

PÉTROLOGIE ET STRUCTURE DE  
L'ANORTHOSITE DE BORGIA

PAR

RENÉ BISSONNETTE

THÈSE SOUMISE À  
L'ÉCOLE DES ÉTUDES SUPÉRIEURES  
DE L'UNIVERSITÉ D'OTTAWA  
DANS LE BUT DE SATISFAIRE AUX EXIGENCES  
D'UN DIPLOME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES EN GÉOLOGIE

UNIVERSITÉ D'OTTAWA  
OTTAWA, CANADA, 1978

UMI Number: EC55805

### INFORMATION TO USERS

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted. Broken or indistinct print, colored or poor quality illustrations and photographs, print bleed-through, substandard margins, and improper alignment can adversely affect reproduction.

In the unlikely event that the author did not send a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if unauthorized copyright material had to be removed, a note will indicate the deletion.

**UMI<sup>®</sup>**

---

UMI Microform EC55805  
Copyright 2011 by ProQuest LLC  
All rights reserved. This microform edition is protected against  
unauthorized copying under Title 17, United States Code.

---

ProQuest LLC  
789 East Eisenhower Parkway  
P.O. Box 1346  
Ann Arbor, MI 48106-1346

## Pétrologie et structure de l'anorthosite de Borgia

### Résumé

L'anorthosite de Borgia est située à environ 40 km au N de La Tuque, P.Q., dans la province géologique du Grenville. Arrondie, avec un diamètre moyen de 11 km, elle est presque complètement faite de petits polyèdres de plagioclase blanc (composition de An 54).

Une montée diapirique à partir des régions profondes de la croûte (928°C et 7.8 kbs) est indiquée par des évidences pétrologiques structurales et aéromagnétiques. Ce diapirisme de l'anorthosite pourrait être la cause:

- 1- de l'autométamorphisme de l'anorthosite
- 2- de la zone linée subverticale au centre du massif et de la foliation de bordure qui suit les contours du massif
- 3- de la baisse de température et de pression (métamorphisme rétrograde) indiquée par les textures coronitiques dans l'anorthosite
- 4- de la formation d'une auréole granulitique dans les roches adjacentes, avec individualisation de mobilisat riche en silice; ce mobilisat serait maintenant représenté par les nombreuses injections qui recourent l'anorthosite
- 5- des 2 failles N-S qui recourent l'anorthosite.

## Petrology and structure of the Borgia anorthosite

### Abstract

The Borgia anorthosite is located in the Grenville geological province, 40 km north of La Tuque, P.Q. Circular in shape, with a mean diameter of 11 km, it is almost completely made of small polyedral white plagioclase (An 54).

Diapiric uprise from the deep parts of the crust (928°C and 7.8 kbs) is indicated by petrologic, structural and aeromagnetic evidences. The diapirism of the anorthosite would cause:

- 1- the autometamorphism of the anorthosite
- 2- the formation of the subvertical lineated zone in the center of the body and the formation of the foliation that follow the margin of the body
- 3- the decrease in the temperature and pressure (retrograde metamorphism) indicated by the coronitic textures within the anorthosite
- 4- the formation of the granulitic aureole in the surrounding rocks, and the individualisation of silica-rich mobilisate. The mobilisate would now be represented by the numerous injections cross-cutting the anorthosite.
- 5- the formation of 2 N-S faults cross-cutting the anorthosite

## Tables des matières

Résumé	i
Abstract	ii
Tables des matières	iii
Liste des tableaux	ix
Liste des figures	x
Liste des planches	xi
Avant-propos	xiv
1.0 Introduction	1
2.0 Géologie générale et travaux précédents	4
2.1 Travaux précédents	4
2.1.1 Description de la géologie environnante	4
2.1.2 Roches adjacentes à l'anorthosite de Borgia	9
2.1.3 Cartes aéromagnétiques	12
2.2 Synthèse générale et présentation des problèmes	14
Tables des formations	18
3.0 Complexe gneissique	21
3.1 Facies amphibolite	21
3.1.1 Description macroscopique	21
3.1.2 Description microscopique	22
3.2 Facies granulite	26
3.2.1 Description macroscopique	26
3.2.2 Description microscopique	27
3.3 Déductions pétrologiques	32

## Table des matières (suite)

4.0	Leucodiorite	36
4.1	Description macroscopique	37
4.2	Description microscopique	38
4.3	Déductions pétrologiques	41
5.0	Monzonite quartzifère	43
5.1	Facies amphibolite	44
5.1.1	Description macroscopique	44
5.1.2	Description microscopique	44
5.2	Facies granulite	46
5.2.1	Description macroscopique	46
5.2.2	Description microscopique	48
5.2.2.1	Gneiss oeilé à pyroxène	48
5.2.2.2	Phase rose	53
5.2.2.3	Gneiss granulitique	54
5.3	Déductions pétrologiques	57
6.0	Complexe anorthositique	62
6.1	Description macroscopique	63
6.2	Description microscopique	66
6.3	Déductions pétrologiques	77
6.4	Couronnes réactionnelles	82
6.4.1	Introduction	82
6.4.2	Description microscopique	82
6.4.2.1	Partie A: olivine	83
6.4.2.2	Partie B: orthopyroxène II	84

## Tables des matières (suite)

6.0	Complexe anorthositique (suite)	
6.4.2.3	Partie C: clinopyroxène II	85
6.4.2.4	Partie D: pargasite	86
6.4.2.5	Partie E: grenat	88
6.4.2.6	Partie F: plagioclase	88
6.4.3	Déductions pétrologiques	90
6.4.4	Observations chimiques	96
6.4.4.1	Olivine	97
6.4.4.2	Altération brunâtre des olivines	97
6.4.4.3	Orthopyroxène II	103
6.4.4.4	Clinopyroxène II	103
6.4.4.5	Orthopyroxène III	105
6.4.4.6	Spinelle III	105
6.4.4.7	Amphibole (pargasite)	106
6.4.4.8	Biotite	106
6.4.4.9	Grenat	107
6.4.4.10	Plagioclase	107
6.4.5	Interprétation des résultats des analyses chimiques des minéraux des couronnes	108
6.4.5.1	Olivines	108
6.4.5.2	Altération brunâtre des olivines	108
6.4.5.3	Orthopyroxène II	109
6.4.5.4	Clinopyroxène II	109
6.4.5.5	Amphibole	111

## Tables des matières (suite)

6.0	Complexe anorthositique (suite)	
6.4.5.6	Orthopyroxène III	112
6.4.5.7	Spinelle III	113
6.4.5.8	Biotite	114
6.4.5.9	Grenat	114
6.4.5.10	Plagioclase	115
6.4.6	Discussion sur la formation des couronnes	115
6.4.7	Description de la formation des couronnes de l'anorthosite de Borgia	118
6.4.8	Géothermomètre et géobaromètre basés sur les compositions chimiques des minéraux des couronnes	123
6.4.8.1	Géothermomètre	123
6.4.8.2	Géobaromètre	132
7.0	Pegmatite et aplites	140
7.1	Description des injections dans l'anorthosite	140
7.1.1	Injections acides	141
7.1.2	Injections intermédiaires	142
7.1.3	Injections basiques	144
7.2	Interprétation	144
8.0	Eléments structuraux	148
8.1	Anorthosite	148
8.2	Roches adjacentes	151

## Tables des matières (suite)

8.0	Eléments structuraux (suite)	
8.3	Analyse structurale	152
8.3.1	Introduction	152
8.3.2	Choix des domaines	154
8.3.3	Bloc occidental	155
8.3.3.1	Domaine I	156
8.3.3.2	Domaine II	156
8.3.3.3	Domaine III	157
8.3.4	Bloc oriental	158
8.3.4.1	Domaine XII	158
8.3.4.2	Domaine XIII	159
8.3.4.3	Domaine XIV	159
8.3.5	Bloc central	160
8.3.5.1	Domaine X	160
8.3.5.2	Domaine IV	161
8.3.5.3	Domaine V	162
8.3.5.4	Domaine VI	162
8.3.5.5	Domaine VIII	163
8.3.5.6	Domaine IX	163
8.3.5.7	Domaine VII	164
8.3.5.8	Domaine XI	164
8.3.6	Coupes structurales et géologiques	165
8.3.6.1	Coupe A-B	166
8.3.6.2	Coupe C-D	169

## Tables des matières (suite)

8.0	Eléments structuraux (suite)	
8.3.6.3	Coupe E-F	173
8.4	Observations générales	174
8.5	Mise en place et déformation	175
9.0	Etude du rapport K/Rb dans l'anorthosite de Borgia	179
9.1	Utilité du rapport	179
9.2	Présentation des résultats	181
9.3	Analyse et interprétation des résultats	181
10.0	Conclusion	186
	Bibliographie	192
Appendice I:	Liste des abréviations	195
Appendice II:	Tables de minéralogie des principales unités géologiques	197
Appendice III:	Analyses chimiques des minéraux des couronnes et formules recalculées	209
	Planches	

## Liste des tableaux

Tableau 1:	Moyenne des analyses pour chaque minéral des couronnes; lame mince 17-6-75	98
Tableau 2:	Moyenne des analyses pour chaque minéral des couronnes; lame mince 24-5A-75	101
Tableau 3:	Formules chimiques des minéraux permettant de calculer la température de formation des couronnes; lame mince 17-6-75	128
Tableau 4:	Formules chimiques des minéraux permettant de calculer la température de formation des couronnes; lame mince 24-5A-75	130
Tableau 5:	Résultats des analyses du K et du Rb dans les échantillons d'anorthosite (roche totale)	182

## Liste des figures

Figure 1:	Distribution des anorthosites dans la province de Grenville	5
Figure 2:	Carte aéromagnétique régionale	16
Figure 3:	Carte géologique régionale	17
Figure 4:	Histogramme de la composition des plagioclasses du complexe anorthositique	67
Figure 5:	Variation du MgO et du FeO dans l'opx II de la lame mince 17-6-75 en fonction de la position de l'analyse dans la couronne	104
Figure 6:	Schéma hypothétique expliquant le faible rapport Mg/Mg+Fe+Mn de l'opx III	112
Figure 7:	Schémas théoriques montrant l'évolution des couronnes	119
Figure 8a:	Courbes expérimentales montrant les champs de stabilité de l'ol, de l'opx, du cpx, du spi, du gr et du plag	134
Figure 8b:	Dessin simplifié de la figure 8a	135
Figure 9:	K/Rb et %K pour divers types de roches	180
Figure 10:	Carte géologique	hors-texte
Figure 11:	Carte d'analyse structurale	hors-texte
Figure 12:	Carte de localisation	hors-texte
Figure 13:	Coupes géologiques et structurales	hors-texte

## Liste des planches

- I-A      Complexe gneissique dans le facies amphibolite.  
Litage discontinu et abondance de mobilisat. 3-5-77
- I-B      Complexe gneissique dans le facies amphibolite. Gros grain de microcline dont la mâcle en grille s'estompe. 3-5-75
- II-A     Complexe gneissique dans le facies granulite. Laminations et textures rubanées. 27-5-75
- II-B     Complexe gneissique dans le facies granulite. Boudinage des couches mafiques. 3-3-77
- III-A    Complexe gneissique dans le facies granulite. Plagioclase avec texture de remplacement. 6-3-75
- III-B    Complexe gneissique dans le facies granulite. Texture mésoperthitique dans les feldspaths. 26-2-75
- IV-A    Complexe gneissique dans le facies granulite. Opx et cpx dans le même grain. 1-1-75
- IV-B    Leucodiorite avec injections de matériel pegmatitique parallèles à la foliation. 5-1-77
- V-A     Monzonite quartzifère dans le facies amphibolite. Texture ignée; foliée; oeuillée. 6-3-77
- V-B     Monzonite quartzifère dans le facies granulite; gneiss oeuillé. Lamination et texture rubanée. 4-6-77
- VI-A    Monzonite quartzifère dans le facies granulite. Contact diffus entre le gneiss oeuillé et le gneiss rose. 6-7-77

## Liste des planches (suite)

- VI-B Monzonite quartzifère dans le facies granulite.  
Litage irrégulier, localement plissé. 6-7-77
- VII-A Monzonite quartzifère dans le facies granulite. Dyke  
de gneiss rose. 6-7-77
- VII-B Monzonite quartzifère dans le facies granulite.  
Gneiss oillé relique dans le gneiss rose. 6-9-77
- VIII-A Monzonite quartzifère dans le facies granulite.  
Boudinage dans une couche mafique. 6-10-77
- VIII-B Monzonite quartzifère dans le facies granulite.  
Porphyroblaste de plagioclase et orthose. 30-2-75
- IX-A Anorthosite gabbroïque. Litage et cristaux de  
pyroxène. 24-1-75
- IX-B Anorthosite gabbroïque. Cristaux de pyroxène avec  
déformation "fluidale". 12-4-75
- X-A Anorthosite "contaminée". 2-2-77
- X-B Anorthosite "bréchique". 22-1-75
- XI-A Anorthosite. Grains polygonaux de plagioclase.  
18-2-75
- XI-B Anorthosite. Couronne en lumière naturelle. 17-4-75
- XI-C Anorthosite. Couronne en lumière polarisée. 17-4-75
- XII-A Anorthosite. Hornblende en losange. 45-18-75
- XII-B Anorthosite. Biotite en bâtonnet. 11-2-75
- XIII-A Anorthosite linéée; coupe longitudinale. 6-13-77
- XIII-B Anorthosite linéée; coupe transversale. 11-6-75

## Liste des planches (suite)

- XIII-C Anorthosite foliée et plissée. 35-4-75
- XIV-A Filon de pegmatite intermédiaire en composition.  
40-2-75
- XIV-B Réseau de pegmatite acide. 2-1-75
- XIV-C Pegmatite avec blocs d'anorthosite. 40-6-75
- XV-A Amphibolite avec blocs d'anorthosite. 10-11-75
- XV-B Injection de mélange. 6-1-77
- XV-C Injection de mélange. 6-1-77
- XVI A-B-C-D1-D2-E; photos de couronnes prises sur la lame mince 24-5A-75; ces photos permettent de localiser les analyses de l'appendice III. La position de chaque photo dans la planche XVIII.
- XVII A-B-C-D-E-F-G-H-I-J1-J2-K; photos de couronnes prises sur la lame mince 17-6-75; ces photos permettent de localiser les analyses de l'appendice III. La position de chaque photo dans la planche XIX.
- XVIII Schéma de la lame mince 24-5A-75 avec référence à la planche XVI.
- XIX Schéma de la lame mince 17-6-75 avec référence à la planche XVII.

## Avant-propos

Sur le terrain, nous avons utilisé les photos aériennes à l'échelle de 1/4 de mille au pouce et les cartes topographiques à l'échelle de 1:50,000 publiées par le Ministère des Richesses Naturelles du Québec. La boussole et le comptepas ont beaucoup servi au repérage des affleurements dans les nombreuses traverses dans le bois.

Les affleurements sont numérotés de la façon suivante: le numéro 24-5B-75 indique par exemple la 24<sup>ième</sup> traverse, le 5<sup>ième</sup> affleurement, le 2<sup>ième</sup> échantillon (B) pris sur cet affleurement et l'année (75). Les numéros des affleurements servent aussi aux numéros des échantillons et aux numéros des lames minces. Les affleurements (et les lames minces) qui ont les années 72, 73 et 74 ont été relevés par Docteur Baer au cours de ces années. Je le remercie pour avoir mis à ma disposition ses notes de terrain, ses échantillons et ses lames minces.

