correlations between proportions*; J. Geol.; Vol. 74, pp. 692-702.
- CIONI, R. - INNOCENTI, F. - MAZZUOLI, R. -
 1971 - *Chemical analysis and some trace element data on standard silicate rocks*; Chem. Geol.; Vol. 7, pp. 19-23.
- 1972 - *The determination of vanadium in silicate rocks with the HGA-70 graphite furnace*; Atom. Absorp. Newsletter; Vol. 11, No. 5, pp. 102-103.
- COATS, R.R. -
 1968 - *Basaltic Andesites*. In "Basalts", (Hess, H.U., Poldervaart A. Ed.); Vol. 2, pp. 689-736. Interscience Publ. N.Y.
- COOKE, H.C. - JAMES, W.F. - MAWDSLEY, J.B. -
 1931*- *Geology and Ore Deposits of Rouyn-Harricana Region, Quebec*; Geol. Surv. Can.; Mem. 166.
- CORNWALL, H.R. - ROSE, H.J. -
 1957 - *Minor elements in Keweenaw lavas, Michigan*; Geoch. Cosmo. Acta; Vol. 12, pp. 209-224.
- DAVID, D.J. -
 1960 - *The application of atomic absorption to chemical analysis*; Analyst, Vol. 85, pp. 779-791.

- DAVID, M. - CAMPIGLIO, C. - DARLING, R. -
1974 - *Progresses in R and Q-mode analysis: correspondence analysis and its application to the study of geological processes*; Can. J. Earth Sci.; Vol.11, pp. 131-146.
- DAWSON, K.R. -
1966 - *A comprehensive study of the Preissac-Lacorne Batholith, Abitibi Co., Quebec*; Geol. Surv. Can.; Bull. 142.
- DE VORE, G.W. -
1955 - *The role of absorption in the fractionation and distribution of elements*; Jour. Geol.; Vol.63, pp. 159-190.
- DICKINSON, W.R. -
1967 - *Circum-pacific andesite types (abstract)*; Am. Geoph. Un., Trans.; Vol.48, p. 253.

1968 - *Circum-Pacific andesite types*; J. Geoph. Res.; Vol.73, No.6, pp. 2261-2269.
- DOUGLAS, R.J.W. Ed. -
1970 - *"Geology and economic minerals of Canada"*; Dept. Energ. Min. Res. Canada.
- DUGAS, J. - LATULIPPE, M. -
1961*- *Zone minière Noranda-Senneterre*; Carte No. 1388; min. Rich. nat. Québec.
- ENGEL, A.E.J. - ENGEL, C.E. - HAVENS, R.G. -
1965 - *Chemical characteristics of oceanic basalts*; Geol. Soc. Am., Bull.; Vol.76, pp. 719-734.
- EUGSTER, H.P. -
1972*- *Reduction and oxidation in metamorphism (II)*; 24th Int. Geol. Con., Montréal; Sect.10, pp. 3-11.
- FLANAGAN, F.J. -
1969 - *U.S. Geological Survey standards -II*; Geoch. Cosmo. Acta; Vol.33, pp. 81-120.
" " -
1973 - *1972 values for international geochemical reference samples*; Geoch. Cosmo. Acta; Vol.37, pp. 1189-1200.
- FLEISCHER, M. -
1969 - *U.S. Geological Survey standards-I*; Additional data on rocks G-1 and W-1, 1965-1967; Geoch. Cosmo. Acta; Vol.33, pp. 65-79.
- FYFE, W. -
1951 - *Isomorphism and bond types*; Am. Min.; Vol.36, pp. 538-542.
- GAST, P.W. -
1968 - *Trace element fractionation and the origin of tholeiitic and alkaline magma types*; Geoch. Cosmo. Acta; Vol.32, pp. 1057-1086.
- GELINAS, L. - BROOKS, C. -
1974 - *Arochean quench texture tholeiites*; Can. J. Earth Sci.; Vol.11, No.2, pp. 324-340.
- GILL, J.B. -
1970 - *Geochemistry of Viti Levu, Fiji, and its evolution as an island arc*; Contr. Min. Petr.; Vol.27, pp. 179-203.
- GLIKSON, A.Y. -
1972 - *Geosynclinal evolution and geochemical affinities of Early Precambrian Systems*; Tectonophysics; Vol.9, pp. 397-433.
- GOLDICH, S.S. - HANSON, G.N. - HALLFORD, C.R. - MUDREY, M.G. -
1972 - *Early Precambrian rocks in the Saganaga- Northern Light Lake area, Minnesota-Ontario*; Part 1. Petrology and structure; Geol. Soc. Am.; Mem. 135, pp. 151-177.

- GOLDSCHMIDT, V.M. -
1937 - *The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks*; J. Chem. Soc. London; March, pp. 655-673.
- 1943 - *Oxidation et réduction en géochimie (en suédois)*; Geol. Fören. Föhr., Stockholm; Vol.65, pp. 84-85.
- 1945 - *The geochemical background of minor element distribution*; Soil Sci.; U.S.A., 60, pp.1-7.
- GONI, J. -
1966 - *Contribution à l'étude de la localisation et de la distribution des éléments en traces dans les minéraux et les roches granitiques*; B.R.G.M.; Mém. no 45, Paris.
- GOODWIN, A.M. -
1968 - *Evolution of the Canadian Shield*; Geol. Ass. Canada, Proceed.; Vol.19, pp. 1-14.
- GOODWIN, A.M. - RIDLER, R.H. -
1970 - *The Abitibi orogenic belt*; Geol. Surv. Canada; Paper 70-40, pp. 1-30.
- GOODWIN, A.M. - SHKLANKA, R. -
1967 - *Archean volcano-tectonic basins: form and pattern*; Can. J. Earth Sci.; Vol.4, pp. 777-795.
- GREEN, D.H. - RINGWOOD, A.E. -
1967 - *The genesis of basaltic magmas*; Contr. Min. Petr.; Vol.15, pp. 103-190.
- GREEN, T.H. -
1972 - *Crystallization of calc-alkaline andesite under controlled high-pressure hydrous conditions*; Contr. Min. Petr.; Vol.34, pp. 150-166.
- GREEN, T.H. - RINGWOOD, A.E. -
1968 - *Genesis of calc-alkaline igneous rock suite*; Contr. Min. Petr.; Vol.18, pp. 105-162.
- GRILLOT, H. - BEGUINOT, J. - BOUCETTA, M. - ROUQUETTE, C. - SIMA, A. -
1964 - *Méthodes d'analyse quantitative appliquées aux roches et aux prélèvements de la prospection géochimique*; B.R.G.M.; Mém. no 30, Paris.
- GUNN, B.M. -
1971 - *Trace element partition during olivine fractionation of Hawaiian basalts*; Chem. Geol.; Vol.8, pp. 1-13.
- 1972 - *The fractionation effect of kaersutite in basaltic magmas*; Can. Min.; Vol.11, pp. 840-850.
- GUNNING, H.C. - AMBROSE, J.W. -
1940*- *Malartic Area, Quebec*; Geol. Surv. Can.; Mem. 222.
- GUSSOW, W.C. -
1937 - *Petrogeny of the Major Acid Intrusives of the Rouyn-Bell River Area of NW Quebec*; Trans. Roy. Soc. Can.; Sect. IV, pp. 129-161.
- HAMILTON, D.L. - ANDERSON, G.M. -
1967 - *Effects of water and oxygen pressures on the crystallisation of basaltic magmas in "Basalts"*; Poldervaart, A., Hess, H.H. Eds; J. Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 445-482.
- HAMILTON, W. -
1964 - *Origin of high-alumina basalts, andesite and dacite magmas*; Science; Vol.146, No.3644, pp. 635-637.

HANSON, G.N. - GOLDICH, S.S. -

- 1972 - *Early Precambrian rocks in the Saganaga Lake-Northern Light Lake area, Minnesota-Ontario, Part II: petrogenesis*; Geol. Soc. Am.; Mem. 135, pp. 179-192.

HART, S.R. -

- 1969 - *K, Rb, Cs contents and K/Rb, K/Cs ratios of fresh and altered submarine basalts*; Earth Plan. Sci. Letters; Vol. 6, pp. 295-303.

HART, S.R. - BROOKS, C. - KROGH, T.E. - DAVIS, G.L. - NAVA, D. -

- 1970 - *Ancient and modern volcanic rocks: a trace element model*; Letters; Vol. 10, pp. 17-28.

HAWLEY, J.E. -

- 1930*- *Gold and Copper Deposits of Dubuissou and Bourlamaque Townships*; Queb. Bur. Min.; Ann. Rept. pt. C, p. 24.

HEIER, K.S. - ADAMS, J.A.S. -

- 1964 - *The geochemistry of the alkali metals*; Phys. The. Earth; Vol. 5 pp. 253-382.

HESS, H.H. -

- 1960 - *Stillwater igneous complex*; Geol. Soc. Am.; Mem. 80.

HIETANEN, A. -

- 1961 - *A proposal for clarifying the use of plutonic calc-alkalic rock names*; U.S. Geol. Surv. Prof.; Paper 424-D, pp. 340-342.

HOLLAND, J.G. - LAMBERT, R. ST-J. -

- 1972 - *The geochemistry of lithium in the Mainland Lewisian of Scotland*; 24th Int. Geol. Con., Montreal; Sect. 10, pp. 169-178.

HOLLOWAY, J.R. - BURNHAM, W.C. -

- 1972 - *Melting relations of basalt with equilibrium water pressure*; J. Petr.; Vol 3, Part 1, pp. 1-29.

HUTCHINSON, R.W. - RIDLER, R.H. - SUFFEL, G.G. -

- 1971 - *Metallogenic relationships in the Abitibi belt, Canada: a model for Archean metallogeny*; Can. Min. Met. Trans.; Vol. LXXIV, pp. 106-115.

IMREH, L. -

- 1972*- *Etude des complexes ultrabasiques*; min. Rich. nat. Qué.; S-140; pp. 113-116.

INGHAM, W.N. -

- 1943 - *Structure and radioactivity of the Bourlamaque and Elsievir batholiths*; Thèse de doctorat non publiée; Univ. of Toronto, Canada.

JAKES, P. - GILL, J. -

- 1970 - *Rare earth elements and the island arc tholeiitic series*; Earth Plan. Sci. Letters; Vol. 9, pp. 17-28.

JAMES, W.F. - MAWDSLEY, J.B. -

- 1926 - *Fiedmont and Dubuissou Map areas, Abitibi County, Quebec*; Geol. Surv. Canada; Summ. Rept. pt. C, pp. 56-72.

JEDWAB, J. -

- 1951 - *Sur la définition des éléments typochimiques*; Bull. Soc. Belge Géol.; Vol. 62, pp. 173-179.

JEFFERY, P.G. - WILSON, A.D. -

- 1960 - *A combined gravimetric and photometric procedure for determining in silicate rocks and minerals*; Analyst; Vol 85, pp. 478-486.

KORZKINSKY, D.S. -

- 1948 - *Phase rule and geochemical mobility of elements*; Int. Geol. Con. (XVIII, London); Part II, pp. 50-57.

KUNO, H. -

- 1950 - *Petrology of the Hakone volcano and adjacent areas, Japan*; Geol. Soc. Am., Bull.; Vol. 61, pp. 957-1020.

- KUNO, H. -
1960 - *High alumina basalts*; J. Petr.; Vol.1, Part 2, pp. 121-145.
- 1968 - *Differentiation of basalt magmas*; In "Basalts", Hess, H.H., Poldervaart, A. Eds; Vol.2, pp. 623-688, Interscience Publ., N.Y.
- KUSHIRO, I -
1960 - *Si-Al relations in clinopyroxenes from igneous rocks*; Am. J. Sci.; Vol.258, pp. 548-554.
- LADURON, D.M. -
1971 - *A staining method for distinguishing paragonite from muscovite in thin section*; Am. Min.; Vol. 56, pp. 1117-1119.
- LAFFITTE, P. -
1957 - *"Introduction à l'étude des roches métamorphiques et des gîtes métallifères"*; Masson et Cie, Paris.
- LAMBERT, I.B. - WYLLIE, P.J. -
1970 - *Melting in the deep crust and upper mantle and the nature of the low velocity layer*; Phys. Earth Planet. Int.; Vol.3, pp. 316-322.
- LARSEN, E.S. -
1948 - *Batholith and associated rocks of Corona, Elsinore and San Luis Tey Quadrangles, Southern California*; Geol. Soc. Am.; Mem. 29.
- LATULIPPE, M. -
1959*- *Terrains Savard dans "Description des terrains miniers visités en 1956 et 1957"*; Min. Mines Québec; RP-390.
- 1966 - *The relationship of mineralization to Precambrian stratigraphy in the Matagami Lake and Val-d'Or districts of Quebec*; Geol. Ass. Can.; Spec. Paper No. 3, pp. 21-42.
- 1972*- *The Val d'Or-Malartic Area in "Guidebook Field Exc. A41-C41"*; 24th Int. Geol. Cong. Montreal.
- LAWSON, A.C. -
1913 - *The Archean geology of Rainy Lake re-studied*; Geol. Surv. Can.; Mem. 40, 115 p.
- LE BAS, M.J. -
1962 - *The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage*; Am. J. Sci.; Vol.260, pp. 267-288.
- LECO -
1959 - *"Manual for Leco induction furnaces"*; Lab. Equip. Corp.; St. Joseph, Michigan.
- LE MAITRE, R.W. -
1968 - *Chemical variations within and between volcanic rock series*; J. Petr.; Vol. 9, pp. 220-252.
- LEWIS, J.F. -
1967 - *The nature of parental basalt magma in calc-alkaline circum-oceanic and orogenic regions (abs)*; Am. Geoph. Union Trans.; Vol.48, p. 252.
- 1971 - *Composition, origin and differentiation of basalt magma in the Lesser Antilles*; Geol. Soc. Am.; Mem. 130, pp. 159-179.
- 1973 - *Petrology of the ejected plutonic blocks of the Soufrière volcano, St. Vincent, West Indies*; J. Petr.; Vol.14, Part I, pp. 81-112.
- LYELL, C. -
1830 - *"Principles of Geology"*; Vol. I, J. Murray, London.