La thèse est accompagnée de trois cartes au 1:50,000 hors-texte qui ont été dessinées et préparées par Andrée M. Bissonnette, mon épouse; elle a compilé la topographie et l'hydrographie à partir des cartes publiées par le Ministère des Richesses Naturelles du Québec. La carte colorée montre la géologie et la structure de l'anorthosite de Borgia et des roches adjacentes; cette carte sert de carte de base sur laquelle les deux autres peuvent être superposées l'une après

l'autre. Dans l'une, on montre les stéréonets utilisés pour faire l'analyse structurale; dans l'autre, on indique la position de tous les affleurements relevés. La thèse est aussi accompagnée d'une feuille hors-texte montrant trois coupes de l'anorthosite.

On trouvera, dans l'appendice II, la minéralogie des lames minces des principales unités géologiques. L'appendice III donne les analyses chimiques complètes des minéraux des couronnes, analyses qui ont été faites à la micro-sonde par Docteur G. Plant.

Toutes les photos des lames minces et des roches sont réunies dans les planches à la fin de la thèse. Les dernières de ces planches montrent la position des analyses faites à la micro-sonde sur les minéraux des couronnes.

## 1.0 Introduction

L'anorthosite de Borgia est située à 200 km au nord de Trois-Rivières, province de Québec, soit à 40 km de La Tuque. L'anorthosite de Borgia est ainsi nommée parce qu'une partie des affleurements se trouvent dans le comté de Borgia. La route 19 traverse l'anorthosite du nord au sud dans sa partie centrale; plusieurs chemins de terre carrossables et visibles sur les photos aériennes permettent d'avoir accès à la plupart des affleurements d'anorthosite.

A l'ouest, le chemin reliant le Club Anowepo à la route 19 donne accès au lac Deschênes et au lac Chasseur et permet de couvrir toute la partie ouest de l'anorthosite. Au centre, le Club Le Rochu possède une route de terre carrossable qui, partant de la route 19, se divise en deux branches; l'une monte vers le nord et donne, avec le lac Palembert, accès à cette région; l'autre va vers l'ouest et permet de compléter la géologie de la région centrale. La route 19, en plus de fournir une excellente coupe à travers l'anorthosite centrale, sert de point de départ pour plusieurs traverses dans les parties nord et sud de l'anorthosite et dans la partie est, entre la rivière Bostonnais et la route 19.

A l'est, on a accès à l'Ile Bostonnais grâce à un pont et à plusieurs routes de terre construites par la Consolidated Bathurst qui fait la coupe du bois dans cette région. La géologie à l'est de l'Ile Bostonnais a pu être complétée à

l'aide du chemin de terre qui mène au Club Sunset. Le contact sud-est est difficilement accessible.

C'est au cours de l'été 1975, du début juin à la fin d'août, que nous avons effectué la première étape de cette recherche, le travail de terrain. M. Shawn Belanger a servi d'assistant pendant les quinze premiers jours. M. Guy Lavoie l'a ensuite remplacé durant le reste de l'été. Notre camp de base se situait sur le club de chasse et de pêche de la Canadian International Papers (CIP), appelé Club Anowepo. Je remercie les dirigeants du club qui m'ont fourni gratuitement chaloupe, moteur et autres services durant mon séjour. Egalement je remercie la direction de l'Université d'Ottawa pour m'avoir prêté les tentes et le matériel de camping que j'ai utilisés.

La géologie de la région a été complétée pendant la première semaine de juin 1977. Un chalet du Club Le Rochu m'a servi cette fois de camp de base.

Le travail de laboratoire s'est fait au département de géologie de l'Université d'Ottawa qui m'a fourni locaux, équipements et services nécessaires à la bonne marche du projet. Je tiens à remercier aussi M. Shawn Belanger et M. William Milne pour la préparation des lames minces, Melle Diane Garrett pour une partie des analyses de K et de Rb, M. Edward Hearn pour les photographies des lames minces.

Je remercie également Docteurs J. Veizer, D. Hogarth, R. Kretz, W.K. Fyson, R. Emslie pour l'aide qu'ils m'ont

apportée en étudiant certains aspects de ma recherche et pour les idées qu'ils ont bien voulu me communiquer.

Je dois remercier sincèrement Dr. George Plant pour son magnifique travail de micro-sonde sur les couronnes.

Je veux remercier tout spécialement ma femme, Mme Andrée M. Bissonnette et M. Gary Menard, l'une pour la réalisation des cartes de ce travail, l'autre pour la dactylographie de ce document et les deux pour leur aide morale.

Je dois enfin remercier Docteur Alec J. Baer, mon directeur de thèse. Je n'aurais jamais pu présenter ce document sans ses idées, ses encouragements, ses explications, ses analyses et ses corrections.

## 2.0 Géologie générale et travaux précédents

### 2.1 Travaux précédents

#### 2.1.1 Description de la géologie environnante

L'anorthosite de Borgia se trouve dans la province structurale du Grenville (carte de la figure 1). Elle est à environ 80 km au SSW de l'anorthosite du lac St-Jean. Elle apparaît à l'intersection de trois cartes géologiques produites par le Ministère des Richesses Naturelles du Québec. La figure 3 est une compilation des trois cartes et la limite de chacune y est indiquée. Pour le quadrant NW, (Chaumonot), Newham (1964) a fourni un rapport avec une carte dont l'échelle est de  $\frac{1}{2}$  mille au pouce. Pour le quadrant SW (Langelier), Rondot (1961) a cartographié la région à l'échelle de 1 mille au pouce. Enfin dans la moitié E, Laurin et Sharma (1972) ont cartographié à petite échelle (2 milles au pouce) la région de la rivière Mistassini au cours du projet Grenville (1965, 1966, 1967).

L'anorthosite de Borgia a aussi fait l'objet d'une étude succincte faite par Dr A.J. Baer qui a visité quelques affleurements et a produit un rapport préliminaire (1976) qui décrit la pétrologie et la structure particulière à cette roche.

La carte de la figure 3 est une version simplifiée des cartes mentionnées ci-haut. Elle montre la géologie des roches avoisinant l'anorthosite de Borgia. Le complexe

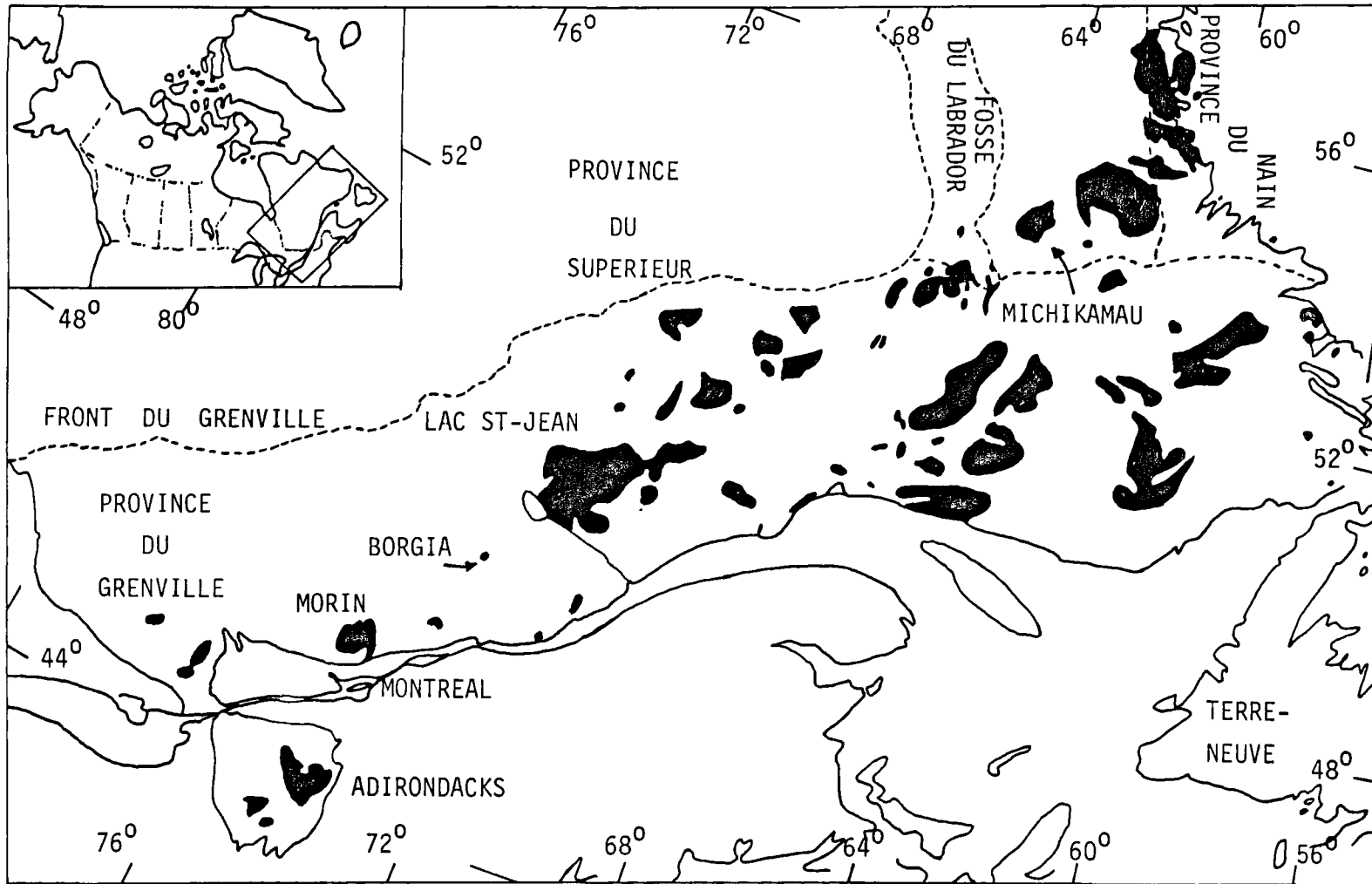


FIGURE 1: Distribution des anorthosites dans la province du Grenville (d'après Martignole, 1977)

gneissique (unité 1 de la figure 3) couvre la majeure partie de la carte. Il comprend des gneiss à quartz-feldspath-biotite et/ou hornblende, des gneiss migmatitiques, des "gneiss d'injection", et de faibles quantités de paragneiss (quartzites, quartzites impures, contenant grenat et sillimanite, calcaires cristallins, roches calco-silicatées, amphibolites, tous équivalents possibles du Groupe de Grenville).

En général, la structure du complexe gneissique semble contrôlée par l'emplacement de plusieurs roches plutoniques (unités 2, 3, 4, 5 et 6 sur la carte de la figure 3). A l'est, une diorite ou une granodiorite (unité 2), allongée NE-SW, couvre une bonne partie de la carte de Laurin et de Sharma, mais cette unité n'a pas été décrite en détail dans leur rapport. Dans la partie SW, Rondot fait mention de petits culots de roche dioritique autour d'une masse de granite rose. Il rapporte aussi une roche dioritique dans la partie SE de sa carte qui serait peut-être le prolongement de la diorite-granodiorite de Laurin et de Sharma mentionnée plus haut. Dans la partie NW, Newham rapporte des roches de composition équivalente. La forme de ces massifs est irrégulière et semble refléter l'intense plissement qu'elles ont subi.

L'unité 3 de la figure 3 comprend des roches de composition intermédiaire entre la diorite et le granite. On peut appeler cette unité monzonite quartzifère lorsque la roche est rosâtre et ne contient pas de pyroxène; c'est une mangérite

(monzonite à pyroxène) lorsqu'elle devient verdâtre et passe dans le facies granulite. Au NW, Newham distingue trois types de monzonite quartzifère (non indiqué sur la figure 3). L'un est verdâtre et pauvre en quartz (facies granulite); le deuxième est rosâtre et riche en quartz; enfin le troisième possède un grain plus fin que le deuxième. Au SW de sa carte, Rondot rapporte des roches avec des caractéristiques à peu près équivalentes qu'il nomme "roches charnockitiques" (facies granulite). La région SW montre d'après Rondot (1961) des "injections charnockitiques" abondantes plutôt qu'une masse plutonique proprement dite de sorte qu'il est possible que cette région fasse partie du complexe gneissique dans un facies métamorphique élevé (granulite). Enfin à l'est, Laurin et Sharma ont reconnu une large zone de mangérite en bordure d'une ceinture de gneiss (complexe gneissique) ainsi que sur le pourtour ouest d'une masse gabbroïque. Ils ont aussi distinguer une monzonite en continuité avec une monzonite quartzifère cartographiée par Newham sur la bordure nord de l'anorthosite. Une zone de gneiss verdâtre à deux pyroxènes borde souvent les roches mangéritiques. Notons que la terminologie des différents auteurs est confuse à propos de ce gneiss verdâtre: Laurin et Sharma emploient le terme "gneiss charnockitique", Rondot parle de "zone d'injection charnockitique", et Newham utilise le concept de "facies granulite". Sur la figure 3, cette zone granulitique n'a pas été représentée mais Rondot et Newham ont reconnu une unité métamorphique

dans le facies granulite autour de l'anorthosite de Borgia.

L'anorthosite de Borgia (unité 4) est la seule anorthosite reconnue par Newham, Rondot et Laurin et Sharma dans les régions respectives délimitées sur la figure 3. C'est une roche blanche, granuleuse, faite presque exclusivement de plagioclase calcique (labradorite), bordée par des gneiss dans le facies granulite, du moins dans la partie ouest.

Plusieurs masses de gabbro et/ou d'anorthosite gabbroïque (unité 5) ont été cartographiées dans la région. Ce sont des roches essentiellement composées de plagioclase (labradorite formant jusqu'à 60% de la roche, le reste étant fait de pyroxène). Dans la partie SW, Rondot a cartographié plusieurs filons et filons-couches basiques mais aucune masse d'importance. Au NW, Newham rapporte deux localités principales soit un laccolithe mafique au centre de sa carte, avec une sorte de filon convexe qui recoupe la diorite plus à l'est et, dans la partie SW de sa carte, une masse filonienne, plus riche en plagioclase, allongée nord-sud. A l'est, la carte de Laurin et de Sharma montre quatre masses gabbroïques distinctes, plus ou moins arrondies. Trois des masses sont en contact avec la diorite (unité 2) alors que la quatrième, à une dizaine de kilomètres à l'est de l'anorthosite de Borgia, est bordée par des roches mangéritiques sur tout son pourtour ouest.

Des granites roses et des granites avec pegmatites forment les masses intrusives les plus tardives de la carte

(unité 6). Ce sont des massifs individuels qui ont été cartographiés surtout dans la partie SW (Rondot) et dans la partie est (Laurin et Sharma) de la carte de la figure 3.

La structure d'ensemble de la région est difficile à définir à partir des textes ou des cartes des différents auteurs. En général, celle-ci semble suivre les contours des nombreuses masses plutoniques, dont celui de l'anorthosite.

### 2.1.2. Roches adjacentes à l'anorthosite de Borgia

#### Monzonite quartzifère

L'anorthosite de Borgia est bordée au nord par une monzonite quartzifère, à l'ouest par le complexe gneissique et à l'est par une diorite-granodiorite.

Newham (1964) a décrit la monzonite quartzifère se trouvant au nord. La monzonite quartzifère est rose, riche en quartz, et contient plusieurs zones de monzonite verdâtre pauvre en quartz. Elle est généralement à gros grain et se caractérise par la présence de cristaux de feldspath zoné à bordure sodique (la composition du plagioclase n'est pas donnée dans le rapport mais des échantillons correspondants donnent une composition inférieure à  $An_{30}$ ). Le hornblende est le principal minéral mafique. Newham ne décrit aucun contact entre la monzonite quartzifère et l'anorthosite. Il rapporte cependant deux petits affleurements d'anorthosite dans la monzonite quartzifère; il les interprète comme des

filons provenant de la masse principale. Les contacts de ces filons avec la roche encaissante n'ont pas été observés et les relations entre la masse principale d'anorthosite et les filons sont inconnues. Toujours au nord de l'anorthosite, la carte de Newham montre une petite zone du complexe gneissique prise entre la monzonite quartzifère et l'anorthosite. Dans le présent travail, nous considérerons cette zone comme étant l'équivalent de la monzonite quartzifère dans le facies granulite.

#### Complexe gneissique

A l'ouest et au sud-ouest de l'anorthosite, Newham (1964) et Rondot (1961) ont identifié des roches du complexe gneissique. Au NW, Newham distingue deux unités du complexe gneissique, selon le pourcentage de minéraux noirs présents dans la roche. Il fixe arbitrairement une limite d'indice de couleur de 30%, ce qui lui permet de distinguer entre deux types de gneiss.

Les roches contenant moins de 30% de minéraux noirs sont essentiellement des gneiss quartzo-feldspathiques à biotite, bien rubanés, avec une granulométrie moyenne à fine. Des bandes d'amphibolite sont souvent associées à ces roches. Le quartz varie de 30% à 50% et le plagioclase est sodique (composition non indiquée dans le rapport). Dans les zones fortement migmatisées, des textures porphyritiques se développent et, d'après Newham, du "matériel d'injection

rose" (essentiellement quartz et feldspath alcalin) serait la cause de la formation des porphyroblastes de feldspath alcalin et des microperthites trouvées dans le gneiss à cause d'un métasomatisme.

Les roches contenant plus de 30% de minéraux noirs sont moins riches en quartz (moins de 20%) et la hornblende devient le principal minéral mafique au lieu de la biotite. Le plagioclase demeure sodique. Le rubannement est moins prononcé que celui qui existe dans les gneiss leucocrates mais les bandes d'amphibolite sont plus nombreuses et plus larges. Ici encore, des porphyroblastes de feldspath alcalin peuvent se développer dans les "zones d'injection" de matériel quartzo-feldspathique rose.

Sur la carte, Newham ne distingue pas d'auréole de contact en bordure de l'anorthosite. Cependant dans son rapport préliminaire, il mentionne la présence de cette auréole granulitique qui est marquée par la couleur verdâtre des feldspaths.

Au sud-ouest, Rondot (1971) décrit le complexe gneissique comme étant des roches rubanées à grain fin de couleur grisâtre. Les bandes sont d'épaisseur variable, de l'ordre de quelques millimètres. Quartz, plagioclase, hornblende et biotite sont les principaux minéraux. De plus, en bordure de l'anorthosite, Rondot distingue sur sa carte une auréole de gneiss verdâtre faite de bandes riches en oxyde de fer et de titane (magnétite-ilménite), alternant avec des bandes de

feldspath verdâtre et de minéraux mafiques. Selon sa carte, cette auréole de contact aurait une épaisseur variant de 500 à 1500 mètres et l'anorthosite formerait même des filons-couches à l'intérieur de ces roches granulitiques. Enfin, Rondot indique sur sa carte une mince lentille de roches carbonatées (paragneiss) à l'intérieur de l'auréole granulitique. Cette lentille est parallèle au bord ouest de l'anorthosite.

### Diorite

A l'est, l'échelle de la carte de Laurin et Sharma (1971) est trop petite pour qu'on puisse voir le détail du contact de la diorite-granodiorite avec l'anorthosite. De plus, il est à noter que c'est de façon générale que leur rapport décrit la géologie et la pétrographie des anorthosites (celle du lac St-Jean entre autres) et que jamais il n'est question de l'anorthosite de Borgia.

#### 2.1.3 Carte aéromagnétique

Nous avons reproduit les cartes aéromagnétiques de la région de l'anorthosite de Borgia (cartes 1889G, 1890G, 1898G, 1899G) dans une version simplifiée avec la même échelle que la carte de la figure 3 (figure 2). Si l'on compare ces deux cartes (figures 2 et 3), on remarque une forte anomalie magnétique négative dans la région de l'anorthosite. La

forme de l'anomalie est à peu près celle d'une ellipse orientée NW-SE, mais avec un resserrement à peu près nord-sud dans la partie E. La ligne isomagnétique de 4000 gammas semble correspondre en général à la limite d'affleurement de l'anorthosite et pourrait donner une surface d'environ 91 kilomètres carrés (14.5 km de grand axe et 8 km de petit axe). Il semble toutefois qu'il n'y a aucun affleurement d'anorthosite dans l'anomalie magnétique à l'est du resserrement (on y trouve une leucodiorite), ce qui pourrait réduire la surface d'affleurement de l'anorthosite à environ 65 kilomètres carrés (masse à peu près circulaire de 9 km de diamètre).

Au nord de l'anorthosite, la monzonite quartzifère donne une forte anomalie magnétique positive sur la carte de la figure 2. A l'est, d'autres anomalies magnétiques positives semblent correspondre aux granites avec pegmatites de Laurin et Sharma. Ces auteurs ont aussi noté les anomalies magnétiques négatives associées sur leur carte aux roches du complexe gneissique (figures 2 et 3). Les roches du complexe gneissique à l'ouest de la carte de la figure 2 ne montrent pas cette anomalie magnétique négative et représentent plutôt un "bruit de fond" ou une "normale" sur la carte (4000 à 4500 gammas, transparent, figure 2).

La plupart des roches gabbroïques de la carte géologique (figure 3) se distinguent très mal sur la carte aéromagnétique. Cependant, à une dizaine de kilomètres à l'est de l'anortho-

site, une masse de roche gabbroïque donne une forte anomalie magnétique négative semblable à celle de l'anorthosite. Ici aussi, la forme de l'anomalie est à peu près circulaire avec un diamètre d'environ 6 kilomètres. Cette roche gabbroïque est bordée par une mangérite montrant une anomalie magnétique positive sur tout son pourtour ouest.

Il est possible qu'une certaine parenté génétique existe entre l'anorthosite de Borgia et la gabbro mentionné plus haut, parce que ces deux massifs possèdent une forte anomalie magnétique négative et parce que ces deux masses sont relativement peu éloignées l'une de l'autre. De plus, les roches concernées sont de la même famille (anorthosite et gabbro) et des roches dans le facies granulite entourent, du moins en partie, ces deux unités.

## 2.2 Synthèse générale et présentation des problèmes

L'anorthosite de Borgia est une masse de roche plagioclasique de couleur blanche, granuleuse, totalement recristallisée, qui apparaît sur la carte aéromagnétique comme une anomalie négative entourée au nord et à l'ouest par une anomalie magnétique positive. La limite d'affleurement de l'anorthosite ne correspond qu'à la partie ouest de l'anomalie magnétique et celle de l'est représente soit une continuité de l'anorthosite sous-jacente aux roches exposées, soit une lithologie différente possédant une signature magnétique

semblable à celle de l'anorthosite.

L'anorthosite de Borgia est en contact avec trois types différents de roches, soit: la monzonite quartzifère au nord et à l'est, le complexe gneissique à l'ouest et au sud, et la leucodiorite au sud. Les deux premiers types de roche sont dans le facies granulite en bordure immédiate de l'anorthosite. La leucodiorite est séparée de l'anorthosite (ou de la monzonite quartzifère) par une zone de fracturation importante.

La partie centrale de l'anorthosite est marquée par une linéation de minéraux noirs subverticale alors que la partie externe de l'anorthosite montre une foliation régulière qui semble suivre les bords de l'anorthosite. Les linéations sont très rares dans les roches adjacentes à l'anorthosite mais lamination, texture rubanée et/ou litage sont souvent parallèles aux contours de l'anorthosite, du moins en bordure immédiate de celle-ci.

Plusieurs pegmatites ainsi que des aplites de composition et d'orientation diverses recoupent l'anorthosite et contiennent des blocs d'anorthosite déjà complètement recristallisés. Certains de ces filons sont foliés alors que d'autres sont massifs.

CARTE AEROMAGNETIQUE REGIONALE



FIGURE 2

CARTE GEOLOGIQUE REGIONALE

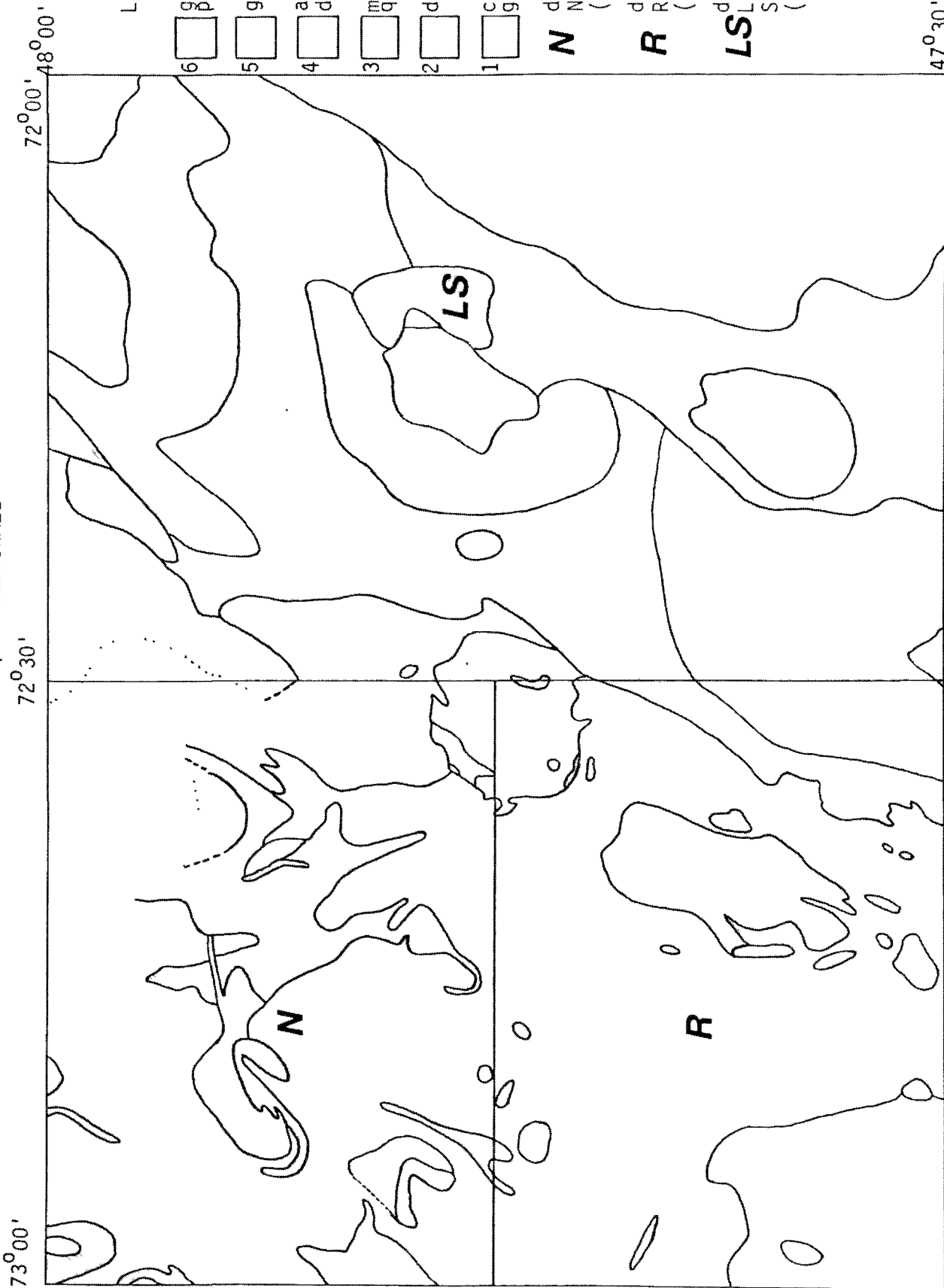


FIGURE 3

## Table des formations:

Pléistocène: sable et gravier

(Voir note au bas de la page 20)

Protérozoïque:

Pegmatites et aplites: veines et filons faits de quartz, de plagioclase et de feldspath de K en proportion variable, foliés ou massifs, recoupant l'anorthosite et contenant localement des blocs de celle-ci. Se retrouvent aussi dans les gneiss adjacents à l'anorthosite.

Complexe anorthositique: roche blanche ou verdâtre, granuleuse, à grain fin ou moyen (1 à 3 mm), massive, linéée ou foliée, faite de plagioclase et de minéraux mafiques (olivine, pyroxène, magnétite-ilménite, amphibole, mica)

0-10%	d'indice de couleur:	anorthosite
10-22.5%	" "	: anorthosite gabbroïque
22.5-40%	" "	: gabbro anor- thositique
> 40%	" "	: gabbro intrusif dans les gneiss, la leuco-

## Table des formations (suite)

diorite et la monzonite quartzifère.

Monzonite quartzifère: a) Facies amphibolite:

roche homogène, rosâtre ou grisâtre, foliée, ocellée à grain moyen, contenant quartz, plagioclase, feldspath de K, hornblende et biotite.

b) Facies granulite:

roche litée, foliée, verdâtre, à grain moyen ou fin, texture ocellée relique dans les roches mafiques; fréquemment associée à un gneiss rose à grain fin ou pegmatitique; à proximité de l'anorthosite, alternance de bandes claires et sombres, verdâtres, à grain fin, contenant quartz, plagioclase, feldspath de K, pyroxène, hornblende et biotite en proportion variable.

Leucodiorite:

roche homogène, foliée par de petites lentilles de minéraux noirs, verdâtre en cassure, contenant essentiellement du plagioclase sodique avec peu de quartz et de feldspath de K. Les

## Table des formations (suite)

pyroxènes et la hornblende forment moins de 10% de la roche.

## Complexe gneissique:

## a) Facies amphibolite:

roche laminée, rubanée et litée, blanche, grise ou rose, à grain moyen ou fin, contient localement des porphyroblastes de feldspath; faite de quartz, plagioclase, feldspath de K, hornblende et biotite, en proportion variable.

## b) Facies granulite:

roche à grain fin, verdâtre en cassure, laminée, rubanée et litée; contient plagioclase, quartz, feldspath de K, pyroxène, hornblende et biotite en proportion variable. Quelques bandes calcosilicatées et quartzitiques font partie de cette unité.

Note: L'âge relatif des différentes unités n'est pas connu, excepté pour les pegmatites et les aplites qui recoupent toutes les autres unités et qui sont donc plus jeunes que ces dernières.