- MAC DONALD, G.A. - KATSURA, T. -
1964 - *Chemical composition of Hawaiian lavas*; J. Petr.; Vol.5, No.1, pp. 82-133.
- MACPHERSON, H.G. -
1958 - *A chemical and petrographic study of Precambrian sediments*; Geoch. Cosmo. Acta; Vol. 14, pp. 73-92.
- MASON, B. -
1949 - *Oxidation and reduction in geochemistry*; J. Geol.; Vol.57, pp. 62-72.
- MAXWELL, J.A. -
1968 - *"Rock and Mineral Analysis"*; Interscience, New York, N.Y.
- MC CALL, G.J.H. -
1973 - *Geochemical characteristics of some Archean greenstone suites of the Yilgarn structural province, Australia*; Chem. Geol.; Vol.11, pp. 243-269.
- MC CALL, G.J.H. - LEISHMAN, J. -
1971 - *Clues to the origin of Archean eugeosynclinal peridotites and the nature of serpentinization*; Geol. Soc. Aust.; Spec. Publ. 3, pp. 281-299.
- MEDLIN, J.H. - SUHR, N.H. - BODKIN, J.B. -
1970 - *Determination of rubidium in silicate materials by atomic absorption spectrophotometry*; Chem. Geol.; Vol.6, pp. 143-148.
- MELSON, W.G. - ANDEL, T. - THOMPSON, G. -
1968 - *Volcanism and metamorphism in the Mid-Atlantic Ridge, 22° N Latitude*; J. Geoph. Res.; Vol.73, pp. 5925-5943.
- MIKSOWSKY, M. - MOLDAN, B. -
1970 - *Determination of copper, zinc, manganese and iron in silicate samples by atomic absorption spectroscopy*; Chem. Zvesti; Vol.24., pp. 128-133.
- MIYASHIRO, A. -
1968 - *Metamorphism of mafic rocks in "Basalts"*; Vol. 2, Hess and Poldervaart Eds; Interscience Publish., N.Y.
- 1973 - *The Troodos ophiolitic complex was probably formed in an island arc*; Earth Plan. Sci. Letters; Vol.19, pp. 218-224.
- MIYASHIRO, A. - SHIDO, F. - EWING, M. -
1970 - *Crystallization and differentiation in abyssal tholeiites and gabbros from mid-oceanic ridges*; Earth Plan. Sci. Letters; Vol.7, pp. 361-365.
- MOGAROWSKIY, V.V. - MEL'NICHENKO, A.K. -
1967 - *Geochemistry of strontium in the Upper Paleozoic Granitoids of the Southern Hissar Range*; Geokhimiya (transl.); No. 9, pp. 1090-1098.
- NALDRETT, A.J. -
1972 - *Archean ultramafic rocks*; Can. Contr.; No.10, Geodyn. Project, pp. 141-151.
- NESBITT, R.W. -
1966 - *The determination of magnesium in silicates by atomic absorption spectroscopy*; Anal. Chim. Acta; Vol.35, pp. 413-420.
- NOCKOLDS, S.R. -
1954 - *Average chemical compositions of some igneous rocks*; Geol. Soc. Am. Bull.; Vol.65, pp. 1007-1032.
- NOCKOLDS, S.R. - ALLEN, R. -
1953 - *The geochemistry of some igneous rock series*; Geoch. Cosmo. Acta; Vol.4, pp. 105-142.
- NOCKOLDS, S.R. - MITCHELL, R.L. -
1948 - *The geochemistry of some Caledonian plutonic rocks: a study in the relationship between the major and trace elements of igneous rocks and their minerals*; Trans. R. Soc. Edinburgh; Vol.61, pp. 533-575.

- NORMAN, G.W.H. -
1943. - *Bourlamaque Township, Abitibi county, Quebec (Summary Account)*; Geol. Surv. Canada; Paper 43-2, pp. 1-14.
- O'HARA, M.J. -
1965 - *Primary magmas and the origin of basalts*; Scot. J. Geol.; Vol.1, pp. 19-40.
- 1968 - *The bearing of phase equilibria studies in synthetic and natural systems on the origin and evolution of basic and ultrabasic rocks*; Earth-Sci. Rev.; Vol.4, pp. 69-133.
- OSBORN, E.E. -
1959 - *Role of oxygen pressure in the crystallization and differentiation of basaltic magma*; Am. J. Sci.; Vol.257, pp. 609-647.
- 1962 - *Reaction series for sub-alkaline igneous rocks based on different oxygen pressure conditions*; Am. Min.; Vol.47, pp. 211-226.
- PAULING, N. -
1947 - *"The nature of chemical bond"*; Cornell University Press, Ithaca, N.Y.
- PETTIJOHN -
1972 - *The Archean of the Canadian Shield: a résumé*; Geol. Soc. Am.; Mem. 135, pp. 131-149.
- PINTA, M. -
1971 - *"Spectrométrie d'absorption atomique"*; Tome I et II. Masson et Cie, Paris.
- PRESNALL, D.C. -
1969 - *The geometrical analysis of partial fusion*; Am. J. Sci.; Vol.267, pp. 1178-1194.
- PRESTON, D.A. -
1970 - *Fortran IV program for sample normality tests*; Kansas Geol. Surv.; Comp. Contr. No.41.
- PUTMAN, G.W. - ALFORS, J.T. -
1969 - *Geochemistry and petrology of the Rocky Hill stock, Tulare Co., California*; Geol. Soc. Am.; Spec. Paper 120.
- RANKAMA, K. -
1955 - *Geologic evidence of chemical composition of the Precambrian atmosphere*; Geol. Soc. Am.; Spec. Paper 62, pp. 651-664.
- RANKAMA, K. - SAHAMA, R.G. -
1950 - *"Geochemistry"*; Univ. Chicago Press, Illinois.
- RIDDELL, J.E. -
1950* - *Une technique pour décélérer les traces de métaux lourds épigénétiques dans les roches*; Min. Mines, Québec; RP-239.
- RINGWOOD, A.E. -
1955a - *The principles governing trace element distribution during magmatic crystallization; Part I*; Geoch. Cosmo. Acta; Vol.7, pp. 189-202.
- 1955b - *The principles governing trace element distribution; Part II*. Geoch. Cosmo. Acta; Vol.7, pp. 242-254.
- RODDICK, J.A. - ARMSTRONG, J.E. -
1959 - *Relict dykes in the Coast Mountains near Vancouver, B.C.*; J. Geol.; Vol.67, No.6, pp. 603-613.
- ROELANDTS, I. -
1972 - *The determination of rubidium in rocks and minerals by atomic absorption spectrophotometry*; At. Abs. Newsletter; Vol.11, No.2, p. 48.
- SHAW, D.M. -
1968 - *A review of K-Rb fractionation trend by covariance analysis*; Geoch. Cosmo. Acta; Vol. 32, pp. 573-602.
- SHCHERBINA, V.V. -
1965 - *Traits principaux de la géochimie du vanadium*; Trad. B.R.G.M. No.5014, Belg. Akad. Nank. Izvest. Geol. Inst. "Strashimir Dimitrov", pp. 51-68.

- SHRIVASTAVA, J.N. - PROCTOR, P.D. -
 1962 - *Trace element distribution in the Searchlight Nevada quartz monzonite*; Econ. Geol.; Vol.57, No.7, pp. 1062-1070.
- SLAVIN, W. -
 1968 - *"Atomic Absorption Spectroscopy"*; Interscience; New York, N.Y.
- SPITZ, G. - DARLING, R. -
 1973 - *Pétrographie des roches encaissantes du gisement cuprifère de Louvem*; Journ. Can. Sci. Terre; Vol.10, no 5, pp. 760-776.
- STANTON, R.E. -
 1966 - *"Rapid methods of trace analysis for geochemical application"*; Edward Arnold Publ. Ltd, London.
- STRECKEISEN, A.L. -
 1967 - *Classification and nomenclature of igneous rocks*; Neues Jb. Min.; Abh. 107, 2 und 3, pp. 144-240.
- STROCK, L.W. -
 1936 - *Zur Geochemie des Lithiums*; Nachr. Ges. Wiss. Göttingen; Math.-Phys. Kl, Fachrr. IV, Neue Folge, Bd 1, No.15, pp. 171-204.
- TAYLOR, S.R. -
 1965 - *The application of trace element data to problems in petrology*; Phys. Chem. Earth; Vol.6, pp. 133-213.
- 1969 - *Trace element chemistry of andesites and associated rocks. Proc. of the andesite conference*, McBirney Ed.; Oregon Dept. Geol. Min. Industries; Bull. 65, pp. 43-63.
- TAYLOR, S.R. - EMELEUS, C.H. - EXLEY, C.S. -
 1956 - *Some anomalous K/Rb ratios and their petrological significance*; Geoch. Cosmo. Acta; Vol.10, pp. 224-229.
- TAYLOR, S.R. - KAYE, M. - WHITE, A.J.R. - DUNCAN, A.R. - EWART, A. -
 1969 - *Genetic significance of Co, Cr, Ni, Sc and V content of andesites*; Geoch. Cosmo. Acta; Vol.33, pp. 275-286.
- TAYLOR, S.R. - WHITE, A.J.R. -
 1965 - *Geochemistry of andesites and the growth of continents*; Nature; Vol.208, pp. 271-273.
- 1966 - *Trace element abundances in andesites*; Bull. Volc.; Tome 29, pp. 177-194.
- TERASHIMA, S. -
 1971 - *L'analyse par absorption atomique des éléments mineurs dans les silicates (en japonais)*; Jap. Analyst; Vol.20, No.3, pp. 321-326.
- TILLEY, C.E. - YODER, H.S. -
 1964 - *Pyroxene fractionation in mafic magmas at high pressure and its bearing on basalt genesis*; Carn. Inst. Yearbook; Vol.63, pp. 114-121.
- TREMBLAY, L.P. -
 1950 *- *Piedmont Map area, Abitibi Co., Quebec*; Geol. Surv. Can.; Mem. 253.
- TRÖGER, W.E. -
 1959 - *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale*; Teil 1, Schweizer. Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- TUREKIAN, K.K. - CARR, M.H. -
 1960 - *The geochemistries of chromium, cobalt and nickel. Rept XXI Sess. Norden Int. Geol. Con. Copenhagen*; Part I, pp. 14-26.
- TURNER, F.J. - VERHOOGEN, J. -
 1960 - *"Igneous and metamorphic petrology"*; New York, McGraw-Hill Book Co., 2nd ed.
- VALLEE, M. - BOURASSA, R. -
 1972 - *Geology of the Louvem deposit, Val d'Or, Quebec*; SOQUEM M; rapport inédit.

- VILJOEN, M.J. - VILJOEN, R.P. -
 1969 - *The geology and geochemistry of the lower ultramafic unit of the Onverwacht Group and a proposed new class of igneous rocks*; Geol. Soc. S. Africa; Spec. Publ., 2, pp. 55-85.
- VINOGRADOV, A.P. -
 1962 - *Average contents of the chemical elements in the principal types of igneous rocks of the Earth's crust*; (Trans. of Geokhimiya), pp. 641-644.
- VLASOV, K.A. Ed. -
 1966 - *"Geochemistry of rare elements"*; IPST, Jerusalem.
- VOSTERS, M. - DEUTSCH, S. -
 1967 - *Atomic absorption spectrophotometry of rubidium in rocks and minerals - Comparison with isotope dilution*. Earth Plan. Sci. Letters, Vol.2, pp. 449-452.
- WAGER, L.R. -
 1962 - *Igneous cumulates from 1902 eruption of Soufrière, St-Vincent*; Bull. Volc.; Tome XXIV, pp. 93-99.
- WAGER, L.R. - DEER, W.A. -
 1939 - *The petrology of the Skaergaard intrusion, Kanderdlugssuaq, E. Greenland*; Medd. Grøn.; Vol.105, No.4.
- WAGER, L.R. - MITCHELL, R.L. -
 1948 - *The distribution of Cr, V, Ni, Co and Cu during the fractional crystallization of a basic magma*; XVIII Int. Geol. Con., London; Part II, pp. 140-150.
- WARREN, H. - DELAVAUULT, R. -
 1960 - *Aqua Regia extractable copper and zinc in plutonic rocks in relation to ore deposits*; Bull. Inst. Min. Met.; Vol.69, pp. 495-504.
- 1961 - *Aqua Regia extractable lead and molybdenum in eruptive rocks*; Trans. R. Soc. Canada; Vol. 56, pp. 67-73.
- WEBBER, G.R. - VOLLRATH, J.D. -
 1967 - *Determination of Zirconium in Rocks by X-ray Fluorescence Using Scattered Radiation to Correct for Matrix Effects*; Can. Spectrosc.; Vol.12, No.1, pp. 105-108.
- WEDEPOHL, K.H. -
 1969 - *Composition and abundance of common igneous rocks in "Handbook of Geochemistry"*; Vol. I, Springer Verlag; pp. 228-271.
- WILSON, M.E. -
 1943 - *The Early Precambrian Succession in Western Quebec*; Trans. Roy. Soc. Can.; Ser. 3, Sec. 4, Vol.37, pp. 119-138.
- WILSON, H.D.B. - PETER ANDREWS - MOXHAM, R.L. - RAMLAL, K. -
 1965 - *Archean volcanism in the Canadian Shield*; Can. J. Earth Sci.; Vol.2, pp. 161-175.
- WINKLER, H.G.F. -
 1967 - *"Petrogenesis of metamorphic rocks"*; 2nd Ed., Springer Verlag, N.Y.
- WOLHUTER, L.E. -
 1971*- *Le Pluton d'Opémisca*; min. Rich. nat. Québec; ES-6.
- WYLLIE, P.J. -
 1971 - *"The dynamic earth"*; J. Wiley and Sons, Inc., N.Y.
- WYLLIE, P.J. - TUTTLE, O.F. -
 1961 - *Hydrothermal melting of shales*; Geol. Mag.; Vol.98, pp. 56-66.
- YODER, H.S. -
 1955 - *Role of water in metamorphism*; Geol. Soc. Am.; Spec. Paper 62, pp. 505-524.
- 1965 - *Diopside-anorthite-water at five and ten kilobars and its bearing on explosive volcanism*; Carn. Inst. Yearbook; Vol.64, pp. 82-89.
- YODER, H.S. - TILLEY, C.E. -
 1962 - *Origin of basaltic magmas*; J. Petr.; Vol.3, Part 3, pp. 342-532.
- YODEN, W.J. -
 1964 - *"Statistical methods for chemists"*; J. Wiley and Sons, Inc., N.Y.

ANNEXE A / APPENDIX A

LISTE ET LOCALISATION DES ECHANTILLONS ETUDIES PAR VOIE CHIMIQUE (voir figure A.1)
LIST AND LOCATION OF SAMPLES STUDIED BY CHEMICAL METHODS (see figure A. 1).

No.	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude
C-2	77°35'21"	48°06'23"	C-89	77°34'30"	48°06'02"	C-169	77°48'34"	48°07'25"
C-6	77°38'17"	48°05'47"	C-97	77°33'28"	48°06'04"	C-171	77°48'19"	48°07'55"
C-8	77°34'10"	48°07'15"	C-98	77 33'56"	48°05'50"	C-174	77°38'50"	48°07'22"
C-11	77°35'03"	48°07'05"	C-104	77°34'20"	48°11'42"	C-177	77°49'15"	48°07'48"
C-13	77°34'35"	48°07'57"	C-106	77°33'58"	48°10'59"	C-183	77°36'49"	48°09'03"
C-14	77°34'54 "	48°07'28"	C-109	77°33'58"	48°09'56"	C-185	77°49'01 "	48°08'24"
C-16	77°34'36"	48°07'28"	C-112	77°34'53"	48°09'48"	C-190	77°34'14"	48°08'51"
C-21	77°34'11"	48°07'46"	C-116	77°36'02"	48°07'23"	C-191	77°38'03"	48°06'56"
C-28	77°35'11"	48°07'30"	C-118	77°36'23"	48°07'34"	C-193	77°37'34"	48°06'51"
C-44	77°40'55"	48°07'36"	C-124	77°33'58"	48°06'38"	C-196	77°35'30"	48°08'57"
C-53	77°40'04"	48°07'35"	C-131	77°32'55"	48°08'49"	C-202	77°34'52"	48°08'44"
C-54	77°40'00"	48°03'35"	C-133	77°42'22"	48°08'32"	C-203	77°37'15"	48°08'17"
C-66	77°43'25"	48°09'20"	C-141	77°41'12"	48°07'13"	C-205	77°36'25"	48°09'22"
C-69	77°39'46"	48°10'17"	C-142	77°40'05"	48°07'10"	C-206	77°39'58"	48°08'03"
C-70	77°40'28"	48°10'30"	C-149	77°33'13"	48°08'07"	C-208	77°37'41"	48°08'12"
C-74	77°39'58"	48°10'40"	C-151	77°39'35"	48°07'33"	C-211	77°38'05"	48°08'33"
C-79	77°36'32"	48°10'18"	C-153	77°39'28"	48°07'27"	C-218	77°38'22 "	48°08'01"
C-82	77°40'15"	48°09'35"	C-159	77°32'36"	48°06'46"	C-224	77°37'50"	48°07'31"
C-83	77°38'36"	48°06'14"	C-165	77°39'12"	48°07'22"	C-228	77°36'04"	48°08'21"
C-85	77°39'38"	48°06'09"	C-166	77°41'44"	48°07'38"	C-231	77°35'20"	48°08'19"
C-88	77°36'13"	48°05'53"				C-356	77°33'55"	48°05'52"

ANNEXE B

PREPARATION DES ECHANTILLONS ET METHODES D'ANALYSE

PREPARATION DES ECHANTILLONS

Les échantillons furent prélevés sur le terrain à l'aide d'une masse et les nombreux fragments obtenus pour chaque échantillon furent débarrassés de leur croûte d'altération superficielle à l'aide d'un marteau. La taille généralement grossière des cristaux de la roche (1 cm) et la possibilité d'une migration de certains éléments (sur le terrain, on observe en effet deux types de quartz et une forme différente des cristaux d'amphibole et des aggrégats chloriteux remplaçant ces derniers) nous ont incités à prélever des échantillons assez volumineux; ceux destinés à l'analyse chimique dépassant 3 kg. Ainsi, nous espérons pouvoir attribuer une signification à chaque élément analysé et connaître à petite échelle l'éventuelle migration locale.

Le concassage et broyage des échantillons en laboratoire soulevèrent le problème de la contamination. L'équipement à notre disposition permettait un choix entre deux méthodes, les deux donnant une contamination multiple, c'est-à-dire en plusieurs éléments. La méthode la plus propre, n'utilisant que l'agate et ne donnant que la silice comme contaminant, ne nous était pas disponible. La méthode qui donne une contamination en éléments métalliques fut rejetée du fait qu'on se proposait de déterminer un certain nombre de ces éléments, qui sont généralement présents (en ppm)

APPENDIX B

PREPARATION OF THE SAMPLES AND METHODS OF ANALYSIS

PREPARATION OF THE SAMPLES

Samples were taken in the field with a sledge-hammer and the numerous fragments obtained for each sample were cleared of their superficial weathering crust with a hammer. The generally coarse size of the crystals (1 cm) and the possibility of a migration of certain elements (in the field, two types of quartz and a different shape of amphibole crystal, and of the chlorite-rich aggregates replacing the latter, were observed) have led us to take rather bulky samples; those for chemical analysis weighed more than 3 kg. Hence, we hope to be able to give a sense to each of the elements analysed and to assess on a small scale the possible local migration.

Laboratory grinding and crushing of the samples raised the problem of contamination. The available equipment allowed the choice between two methods, both giving a multiple contamination, that is by numerous elements. The cleaner method, which only uses agate and where silica is the only source of contamination was not available. The method that gives a contamination in metallic elements was rejected on the ground that we intended to determine some of these elements that generally occur (in ppm) in the types of rocks under analysis. Hence, our choice was

dans le type de roches à étudier. Par conséquent, notre choix s'est arrêté sur des appareils qui utilisent comme agent de broyage la céramique spéciale. La contamination introduite dans un échantillon par un tel matériau a été l'objet d'une étude par Barnett *et al.* (1955). Leurs résultats montrant une faible quantité de Mg (20 ppm) et de Ti (1 ppm) et aucune contamination en éléments en trace nous rassurèrent partiellement. Malheureusement, aucune mention n'est faite du niveau de contamination en alumine et en silice. Cependant, la certitude d'avoir à étudié une série de roches à affinité calco-alkaline atténue grandement l'importance d'une contamination possible en silice et alumine. Les effets de cette contamination sont considérés comme négligeables en regard des buts poursuivis dans cette étude.

Au laboratoire, 3 kg d'échantillon ont été fragmentés entre 1 et 2 cm à l'aide d'un ciseau hydraulique¹. Une attention toute particulière a donc été portée aux taillants du ciseau dont la composition en acier spécial (carbure de tungstène) aurait pu contaminer la roche.

Pour éviter la possibilité d'une contamination massive par la présence éventuelle d'éclats dans le broyat, les taillants ont été vérifiés avant et après chaque utilisation. Par contre, leur usure naturelle n'a pas été considérée comme source de contamination à cause de l'extrême dilution: quantité infime de limaille dans trois kilos de roche.

L'ensemble de l'échantillon provenant du ciseau hydraulique a été

that of an apparatus using special ceramic as a crushing agent. The contamination introduced in a sample by such a material was studied by Barnett *et al.* (1955). Their results, which show a small quantity of Mg (20 ppm) and of Ti (1 ppm) and no contamination in trace elements, are partly reassuring. Unfortunately, no mention has been made at the level of alumina and silica contaminations. However, the certainty of having to study a series of rocks with a calc-alkaline affinity greatly reduces the importance of possible silica or alumina contamination. The effects of this contamination are considered as negligible on the basis of the goals pursued in this study.

In the laboratory, 3 kg of sample were broken to between 1 and 2 cm with a hydraulic rock splitter¹. Particular attention was given to the blades of the splitter which were made of special steel (tungsten carbide) that could have contaminated the rock.

In order to avoid the possibility of massive contamination due to possible chips in the crushed material, the blades were checked before and after each operation. On the other hand, their natural abrasion was not considered as a source of contamination because of extreme dilution: infinitesimal quantity of filings in three kilograms of rock.

The whole of the sample from the hydraulic splitter went under

¹ Hydraulic rock splitter - K.R. Wilson, Div. Chisholm - Ryder Co., Arcade N.Y.; capacité: 50 tonnes anglaises.

¹ Hydraulic rock splitter - K.R. Wilson, Div. Chisholm - Ryder Co., Arcade, N.Y.; capacity: 50 English tons.

passé au concasseur à mâchoires de porcelaine¹. Environ 75% du produit sortant présentait une granulométrie supérieure à 16 mailles. Tout le produit fut ensuite amené au broyeur à disques de porcelaine² avec écartement réglable. Un broyage grossier (écartement des disques 0.46 mm) répété deux fois a été suivi par un double quartage (Laffitte, 1957) qui a réduit l'échantillon entre 100 et 200 g. Ce travail fut effectué avec le "Precision riffle sampler"³.

La portion ainsi obtenue fut ensuite finement broyée trois fois dans le même broyeur à disques avec écartement de 0.076 mm. La granulométrie de ce broyat est la suivante:

+ 35 M	3%
- 35 + 80	45%
- 80 + 140	24%
-140 + 270	19%
-270 + 325	6%
-325	3%

L'échantillon, ultérieurement réduit à 30 g par un deuxième quartage (Sepor Microsplitter monté sur vibreur Sepor), a été entièrement passé au pulvérisateur à capsules de céramique⁴. Ce broyeur présente le double avantage de broyer et d'homogénéiser parfaitement. Le temps de broyage et la quantité de poudre dans la capsule sont les paramètres qui entrent en jeu dans le rendement de ce broyeur. Des essais, suivis par des tamisages sous acétone, ont démontré que six minutes de broyage et 10 g de poudre permettent

a porcelain¹ jaw crushed. Some 75% of the outcoming product had a granulometry higher than 16 mesh. The whole product was then passed under a porcelain disk crusher with adjustable gap². A coarse crushing (gap of the disks at 0.46 mm) repeated twice was followed by a double quartering (Laffitte, 1957) which reduced the sample to between 100 and 200 g. This work was done with a "Precision riffle sampler"³.

The portion obtained from the above operation was then finely crushed three times in the same disk crusher with a disk opening of 0.076 mm. The granulometry of the crushed material is as follows:

The sample, ulteriorly reduced to 30 g by a second quartering (Sepor Microsplitter mounted on a Sepor vibrator), was then passed to the pulveriser with ceramic capsules⁴. This crusher has the double advantage of crushing and perfectly homogenizing the sample. The crushing time and the quantity of powder in the capsule are parameters that are taken into account in the output of this crusher. Tests, followed by acetone screenings, have demonstrated that 6 minutes of crushing and 10 g of powder will

¹ Lemaire Instruments, Reno, Nevada.

² Ce broyeur est fait par Bico, Inc, Burbank, Californie.

³ Sepor, Long Beach, Californie.

⁴ Blender Mill Pica, model 3800, Pitchford Manuf. Corp., Pittsburgh.

¹ Lemaire Instruments, Reno, Nevada.

² This crusher is produced by Bico, Inc, Burbank, California.

³ Sepor, Long Beach, California

⁴ Blender Mill Pica, model 3800, Pitchford Manuf. Corp., Pittsburgh.

d'obtenir un broyat dont plus de 70% est d'une granulométrie inférieure à 350 M. Le tableau ci-dessous montre les résultats de ces essais:

+ 140 M	4%
-140 + 200	8%
-200 + 270	10%
-270 + 325	6%
-325	72%

Ce broyat constitue le produit sur lequel toutes les déterminations analytiques furent effectuées.

L'organigramme de travail de la fig. B1 résume les différentes étapes des échantillons.

TECHNIQUES ANALYTIQUES

Vingt-deux éléments furent dosés par l'auteur dans tous les échantillons choisis; trois autres éléments (Mo, W et Zr) furent déterminés seulement dans une partie des échantillons. Les techniques analytiques utilisées furent les suivantes:

- . spectrométrie d'absorption atomique (Al, Mg, Na, Li, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr)
- . spectrométrie de fluorescence X (Si, Ti, Fe, Mn, Ca, K, Zr)
- . colorimétrie (P, Mo, W, Si)
- . volumétrie (Fe^{2+} , CO_2)
- . méthodes chimiques traditionnelles par voie humide (Si, Al) et par voie sèche (H_2O^+).

L'histogramme de la figure B2 montre la distribution des valeurs obtenues dans les bouclages des analyses chimiques (éléments majeurs et mineurs seulement). Cette distribution peut être considérée comme un indice de la qualité de nos analyses et une mesure de la précision atteinte.

provide a crushed material of which more than 70% has a granulometry below 350 M. The following table shows the results from these tests:

The crushed material is the product on which all of the analytical determinations were made.

Figure B1 is a flow-sheet summarizing the different steps through which the samples passed.

ANALYTICAL TECHNIQUES

The quantities of twenty-two elements were determined by the author for all the selected samples; three other elements (Mo, W and Zr) were only determined in some of the samples. The analytical techniques that were used are the following:

- . atomic absorption spectrometry (Al, Mg, Na, Li, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr)
- . X-ray fluorescence (Si, Ti, Fe, Mn, Ca, K, Zr)
- . colorimetry (P, Mo, W, Si)
- . volumetry (Fe^{2+} , CO_2)
- . traditional wet (Si, Al) and dry (H_2O^+) chemical methods.

The histogram of Figure B2 shows the distribution of the values obtained in the looping of chemical analyses (major and minor elements only). This distribution can be considered as an indication of the quality of our analyses and as measure of the accuracy that was reached.

POIDS INITIAL DE L'ECHANTILLON: 3 kg / INITIAL WEIGHT OF THE SAMPLE: 3 kg.

POIDS FINAL DE L'ECHANTILLON: 30 kg / FINAL WEIGHT OF THE SAMPLE: 30 kg.

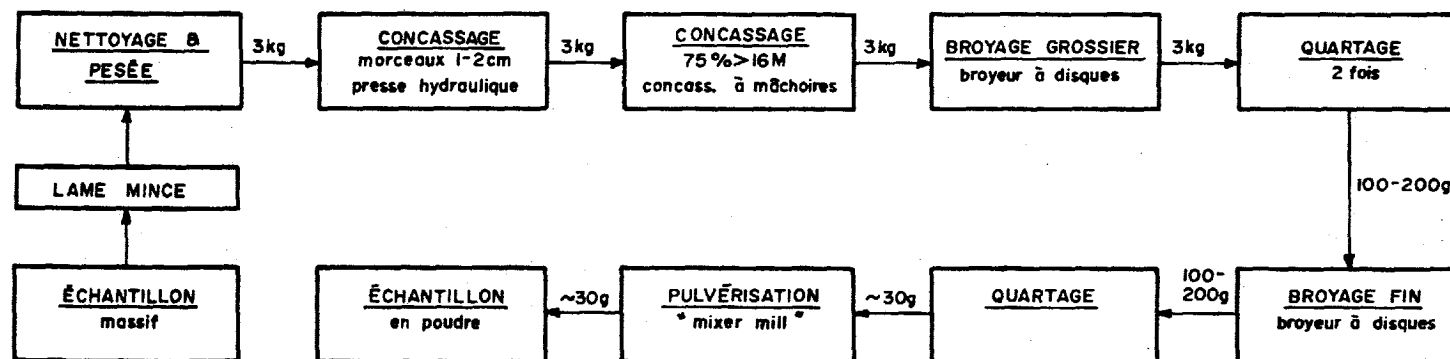


FIGURE B1 - Organigramme de travail adopté pour la préparation des échantillons / Work diagram adopted for sample preparation.

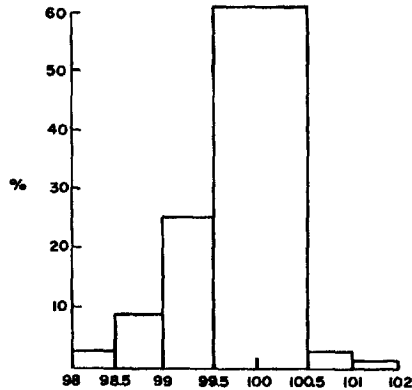


FIGURE B2 - Histogramme montrant la distribution des bouclages des analyses chimiques / Histogram showing the loop distribution of the chemical analyses.

SPECTROMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE

A l'aide d'un spectromètre Perkin-Elmer 403, nous avons dosé les éléments suivants: Al, Na, Mg, Zn, Li, Rb, Sr, Co, Ni, V et Cr.

L'explication des principes de l'absorption atomique est traitée dans plusieurs textes: David (1960), Angino et Billings (1967), Slavin (1968) et Pinta (1971). En plus de ces ouvrages, nous avons consulté pour différents éléments les articles suivants: Abbey, 1967 (Mg, Li et Zn), 1968 (Mg et Na), 1971 (Li, Rb et Sr); Belt, 1964 (Cu et Zn); Cioni *et al.*, 1971 (Mg, Na, Co, Cu, Li, Ni, Rb, Sr et Zn), 1972 (V); Medlin *et al.*, 1970 (Rb), Miksowsky et Moldan, 1970 (Cu et Zn); Nesbitt,

ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY

The following elements were determined with a Perkin-Elmer spectrometer 403: Al, Na, Mg, Zn, Li, Rb, Sr, Co, Ni, V and Cr.

The principles of atomic absorption has been dealt with extensively: David (1960), Angino and Billings (1967), Slavin (1968) and Pinta (1971). In addition to these, the following publications have been consulted for different elements: Abbey, 1967 (Mg, Li and Zn), 1968 (Mg, Na), 1971 (Li, Rb and Sr); Belt, 1964 (Cu and Zn); Cioni *et al.*, 1971 (Mg, Na, Co, Cu, Li, Ni, Rb, Sr and Zn), 1972 (V); Medlin *et al.*, 1970 (Rb), Miksowsky and Moldan, 1970 (Cu and Zn);

1966 (Mg); Roelandts, 1972 (Rb); Terashima, 1971 (Co, Cu, Li, Ni, Sr et Zn); Vosters et Deutsch, 1967 (Rb).

La mise en solution des échantillons a été faite essentiellement d'après la méthode de Abbey (1967) qui utilise une attaque nitrique-fluorhydrique-perchlorique. Deux solutions ont été préparées pour chaque échantillon: l'une pour les éléments majeurs avec une dilution 1:1000 (1000 γ /cc) et l'autre, plus concentrée (dilution 1:100 (10.000 γ /cc) pour les éléments en trace. Les solutions d'analyse et d'étalonnage étaient toujours tamponnées par un milieu chlorhydrique 0.1 à 0.3 N.

Chaque mesure obtenue représentait toujours la moyenne de trois lectures sur 100 lectures ("100 average" de l'instrument) prises dans l'espace de 10 à 12 secondes. Afin de pouvoir corriger les lectures affectées par une dérive instrumentale inférieure de 5 à 10%, un témoin de contrôle fut constamment lu, en moyenne à tous les trois échantillons. Les teneurs en Al, Mg, Na, Li, Cu, Zn, Cr et V ont été obtenues par dosage direct de la solution à l'attaque, les résultats des roches étalons USGS pour ces éléments (tableaux B.1 et B.2) n'ayant pratiquement pas montré de phénomènes d'interférence. En général, les solutions étalons des éléments ci-dessus mentionnés, ne contenaient seulement que l'élément à doser.

Dans le cas des étalons de vanadium et d'aluminium un traitement particulier fut nécessaire. Les solutions de V contenaient une certaine quantité de Al pour compenser les effets dus à sa présence dans les échantillons. Pour doser l'Al, trois étalons naturels furent utilisés: deux échantillons provenant du batholite et dont la teneur

Nesbitt, 1966, (Mg); Roelandts, 1972 (Rb); Terashima, 1971 (Co, Cu, Li, Ni, Sr and Zn); Vosters and Deutsch, 1967 (Rb).

The samples were mainly dissolved using Abbey's (1967) method which employs a nitric-fluorhydric-perchloric attack. Two solutions were prepared for each sample: one for major elements with a dilution of 1:1000 (1000 γ /cc) and a more concentrated one (dilution 1:100 (10.000 γ /cc) for trace elements. Both the analysis and standard solutions were always buffered by a chlorhydric environment with 0.1 to 0.3 N.

Each measurement that was obtained always represented the average of three readings out of 100 ("100 average" of the instrument) taken in a 10 to 12 seconds time period. In order to be able to correct the readings influenced by an instrumental deviation under 5 to 10%, a control witness was constantly read, generally at every three samples. The Al, Mg, Na, Li, Cu, Zn, Cr and V contents were obtained through direct titration of the corrosive solution; the results of the USGS's standards for these elements (Table B.1 and B.2) have shown almost no interference phenomena. Generally speaking, the standard solutions of the elements mentioned above only contained the element to be titrated.

In the case of the vanadium and aluminium standards a particular treatment was needed. The V solution contained some Al to compensate for the effects of its occurrence in the samples. In order to titrate Al, three natural standards were used: two samples from the batholith the alumina content of which was

en alumine fut déterminée par d'autres méthodes (fluorescence X et gravimétrie), et un mélange de ces deux échantillons. Les dosages de Rb et Sr ont été faits en ajoutant aux échantillons et aux étalons un tampon à base de potassium et lanthane. De plus, dans le cas du Sr comme pour les éléments majeurs Na et Mg, il a fallu diluer ultérieurement l'échantillon pour le situer dans le domaine de dosabilité qui varie en fonction des éléments et en général se situe entre 0.2 et 0.75 ppm dans la solution soumise au spectromètre.

Seule l'analyse du nickel et du cobalt a posé quelques difficultés. En effet, nos travaux préliminaires ont démontré un effet de matrice qui rendait l'analyse de ces deux éléments impossible. Cet inconvénient a été pallié, comme le démontre le tableau B.1, à l'aide d'étalons chimiquement semblables aux solutions à l'attaque et en ajoutant 1% de La aux solutions à l'attaque et à l'étalonnage.

PRECISION

La précision de la méthode a été évaluée sur quelques roches étalons USGS en comparant nos résultats analytiques avec ceux obtenus par d'autres chercheurs. Le tableau B.1 fait état de nos résultats et les compare d'une part aux valeurs proposées par Flanagan (1973) et par Abbey (1972) et d'autre part aux résultats d'autres chercheurs qui ont utilisé comme nous la méthode analytique de l'absorption atomique. Les valeurs proposées par Flanagan et Abbey sont des teneurs pondérées issues de plusieurs déterminations par des méthodes d'analyse différentes. En outre, Flanagan qualifie les valeurs qu'il présente par précision décroissante: teneur recommandée, moyenne ou simple ordre de grandeur. Si pour chaque élément

determined by other methods (X-ray fluorescence and gravimetry) and a mix of these two samples. The Rb and Sr titrations were made through the addition to the samples and to the standards of a potassium and lanthane buffer. In addition, in the case of Sr as for the Na and Mg major elements, the sample had to be ulteriorly diluted so that it could be located in a titration domain that varies as a function of the elements; it generally lies between 0.2 and 0.75 ppm in the solution submitted to spectrometry.

The analysis of nickel and cobalt was the only one to give some problems. Indeed, the preliminary work indicated a matrix effect that made the analysis for these elements impossible. This inconvenience was toned down, as indicated by Table B.1, through the use of standards chemically similar to the corrosive solutions and by adding 1% of La to the corrosive solutions and to the standard.

ACCURACY

The accuracy of the method was evaluated on some USGS standard rocks by comparing our results to those obtained by other researchers in the field. Table B.1 illustrates our results; it compares them to the values suggested by Flanagan (1973) and Abbey (1972) and with those of other searchers who, like us, used the atomic absorption analytical method. The values suggested by Flanagan and Abbey are weighted values derived from many determinations using different analytical methods. In addition, Flanagan has qualified his values by decreasing accuracy: recommended value, average or simple order of magnitude. If there is for each element a methodology more reliable

TAB. B.1 - PRECISION DES DETERMINATIONS DES ELEMENTS EN TRACE (PPM) PAR ABSORPTION ATOMIQUE
ACCURACY OF DETERMINATIONS OF TRACE ELEMENTS (PPM) THROUGH ATOMIC
ABSORPTION.

Etalon Standard	Ref.	Li	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr
GSP-1	A	27	51.3	13	8	-	34.5	107	242.5	235
	B	32.1*	52.9*	12.5*	6.4*		33.3	98	254	233
	C	34	49	13	7		35	105	260	250
	D	36	-		14		34	103	-	250
	E	29	53*		8		31	128	245	248
	F								237	
AGV-1	A	11	121.5	12.5	20	17	60	95	64.5	675
	B	12*	125*	12.2*	14.1*	18.5*	59.7*	84	67	657
	C	14	125	12	17	17	63	88	70	670
	D	12	-		24	18	61	89	-	670
	E	12	122*		16	16	56	120	73	653
	F								70	
BCR-1	A	14	440	16.4	41	16	19.5	133.5	42	339
	B	12.8	399*	17.6*	38**	15.8*	18.4*	120	46.6	330
	C	15	410	16	50	13	19	120	50	330
	D	13	-		39	10	20	125		317
	E	14	403*		38	10	21	153	78	342
	F								47	

A: ce travail / this study

B: Flanagan (1973): valeur recommandée ou moyenne*; ordre de grandeur**/Flanagan (1973): recommended or average value*; order of magnitude**

C: Abbey (1972): "Usable values" / Abbey (1972): usable values

D: Terashima (1971): A.A.

E: Cioni et al. (1971, 1972*): A.A.

F: Roelandts (1972): A.A.

il existe une méthode plus fiable que les autres, on peut faire ici quelques remarques sur les teneurs en Cu et en Zn des roches étalons analysées, étant donné que l'absorption atomique est la méthode idéale pour le dosage de ces éléments. Il n'y a rien à dire à propos du cuivre, les teneurs trouvées étant pratiquement celles proposées (valeurs recommandées ou moyennes) par Flanagan (1973). Par contre lors de notre analyse, celles du zinc sont de 10% supérieures à celles recommandées par Flanagan (1973). Dans l'ensemble, nos résultats se rapprochent des valeurs obtenues par Terashima et par Cioni *et al.* tandis que les "Usable values" de Abbey sont en général intermédiaires entre les valeurs de Flanagan et celles de l'absorption atomique.

Dans GSP-1, les valeurs du lithium sont de 20% inférieures à celles de Flanagan et de Abbey, tandis que les valeurs de AGV-1 et BCR-1 sont plus acceptables.

Les déterminations du Sr et du Rb nous semblent très satisfaisantes: en effet, nos résultats se situent entre +2% et -3 % pour le strontium et pour le rubidium à - 6% par rapport aux valeurs recommandées par Flanagan.

Les mesures du Cr, Co, Ni et V s'accordent bien avec les valeurs données par Flanagan et les autres auteurs. Pour ces éléments il n'existe pas encore de teneurs recommandées, celles proposées par Flanagan étant tout au plus des teneurs moyennes.

Le tableau B.2 montre la précision atteinte dans le dosage des éléments majeurs Al, Mg et Na. Les déterminations des oxydes de ces trois éléments sont affectées d'une erreur respective de + 2%, - 4% et de + 3 à

than others, comments can be made on the Cu and Zn contents of the standard samples analysed since atomic absorption is the ideal methodology for the determination of these elements. Nothing can be said about copper, the values found being similar (recommended or average values) to those suggested by Flanagan (1973). On the other hand according to our analyses, the results for zinc are 10% higher than those suggested by Flanagan (1973). In general, our results were closer to those of Terashima and Cioni *et al.*, whereas Abbey's usable values were generally intermediate between Flanagan's values and those from atomic absorption.

In GSP-1 the lithium values are 20% lower than those of Flanagan and Abbey while the AGV-1 and BCR-1 values are more acceptable.

The determinations of Sr and Rb appear to be very satisfactory: indeed, our results lie between +2% and -3% for strontium and -6% for rubidium compared to the values suggested by Flanagan.

The Cr, Co, Ni and V measurements fit well with those given by Flanagan and others. There are yet no recommended values for those elements, those suggested by Flanagan being only average values.

Table B.2 shows the precision obtained in the determination of major elements such as Al, Mg and Na. The determinations of the oxides of these three elements were exposed to errors of + 2%, -4% and + 3% to 4% respectively

4% par rapport aux valeurs proposées
par Flanagan.

compared to the values suggested by
Flanagan.

TAB. B.2 - PRECISION DES DETERMINATIONS DE Al_2O_3 , MgO et Na_2O PAR ABSORPTION ATOMIQUE / ACCURACY
OF THE DETERMINATION OF Al_2O_3 , MgO AND Na_2O THROUGH ATOMIC ABSORPTION.

Etalon Standard		Al_2O_3	MgO	Na_2O
G-2	a	15.82	0.72 ₃	4.25 ₈
	b	15.40*	0.76*	4.07*
GSP- 1	a	15.63	0.94 ₀	2.80 ₈
	b	<u>15.25</u>	<u>0.96</u>	<u>2.80</u>
AGV-1	a	17.46	1.48 ₃	4.41 ₃
	b	17.25*	1.53*	<u>4.26</u>
BCR-1	a	-----	3.41	3.36
	b		<u>3.46</u>	3.27

a = ce travail / *this study*

b = Flanagan (1973): valeur recommandée, moyenne* / Flanagan (1973): recommended
value, average*

REPRODUCTIBILITE

Vu la quantité limitée de solution disponible par rapport au nombre d'éléments à déterminer, la reproductibilité de la méthode fut établie de deux façons:

- méthode classique en prenant plusieurs mesures sur le même échantillon pour les éléments majeurs (voir tableau B.3),
- méthode proposée par Youden (1964) pour les éléments en trace (tableau B.4.)

Selon Youden, l'écart-type est calculé d'après les différentes teneurs des couples de mesures; dans notre

REPRODUCIBILITY

Because of the limited amount of available solution compared to the elements to be determined, the reproducibility of the method was established as follows:

- classical methodology by taking several measurements on the same sample for major elements (see Table B.3),
- Youden's (1964) methodology for trace elements (Table B.4)

According to Youden, standard deviation is calculated according to the different values of the double

TAB. B.3 - REPRODUCTIBILITE DU DOSAGE DES ELEMENTS MAJEURS ET MINEURS / REPRODUCIBILITY OF DETERMINATION FOR MAJOR AND MINOR ELEMENTS

Element <i>Element</i>	essais <i>assays</i>	$\bar{x}$	σ	C.V.*	Méthode <i>Method</i>
SiO ₂	11	62.34	0.278	0.45	X F
Al ₂ O ₃	90	17.06	0.1373	0.80	A A
TiO ₂	14	0.68	0.0031	0.46	X F
Fe tot	10	4.35	0.0167	0.39	X F
MnO	15	0.10	0.0019	1.83	X F
MgO	14	3.19	0.0254	0.80	A A
CaO	10	5.32	0.035	0.65	X F
NaO	17	1.83	0.0181	0.99	A A
K ₂ O	15	0.88	0.009	1.03	X F
P ₂ O ₈	3	0.49	0.006	1.2	colorim.