### 3.0 Complexe gneissique:

Le complexe gneissique couvre une grande étendue à l'ouest et au sud de l'anorthosite de Borgia (figure 3). Le degré métamorphique du complexe est dans le facies amphibolite sauf sur une distance de 1 à 2 kilomètres en bordure de l'anorthosite où le métamorphisme est du facies granulite (Newham, 1964; Rondot, 1961). Le contact entre l'anorthosite et les roches du complexe gneissique est franc et parallèle à la foliation présente dans les deux types de roche.

#### 3.1 Facies amphibolite

##### 3.1.1 Description macroscopique

Les roches du complexe gneissique dans le facies amphibolite sont leucocrates, avec un indice de couleur variant entre 5 et 20% à l'échelle de l'affleurement. La roche est de couleur blanche, gris-vert ou rosâtre en cassure fraîche et brunâtre lorsque la roche est altérée. La dimension des grains est de 1 à 3 mm; quelques porphyroblastes de feldspath de potassium qui mesurent environ un centimètre se retrouvent aussi dispersés dans la roche. La proportion des principaux minéraux (quartz, plagioclase, feldspath de K) constituant la roche est variable d'un affleurement à l'autre, ou même d'une couche à l'autre. La composition, basée sur ces minéraux, serait celle d'une adamellite ou d'une granodiorite. Le

quartz est en général présent en abondance (plus de 15%) sous forme de lentilles de moins d'un millimètre d'épaisseur, allongées parallèlement à la foliation. La biotite et la hornblende, qui varient entre 5 et 20% de la roche, sont les principaux minéraux mafiques qui forment cette foliation.

La foliation peut être définie par une lamination continue donnée par l'alternance de minéraux noirs et blancs en plan de 1 à 3 mm d'épaisseur. Elle est le plus souvent représentée par une texture rubanée de 1 à 5 cm d'épaisseur ou même par un litage discontinu de 5 cm à plus de 30 cm d'épaisseur (planche I-A). La texture rubanée et le litage peuvent être formés par des concentrations de minéraux noirs ou encore par des couches quartzo-feldspathiques roses, localement pegmatitiques.

### 3.1.2 Description microscopique

#### Plagioclase:

La composition du plagioclase varie entre  $An_{23}$  et  $An_{33}$ . Les mâcles de l'albite et plus rarement du péricline sont bien formées. L'extinction est franche ou légèrement onduleuse. La grosseur des grains se situe en moyenne autour de 1 mm, mais elle peut varier entre 0.5 et 7 mm. Les contacts entre les grains sont droits; des contours polygonaux avec des points de jonction triple sont souvent présents. L'altération du plagioclase est mineure sauf dans la lame

mince 4-3-75 où la séricite et le carbonate sont fortement développés sur tous les grains, masquant ainsi complètement les mâcles du plagioclase. Deux générations de plagioclase ont été observées sur la lame mince 26-1-75: l'une est faite de grains bien mâclés, d'environ 1 mm de diamètre, avec un zonage normal ou une extinction ondulée; l'autre est faite de grains peu mâclés, très petits et plus sodiques que les gros grains ( $An_{23}$  par rapport à  $An_{27}$ ).

#### Feldspath de potassium:

Le feldspath de potassium montre, en lumière polarisée, la mâcle en grille caractéristique du microcline. Cependant l'extinction est souvent onduleuse et la mâcle s'estompe (planche I-B). Les grains ont souvent de 2 à 3 mm de diamètre avec un contour irrégulier, ou encore ils sont petits (environ 1 mm), polygonaux et intergranulaires entre les plagioclases. La figure d'interférence montre un grand  $2V_x$  (environ  $80^\circ$ ) mais quelques grains peu ou pas mâclés ont un  $2V_x$  intermédiaire (environ  $50^\circ$ ) et pourraient correspondre à de l'orthose. Des textures d'exsolution (perthite ou anti-perthite en goutte, mésoperthite en cheveux) sont présentes particulièrement dans les porphyroblastes.

#### Quartz:

Le quartz se présente sous forme de grosses lentilles avec une extinction légèrement onduleuse. On le trouve aussi

en grains intergranulaires entre les plagioclases, sous forme de myrméckite ou encore en petits grains inclus dans la hornblende.

#### Minéraux hydratés:

La hornblende verte et la biotite brune ont des propriétés optiques normales. Ces minéraux ne forment jamais plus que 10 à 15% de la roche totale. Ils sont souvent en agrégats allongés formant la foliation, mais les grains sont rarement orientés parallèlement à celle-ci. Ces minéraux montrent localement des points de jonction triple entre eux ou encore ils sont disséminés et intergranulaires entre les plagioclases. La hornblende prend souvent une forme en losange et la biotite une forme en bâtonnet allongé. On trouve aussi de la biotite avec une forme en losange indiquant que celle-ci peut s'être développée à partir de la hornblende. La biotite peut aussi être incluse ou recouper la hornblende.

#### Minéraux accessoires:

Apatite et zircon sont présents en faible quantité dans la plupart des lames minces. Ils sont petits et leurs formes sont caractéristiques (0.1 à 0.25 mm). Ils sont intergranulaires entre les plagioclases. L'apatite est aussi souvent associée à la hornblende et à la biotite ou encore elle est incluse dans le plagioclase ou le quartz.

Minéraux d'altération:

Muscovite, séricite et carbonate sont en général peu abondants sauf dans la lame mince 4-3-75 où tous les plagioclases sont altérés. La chlorite se retrouve parfois avec les formes de la hornblende (losange) ou de la biotite (bâtonnet).

### 3.2 Facies granulite:

#### 3.2.1 Description macroscopique:

Sur le terrain, le facies granulite se reconnaît essentiellement par la couleur verdâtre que prennent les feldspaths en cassure fraîche et par la patine d'altération rouille. La dimension des grains est inférieure ou égale à 1 millimètre. Les laminations millimétriques sont régulières, semblables à celles des roches du facies amphibolite, mais plus abondantes (planche II-A). Une texture rubanée et/ou un litage de 1 à 15 centimètres d'épaisseur sont souvent présents; ces bandes sont essentiellement formées de minéraux noirs (pyroxène et amphibole) qui alternent avec des bandes quartzo-feldspathiques plus épaisses. On trouve parfois du boudinage dans les bandes mafiques près de la bordure avec l'anorthosite (planche II-B).

La composition de la roche est très variable; elle se rapprocherait de celle d'une diorite ou d'une diorite quartzifère à pyroxène (jotunite sensu lato). La roche contient plus de 50% de plagioclase, de 0 à 30% de quartz et moins de 10% de feldspath de potassium (d'après la coloration au cobaltnitrate de sodium). L'indice de couleur peut varier entre 2 et 40% à l'échelle de l'affleurement. Quelques roches calco-silicatées ont aussi été rapportées par Rondot (1961) et par M. Baer (communication personnelle). Elles sont faites de calcite blanche et de diopside vert.

Plusieurs pegmatites et aplites roses peu ou pas déformées recoupent la foliation du complexe gneissique dans le facies granulite. Dans le facies amphibolite, ces phases roses sont parallèles à la foliation ou encore elles forment des "poches" de mobilisation.

### 3.2.2. Description microscopique:

#### Plagioclase:

La composition des plagioclases du complexe gneissique est plus variable dans le facies granulite ( $An_{10}$  à  $An_{38}$ ) qu'elle l'est dans le facies amphibolite ( $An_{23}$  à  $An_{33}$ ). Les grains sont aussi plus petits avec des dimensions moyennes de 0.2 à 0.5 mm. Une pellicule brun verdâtre entoure souvent les grains de plagioclase dans le facies granulite.

L'extinction, en lumière polarisée, est souvent onduleuse et la mâcle polysynthétique de l'albite est très rarement accompagnée de la mâcle du péricline. Les mâcles sont souvent estompées, localement pliées et plusieurs grains ne sont pas mâclés du tout (planche III-A).

La texture polygonale des grains est bien développée sauf dans quelques lames minces où les grains de plagioclase sont indentés et les contacts sinueux (texture blastomylonitique). L'orthose montre souvent des textures de remplacement avec le plagioclase. Des porphyroblastes de plagioclase mesurant 1 à 4 mm de diamètre contiennent de l'orthose en

goutte ou encore de petits grains montrent une texture mésoperthitique en cheveux (planche III-A, III-B). Les plagioclases les plus sodiques ( $An_{10}$  environ) ont été observés dans les lames minces contenant cette texture de remplacement en cheveux (planche III-B).

#### Feldspath de potassium:

Le feldspath de potassium n'est pas mâclé. Sa biréfringence est faible (dans les gris) et sa figure d'interférence est biaxe négative avec un  $2V$  d'environ 40 à 50 degrés. Ces propriétés optiques correspondent à l'orthose qui est considéré par Heier (1957) comme le feldspath de potassium stable dans le facies granulite. Les grains d'orthose mesurent 0.2 à 0.4 mm de diamètre et ils sont intergranulaires entre les plagioclases avec lesquels ils ont des points de jonction triple. L'orthose a souvent une texture de remplacement avec le plagioclase (cf. section sur les plagioclases, page 25). L'orthose est peu abondante (en général moins de 10%) et certaines lames minces n'en contiennent pas du tout.

#### Quartz:

Le quartz se présente en petits grains intergranulaires entre les plagioclases; lorsqu'il est abondant, il peut former de grosses lentilles allongées contenant localement des "îlots" de plagioclase. L'extinction, en lumière polarisée, est souvent onduleuse mais la figure d'interférence

demeure quand même uniaxe. Le pourcentage de quartz est variable mais en général il est faible, sauf dans la zone de roche calcosilicatée qui contient localement des niveaux de quartzite.

#### Olivine:

L'olivine dans le complexe gneissique ne se retrouve que dans deux affleurements qui sont structurellement à l'intérieur du complexe anorthositique (affleurements 1-1-75 et 10-11-73). L'olivine a un haut relief et elle est incolore en lumière naturelle. L'extinction, en lumière polarisée, est parallèle à l'allongement du grain et la biréfringence est dans les couleurs du troisième ordre. La figure d'interférence est biaxe négative avec un  $2V$  d'environ 60 à 70 degrés indiquant qu'il s'agit d'une olivine relativement riche en fer (Deer, Howie and Zussman, 1971). La formule de diffraction est  $r > v$ . Les lames minces contenant de l'olivine sont aussi caractérisées par l'abondance de mésoperthite en cheveux, par des plagioclases relativement sodiques et par l'absence de quartz.

#### Pyroxène:

L'orthopyroxène (hypersthène), en lumière naturelle, est pléochroïque de rose pâle à vert pâle. Son extinction, en lumière polarisée, est parallèle au clivage (110) et sa biréfringence est dans les jaunes du premier ordre. La figure d'interférence est biaxe négative avec un  $2V$  d'environ 60°.

Le clinopyroxène (diopside-augite) est vert pâle en lumière naturelle. En lumière polarisée, l'angle d'extinction entre Z et C varie entre  $42^{\circ}$  et  $47^{\circ}$ ; la biréfringence est dans les couleurs du deuxième ordre. La figure d'interférence est biaxe positive avec un  $2V$  d'environ  $60^{\circ}$ .

L'orthopyroxène et le clinopyroxène forment souvent des agrégats dans lesquels les grains sont en contact ou encore un grain contient les deux pyroxènes (planche IV-A). Les grains individuels sont intergranulaires entre les plagioclases. Plusieurs pyroxènes montrent des formes en losange typiques de la hornblende ou encore ils conservent localement le clivage relique des amphiboles. L'orthopyroxène et la biotite peuvent aussi former un seul grain.

#### Grenat:

On trouve du grenat rose pâle ou incolore associé aux pyroxènes à peu d'endroits dans le complexe gneissique (affleurements 5-1-75, 5-11-75, 9-9-75). Les grains sont xénomorphes, entourant des minéraux opaques (magnétite) ou quelques fois des pyroxènes.

#### Minéraux hydratés:

En lumière naturelle la hornblende est pléochroïque, de vert foncé (parallèle à Z) à vert pâle (parallèle à X); elle est plus rarement brune. Sa biréfringence, en lumière polarisée, donne des couleurs du début du deuxième ordre et

l'angle d'extinction entre Z et C varie entre 15 et 24 degrés. La figure d'interférence est biaxe négative avec un 2V intermédiaire (60° à 70°). La biotite est brune. De la biotite verte en continuité optique avec la biotite brune n'a été observée que dans deux lames minces des roches du complexe gneissique dans le facies granulite.

Souvent la hornblende et la biotite sont associées aux agrégats de pyroxène; celles-ci peuvent alors former une partie d'un grain de pyroxène. La hornblende et la biotite sont aussi intergranulaires entre les plagioclases. Le clivage des grains de biotite n'est jamais plié; on note parfois des grains de biotite dont la forme est en losange.

#### Minéraux accessoires:

Souvent présents, l'apatite et le zircon sont peu abondants. Ils ont leurs formes caractéristiques respectives et sont très petits (0.1 à 0.3 mm). Ils peuvent être associés aux minéraux mafiques ou encore se placer entre les grains de plagioclase. L'apatite est localement incluse dans le quartz ou le pyroxène. Certains grains d'apatite sont fracturés et une partie du grain est enlevée.

#### Minéraux d'altération:

Les roches du complexe gneissique dans le facies granulite sont peu altérées. On peut cependant trouver du carbonate et de la séricite dérivés du plagioclase ou du

clinopyroxène, de la chlorite verte et de la muscovite dérivées de la biotite.

### 3.3 Déductions pétrologiques:

On peut remarquer les changements suivants dans le complexe gneissique en passant du facies amphibolite au facies granulite:

facies amphibolite	facies granulite
- roche blanche, grise ou rose	- roche verte
- composition de grano-diorite ou d'adamellite	- composition de diorite quartzifère
- grain moyen de 1 mm	- grain moyen inférieur à 1 mm
- lamination, texture rubanée, litage	- idem, mieux développé, plus abondant
- affleurements loin de l'anorthosite (>1 km)	- affleurements près de l'anorthosite (<1 km)
- plagioclase mâclé	- plagioclase avec mâcle estompée ou absente
- microcline	- orthose; abondante texture de remplacement en cheveux
- hornblende losangique	- hornblende sans forme spécifique, peu abondante, associée aux pyroxènes

facies amphibolite

facies granulite (suite)

- minéraux nouveaux de haute température, opx et cpx de forme losangique, olivine, grenat.

Le changement de composition des roches du complexe gneissique dans le facies granulite s'explique probablement par la fusion partielle du quartz et du feldspath de K lors de la mise en place de l'anorthosite. Ces minéraux ont pu se concentrer et se recristalliser sous forme de pegmatite et d'aplite. Le feldspath de K restant dans la roche s'est recristallisé sous forme d'orthose et a formé des textures de remplacement avec le plagioclase.

L'apparition de minéraux nouveaux dans le facies granulite est le résultat de la déshydratation provoquée par l'emplacement de l'anorthosite. Le fait que les pyroxènes aient pris des formes en losange et le fait qu'ils soient souvent en contact avec ou dans le même grain que la hornblende et la biotite indiquent que les pyroxènes se sont formés à partir des minéraux hydratés.

Les descriptions macroscopiques et microscopiques de la sous-unité dans le facies granulite montrent qu'il ne s'agit pas simplement d'un grade métamorphique différent mais aussi que le type de roche est différent (diorite quartzifère à pyroxène, par rapport à granodiorite). La minéralogie de

cette sous-unité granulitique est typique des jotunités (ou ferrodiorites) qui sont associées avec, et sont souvent intrusives dans les massifs d'anorthosite. On pourrait ainsi supposer que la sous-unité granulitique est une intrusion distincte (ferrodiorite) qui se serait mise en place au contact entre l'anorthosite et le complexe gneissique. Le tout aurait ensuite subi un métamorphisme régional dans le faciès amphibolite supérieur ou dans le faciès granulite: l'anorthosite et la ferrodiorite, contenant peu d'eau, auraient recristallisé dans le faciès granulite alors que le complexe gneissique, plus riche en eau, serait dans le faciès amphibolite.

L'auteur favorise cependant la première interprétation selon laquelle la sous-unité granulitique près de l'anorthosite est l'équivalent métamorphique des roches du complexe gneissique; on note en effet que:

- le passage se fait graduellement entre les deux unités;
- les pyroxènes avec des formes en losange dans la sous-unité granulitique indiquent que les pyroxènes ne sont probablement pas primaires et qu'ils pourraient s'être formés à partir d'amphibole;
- la première interprétation explique l'abondance des nombreuses injections de pegmatite et d'aplite dans ces roches; la seconde interprétation n'en tient pas compte et doit faire intervenir une période d'injection de matériel pegmatitique et apitique après (et pendant?)

la phase de métamorphisme, matériel dont on ne sait pas la provenance;

- la minéralogie des roches charnockitiques et des roches dans le facies granulite est essentiellement la même; la principale différence est le fait que les roches charnockitiques ont une texture ignée alors que les roches granulitiques ont une texture métamorphique. On peut penser qu'une roche charnockitique sera moins affectée par un métamorphisme régional dans le facies granulite qu'un autre type de roche (granitique sensu lato). La sous-unité granulitique en bordure de l'anorthosite ne montre aucune texture ignée relique, elle est très déformée et les grains sont en général plus petits que les grains des roches du complexe gneissique dans le facies amphibolite.

#### 4.0 Leucodiorite:

Nous remarquons que tous les contacts de l'anorthosite avec les roches adjacentes sont soit relativement bien exposés ou soit que les affleurements sont rapprochés les uns des autres. Cependant la bordure E de l'anorthosite de Borgia est beaucoup moins bien exposée que celle des autres côtés à cause du manque d'affleurements et de la difficulté d'accès. Entre les derniers affleurements d'anorthosite à l'E et les premiers affleurements de la leucodiorite, il y a une savane dans laquelle on trouve des affleurements dispersés de roche mylonitisée et fracturée. Cette zone broyée se place dans le prolongement de la monzonite quartzifère qui affleure au nord de l'anorthosite. La savane de monzonite quartzifère mesure environ 2 km directement à l'E de l'anorthosite et, d'après la topographie, elle se termine en biseau vers le S, entre les escarpements d'anorthosite à l'W et de leucodiorite à l'E. La leucodiorite ne toucherait directement l'anorthosite que dans la partie S-E de l'anorthosite, là où l'accès est relativement difficile et où le recouvrement de sable est très épais. La continuation de l'anomalie magnétique de l'anorthosite dans la région de la leucodiorite à l'E peut nous indiquer que l'anorthosite est sous-jacente à la leucodiorite.

#### 4.1 Description macroscopique:

La leucodiorite est faite essentiellement de plagioclase (70 à 80%) avec peu de feldspath de potassium (10 à 20%) et à peu près pas de quartz (moins de 1%). Le quartz ne se voit pas à la loupe et il n'a été identifié que dans une lame mince sur les quatre observées. Le feldspath de potassium ne se reconnaît que par la méthode de coloration au cobalt-nitrate de sodium à cause de sa rareté, de la petitesse des grains et de la teinte verdâtre que prennent les feldspaths dans le facies granulite. Le contenu en minéraux noirs est faible (moins de 10%).

La leucodiorite a une patine d'altération blanc-jaune et une cassure fraîche de couleur verdâtre typique du facies granulite. Les grains sont petits (moins de 1 mm de long). La foliation de cette roche est formée par de petites lentilles (quelques millimètres de long par 1 ou 2 millimètres de large) de minéraux noirs dispersées dans la roche et toutes orientées de façon semblable. Un litage de minéraux noirs et des bandes de pegmatite et d'aplite (planche IV-B) apparaissent rarement. La roche est très homogène. Dans le seul affleurement trouvé près du contact avec l'anorthosite (affleurement 14-1-75), l'indice de couleur atteint 30% et les laminations et le litage sont bien développés; la roche à cet endroit est fortement magnétique.

D'autres affleurements de leucodiorite ont été visités

par Dr. Baer (communication personnelle) le long de la route qui mène au lac Edouard, soit entre 1 et 7 km de la bordure S-E de l'anorthosite. Certains de ces affleurements sont dans le facies amphibolite, mais la plupart sont dans le facies granulite. La foliation y est mal développée ou est irrégulière et on note à plusieurs endroits des injections pegmatitiques foliées et massives.

#### 4.2 Description microscopique:

##### Plagioclase

La composition du plagioclase varie entre  $An_8$  et  $An_{16}$  sauf dans l'affleurement près de l'anorthosite où sa composition est de  $An_{27}$ . Le plagioclase est petit (grains de 0.1 à 0.5 mm de long), abondant (environ 70% de la roche) et les grains montrent une texture blastomylonitique. Les plus gros grains ont des contours irréguliers et ils sont bordés par de très petits grains recristallisés montrant des points de jonction triple. L'extinction des plus gros grains de plagioclase est souvent onduleuse et la mâcle de l'albite est parfois pliée. Les petits grains (0.1 mm) avec points de jonction triple sont peu ou pas mâclés. Les plagioclases de l'affleurement près de l'anorthosite (affleurement 14-1-75) mesurent 0.2 mm de diamètre et montrent d'excellents points de jonction triple; la plupart des grains montrent une extinction onduleuse. Enfin, un zonage normal ( $An_8$  à  $An_0$ ) a

été observé dans deux des lames minces.

#### Feldspath de potassium

Le feldspath de potassium possède les propriétés optiques de l'orthose. Il mesure entre 0.5 et 1 mm de diamètre et les grains sont dispersés entre les plagioclases. Il peut aussi se présenter en gouttes allongées à l'intérieur du plagioclase (texture de remplacement). Le contenu en orthose dans la leucodiorite est inférieur à 20%.

#### Quartz

Le quartz n'a été identifié que dans la lame mince 5-4-77. Il se trouve associé à la hornblende en petite quantité et il a une extinction franche.

#### Pyroxènes

L'orthopyroxène, en lumière naturelle, est pléochroïque de rose à incolore. Sa biréfringence, en lumière polarisée, est dans les jaunes du premier ordre et son extinction est parallèle au clivage (110). Son  $2V_x$  est très grand: il atteint environ  $85^\circ$ . Le clinopyroxène, en lumière naturelle, est vert, parfois légèrement pléochroïque. Sa biréfringence, en lumière polarisée, est dans les verts du deuxième ordre et l'angle d'extinction entre Z et C est d'environ  $47^\circ$ . Sa figure d'interférence montre un  $2V$  positif d'environ  $60^\circ$ .

Les deux pyroxènes forment des agrégats allongés qui

donnent la foliation. Ils font souvent partie du même grain et par endroit ces grains prennent une forme en losange. Plusieurs clinopyroxènes contiennent de nombreuses petites inclusions de minéraux opaques (magnétite) qui sont toutes orientées parallèlement au clivage (110). En général, les pyroxènes constituent environ 5% de la roche. L'affleurement de leucodiorite près de l'anorthosite contient 30% de pyroxène dont les grains montrent des points de jonction triple entre eux et avec les plagioclases.

#### Minéraux hydratés

La hornblende est pléochroïque, de vert foncé à brun-vert pâle. Elle peut former des agrégats allongés comme les pyroxènes mais elle se trouve surtout associée ou incluse dans ceux-ci. Elle est peu abondante (1 à 3%). Il est à remarquer que la biotite est absente dans la leucodiorite.

#### Minéraux accessoires

Les zircons ont des formes carrés typiques et mesurent entre 0.2 et 0.4 mm de long. Ils sont soit intergranulaires entre les feldspaths, soit associés aux minéraux mafiques. L'apatite a aussi des formes typiques; elle mesure 0.2 mm de long ou moins. Les grains sont intergranulaires ou inclus dans les pyroxènes.

Les minéraux opaques (magnétite) sont peu abondants (moins de 1% dans la roche) sauf dans l'affleurement près de

l'anorthosite (environ 10%). Peu ou aucun minéraux d'altération sont présents dans la leucodiorite.

#### 4.3 Déductions pétrologiques:

On peut résumer les principales caractéristiques de la leucodiorite ainsi:

- roche homogène à grain fin
- plagioclase relativement sodique ( $An_9$  à  $An_{16}$ ) sauf en bordure immédiate de l'anorthosite ( $An_{27}$ )
- texture de remplacement en gouttes (antiperthite)
- assemblage de minéraux typique du facies granulite: (quartz)-plag-orthose-opx-cpx-(hornblende)
- texture blastomylonitique
- possibilité d'anorthosite sous-jacente par la carte d'anomalie magnétique

La texture blastomylonitique et la présence de grains de pyroxène avec des formes losangiques indiquent que la leucodiorite n'est pas une roche ignée avec pyroxène primaire (jotunite sensu-stricto). La roche a été complètement recristallisée et les pyroxènes ont été dérivés d'amphibole pour produire l'assemblage de minéraux du facies granulite à partir d'un facies métamorphique inférieur.

Il est difficile de prouver ici que le facies granulite se résume à une auréole autour du complexe anorthositique puisque le facies amphibolite n'a pas été retrouvé.

Cependant, si l'hypothèse d'une anorthosite sous-jacente donnée par la carte aéromagnétique est réelle, les affleurements de leucodiorite dans le facies amphibolite devraient se retrouver un peu à l'est de la région cartographiée. Le faible pendage ( $20^{\circ}$  à  $40^{\circ}$ ) de la foliation de la leucodiorite appuyerait une telle hypothèse et permettrait de montrer une grande épaisseur apparente du facies granulite (l'épaisseur vraie se mesurant à partir d'une normale au plan de foliation si celui-ci est parallèle au contact avec l'anorthosite sous-jacente).

## 5.0 Monzonite quartzifère:

Le monzonite quartzifère forme une masse allongée nord-sud (cf. figure 3). Elle est bordée à l'ouest et au nord par des roches du complexe gneissique et à l'est par une diorite. Elle est limitée au sud par l'anorthosite. Dans cette étude, les échantillons de monzonite quartzifère proviennent tous de cette extrémité sud et sont métamorphisés à divers degrés.

Loin de l'anorthosite (au nord), la monzonite quartzifère est dans le facies amphibolite; elle montre une certaine déformation mais garde une texture ignée. En se rapprochant du bord de l'anorthosite (juste à l'intérieur d'une petite masse gabbroïque), la monzonite quartzifère devient oeuillée et une phase rose (aplite) s'individualise et alterne avec le gneiss oeuillé. Plus près encore, la phase rose disparaît et le gneiss oeuillé lui-même montre une alternance de bandes plagioclasiques et de bandes mafiques (pyroxène et plagioclase).

A l'est de l'anorthosite, on retrouve cette alternance du gneiss oeuillé et du gneiss plagioclasique avec une phase rose aplitique et pegmatitique. Le facies granulite semble cependant moins bien développé (peu d'orthopyroxène stable, beaucoup de chlorite, d'amphibole) qu'au nord de l'anorthosite. Il semble que cette zone ait été fortement réhydratée et remobilisée après qu'elle ait subi les conditions de température et de pression du facies granulite. On y trouve en

effet de nombreuses fractures et des roches mylonitisées.

## 5.1 Facies amphibolite:

### 5.1.1 Description macroscopique:

La monzonite quartzifère, au nord de la petite masse de gabbro, est faite de quartz (15 à 25%), de feldspath (60 à 70%) et de minéraux noirs tels biotite, hornblende et minéral opaque (10 à 20%). La couleur de la roche est blanche, grise ou rose et la grosseur des grains est moyenne. De minces lentilles de quartz (1 mm par 10 mm environ) forment la foliation et moulent quelques yeux de feldspath d'environ 5 mm par 15 mm. Texture rubanée et litage sont absents. Une couleur d'altération rougeâtre suit des fractures irrégulières, obliques à la foliation et probablement tardives (planche V-A).

### 5.1.2 Description microscopique:

Une seule lame mince a servi pour la description microscopique (1-1A-72). Le plagioclase a une composition de  $An_{23}$ . La dimension des grains varie entre 0.5 et 2 mm de long, la moyenne se situant autour de 1 mm. La mâcle de l'albite est souvent estompée, le grain légèrement zoné ou à extinction onduleuse indiquant son inhomogénéité. Plusieurs grains sont séricitisés. Chaque grain de plagioclase est

indenté dans le grain adjacent avec localement quelques points de jonction triple.

Le feldspath de K est relativement abondant; il montre la mâcle en grille caractéristique du microcline. Le  $2V_x$  est supérieur à  $70^\circ$ . La dimension et la forme des grains sont semblables à celles des grains du plagioclase. L'extinction est ici aussi onduleuse, indiquant l'inhomogénéité des grains. Des microperthites et des perthites en cheveux sont développées sur quelques grains.

Le quartz est concentré en lentilles d'environ 1 mm d'épaisseur répétées à tous les 3 mm environ. L'extinction des grains de quartz est onduleuse. On trouve aussi un peu de myrméckite.

La hornblende verte se retrouve intergranulaire entre les feldspaths. Elle est communément associée avec la biotite brune et les minéraux opaques. La biotite montre un bon clivage droit et peut être incluse dans le même grain que ou adjacente à la hornblende. Très peu de chlorite peut faire partie du même grain que la biotite.

L'apatite hexagonale et le zircon plus ou moins rectangulaire sont petits (inférieur à 0.1 mm) et peu abondants. Ils sont intergranulaires et associés aux minéraux mafiques.

La pyrrhotine est le minéral opaque le plus abondant. On trouve aussi de l'hématite, rouge en lumière réfléchie, qui entoure la pyrite localement (jaune en lumière réfléchie). Tous sont xénomorphes.

## 5.2 Facies granulite:

### 5.2.1 Description macroscopique:

Deux traverses du contact entre la monzonite quartzifère et l'anorthosite, dont l'une sur la route 19, ont montré que la monzonite quartzifère changeait graduellement d'aspect en se rapprochant de l'anorthosite. Il existe un passage progressif entre une monzonite quartzifère oeuillée à pyroxène, un gneiss oeuillé à pyroxène accompagné d'une phase aplitique rose et un gneiss granulitique laminé, rubané et lité en bordure de l'anorthosite.

Loin de l'anorthosite, la roche est blanche ou grise, verdâtre à la cassure. Elle peut être laminée et rubanée par endroit (planche V-B). Des yeux de feldspath de 5 à 10 mm de long sont localement développés. La roche peut contenir des passées roses qui sont traversées par la foliation et dans lesquelles la texture oeuillée tend à disparaître. Le contact entre les passées roses et la monzonite quartzifère oeuillée peut être de type fluidal (planche VI-A). Plus près du contact avec l'anorthosite, un gneiss rose peut s'individualiser et former un litage plus ou moins régulier (planche VI-B) ou encore il peut recouper la roche sous forme de dyke (planche VII-A). Le gneiss rose contient parfois des restes de la monzonite quartzifère en bloc plus ou moins fluidal (planche VII-B). Certains affleurements ne contiennent que cette phase rose avec une texture aplitique ou pegmatitique.