X F = fluorescence X; / X-ray fluorescence.

A A = absorption atomique / atomic absorption.

* C.V. (coefficient de variation / variation coefficient) = $100 \frac{\sigma}{\bar{x}}$

TAB. B.4 - REPRODUCTIBILITE DANS LA DETERMINATION DES ELEMENTS EN TRACE PAR ABSORPTION ATOMIQUE / REPRODUCIBILITY IN THE DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS WITH ATOMIC ABSORPTION.

Element		σ	$\bar{x}$ (ppm)	C.V.
Li	2 sol.	0.34	19	1.81
	1 sol.	0.44	19	2.26
Cu	2 sol.	0.44	24	1.83
	1 sol.	0.23	26	1.48
Zn	2 sol.	0.98	63	1.56
	1 sol.	0.28	62	0.45
Sr	2 sol.	1.66	231	0.72
Rb	2 sol.	0.64	16	4.03
Ni	2 sol.	0.87	29.5	2.97
Co	2 sol.	0.35	27	1.28
V	2 sol.	1.61	121	1.18
Cr	2 sol.	1.62	28	5.74

cas, ces mesures ont été réalisées par deux mises en solution du même échantillon. Les 12 échantillons choisis couvrent la gamme des variations des lithotypes du batholite; ceci est confirmé par le fait que la moyenne de ces échantillons est très près des valeurs moyennes du batholite. L'écart-type provient non seulement de la reproductibilité de la méthode instrumentale elle-même, mais aussi de celle de la mise en solution. Cette méthode présente en outre l'avantage de pouvoir relier la reproductibilité aux variations de la composition chimique. Dans le cas présent, la reproductibilité semble indépendante de la composition chimique totale, la composition relativement homogène de l'ensemble des roches étudiées en est probablement la cause. La valeur de l'écart-type ainsi calculé peut être considérée comme une mesure indirecte de l'homogénéité atteinte lors de la pulvérisation de l'échantillon.

Dans le but de dégager la contribution de l'erreur de mise en solution de celle de la reproductibilité instrumentale, l'écart-type de la reproductibilité de Li, Cu et Zn a été calculé de deux façons différentes: sur 10 couples de deux lectures sur les mêmes mises en solution (σ instr.) et sur 10 couples de deux lectures, chacune provenant de deux mises en solution du même échantillon (σ analyt. + σ instr.). Comme on peut voir dans le tableau B.4 pour Li et Cu, il ne semble pas y avoir une influence importante de la mise en solution, les valeurs de σ s'avérant différentes mais du même ordre de grandeur. Dans le cas du zinc, la situation est nettement différente: les deux mises en solution affectent trois fois plus la valeur de σ qu'une seule mise en solution, démontrant encore une fois l'extrême mobilité de cet élément. Cependant, même en considérant le pire des cas: C.V. = 1.56 pour une teneur de

measurements; in our case, these measurements were realized though a double dissolution of the same sample. The 12 samples selected covered the range of variations of the batholith lithotypes; this is confirmed by the fact that the mean of these samples is very close to the average values of the batholith. The standard deviation originates not only from the reproducibility of the instrumental method itself but also from that of dissolution. This method also provides the advantage of being able to relate reproducibility to variations in the chemical composition. In this case, reproducibility appears to be independent of the total chemical composition, the relatively homogeneous composition of the whole of the rocks studied probably explains this phenomenon. The standard deviation value thus calculated could be considered as an indirect measurement of the homogeneity obtained during pulverization of the sample.

In order to isolate the contribution of the error due to dissolution from that of instrumental reproducibility, the standard reproducibility deviation of Li, Cu, and Zn was calculated in two different ways: on 10 couples of two readings on the same dissolutions (σ instr.) and on 10 couples of readings, each originating from two dissolutions of the same sample (σ analyt. + σ instr.). As indicated by table B.4 for Li and Cu, there is apparently no important influence from dissolution, the σ values being different but of the same order of magnitude. The situation is clearly different for zinc: the two dissolutions influence the value three times as much as one single dissolution thus indicating again the extreme mobility of this element. However, even by taking into consideration the worst situation: C.V. = 1.56 for a value of 63 ppm, the results obtained are

63 ppm, on constate que les résultats obtenus sont satisfaisants.

SPECTROMETRIE DE FLUORESCENCE X

La spectrométrie de fluorescence X fut utilisée pour l'analyse de la plupart des éléments majeurs et mineurs à savoir: Si, Fe, Ca, K, Ti et Mn. L'appareil utilisé fut le spectromètre Philips, PW 1220.

Les échantillons furent présentés au spectromètre sous forme de briquettes ou pastilles. Les briquettes furent obtenues en fondant dans un creuset de graphite, 1 g de poudre de roche préalablement séchée à 110°C pendant 2 heures, avec 5 g de tétraborate de lithium et 1 g d'oxyde de lanthane. Les pertes éventuelles dues à la présence de produits volatils libérés pendant la fusion furent compensés en ajoutant de l'acide borique jusqu'à un poids constant de 7.4 g. Le culot de fusion fut ensuite pulvérisé et intimement mélangé à l'acide borique dans un "shatter box" en carbure de tungstène pendant 2 minutes. Une partie (2 g) de la poudre ainsi obtenue fut placée dans une matrice cylindrique avec de l'acide borique comme enveloppe et ensuite soumise à la presse pendant 20 secondes à une pression de 30 tonnes anglaises.

La méthode utilisée pour obtenir les teneurs des éléments dans l'échantillon se base sur la comparaison entre les intensités de certaines roches étalons USGS à composition similaire. Les teneurs "connues" des étalons, dont les intensités sont assujetties à une matrice à peu près constante due au mélange de fusion, permettent de dresser une courbe intensité - concentration sur laquelle on peut situer la composition des échantillons. La méthode combinée pondérale et photométrique de Jeffery et Wilson (1960) a

found to be satisfactory.

X-RAY SPECTROMETRY

X-ray spectrometry was used to analyse for most of major and minor elements, namely: Si, Fe, Ca, K, Ti, and Mn. A. Philips, PW1220 spectrometer was used.

The samples analysed were in the form of briquets or pellets. Briquets were obtained by melting in a graphite crucible 1 g of rock powder previously dried at 110°C for two hours, with 5 g of lithium tetraborate and 1 g of lanthane oxide. The eventual losses due to the occurrence of volatile products liberated during smelting were compensated by the addition of boric acid up to a constant weight of 7.4 g. The melting shell was then pulverized and well mixed with boric acid in a tungsten carbide shatter box for two minutes. Part (2 g) of the powder thus obtained was put in a cylindric matrix with boric acid as an envelope; it was then submitted to a 30 English ton pressure for 20 seconds.

The methodology used to obtain the values of the elements in the sample is based on the comparison between intensities of certain USGS standard rocks with similar composition. The "known" values of the standards, which intensities are submitted to an almost constant matrix due to the melting mix, allow the drawing of an intensity-concentration curve on which the composition of the samples can be plotted. The Jeffery and Wilson's (1960) combined weighted and photometric method was used to determine

été utilisée pour déterminer la précison. Voici les teneurs en silice de G-1 et W-1 obtenues par cette méthode (Fleischer, 1969, p. 68) et comparées avec les valeurs proposées par le même auteur:

		trouvée	proposée
G-1	SiO ₂	72.33	72.64
W-1	SiO ₂	52.64	52.66

Dans le cas présent, deux échantillons furent analysés par cette méthode. Le tableau ci-dessous compare les résultats de ces essais avec ceux obtenus par fluorescence X.

accuracy. The silica values of G-1 and W-1 obtained with this method (Fleischer, 1969, p. 68) and compared to the values suggested by the same author are as follows:

		found	suggested
G-1	SiO ₂	72.33	72.64
W-1	SiO ₂	52.64	52.66

Two samples were analysed with this method in the current study. The table below compares the results of these analyses with those obtained by fluorescence.

$\%SiO_2 \text{ pond.} + \%SiO_2 \text{ phot.} = \%SiO_2 \text{ tot.}$			$\bar{x}$	$\bar{x}$ (XF)
52.35	0.47	52.82	52.87	52.75
52.19	0.72	52.91		
61.81	0.31	62.12		
61.58	0.67	62.25	61.89	62.34
60.66	0.63	61.29		

La reproductibilité fut établie en obtenant plusieurs mesures sur trois pastilles du même échantillon (tableau B.3). Le fait que les valeurs obtenues pour les trois préparations diffèrent très peu l'une de l'autre, nous permet de croire à une bonne homogénéisation des poudres. Les valeurs de reproductibilité du tableau B.3 représentent donc essentiellement la reproductibilité globale de la méthode; cependant il convient de souligner que cette valeur inclut la contribution due à l'état d'homogénéisation de l'échantillon.

Quelques dosages du zirconium furent effectués sur les poudres pressées, d'après la méthode décrite par Webber et Vollrath (1967).

COLORIMETRIE

La colorimétrie a été utilisée dans l'analyse du P, Mo, W et Si. Le phosphore a été dosé dans tous les

Reproducibility was established by obtaining several measurements on three pellets of the same sample (Table B.3). The fact that the values obtained for the three preparations differ very slightly from one another suggests a good homogeneity of the powders. The reproducibility values in Table B.3 hence essentially represent the global reproducibility of the method; however, it is worthy of mentioning that this value includes the contribution due to the state of homogeneity of the sample.

Some zirconium determinations were made on the pressured powders according to the methodology described by Webber and Vollrath (1967).

COLORIMETRY

Colorimetry was used to analyse for P, Mo, W and Si. Phosphorus was determined in all the samples whereas

les échantillons, tandis que, les autres éléments n'ont été dosés que dans quelques échantillons.

L'analyse du phosphore a été faite en utilisant la méthode classique au molybdovanadate (Maxwell, 1968). On a utilisé 30 cc de la solution 1000 γ /cc et on a mesuré la densité optique au spectrophotomètre à 430 m μ . Précision et reproductibilité ont été déterminées sur les roches étalons USGS, AGV-1 et GSP-1, dont les valeurs recommandées sont données dans Flanagan (1973).

	essais	x	σ	C.V.	x recommandé
AGV-1	3	0.49%	0.006	1.2	0.49%
GSP-1	3	0.29%	0.003	1.1	0.28%

Le dosage du molybdène et du tungstène est basé sur la formation du complexe coloré que donnent ces deux éléments avec le dithiol et son extraction par un solvant organique (Grillot *et al.*, 1964; Stanton, 1966). Cette méthode permet de détecter jusqu'à 1 ppm d'élément dans la roche. Après 40 déterminations les résultats étaient toujours de l'ordre de la limite de détection.

La colorimétrie fait partie intégrante de la méthode de détermination de la silice suggérée par Jeffery et Wilson (1960) (méthode utilisée pour contrôler la précision des résultats de fluorescence X). En effet, cette technique dose la petite quantité de silice restée dans le filtrat après la précipitation presque totale de cet élément. La teneur en silice soluble a été obtenue au spectrophotomètre ($\lambda = 650$ m μ) par comparaison avec des étalons artificiels contenant des quantités connues de SiO₂. Les résultats de ces essais paraissent à la page 193.

the other elements were only determined in some samples.

The analysis of phosphorus was made by using the classical molybdovanadate methodology (Maxwell, 1968); 30 cc of the 1000 γ /cc solution was used and the optical density measured through spectrophotometry reached 430 m μ . Accuracy and reproducibility were determined on the USGS standard rocks, AGV-1 and GSP-1 which recommended values are given by Flanagan (1973).

	analyses	x	σ	C.V.	x recommended
AGV-1	3	0.49%	0.006	1.2	0.49%
GSP-1	3	0.29%	0.003	1.1	0.28%

The determination of molybdenum and tungsten was based on the formation of a colored complex provided by these two elements with dithiol and its extraction by an organic solvent (Grillot *et al.*, 1964; Stanton, 1966). This methodology allows detection to 1 ppm of element in the rock. The results after 40 determinations were always in the order of magnitude of the detection limit.

Colorimetry is an integral part of the methodology of silica determination suggested by Jeffery and Wilson (1960) (methodology used to control the accuracy of the results from X-ray fluorescence). Indeed, this technique determines the small quantity of silica that remains in the filtered material after an almost complete precipitation of this element. The value of soluble silica was obtained by spectrophotometry ($\lambda = 650$ m μ) by comparison with artificial standards containing known contents of SiO₂. The results of these analyses are shown on page 193.

VOLUMETRIE

Le fer et le CO_2 furent dosés à l'aide de cette méthode. Le fer ferreux fut dosé à l'aide de la méthode classique au dichromate de K (Maxwell, 1968). Sans essais de précision et de reproductibilité, sur cinq déterminations effectuées dans les meilleures conditions, les variations relatives oscillaient entre 5 et 10%. De ce fait, ces déterminations n'ont qu'une valeur semi-quantitative. L'état d'oxydation du fer étant susceptible de changer pendant les opérations de broyage et pulvérisation (le broyat se réchauffe durant cette opération), le système de broyage utilisé fut comparé à l'autre méthode de broyage ("shatter box") disponible dans nos laboratoires. Les résultats du dosage du fer ferreux sur cinq échantillons traités suivant les deux façons montrent que le broyage en capsule de céramique oxyde de 15 à 20% moins que le broyeur "shatter box".

Le dosage du CO_2 fut fait à l'aide de l'appareil LECO, dont le manuel d'instruction (1959) décrit en détail la méthode. Celle-ci se base essentiellement sur le chauffage de l'échantillon à une température qui libère ses éléments volatils. De ces derniers, le soufre et l'eau sont absorbés par des produits chimiques tandis que le CO_2 agit par sa pression sur une colonne de liquide en équilibre. D'après le volume de liquide déplacé, on peut obtenir la quantité de CO_2 présente dans l'échantillon. Les quelques essais faits sur des mélanges de poudre de roches dépourvues de carbonates mais additionnées de CaCO_3 (produit chimique) montrent une variabilité tant au point de vue de précision que de reproductibilité:

VOLUMETRY

Iron and CO_2 were determined using this methodology. Ferrous iron was titrated with the classical K dichromate methodology (Maxwell, 1968). Without accuracy and reproducibility assays, out of five determinations made under the best conditions, the relative variations ranged between 5 and 10%. Accordingly, these determinations only have a semi-quantitative value. The oxidation state of iron being likely to change in the course of the crushing and pulverization operations (the crushed material heats up during this operation), the crushing system used was compared to the other crushing method (shatter box) available in our laboratories. The results of the titration of ferrous iron on five samples treated both ways indicate the crushing in ceramic capsule to oxidize 15 to 20% less than in the "shatter box" crusher.