La phase rose est faite essentiellement de feldspath de K et de quartz avec un peu de plagioclase (composition granitique). Le contenu en minéraux noirs est négligeable (moins de 5%). Le quartz forme souvent des lentilles d'environ 1 mm d'épaisseur qui donnent la foliation. La roche associée au gneiss rose n'a plus la composition d'une monzonite quartzifère, le feldspath de K et le quartz étant moins abondant. La texture ocellée tend à disparaître et à être remplacée par une bonne lamination gneissique.

Finalement en bordure de l'anorthosite, la roche devient laminée, rubanée et même litée (gneiss granulitique). Des couches de minéraux noirs de quelques centimètres à plus de 30 centimètres d'épaisseur d'individualisent et forment localement du boudinage (planche VIII-A). La texture ocellée a ici complètement disparue et le gneiss rose est absent.

Sur la bordure E de l'anorthosite, la monzonite quartzifère montre à peu près les mêmes caractéristiques que sur la bordure N, sauf pour les pyroxènes qui sont moins abondants. En effet, la roche présente rarement la couleur verdâtre typique du facies granulite et elle est souvent fracturée et mylonitisée. Les affleurements les plus près de l'anorthosite montrent cependant un litage et les affleurements plus éloignés une texture ocellée.

### 5.2.2 Description microscopique:

Trois sous-unités de la "monzonite quartzifère" dans le facies granulite sont décrites séparément, soient le gneiss ocellé à pyroxène, le phase rose associée et le gneiss granulitique adjacent à l'anorthosite.

#### 5.2.2.1 Gneiss ocellé à pyroxène:

##### Plagioclase

La composition du plagioclase varie entre  $An_{19}$  et  $An_{32}$ . Dans une lame mince contenant beaucoup de hornblende et peu de pyroxène (lame mince 30-2A-75) (limite du facies granulite?) la plupart des grains de plagioclase n'ont pas de mâcle et possèdent une extinction onduleuse; quelques grains sont zonés. Plusieurs grains de 0.5 à 1 mm de long sont entourés d'une masse de petits grains de plagioclase mesurant 0.1 mm de diamètre qui montrent des points de jonction triple.

Toujours dans la même lame mince (30-2A-75), des grains de plagioclase de 6 mm de long ont une extinction très onduleuse et la mâcle de l'albite est presque complètement estompée (porphyroclaste) alors que d'autres grains (porphyroblastes), de même dimension, montrent une mâcle de l'albite bien formée (planche VIII-B). Ces gros porphyres donnent la texture ocellée visible en échantillon; la texture ocellée peut aussi être soulignée par la disposition des minéraux

mafiques autour d'un oeil fait de plusieurs grains de plagioclase de dimension homogène (0.1 à 0.5 mm) qui montrent des points de jonction triple. Ces petits plagioclases représentent probablement la recristallisation de gros yeux plus anciens.

Dans les lames minces montrant plus de pyroxènes (lames minces 1-5-72 et 14-3A-73), la grosseur des grains de plagioclase est assez homogène et varie autour de 0.5 mm de diamètre. La plupart des grains ont une extinction onduleuse et la mâcle de l'albite (plus rarement du péricline) n'est bien développée que dans quelques grains seulement. On peut trouver des porphyroblastes de plagioclase de 2 à 5 mm de long qui montrent une bonne mâcle de l'albite; les porphyroclastes sont rares ou absents. La texture oeuillée peut être donnée ici aussi par la disposition des pyroxènes ou par des lentilles de quartz qui moulent la forme des yeux faits de plusieurs grains de plagioclase.

Quelques échantillons à l'est de l'anorthosite montrent une texture oeuillée et sont associés à une phase rose (aplitique ou pegmatitique). Bien que ces échantillons ne contiennent que peu de pyroxène, ils sont considérés comme faisant partie de la même unité à cause du feldspath de potassium qui est de l'orthose (lames minces 39-05-75 et 39-08-75). Ici encore, plusieurs grains de plagioclase de dimension homogène (environ 0.4 mm) sont entourés de minéraux mafiques (hornblende, biotite, chlorite) et/ou de lentilles

de quartz pour former la texture ocellée.

### Feldspath de potassium

Le feldspath de potassium ne montre aucune mâcle et à cause de ses propriétés optiques semblables à celles du plagioclase, il est difficile à distinguer de ce dernier. La figure biaxe négative du feldspath de K montre cependant des isogyres qui ne sortent pas du champ de vision ( $2V_x = 50^\circ$ ), ce qui permet de l'identifier comme étant de l'orthose. La biréfringence de l'orthose est aussi légèrement plus faible que celle du plagioclase. Les grains ont des dimensions moyennes autour de 0.4 mm de diamètre et ils sont intergranulaires avec des points de jonction triple entre les grains de plagioclase ou de quartz. On trouve localement des textures de remplacement (planche VIII-B). Ce peut être des perthites en cheveu ou en goutte; ou encore des antiperthites en cheveu, en goutte, ou en tache. Ces textures se rencontrent surtout dans les plus gros grains de feldspath.

### Quartz

Le quartz forme généralement des lentilles allongées dans le sens de la foliation. Chaque lentille mesure environ 0.4 mm de large ou moins par 2 mm ou plus de long. La lentille est formée de quelques grains de quartz montrant une extinction ondulée. Chaque grain est indenté avec le suivant. Quelques textures myrmékitiques ont aussi été notées.

### Pyroxène

L'orthopyroxène est faiblement pléochroïque de rose pâle à vert pâle; sa figure d'interférence est biaxe négative et sa biréfringence est d'environ 0.016. Le clinopyroxène est vert pâle et possède un bon clivage; l'angle entre Z et C est d'environ  $45^\circ$ , le  $2V_x$  est de  $60^\circ$  et la biréfringence se situe autour de 0.027.

Les pyroxènes forment des grains d'environ 0.5 mm de long. Des minéraux opaques et de l'apatite sont fréquemment associés aux pyroxènes; ils se développent généralement en bordure mais localement à l'intérieur des grains de pyroxène. La hornblende, souvent présente dans le même grain que le pyroxène, ainsi que la forme en losange de certains grains de pyroxène suggèrent que ce dernier a cristallisé à partir de la hornblende. Du quartz peut localement compléter la forme en losange prise par les grains de pyroxène indiquant que le quartz prend part, lui aussi, à la réaction entre l'amphibole et les pyroxènes.

### Grenat

La lame mince 39-08 ne contient pas de pyroxène, mais plutôt du grenat incolore à haut relief, souvent associé avec de la biotite brune. La grosseur moyenne des grains est d'environ 0.5 mm de diamètre. La plupart des grains ne montrent pas de forme typique (pas de porphyroblaste); ils sont plutôt intergranulaires entre les grains de feldspath

et de quartz et ils ont une forme plus ou moins arrondie.

### Minéraux hydratés

Les grains de hornblende et de biotite mesurent environ 0.2 à 0.5 mm de long et sont en général mal formés. La hornblende est pléochroïque de vert à jaune pâle; elle possède deux bons clivages à  $120^{\circ}$ ; sa figure d'interférence est biaxe négative avec un grand  $2V$ ; sa biréfringence est d'environ 0.019; son angle d'extinction maximum entre Z et C est d'environ  $14^{\circ}$ . La biotite est pléochroïque de brun à jaune; le clivage est bien régulier, jamais plié; les grains ne sont en général pas orientés.

La hornblende et la biotite font souvent partie du même grain et elles forment souvent des agrégats. Elles sont peu abondantes dans les lames minces contenant beaucoup de pyroxène, mais elles se trouvent souvent en contact avec ou dans les mêmes grains que les grains de pyroxène.

### Minéraux accessoires

Apatite, zircon et minéral opaque (magnétite) sont les principaux minéraux accessoires. L'apatite et le zircon montrent souvent leurs formes caractéristiques et peuvent mesurer jusqu'à 0.5 mm de long, bien qu'en général les grains soient plus petits.

#### 5.2.2.2 Phase rose:

La phase rose est riche en quartz, feldspath de K et plagioclase. Du clinopyroxène a été reconnu en échantillon dans une phase pegmatitique (affleurement 39-1-75) mais en général le contenu en minéraux noirs est fait de biotite et/ou de hornblende. On trouve la phase rose en bandes parallèles à la foliation à l'intérieur du gneiss oillé à pyroxène mais aussi en affleurements distincts. Plusieurs sont aplitiques et quelques unes sont pegmatitiques.

#### Plagioclase

Le plagioclase, de composition  $An_{16}$  à  $An_{27}$ , est en général petit (0.1 à 0.4 mm). La mâcle de l'albite est souvent estompée et l'extinction onduleuse. Les grains sont souvent non mâclés. Les points de jonction triple entre les grains sont communs. La phase rose à texture pegmatitique montre de petits grains de plagioclase à extinction onduleuse entourant de gros cristaux où la mâcle de l'albite est souvent pliée ou estompée. La séricitisation du plagioclase est fréquente.

#### Feldspath de potassium

Le feldspath de K typique trouvé dans la phase rose est le microcline avec sa mâcle en grille. La mâcle du microcline est localement estompée et on peut trouver de l'orthose

non mâclée<sup>3</sup> avec un 2Vx de 50° environ dans les mêmes lames minces que celles où l'on trouve du microcline. Les textures de remplacement sont peu abondantes sauf dans la lame mince 35-1-75 où les perthites en gouttes sont très communes.

### Quartz

Le quartz forme des lentilles d'environ 0.5 mm de large par plus de 2 mm de long (souvent de l'ordre du centimètre). Les lentilles peuvent se répéter à tous les millimètres ou à de plus petits intervalles encore. Du quartz en grains intergranulaires entre les feldspaths et un peu de myrméckite se retrouve localement. L'extinction du quartz est onduleuse.

### Autres minéraux

Minéral opaque, chlorite et biotite brune sont les principaux minéraux noirs présents. La hornblende verte a été identifiée dans la lame mince de l'échantillon contenant du clinopyroxène. Ces minéraux sont petits, disséminés et en faible quantité. Zircon et apatite sont peu abondants.

#### 5.2.2.3 Gneiss granulitique:

### Plagioclase

La composition du plagioclase varie entre An<sub>21</sub> et An<sub>40</sub>.

Les grains mesurent environ 0.4 mm de long et montrent des points de jonction triple. La mâcle de l'albite, plus rarement du péricline, est souvent visible contrairement au plagioclase du gneiss oillé à pyroxène; cependant l'extinction est souvent onduleuse. On trouve localement des porphyroblastes de plagioclase bien mâclés de deux à trois millimètres de long semblables à ceux du gneiss oillé à pyroxène. Leur petit nombre et la faible dimension de ces porphyroblastes rend la texture oillée peu apparente en échantillon. Les textures de remplacement sont peu fréquentes et se résument à quelques textures en goutte observées localement.

#### Feldspath de potassium

Le feldspath de K montre les propriétés optiques de l'orthose (aucune mâcle, 2Vx d'environ  $50^{\circ}$ ). Les grains, d'environ 0.3 mm de long, montrent d'excellents points de jonction triple avec les plagioclases.

#### Quartz

Le quartz a une extinction onduleuse; il se présente en petites lentilles de 1 à 2 mm de long par 0.5 mm de large. Quelques myrméckites ont été notées localement. Certaines lames minces ne contiennent pas de quartz.

### Pyroxène

L'orthopyroxène et le clinopyroxène ont des propriétés optiques semblables à celles des pyroxènes du gneiss oeilé à pyroxène. Les grains mesurent environ 0.5 mm de long. Ils montrent des points de jonction triple entre eux et avec les autres minéraux. On trouve localement l'orthopyroxène dans le même grain que le clinopyroxène mais en général ils sont en grains séparés. La forme en losange des grains, vue dans le cas du gneiss oeilé à pyroxène, n'est pas apparente ici. Cependant on trouve toujours la hornblende associée ou dans les mêmes grains que les pyroxènes. La lame mince 44-02A montre une texture inhabituelle; le clinopyroxène entoure ce qui semble être de l'épidote montrant des couleurs de biréfringence anormales.

### Minéraux hydratés

La hornblende verte est souvent abondante. Elle est adjacente aux pyroxènes ou encore elle forme des agrégats allongés. Elle peut être localement dans le même grain que le clinopyroxène. La biotite brune est peu abondante. Les grains mesurent de 0.5 à 2 mm de long; le clivage est droit et les grains ne sont en général pas orientés sauf dans une lame mince (2-1F-72) ou de petits grains de biotite d'environ 0.1 mm de long sont disséminés dans la roche avec une orientation plus ou moins définie.

### Minéraux accessoires

L'apatite, le zircon et les minéraux opaques sont toujours présents en faible quantité. L'apatite et le zircon sont petits (0.1 à 0.2 mm de long) et plus ou moins bien formés. Ils sont intergranulaires entre les feldspaths ou encore associés aux minéraux noirs. Les grains de minéral opaque (magnétite) ne montrent aucune forme typique et sont souvent associés aux pyroxènes ou à la hornblende.

### 5.3 Déductions pétrologiques:

Dans la monzonite quartzifère, le passage du facies amphibolite au facies granulite en se rapprochant de l'anorthosite est marqué par les changements suivants:

- la couleur de la roche devient verdâtre en cassure fraîche;
- la texture ignée originale devient oeuillée puis disparaît complètement près de l'anorthosite;
- un litage se forme, d'abord défini par l'alternance de la phase rose avec le gneiss oeuillé, puis par l'alternance de bandes riches en plagioclase et de bandes riches en minéraux mafiques dans le gneiss granulitique;
- la composition de la roche devient plus mafique près de l'anorthosite. Du boudinage peut se former dans les couches mafiques;
- les plagioclases originaux sont recristallisés en grains plus petits, avec une texture oeuillée; certains grains

reliques de plagioclase ne sont pas recristallisés mais la mâcle de l'albite devient très estompée ou disparaît complètement (porphyroclastes); d'autres grains de plagioclase se forment sous les nouvelles conditions de température et de pression avec la mâcle de l'albite bien régulière (porphyroblastes). Si la texture de ces plagioclases a bien été imposée par la mise en place de l'anorthosite, voici quelle aurait pu être la suite d'événements:

1- Plagioclases porphyriques originels.

2- Déformation mécanique et effet thermique imposés par l'anorthosite. Formation de la texture ocellée et destruction de la plupart des porphyres originels sauf quelques porphyroclastes à extinction très onduleuse avec des mâcles estompées ou absentes.

3- Pendant et après l'étape 2: effet thermique de l'anorthosite recristallise les petits plagioclases avec des points de jonction triple et des porphyroblastes non déformés et à extinction franche se forment.

- le microcline original est expulsé de la roche-mère et concentré dans les phases roses; ce qui reste dans la roche-mère recristallise sous forme d'orthose;
- le quartz devient moins abondant et forme des lentilles;
- du pyroxène se forme près de l'anorthosite et les grains conservent localement la forme en losange de la hornblende à partir de laquelle ils ont pu cristalliser. L'eau

expulsée par cette transformation serait concentrée dans les phases roses;

- la hornblende et la biotite persistent dans le facies granulite soit parce qu'elles y sont demeurées métastables soit parce qu'une nouvelle phase d'hydratation les a formées.