The CO_2 determination was made with a LECO apparatus which instructions manual (1959) describes the methodology in detail. It is essentially based on the heating of the sample at a temperature that sets free its volatile elements. Of the latter, sulphur and water are absorbed by chemical products whereas CO_2 acts through its pressure on a liquid column in equilibrium. According to the volume of the liquid displaced we can obtain the amount of CO_2 present in the sample. The assays made on mixes of rock powder deprived of carbonate but where CaCO_3 (chemical product) was added, show a variability from both an accuracy and a reproducibility point of view:

%CO ₂ présent	%CO ₂ trouvé	essais	σ	C.V.	%CO ₂ present	%CO ₂ found	assays	σ	C.V.
0.55	0.58	4	0.10 ₉	19	0.55	0.58	4	0.10 ₉	19
2.20	2.44 ₅	4	0.19 ₆	8	2.20	2.44 ₅	4	0.19 ₆	8

METHODES CHIMIQUES TRADITIONNELLES

Trois éléments furent dosés par des méthodes chimiques traditionnelles: Al et Si par voie humide et H₂O⁺ par voie sèche. Les quelques déterminations de Al et Si servirent uniquement à contrôler la justesse d'autres méthodes instrumentales plus rapides, utilisées tout au cours de la recherche pour l'analyse de Si, ou à établir des étalons pour l'analyse de Al. La silice a été déterminée en fondant la roche à l'aide d'une attaque basique aux carbonates de Na et K. La silice ainsi insolubilisée, fut soumise à une double déshydratation et dosée pondéralement. L'alumine a été déterminée par différence en précipitant les oxydes du troisième groupe (R₂O₃). La plus grande source d'erreur dans ce type de détermination pondérale, celle due à la silice, fut éliminée en volatilisant la silice.

Dans le cas de l'eau, le dosage a été effectué par la méthode Penfield (Maxwell, 1968). Seulement H₂O⁺ fut dosé du fait que les poudres des roches étaient systématiquement séchées à 110⁰ C avant tout traitement analytique et que la teneur en H₂O⁻ dans les roches ne revêt aucune signification géologique.

Les déterminations de contrôle faites sur les roches étalons USGS, PCC-1 à teneur élevée en H₂O⁺ (4.70%, Flanagan, 1969) et DTS-1 à teneur faible (0.47%, même auteur), montrent les caractéristiques de justesse et de reproductibilité suivantes:

TRADITIONAL CHEMICAL METHODS

Three elements were titrated using traditional chemical methods: Al and Si by wet methods and H₂O⁺ by dry. The few Al and Si determinations were only used to control the accuracy of other more rapid instrumental methods used throughout the research to analyse for Si, or to establish standard for analysing Al. Silica was determined by melting the rock with the help of a basic attack with Na and K carbonates. The then insoluble silica was submitted to a double dehydration and ponderally titrated. Alumina was determined by precipitating oxides of the third group (R₂O₃). The greatest source of error in this type of ponderal determination, that due to silica, was eliminated by volatilizing silica.

In the case of water, determination was made by using the Penfield (Maxwell, 1968) methodology. Only H₂O⁺ was determined since rock powders were systematically dried at 110°C before any analytical treatment and that the H₂O⁻ content in the rock has no geological meaning.

Determinations of the controls made on the USGS standard rocks PCC-1 with a high H₂O⁺ (4.70%, Flanagan, 1969) and DTS-1 with a low content (0.47%, same author) indicate the following accuracy and reproducibility:

	suggéré	trouvé	σ	C.V.	essais
PCC-1	4.70%	4.81%	0.19	3.95	5
DTS-1	0.47%	0.44%	0.06	13.95	5

D'autres contrôles de routine effectués au cours des déterminations indiquent que les teneurs en H_2O^+ pourraient être affectées d'une erreur relative de l'ordre de $\pm 15\%$.

	suggested	found	σ	C.V.	assays
PCC-1	4.70%	4.81%	0.19	3.95	5
DTS-1	0.47%	0.44%	0.06	13.95	5

Other routine controls made in the course of determinations indicate that the H_2O^+ values could be influenced by a relative error with a magnitude of $\pm 15\%$.

ECHAN.	2	6	8	11	13	16	21	28	44	53	
S102	58.40	60.01	59.75	62.15	60.15	62.86	59.26	62.65	57.40	56.67	S102
T102	0.78	0.52	0.59	0.59	0.81	0.54	0.70	0.50	0.70	0.72	T102
AL203	16.76	15.89	15.91	15.61	16.56	15.54	15.67	16.10	17.18	17.80	AL203
FE203	3.02	1.47	2.56	1.79	2.21	2.39	3.21	2.28	3.24	2.44	FE203
FEO	3.53	3.49	3.15	3.64	4.13	3.18	4.17	2.70	3.05	4.44	FEO
MNO	0.11	0.06	0.10	0.09	0.11	0.06	0.14	0.08	0.10	0.13	MNO
MGO	3.28	2.49	2.57	2.25	3.15	2.12	3.68	2.09	3.45	3.51	MGO
CAO	6.72	4.90	6.35	3.93	3.54	4.51	6.52	4.88	7.13	7.63	CAO
NA2O	3.60	3.40	3.45	4.59	5.00	3.40	2.74	4.02	3.46	4.02	NA2O
K2O	0.50	1.18	0.68	0.80	0.37	0.85	0.55	0.89	0.12	0.17	K2O
P2O5	0.19	0.16	0.23	0.13	0.20	0.16	0.22	0.14	0.20	0.20	P2O5
H2O	2.47	3.10	2.81	2.22	2.20	2.10	2.75	2.07	2.50	1.99	H2O
CO2	3.16	3.23	1.17	1.77	0.55	0.34	0.17	0.59	0.74	0.07	CO2
TOTAL	99.50	99.50	99.12	99.06	98.98	98.05	99.78	98.79	99.27	99.79	
LI	24.50	24.50	14.50	19.00	23.50	15.50	13.00	17.00	21.50	20.50	LI
V	147.00	109.00	125.00	91.00	118.00	86.00	173.50	87.00	155.00	156.00	V
CR	33.00	15.50	25.00	18.50	34.50	18.00	21.50	26.00	23.00	32.50	CR
CO	28.00	17.00	24.00	20.00	27.00	21.00	32.00	21.00	26.00	31.00	CO
NI	23.00	17.00	26.00	17.00	30.00	16.00	23.00	23.00	60.00	31.00	NI
CU	27.00	9.00	42.00	12.50	60.00	256.00	15.00	7.50	8.00	32.50	CU
ZN	56.00	34.00	61.50	47.50	61.00	34.00	59.00	47.00	55.50	68.00	ZN
RB	13.50	44.50	22.50	24.00	11.00	29.00	17.50	27.00	0.50	0.10	RB
SR	262.00	142.50	256.00	145.00	181.00	177.50	248.00	222.00	282.00	245.00	SR
ECHAN.	66	69	70	74	79	82	83	85	88	89	
S102	57.40	64.46	62.22	60.16	61.50	64.96	56.05	59.38	62.27	56.28	S102
T102	0.73	0.46	0.57	0.64	0.66	0.41	0.71	0.56	0.69	0.94	T102
AL203	17.14	16.10	16.22	16.64	15.77	16.36	18.12	16.72	16.08	17.76	AL203
FE203	2.60	2.11	2.48	2.61	2.31	1.61	2.23	1.92	2.46	2.70	FE203
FEO	4.01	2.23	2.92	3.53	3.64	2.50	4.18	3.41	3.23	4.10	FEO
MNO	0.12	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.14	MNO
MGO	3.35	1.82	2.39	2.72	2.25	1.54	2.92	2.72	2.55	3.35	MGO
CAO	6.57	4.32	5.17	5.90	5.06	3.97	5.63	4.78	6.12	7.45	CAO
NA2O	4.09	4.26	4.02	3.99	4.23	4.50	4.87	3.90	3.60	3.84	NA2O
K2O	0.53	1.43	0.78	0.59	1.24	1.63	0.63	0.91	0.42	0.37	K2O
P2O5	0.26	0.20	0.21	0.17	0.42	0.23	0.16	0.12	0.16	0.30	P2O5
H2O	2.23	1.45	2.31	1.91	1.53	1.36	2.84	1.63	1.74	2.00	H2O
CO2	2.57	2.20	1.03	0.24	0.28	0.57	1.06	1.67	0.0	0.10	CO2
TOTAL	99.51	99.24	100.41	99.20	99.00	99.74	99.50	99.01	99.60	99.33	
LI	24.50	39.00	17.00	18.00	28.00	53.00	21.00	35.00	13.00	14.00	LI
V	144.00	74.00	93.00	107.50	94.00	47.00	137.00	137.00	136.00	177.00	V
CR	42.00	10.00	40.00	35.00	20.00	6.50	23.00	21.00	33.00	43.00	CR
CO	29.00	19.00	23.00	29.50	19.00	16.00	29.00	24.00	19.00	28.00	CO
NI	37.00	16.00	30.00	40.00	33.00	13.00	27.00	18.00	20.00	28.00	NI
CU	46.00	16.00	11.00	19.50	40.50	12.00	99.00	58.00	7.50	200.00	CU
ZN	80.50	68.50	61.50	76.00	80.00	66.00	42.00	44.00	31.00	66.00	ZN
RB	16.00	49.50	25.00	16.00	47.50	53.00	19.00	29.00	12.00	9.50	RB
SR	250.00	240.00	272.50	250.00	231.00	219.00	221.00	210.00	205.00	240.00	SR

BATHOLITE DE BOURLAMAQUE

ECHAN.	97	98	104	106	109	112	116	118	124	131	
SiO2	58.77	58.62	58.50	58.92	57.70	59.83	64.11	64.79	62.34	61.91	SiO2
TiO2	0.85	1.07	0.77	0.81	0.70	0.66	0.56	0.44	0.68	0.54	TiO2
AL2O3	15.10	15.08	16.58	16.42	17.08	16.80	15.87	16.02	15.70	16.30	AL2O3
FE2O3	1.91	1.71	2.86	2.20	2.42	2.60	2.59	1.96	2.16	1.70	FE2O3
FeO	4.50	4.58	3.78	3.82	4.09	3.54	2.93	2.89	3.57	3.46	FeO
MnO	0.11	0.10	0.11	0.10	0.12	0.11	0.09	0.09	0.11	0.08	MnO
MgO	4.74	4.38	2.79	3.05	3.28	2.92	2.32	2.06	3.19	2.45	MgO
CaO	5.42	5.90	6.03	5.72	6.95	6.56	4.48	4.33	5.32	4.02	CaO
Na2O	3.00	4.03	4.14	3.12	3.28	3.46	3.90	3.50	3.66	3.80	Na2O
K2O	0.73	0.12	0.09	0.67	0.64	0.82	0.74	0.90	0.89	0.95	K2O
P2O5	0.19	0.18	0.22	0.19	0.13	0.16	0.16	0.14	0.19	0.25	P2O5
H2O	2.37	3.54	2.30	2.37	2.26	2.54	2.63	1.86	1.81	2.74	H2O
CO2	1.92	3.96	0.34	0.82	0.10	0.03	0.17	0.41	0.28	1.96	CO2
TOTAL	99.98	101.27	99.31	98.01	98.75	100.03	100.55	99.39	99.90	100.16	
LI	21.50	26.00	18.50	14.50	13.00	18.00	24.00	22.00	18.00	22.00	LI
V	153.00	203.00	135.00	143.00	144.00	122.00	102.50	75.00	126.00	99.00	V
CR	185.70	130.00	28.00	22.50	27.00	23.00	18.00	19.50	63.00	22.50	CR
CO	28.00	31.00	31.00	24.00	27.00	21.00	20.50	19.00	26.00	17.00	CO
NI	80.30	56.00	32.00	18.00	24.00	26.00	14.50	21.00	35.00	13.00	NI
CU	10.00	11.60	51.50	32.00	46.00	30.50	21.50	9.00	43.50	6.50	CU
ZN	64.00	42.50	82.00	52.00	52.00	59.00	51.50	58.00	63.50	49.50	ZN
RB	20.50	4.00	32.50	24.00	22.00	19.50	23.50	28.00	26.00	31.50	RB
SR	135.92	193.23	281.00	202.50	222.50	235.00	172.00	197.50	192.00	204.00	SR
ECHAN.	133	141	142	149	151	159	166	169	171	174	
SiO2	68.01	57.48	52.75	59.80	58.05	55.65	60.69	59.74	62.42	58.77	SiO2
TiO2	0.33	0.81	0.88	0.51	0.71	1.30	0.77	0.69	0.60	0.62	TiO2
AL2O3	15.57	17.04	17.93	16.40	17.06	16.72	15.82	16.90	16.25	17.14	AL2O3
FE2O3	2.16	3.07	3.28	1.73	3.77	3.37	2.40	2.12	1.59	2.44	FE2O3
FeO	1.79	3.92	5.30	3.09	2.70	4.54	4.12	3.54	3.38	3.65	FeO
MnO	0.08	0.13	0.14	0.08	0.13	0.13	0.09	0.11	0.09	0.12	MnO
MgO	1.36	3.38	4.33	2.42	3.22	3.48	2.88	2.62	2.29	2.72	MgO
CaO	2.90	7.36	8.49	4.68	6.86	7.67	3.23	5.73	5.18	6.61	CaO
Na2O	5.08	3.06	3.36	3.72	4.06	3.38	3.63	4.00	4.24	3.72	Na2O
K2O	0.60	0.23	0.35	1.36	0.32	0.69	1.47	0.37	1.00	0.46	K2O
P2O5	0.19	0.21	0.24	0.15	0.19	0.29	0.17	0.21	0.25	0.14	P2O5
H2O	1.40	2.77	2.92	3.36	2.22	2.12	2.97	2.87	1.71	2.15	H2O
CO2	0.03	0.41	0.48	2.73	0.41	0.57	2.63	1.20	0.10	0.72	CO2
TOTAL	99.90	99.87	100.45	100.00	99.70	99.91	100.27	100.10	99.10	99.26	
LI	33.50	14.00	17.00	21.00	19.00	15.50	20.00	27.50	35.00	17.50	LI
V	45.00	157.00	194.00	108.00	132.00	359.00	147.00	103.00	95.00	115.00	V
CR	12.00	29.00	37.50	20.50	35.00	57.00	19.00	16.00	10.00	25.00	CR
CO	16.00	39.00	35.00	21.00	29.00	30.00	28.00	22.00	24.00	28.00	CO
NI	17.00	25.00	46.20	17.50	32.00	35.00	16.00	25.00	27.00	28.00	NI
CU	14.50	66.00	10.00	13.00	21.00	40.00	5.00	21.00	21.00	18.50	CU
ZN	47.00	70.00	74.00	45.00	59.00	62.00	50.00	78.00	74.00	61.00	ZN
RB	16.00	6.50	6.00	39.00	6.50	20.50	37.50	8.50	28.00	12.00	RB
SR	179.00	290.00	273.00	170.00	240.00	212.50	177.50	336.00	276.50	179.00	SR

BATHOLITE DE BOURLAMAQUE

ECHAN.	177	183	185	190	191	193	196	202	203	205	
SI02	62.22	56.44	61.68	59.97	61.03	62.55	60.28	62.36	60.45	54.05	SI02
TIO2	0.64	0.59	0.60	0.91	0.57	0.54	0.56	0.61	0.71	0.84	TIO2
AL2O3	16.75	17.54	16.64	15.43	16.78	16.32	16.71	16.02	16.36	19.12	AL2O3
FE2O3	2.53	2.24	2.31	2.36	2.56	2.27	2.06	2.33	1.71	2.79	FE2O3
FeO	2.73	2.44	3.07	4.50	3.22	3.15	3.63	3.09	4.59	5.03	FeO
MNO	0.11	0.15	0.11	0.14	0.10	0.11	0.12	0.09	0.12	0.15	MNO
MGO	2.39	3.71	2.12	3.45	2.62	2.39	2.79	2.29	2.79	3.95	MGO
CAO	4.42	0.64	5.55	6.68	5.13	5.55	6.42	5.47	6.06	8.12	CAO
NA2O	4.12	1.80	4.32	2.94	3.64	3.84	3.66	3.86	3.70	3.89	NA2O
K2O	0.74	0.75	0.64	0.23	1.05	0.42	0.63	0.50	0.91	0.27	K2O
P2O5	2.23	0.17	0.23	0.21	0.12	0.19	0.13	0.17	0.18	0.20	P2O5
H2O	2.06	1.52	1.53	2.61	2.27	2.37	2.31	1.88	1.97	2.18	H2O
CO2	0.31	0.0	0.21	0.21	0.72	0.34	0.24	0.47	0.10	0.17	CO2
TOTAL	99.36	100.19	99.01	100.24	99.81	100.04	99.54	99.14	99.65	99.76	
LI	17.60	19.00	22.50	14.50	22.50	18.50	18.00	18.00	20.00	18.50	LI
V	161.00	167.00	95.00	151.00	115.00	110.00	114.00	96.00	120.00	192.00	V
CR	18.50	35.00	17.00	28.00	23.00	18.50	24.00	27.00	30.00	35.50	CR
CO	24.50	42.00	23.00	35.00	23.00	22.00	24.00	23.00	27.00	33.00	CO
NI	25.50	36.00	22.00	31.00	24.00	19.00	27.00	29.50	36.00	33.00	NI
CU	23.50	34.00	24.00	87.00	12.50	19.50	15.00	20.00	31.50	14.00	CU
ZN	73.00	89.00	71.00	78.00	60.00	56.00	57.00	46.00	67.00	73.00	ZN
RB	16.00	4.00	17.00	7.00	30.50	13.00	20.00	13.00	29.00	6.00	RB
SR	303.00	190.00	294.00	224.00	202.50	191.00	180.00	221.00	172.50	232.50	SR
ECHAN.	206	208	211	210	224	228	231	233	236	237	
SI02	54.63	53.51	62.84	59.82	60.27	61.72	63.77	60.77	59.15	55.83	SI02
TIO2	0.92	1.23	0.56	0.71	0.74	0.60	0.46	0.80	0.71	0.97	TIO2
AL2O3	18.34	17.44	16.52	16.64	16.32	16.12	16.06	15.57	16.52	17.25	AL2O3
FE2O3	2.42	2.62	2.17	2.49	2.40	2.49	2.11	2.18	2.90	3.06	FE2O3
FeO	5.27	5.93	3.41	4.12	4.26	3.49	2.97	5.11	3.32	4.45	FeO
MNO	0.13	0.15	0.10	0.12	0.12	0.12	0.09	0.13	0.10	0.12	MNO
MGO	4.05	4.01	2.42	2.95	2.98	2.39	2.25	3.08	2.79	2.79	MGO
CAO	8.11	8.78	4.55	6.63	6.15	5.75	4.90	4.72	6.69	7.04	CAO
NA2O	3.72	3.18	4.28	3.74	3.42	3.88	3.84	3.44	3.16	3.96	NA2O
K2O	0.40	0.64	0.64	0.50	0.72	0.36	0.62	0.52	0.31	0.32	K2O
P2O5	0.23	0.10	0.17	0.18	0.19	0.16	0.14	0.21	0.19	0.25	P2O5
H2O	1.65	2.79	2.21	1.84	2.05	2.16	2.01	2.84	2.45	2.42	H2O
CO2	0.24	0.10	0.10	0.10	0.0	0.17	0.42	0.71	0.76	0.17	CO2
TOTAL	100.13	97.98	99.97	99.84	99.62	99.41	99.64	100.13	99.05	98.63	
LI	20.00	18.50	21.50	18.00	18.00	19.00	19.50	21.00	23.50	17.00	LI
V	143.00	261.00	89.00	125.00	125.00	98.00	88.00	120.00	131.00	143.50	V
CR	32.00	45.00	26.50	31.00	46.50	19.00	24.50	24.50	24.00	16.00	CR
CO	35.00	47.00	25.00	30.00	30.00	26.00	19.00	29.00	26.00	30.00	CO
NI	34.00	47.00	31.00	33.00	38.00	22.00	21.00	28.00	25.00	37.00	NI
CU	47.00	97.00	16.00	32.00	22.00	7.50	9.00	14.50	52.00	47.00	CU
ZN	78.00	86.00	65.00	68.00	65.00	54.00	41.00	69.00	49.00	89.50	ZN
RB	10.00	16.00	22.00	12.50	16.00	9.00	18.00	16.00	8.50	6.00	RB
SR	227.50	212.50	150.00	144.00	170.00	192.50	152.50	154.00	231.00	234.00	SR

BATHOLITE DE ROURLAQUE

ECHAN.	241	242	248	252	257	266	271	277	283	314	
SI02	65.15	53.90	57.93	58.03	57.38	61.98	57.57	59.63	59.15	66.37	SI02
TIO2	0.45	0.46	0.64	0.71	0.69	0.51	0.71	0.65	0.57	0.49	TIO2
AL2O3	15.80	19.09	16.70	16.72	17.35	16.18	17.44	16.76	16.68	15.37	AL2O3
FE2O3	2.16	1.96	2.40	2.52	2.41	2.34	2.44	2.63	2.39	2.24	FE2O3
FeO	2.06	4.45	3.64	3.92	3.19	2.96	3.95	3.22	3.47	1.71	FeO
MNO	0.10	0.13	0.11	0.12	0.12	0.10	0.12	0.10	0.11	0.06	MNO
MGO	1.79	4.31	3.03	3.15	3.42	2.32	3.25	2.69	2.48	1.79	MGO
CAO	4.35	8.96	6.83	6.78	7.04	5.50	7.16	6.37	6.20	3.94	CAO
NA2O	3.98	4.29	3.10	3.16	3.56	3.54	3.76	3.91	3.84	4.00	NA2O
K2O	1.91	0.15	0.48	0.32	0.55	0.65	0.25	0.32	0.62	0.91	K2O
P2O5	0.25	0.28	0.14	0.18	0.17	0.15	0.18	0.16	0.19	0.11	P2O5
H2O	2.44	1.66	2.94	2.29	2.14	2.04	2.07	2.03	2.03	2.23	H2O
CO2	0.41	0.77	1.48	1.07	0.04	0.51	0.34	0.54	0.38	0.84	CO2
TOTAL	99.73	100.09	99.37	98.97	99.06	98.78	99.24	99.01	98.51	100.06	
LI	25.00	21.50	22.00	23.00	17.50	22.00	18.50	20.50	21.00	13.00	LI
V	64.00	199.00	149.00	151.00	139.00	95.50	157.00	107.00	121.00	72.00	V
CR	17.50	23.50	22.00	22.00	46.00	21.00	24.50	27.50	28.00	33.50	CR
CO	18.00	31.00	28.00	29.00	30.00	24.50	30.00	30.00	26.00	13.00	CO
NI	18.00	30.00	23.00	25.00	43.00	29.00	26.00	33.00	30.00	17.00	NI
CU	10.50	8.50	10.00	12.50	61.50	7.00	16.00	49.50	22.50	5.50	CU
ZN	62.50	55.50	50.00	58.00	67.00	50.50	57.00	65.00	56.00	32.00	ZN
RB	25.00	2.00	14.00	8.50	13.00	22.00	7.00	9.00	19.00	32.00	RB
SR	263.00	257.50	229.00	247.50	193.50	208.00	216.00	215.00	195.00	175.00	SR
ECHAN.	326	337	343	347	255						
SI02	60.26	59.41	62.61	58.60	60.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	SI02
TIO2	0.41	0.63	0.49	0.64	0.73	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	TIO2
AL2O3	14.25	16.84	16.24	16.80	16.13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	AL2O3
FE2O3	2.11	2.36	2.07	2.13	2.92	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	FE2O3
FeO	3.85	3.50	3.13	3.98	3.41	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	FeO
MNO	0.07	0.10	0.10	0.11	0.09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	MNO
MGO	4.01	2.67	2.35	2.88	2.77	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	MGO
CAO	3.42	6.38	5.37	6.30	5.38	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CAO
NA2O	4.80	3.72	3.70	3.60	3.82	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	NA2O
K2O	0.38	0.54	1.06	0.49	1.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	K2O
P2O5	0.24	0.13	0.13	0.12	0.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	P2O5
H2O	2.30	2.35	2.69	2.45	1.66	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	H2O
CO2	1.94	0.97	0.07	1.01	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CO2
TOTAL	99.79	99.10	100.01	99.20	99.46	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
LI	23.00	18.50	25.00	24.00	27.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	LI
V	132.00	115.00	87.00	121.00	110.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	V
CR	140.00	28.00	21.00	34.00	22.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CR
CO	22.00	27.00	25.00	26.00	32.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CO
NI	51.00	29.50	23.00	35.00	40.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	NI
CU	18.00	10.50	10.00	14.00	50.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	CU
ZN	48.50	55.00	53.00	60.50	70.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	ZN
RB	11.00	13.00	17.50	12.00	32.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	RB
SR	203.00	235.00	161.00	207.50	224.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	SR

BATHOLITE DE BOURLAMAQUE : DYKES

ECHAN.	34	297	165	338	153	356	14				
S102	49.45	48.85	49.40	52.80	51.56	74.21	73.89	0.0	0.0	0.0	S102
Y102	1.23	1.01	1.25	0.84	1.52	0.47	0.74	0.0	0.0	0.0	Y102
AL203	15.24	15.98	15.82	14.60	12.75	12.19	13.19	0.0	0.0	0.0	AL203
FE203	5.35	4.62	4.55	3.09	2.69	1.26	1.67	0.0	0.0	0.0	FE203
FE0	7.85	7.44	8.00	5.79	9.84	0.36	0.51	0.0	0.0	0.0	FE0
MNO	0.15	0.16	0.15	0.13	0.19	0.03	0.02	0.0	0.0	0.0	MNO
MGO	5.92	6.34	5.66	8.24	4.90	0.58	0.58	0.0	0.0	0.0	MGO
CA0	9.48	9.75	8.63	8.00	8.30	2.81	2.23	0.0	0.0	0.0	CA0
NA20	1.04	2.26	2.28	2.82	2.20	4.92	5.00	0.0	0.0	0.0	NA20
K20	0.05	0.18	0.05	0.98	0.03	0.79	0.55	0.0	0.0	0.0	K20
P205	0.16	0.56	0.19	0.19	0.32	0.41	1.06	0.0	0.0	0.0	P205
H20	3.28	3.05	3.02	1.34	4.55	0.78	0.93	0.0	0.0	0.0	H20
CO2	0.81	0.56	0.92	0.0	3.91	1.45	0.34	0.0	0.0	0.0	CO2
TOTAL	100.01	100.06	100.15	99.38	100.76	100.26	100.21	0.0	0.0	0.0	
LI	21.00	22.00	19.00	20.00	22.00	5.00	6.00	0.0	0.0	0.0	LI
V	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	V
CR	276.00	290.00	261.00	210.00	280.00	41.00	25.00	0.0	0.0	0.0	CR
CO	148.00	213.00	157.00	605.00	38.00	5.00	5.00	0.0	0.0	0.0	CO
NI	47.00	48.00	46.00	33.00	31.00	6.00	9.00	0.0	0.0	0.0	NI
CU	99.00	109.00	93.00	19.00	6.00	18.00	14.00	0.0	0.0	0.0	CU
ZN	95.00	93.00	100.00	93.00	109.00	8.00	21.00	0.0	0.0	0.0	ZN
RB	134.00	100.00	113.00	135.00	21.00	8.00	9.00	0.0	0.0	0.0	RB
SR	208.00	193.00	185.00	225.00	85.00	48.00	113.00	0.0	0.0	0.0	SR

ANNEXE D / APPENDIX D

DISTRUBUTION GEOGRAPHIQUE DE QUELQUES ELEMENTS CHIMIQUES DANS LE BATHOLITE DE BOURLAMAQUE
 GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF SOME CHEMICAL ELEMENT WITHIN THE BOURLAMAQUE BATHOLITH

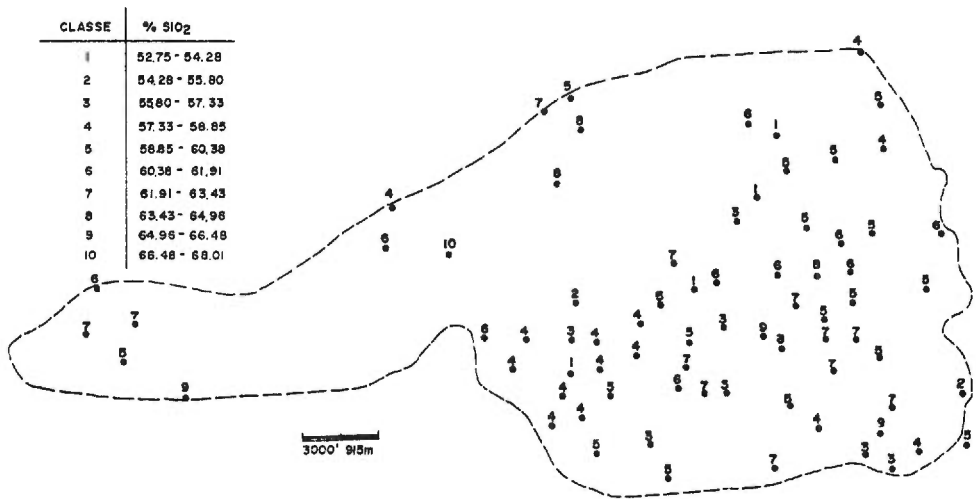


FIG. D1- Distribution de SiO₂ dans le batholite de Bourlamaque
 Distribution of SiO₂ within the Bourlamaque batholith