La monzonite quartzifère à l'est de l'anorthosite correspondrait, d'après la carte aéromagnétique, au toit du massif. Cette position particulière pourrait expliquer pourquoi les roches à cet endroit sont très fracturées et le facies granulite non conservé dans la plupart des cas. En effet, l'eau aurait facilement pu réhydrater cette zone fracturée après que l'anorthosite se soit stabilisée.

Le terme "monzonite quartzifère" regroupe donc ici plusieurs lithologies, à cause du métamorphisme de contact dans le facies granulite que la roche aurait subi lors de l'emplacement de l'anorthosite. Fyfe (1973) écrit que la fusion partielle est un procédé nécessaire à la formation de la plupart des granulites. Cette fusion partielle sera d'autant plus remarquable si la roche originale est acide, c'est-à-dire si elle contient les minéraux susceptibles d'être fondus aux température et pression du facies granulite (quartz, feldspath de K).

La roche qui a subi la fusion partielle n'aura nécessairement plus la même composition que la roche originale à cause de la ségrégation des minéraux fondus. Un

litage pourra se développer dans lequel une partie acide alternera avec une partie basique (mobilisat et restite); la somme des deux aura théoriquement la même composition que la roche originale si aucun gaz ou fluide ne s'est échappé.

Cependant, si la roche se fracture localement, la phase acide (mobilisat) pourra s'échapper en tout ou en partie, laissant une roche dont la composition est beaucoup plus mafique que celle de la roche originale. C'est là en résumé (ou en théorie!) ce que nous observons pour la monzonite quartzifère.

Newham (1964) a cartographié les affleurements adjacents au contact nord de l'anorthosite (le gneiss granulitique) comme faisant parti du complexe gneissique vu plus à l'ouest. De fait, ces affleurements ressemblent beaucoup à ceux du complexe gneissique dans le facies granulite par leur litage, par leur texture rubanée et par leur composition riche en minéraux mafiques et pauvre en quartz et en feldspath de K. On pourrait aussi considérer cette roche comme une intrusion distincte de ferrodiorite à cause de sa minéralogie typique (voir page 32).

Cependant, si l'on accepte que la monzonite quartzifère a subi une fusion partielle et une ségrégation des minéraux à cause de la mise en place de l'anorthosite, et que la phase mobile (quartz et feldspath de K) s'est échapper (par des fractures), le résultat final ressemblera exactement aux roches du complexe gneissique. Une telle fusion partielle a

été reconnue dans la monzonite quartzifère par l'individualisation du gneiss rose.

De plus, la déformation mécanique qui a affecté la monzonite quartzifère est plus forte à mesure qu'on se rapproche du bord de l'anorthosite. Il semble donc justifier de considérer ce gneiss granulitique comme l'équivalent métamorphique de la monzonite quartzifère au contact avec l'anorthosite.

## 6.0 Complexe anorthositique:

L'anorthosite de Borgia couvre une région à peu près circulaire au relief escarpé, avec des collines de 30 à 90 mètres de hauteur (voir carte géologique). Elle est bordée au nord et à l'est par la monzonite quartzifère, à l'ouest et au nord par le complexe gneissique et au sud-est par la leucodiorite (voir carte géologique). Plusieurs pegmatites et aplites de composition diverse recourent le complexe anorthositique et contiennent souvent des blocs d'anorthosite.

Le complexe anorthositique contient des phases gabbroïques: au centre de l'anorthosite près de la rivière Bostonnais; à plusieurs endroits le long de la bordure du massif; et enfin dans la monzonite quartzifère, au nord, où une colline de gabbro est complètement séparée de la masse principale d'anorthosite (voir carte géologique). La structure de l'anorthosite peut se résumer par une linéation subverticale au centre du massif et une foliation en bordure qui est à peu près parallèle au contact entre l'anorthosite et la roche encaissante (voir chapitre sur la structure). Des textures coronitiques, dans lesquelles du pyroxène est entouré par de l'amphibole et localement du grenat et de la biotite, ont été fréquemment observées, spécialement dans la zone linéée (voir section sur les couronnes).

## 6.1 Description macroscopique:

Sur le terrain, on peut subdiviser le complexe anorthositique en trois unités (voir carte géologique) d'après le pourcentage de minéraux noirs présents dans la roche. Les noms correspondants aux limites d'indice de couleur ont été proposé lors d'un symposium sur les anorthosites (Isachsen, 1969). On trouve:

- |                                    |                                 |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 1- Anorthosite                     | 0 à 10% de minéraux noirs       |
| 2- Anorthosite gabbroïque          | 10 à 22.5% de minéraux noirs    |
| 3- Gabbro anorthositique et gabbro | plus de 22.5% de minéraux noirs |

Le reste de la roche est essentiellement constitué par du plagioclase (labradorite).

Dans cette étude, l'anorthosite (sensu stricto) prédomine sur les autres facies (environ 80% du massif); la roche contient généralement moins de 2% de minéraux mafiques qui peuvent être disséminés ou bien former des structures linéées ou foliées. L'anorthosite gabbroïque (environ 5% du massif) se retrouve essentiellement dans la partie centrale du massif, à l'ouest de la rivière Bostonnais (voir carte géologique); cette roche (indice de couleur d'environ 10%) se caractérise par la présence de gros cristaux de pyroxène (orthopyroxène de couleur bronze montrant un clivage onduleux) de quelques centimètres de long et par un litage donné par l'alternance de bandes riches en plagioclase avec d'autres plus riches en

minéraux mafiques (voir planche IX-A). Le gabbro anorthositique (environ 10% du massif) est restreint à la bordure du complexe anorthositique mais ne se retrouve pas nécessairement sur tout le tour du massif; cette roche (environ 25% d'indice de couleur) est souvent difficile à distinguer des roches granulitiques adjacentes à cause de la couleur verdâtre que prennent les feldspaths dans les deux types de roche. C'est par l'étude en lame mince qu'on peut le mieux les différencier, le gabbro anorthositique ne contenant ni quartz, ni feldspath de K; les plagioclases des roches granulitiques sont aussi plus sodiques (environ  $An_{20}$  à  $An_{40}$ ) que ceux des roches anorthositiques (en général supérieur à  $An_{40}$ ). Une roche gabbroïque (environ 5% du massif) se trouve à moins de un kilomètre de la bordure nord du complexe anorthositique, dans la monzonite quartzifère; cette roche n'a pas été distinguée du gabbro anorthositique sur la carte géologique. Ce gabbro (environ 40% d'indice de couleur) est peu ou pas folié et conserve une texture subophitique localement.

Les plagioclases de l'anorthosite et de l'anorthosite gabbroïque sont blancs, grisâtres ou bleutés et les grains mesurent entre 1 et 4 mm de diamètre (en moyenne 2 mm). On ne retrouve pas de gros plagioclases mauves ou noirs tels que décrits dans plusieurs autres anorthosites de la province de Grenville (anorthosite de Morin, par exemple). La mâcle de l'albite est visible même à l'oeil nu. L'"effet de labradorisation" ne se remarque pas en échantillon, mais

quelques lames minces montrent ce chatolement de couleur lorsqu'on les oriente à la lumière. Les plagioclases du gabbro anorthositique et du gabbro sont verdâtres et mesurent 1 mm en moyenne.

Pyroxène, amphibole, mica, grenat et magnétite-ilménite, en grains de 1 mm de diamètre environ, sont les principaux minéraux mafiques présents dans l'anorthosite; l'olivine n'a été identifiée qu'en lame mince. Ces minéraux noirs donnent la structure aux roches anorthositiques par leur disposition, mais non par leur orientation. Ils peuvent être disséminés dans la masse de plagioclase (anorthosite massive), disposés en plans discontinus (anorthosite foliée) ou encore en lignes parallèles (anorthosite linéée). Une description plus détaillée est donnée dans le chapitre sur les structures.

Les minéraux mafiques forment souvent des textures en couronne dans laquelle un coeur d'orthopyroxène brunâtre et/ou de magnétite (ilménite?) est entouré par une couche d'amphibole de couleur noir avec un peu de biotite. On trouve du grenat rose pâle en bordure de la couche d'amphibole dans environ la moitié des couronnes observées. Une section réservée aux couronnes réactionnelles rassemble les observations de terrain et de microscope à ce sujet à la fin du présent chapitre.

On trouve de gros cristaux d'orthopyroxène de couleur bronze, de 3 à 4 cm de long, dans l'anorthosite gabbroïque (planche IX-A et IX-B). La concentration, la dimension et

la forme de ces cristaux suggèrent un litage par endroit (planche IX-A).

Près des failles, l'anorthosite est traversée par de nombreuses veinules et veines et la roche contient beaucoup d'épidote et/ou de chlorite (planche X-A). On y trouve aussi des brèches de faille où des morceaux d'anorthosite sont emballés dans une pâte anorthositique plus mafique (planche X-B).

## 6.2 Description microscopique:

### Plagioclase

Le plagioclase montre les mâcles polysynthétiques de l'albite et du péricline. Chaque grain contient environ 5 à 20 mâcles de l'albite. Les angles d'extinction maximum entre le clivage 010 et la mâcle de l'albite donnent une composition des plagioclases entre  $An_{40}$  et  $An_{68}$  (méthode de Michel-Lévy). Les valeurs les plus souvent enregistrées varient entre  $An_{54}$  et  $An_{57}$  (voir figure 4). Les mâcles sont droites sauf dans les zones de cisaillement où elles peuvent être déformées.

La dimension des grains de plagioclase est uniforme et la moyenne se situe autour de 1 à 2 mm de diamètre. Dans le gabbro anorthositique, les grains sont plus petits par un facteur de 2 à 4. Les plagioclases de l'anorthosite montrent une excellente texture granoblastique; les grains ont tous

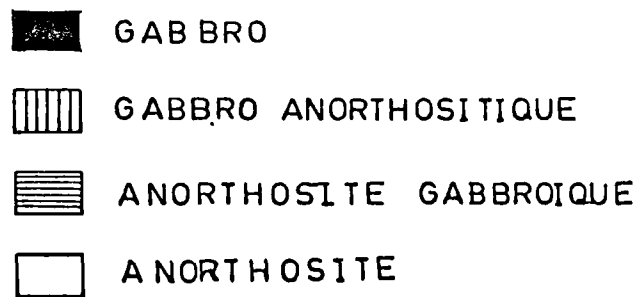
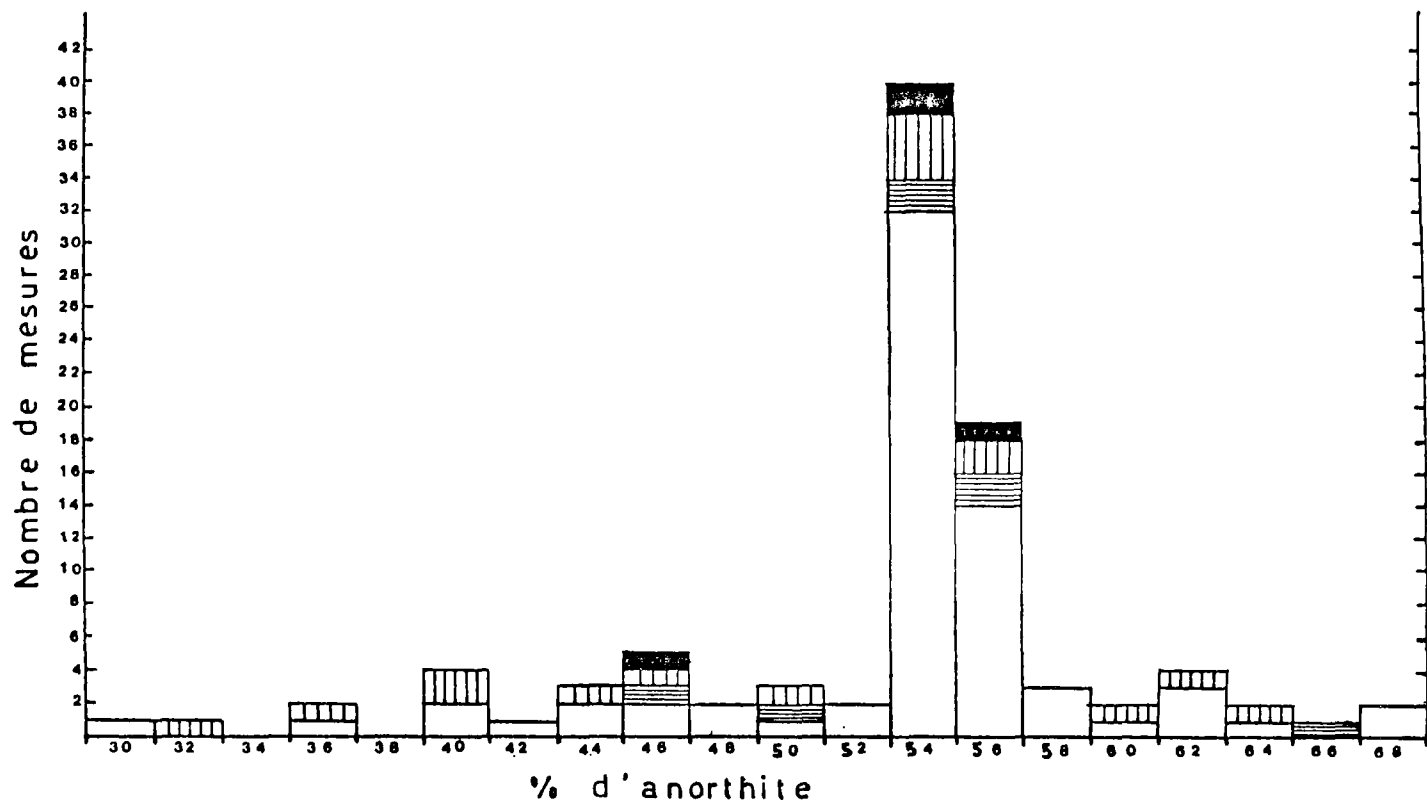


FIGURE 4: Histogramme de la composition des plagioclases du complexe anorthositique

des contours polygonaux et des points de jonction triple entre eux (planche XI-A). En règle générale, les grains sont homogènes: ils ne montrent pas de zonage, de texture de remplacement ou d'inclusions. Le feldspath de K et le quartz sont normalement absents.

Dans les zones ou près de certains contacts avec la roche adjacente, les roches anorthositiques peuvent contenir du feldspath de potassium et du quartz. Le feldspath de K a les propriétés optiques de l'orthose; il peut être interstitiel entre les grains de plagioclase ou encore former une texture de remplacement sur le plagioclase. Le quartz est inclu dans quelques grains de plagioclase sous forme de myrméckite. Les plagioclases de ces zones de faille sont souvent plus sodiques ( $An_{40}$  à  $An_{50}$ ) que le plagioclase "normal" de l'anorthosite ( $An_{54}$ ).

On observe un zonage inverse (bordure plus calcique que le centre) dans les grains de plagioclase entourant les couronnes ou agrégats de minéraux ferro-magnésiens. La biréfringence est plus haute pour la bordure du grain (jaune pâle) que pour le centre (blanc) et l'angle d'extinction entre Z et (010) est plus grand pour la bordure. La section sur les couronnes donne les analyses chimiques faites à la micro-sonde sur ces plagioclases. Ces grains zonés sont plus petits que les autres grains de plagioclase de l'anorthosite; ils forment donc une zone définie autour des couronnes.