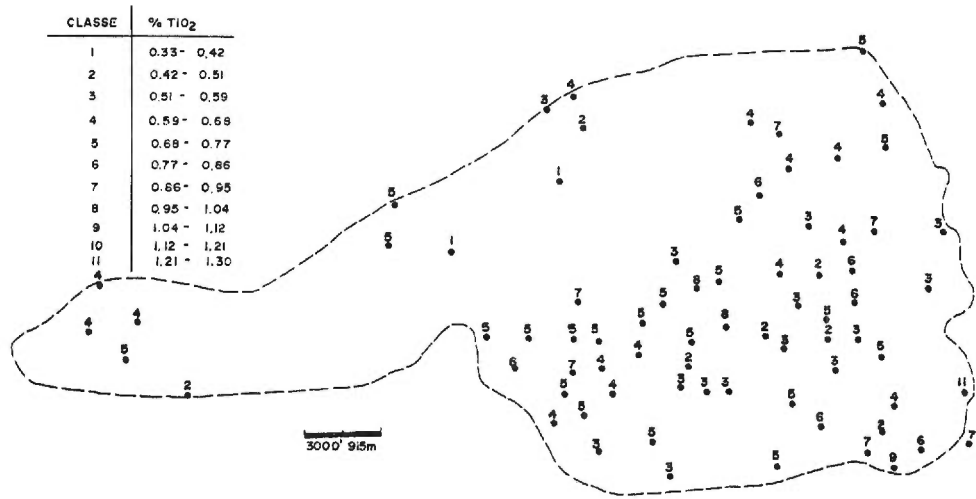


FIG. D2- Distribution de TiO₂ dans le batholite de Bourlamaque
 Distribution of TiO₂ within the Bourlamaque batholith

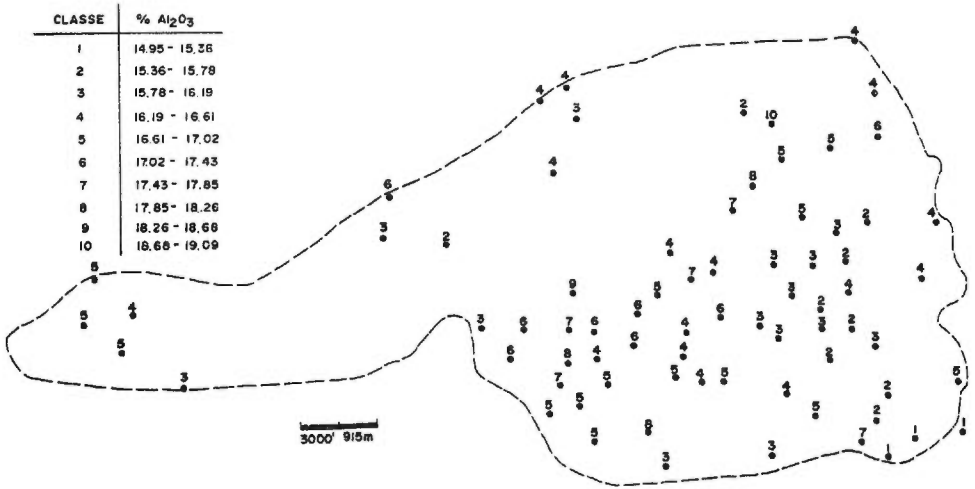


FIG. D3- Distribution de Al_2O_3 dans le batholite de Bourlamaque
Distribution of Al_2O_3 within the Bourlamaque batholith

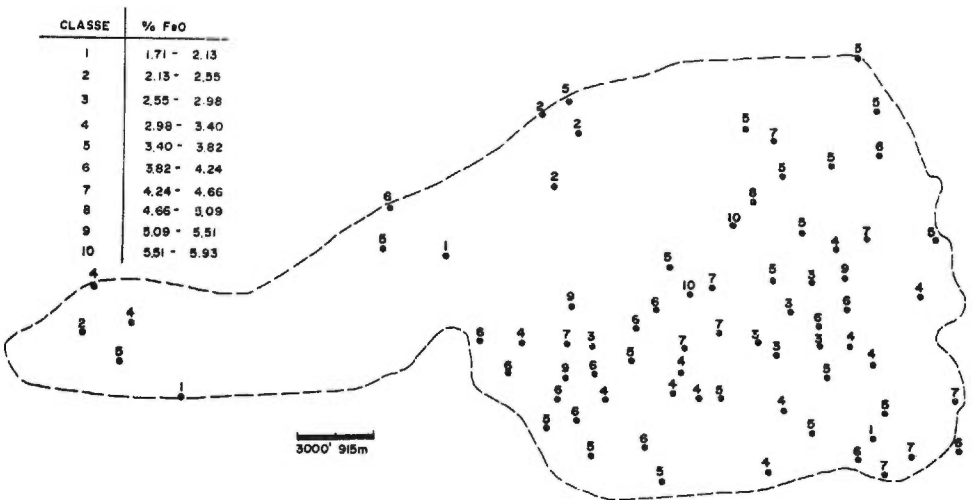


FIG. D4- Distribution de FeO dans le batholite de Bourlamaque
Distribution of FeO within the Bourlamaque batholith

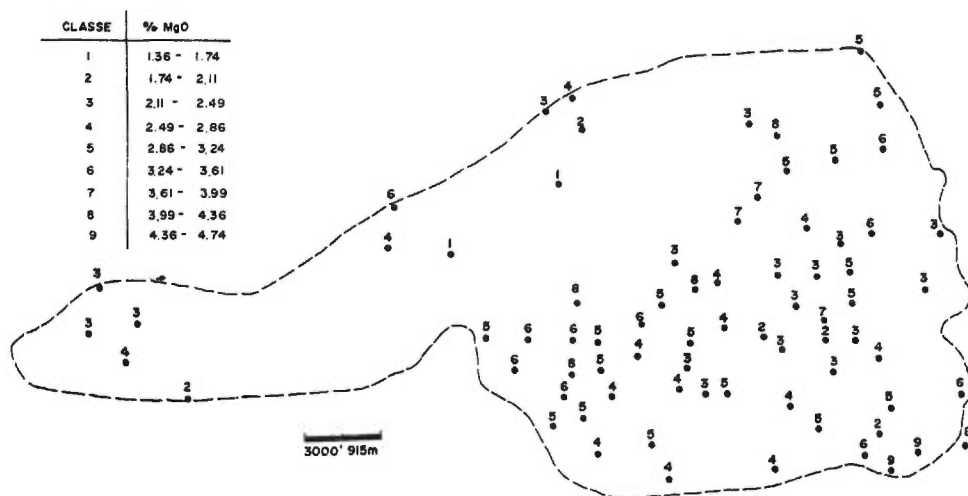


FIG. D5- Distribution de MgO dans le batholite de Bourlamaque
Distribution of MgO within the Bourlamaque batholith

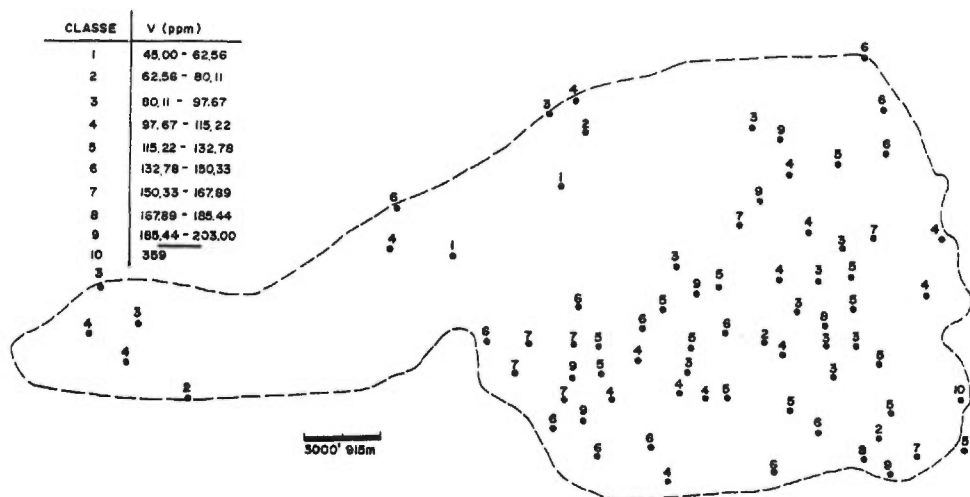


FIG. D6- Distribution de V dans le batholite de Bourlamaque
Distribution of V within the Bourlamaque batholith.

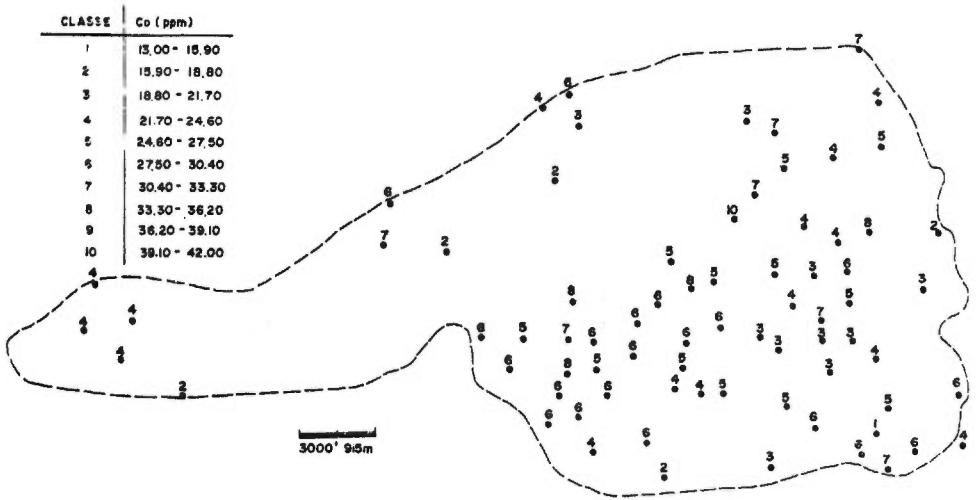


FIG. D7- Distribution de Co dans le batholite de Bourlamaque
Distribution of Co within the Bourlamaque batholith

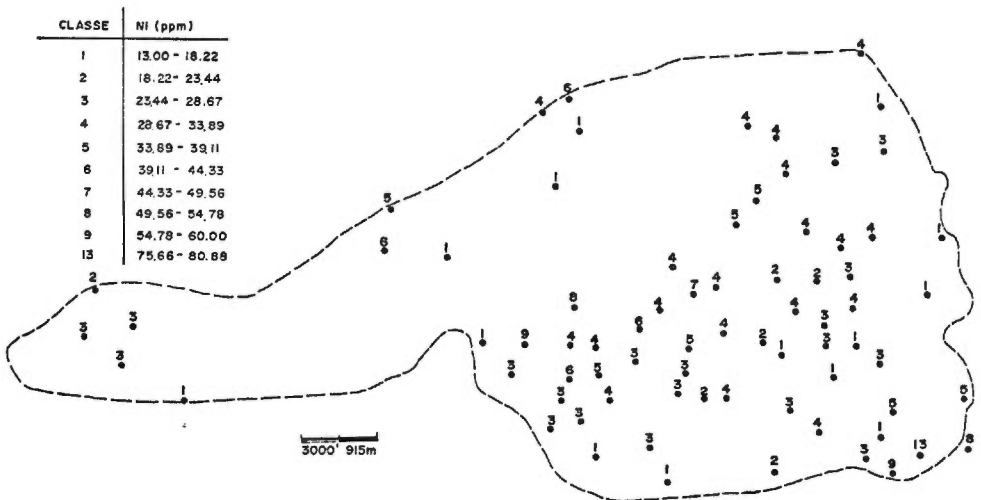


FIG. D8- Distribution de Ni dans le batholite de Bourlamaque
Distribution of Ni within the Bourlamaque batholith

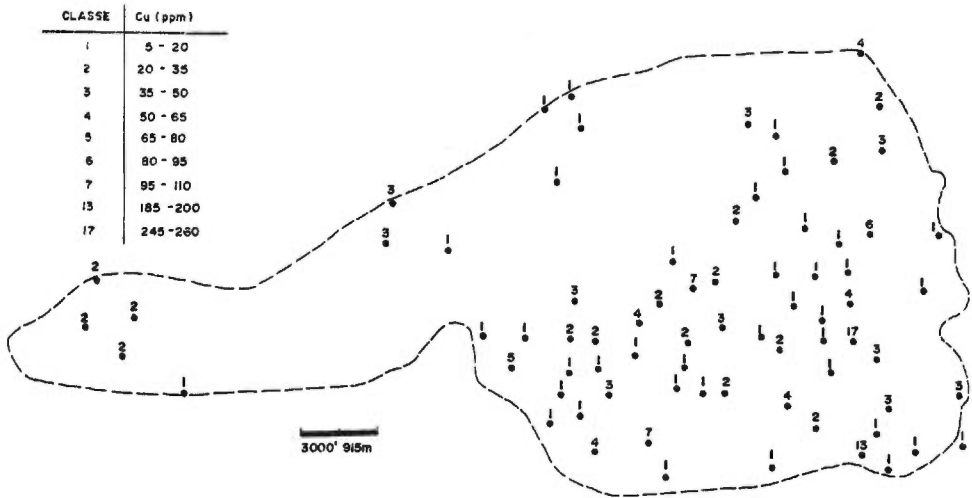


FIG. D9- Distribution de Cu dans le batholite de Bourlamaque
Distribution of Cu in the Bourlamaque batholith

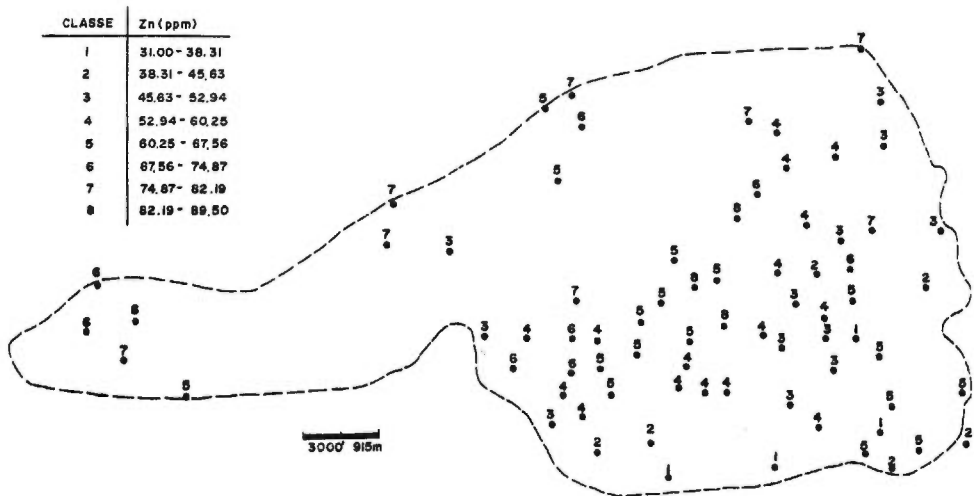


FIG. D10- Distribution de Zn dans le batholite de Bourlamaque
Distribution of Zn within the Bourlamaque batholith