### Olivine

L'olivine se reconnaît par sa haute biréfringence et par les nombreuses fractures qui traversent les grains. Elle n'a été observée que dans les deux lames minces utilisées pour la micro-sonde (voir section sur les couronnes). Dans l'une, l'olivine forme un seul grain d'environ 1 cm de long au centre d'une couronne; le grain est très fracturé et contient de petites quantités de magnétite et d'orthopyroxène (planche XVI et XVIII). Dans l'autre, on ne retrouve que quelques grains reliques, intersticiels entre les grains polygonaux d'orthopyroxène qui forment le coeur de la couronne (planche XVII et XIX).

### Pyroxène

L'orthopyroxène, en lumière naturelle, est pléochroïque de rose pâle à vert pâle ou incolore; en lumière polarisée, son extinction est parallèle au clivage et sa biréfringence est dans les jaunes du premier ordre. La figure d'interférence est négative avec un  $2V$  de  $60^\circ$  à  $70^\circ$  environ. Dans quelques sections parallèles au plan (100), on observe une discontinuité optique parallèle au plan (001); l'origine ou la nature de cette discontinuité optique est inconnue.

Le clinopyroxène (diopside-augite) est incolore ou vert très pâle en lumière naturelle, avec peu ou pas de pléochroïsme. En lumière polarisée, l'angle d'extinction entre Z et C est de  $42$  à  $44$  degrés et la biréfringence donne les

couleurs du deuxième ordre. Le  $2V_z$  est de  $60^\circ$ . On trouve rarement du clinopyroxène zoné (d'après les variations de réfringence) avec des angles optiques plus petits.

On peut distinguer trois générations d'orthopyroxène d'après la dimension et la forme des grains. On trouve de l'orthopyroxène primaire (I) dans la zone d'anorthosite abbayique le long de la rivière Bostonnais (voir carte géologique), ainsi qu'au cœur de certaines couronnes dans l'anorthosite. Ce sont de gros cristaux de 1 cm et plus de longueur dans lesquels on retrouve de petites inclusions de rutile(?) brun pâle parallèle au clivage (110) ou encore des minéraux opaques (magnétite-ilménite) avec une texture en rosette allongée (vermiculaire).

L'orthopyroxène secondaire (II) forme le cœur de la plupart des couronnes de l'anorthosite. Ce sont des grains polygonaux d'environ 1 mm de diamètre qui ont des points de jonction triple entre eux (planche XI-B et XI-C). Ils ressemblent aux grains de plagioclase de l'anorthosite par leur forme et par leur dimension.

L'orthopyroxène tertiaire (III) se retrouve dans la bordure des couronnes de l'anorthosite et aussi interstitiel entre les grains de plagioclase. Ce sont des grains mal formés d'environ 0.5 mm de diamètre ou moins; en bordure des couronnes, ces grains forment une symplectite avec de l'amphibole (pargasite). Lorsqu'ils sont interstitiels entre les plagioclases, ils sont souvent en contact ou très près de

grains d'amphibole (hornblende). Les grains d'orthopyroxène III contiennent parfois des inclusions de spinelle avec une texture en goutte allongée (vermiculaire).

Le clinopyroxène est peu abondant dans l'anorthosite de Borgia sauf dans la bordure du massif où des grains de clinopyroxène polygonaux avec des points de jonction triple sont entourés d'un peu d'amphibole. Ces textures en couronnes ne sont généralement pas bien formées. Dans les linéations du centre du massif, où l'orthopyroxène II se place au coeur de la couronne, on retrouve parfois quelques grains de clinopyroxène polygonaux de même dimension que l'orthopyroxène II entre le coeur et la couche d'amphibole. Plusieurs grains de clinopyroxène avec la même texture que l'orthopyroxène II peuvent même former une "presqu'île" dans la couche d'amphibole.

Une texture d'exsolution entre l'orthopyroxène et le clinopyroxène n'a été observée que dans le gabbro au nord de l'anorthosite. L'orthopyroxène est alors inclus dans le clinopyroxène et les deux sont en continuité optique.

Dans le gabbro anorthositique, orthopyroxène et clinopyroxène forment des agrégats semblables à ceux trouvés dans les roches granulitiques adjacentes au massif d'anorthosite.

### Grenat

Le grenat est rose pâle ou incolore en lumière naturelle; il est automorphe et montre des contours hexagonaux

réguliers. Le diamètre des grains varie entre 0.2 mm et 1 mm, la dimension du grain étant directement proportionnelle à l'abondance du grenat. La plupart des grenats sont homogènes et ne contiennent pas d'inclusions.

Ils peuvent former une couche compacte de quelques millimètres d'épaisseur sur la bordure des couronnes ou encore ils sont intersticiels entre les plagioclases à quelques millimètres de distance des couronnes. Plusieurs couronnes n'ont pas de grenat associé.

Deux lames minces seulement montrent des inclusions d'amphibole, de spinelle, d'orthopyroxène III et de plagioclase dans le grenat. Dans l'une, de gros porphyroblastes de grenat en bordure d'une couronne contiennent les inclusions mentionnées. Dans l'autre, le grenat forme une couche continue autour d'une couronne; la couche est interrompue par une "veine" d'amphibole qui semble provenir de l'intérieur de la couronne. A cet endroit, on trouve du grenat xénomorphe qui contient les inclusions mentionnées plus haut en plus de la magnétite.

#### Minéraux hydratés.

Une petite quantité de minéraux hydratés (amphibole, mica) apparaît généralement dans toutes les lames minces de l'anorthosite. Certains peuvent être intersticiels entre les plagioclases et montrer des points de jonction triple avec ces derniers; la plupart entourent, sont en contact

avec ou recouvrent les agrégats de pyroxène. Toutes les couronnes contiennent de l'amphibole avec un peu de biotite dans la couche externe. On peut distinguer quatre types d'amphibole et trois types de biotite d'après leurs propriétés optiques.

La hornblende, en lumière naturelle, est pléochroïque de vert foncé à vert pâle. Elle a une figure biaxe négative avec un  $2V$  d'environ  $50^\circ$ . Les grains de hornblende montrent quelques fois une forme en losange en coupe transversale. (planche XII-A). Les grains sont intergranulaires entre les plagioclases ou encore ils forment de petits agrégats où la biotite est localement associée.

La pargasite, en lumière naturelle, est pléochroïque de vert à incolore. L'angle de l'axe optique est positif et très grand ( $2V_x \approx 85^\circ$ ). Les grains de pargasite sont polygonaux. Ils forment la bordure des couronnes ou encore sont associés aux agrégats d'orthopyroxène (voir section sur les couronnes).

L'anthophyllite est incolore en lumière naturelle. La biréfringence, en lumière polarisée, est d'environ .016; l'extinction est parallèle dans les sections longitudinales; la figure d'interférence est biaxe positive avec un  $2V$  d'environ  $70^\circ$ . La cummingtonite est incolore en lumière naturelle. La biréfringence, en lumière polarisée, est élevée et l'extinction oblique; les grains sont allongés et mâclés; la figure optique montre un grand  $2V_z$ . Anthophyllite

et cummingtonite sont rares; ils se retrouvent au centre des couronnes à la place de l'orthopyroxène II dans deux lames minces seulement.

La biotite peut être soit intersticielle entre les plagioclases, soit associée à la pargasite dans les couronnes. Dans le premier cas, les grains, en lumière naturelle, sont pléochroïques de noir à brun; ils sont allongés et très minces. Ces "bâtonnets" n'ont aucune orientation préférentielle (planche XII-B). Dans le second cas, les grains, en lumière naturelle, sont pléochroïques de brun, plus rarement vert, à incolore; ils montrent des points de jonction triple avec la pargasite associée. Un troisième type de biotite a été observé au centre d'une couronne à la place de l'orthopyroxène II: cette biotite est brun pâle et est remarquable par son  $2V_x$  d'environ  $15^\circ$ .

### Spinelle

Le spinelle est vert foncé en lumière naturelle et isotrope en lumière polarisée. On le trouve souvent dans la bordure des couronnes avec la pargasite et l'orthopyroxène III dans lesquels il est inclu sous forme de fines gouttes allongées (texture vermiculaire) d'environ 0.05 mm de long (spinelle III). Il est plus rarement intersticiel entre l'orthopyroxène II du centre des couronnes; les grains sont alors polygonaux et mesurent 0.5 mm de diamètre (spinelle II).

### Minéraux accessoires

Le sphène, en lumière naturelle, est incolore avec un fort relief. En lumière polarisée, sa biréfringence est élevée et il donne une figure biaxe positive avec un petit  $2V$ ; la diffraction est forte ( $r > v$ ). Les grains sont mal formés, petits ( $\approx 0.25$  mm), et souvent associés avec la hornblende ou autour de minéraux opaques (magnétite-ilménite). Le sphène peut être interstitiel entre ou inclus dans les grains de plagioclases. Le zircon est très rare.

L'apatite a un haut relief, est incolore et montre souvent une section hexagonale plus ou moins arrondie et une section allongée avec une extinction parallèle. La biréfringence est très faible. Des grains d'apatite sont intergranulaires entre les grains de hornblende et de biotite et mesurent environ 0.1 à 0.4 mm de diamètre en section transversale. Des grains plus petits (environ 0.05 mm) peuvent être inclus dans les grains de plagioclase. On trouve rarement des grains d'apatite associés à la pargasite dans la bordure des couronnes; cette apatite est biaxe avec un remarquable  $2V_x$  de  $15^\circ$  environ.

### Minéraux d'altération

Les minéraux d'altération sont peu abondants dans le complexe anorthositique, sauf dans les zones de fracture ou de faille. Entre autres, le long de la faille de la rivière Bostonnais, les linéations dans l'anorthosite sont

complètement chloritisées localement.

L'épidote, en lumière naturelle, est vert pâle ou incolore, parfois faiblement pléochroïque. Les grains sont souvent bien formés et donnent une figure biaxe négative avec un grand 2V. La biréfringence est anormale (bleu de Prusse) dans les couleurs du premier ordre. La chlorite, en lumière naturelle, est pléochroïque de vert à incolore; elle possède un bon clivage micacé. La biréfringence est ici aussi anormale dans les couleurs du premier ordre (bleu de Prusse ou brun). On trouve souvent l'épidote ou la chlorite avec une forme caractéristique de la hornblende (en losange) ou de la biotite (en bâtonnet). La transformation est localement incomplète et le minéral transformé (hornblende ou biotite) et le minéral d'altération (épidote ou chlorite) forment alors un seul grain. On trouve aussi de l'épidote et de la chlorite en un seul grain. Enfin dans les zones d'anorthosite fracturée, épidote et chlorite forment des agrégats non différenciés, associés avec d'autres minéraux d'altération, le tout probablement dérivé des plagioclases et des minéraux mafiques originaux.

Carbonate, muscovite-séricite et quartz sont souvent associés et ils forment des produits d'altération du plagioclase dans les zones fracturées ou faillées. Les carbonates et la muscovite-séricite apparaissent en agrégats ou en grains intersticiels entre les plagioclases ou encore ils se développent sur les grains de plagioclase. Le quartz est inclu dans

le plagioclase.

De la scapolite incolore, uniaxe négative, avec un bon clivage a été identifiée dans trois lames minces seulement. On la trouve en veine traversant l'anorthosite ou encore en agrégat contenant minéraux opaques, hornblende, sphène, apatite et quartz.

### Minéraux opaques

Les minéraux opaques (magnétite-ilménite) sont peu abondants et intersticiels entre les plagioclases. On retrouve parfois de la magnétite et/ou de l'ilménite au centre des couronnes, dans la zone d'orthopyroxène II. Des agrégats de minéraux opaques peuvent aussi former le centre de quelques couronnes (voir section sur les couronnes).

### 6.3 Déductions pétrologiques:

Par analogie avec les autres anorthosites de la province de Grenville (celles du Morin et du lac St-Jean entre autres) et avec les observations pétrographiques faites au cours de cette étude, on peut subdiviser l'histoire de la mise en place de l'anorthosite de Borgia en quatre étapes:

#### Observations

#### Hypothèses

1-Gros cristaux reliques

Cristallisation ignée de

Observations	Hypothèses
<p>d'olivine, d'orthopyroxène et de magnétite-ilménite au centre des couronnes</p> <p>- Litage relique préservé dans l'anorthosite gabbroïque</p>	<p>l'anorthosite avec formation de gros plagioclases bleu-noir contenant des impuretés; présence de gros cristaux primaires d'olivine et/ou d'orthopyroxène et/ou de magnétite-ilménite; présence de litage</p>
<p>2-</p> <p>Grains de plagioclase polygonaux avec points de jonction triple, libres de toute inclusion</p> <p>- Linéation au centre et foliation en bordure du massif d'anorthosite</p> <p>- Olivine entourée d'orthopyroxène II en grains polygonaux</p> <p>- Clinopyroxène II en bordure d'orthopyroxène II; la majeure partie du clinopyroxène II est</p>	<p><u>Recristallisation</u> de l'anorthosite causant:</p> <p>polygonisation des plagioclases et expulsion des impuretés qui se concentrent entre les grains</p> <p>allongement et aplatissement des minéraux mafiques primaires</p> <p>formation des couronnes:</p> <p>olivine-plagioclase donne olivine-opx-cpx ± spinelle</p> <p>- plagioclase</p>

## Observations

## Hypothèses

- transformée en pargasite,  
 mais on trouve localement  
 du clinopyroxène II relique  
 dans la couche de pargasite
- Le spinelle II n'est pas  
 conservé, sauf très peu  
 dans le coeur d'opx.
  - Le coeur des plagioclases  
 entourant les couronnes est  
 plus sodique que les plagio-  
 classes loin des couronnes
- 3- Métasomatisme pendant et après  
 la phase de recristallisation  
 avec formation de:
- hornblende losangique et  
 biotite noir en bâtonnet,  
 intersticielles entre les  
 plagioclases, sans  
 orientation définie
  - couche de pargasite autour  
 du coeur des couronnes  
 fait d'opx; présence de  
 clinopyroxène II relique
- hornblende et biotite noir  
 intersticielles entre les pla-  
 gioclases à partir des impuretés  
 expulsées des grains de  
 plagioclase
- pargasite et biotite brune et  
 verte polygonales à partir du  
 clinopyroxène dans les couronnes  
 réactionnelles

## Observations

## Hypothèses

- dans la couche de pargasite; biotite brune ou verte souvent présente mais peu abondants
- opx III et spinelle forme une symplectite avec la pargasite sur la bordure de plusieurs couronnes. Le grenat se trouve dans la couche externe de plusieurs couronnes; localement il contient des inclusions de pargasite, spinelle III et opx III
  - les plagioclases autour des couronnes montrent un zonage inverse
  - dans quelques couronnes, anthophyllite ou cummingtonite forment le coeur entouré de pargasite
- opx III, spinelle III et grenat se forment à partir des éléments dégagés par la conversion cpx-spinelle/pargasite-biotite
- plagioclase plus calcique en bordure des couronnes à cause du calcium et de l'aluminium dégagés par la réaction cpx-spi/parg-bi
- anthophyllite ou cummingtonite localement, à partir de l'orthopyroxène du centre des couronnes

## Observations

## Hypothèses

- 4- Phase d'hydratation associée aux failles et aux fractures avec formation de:
- Epidote et chlorite avec des formes en losange et en bâtonnet      épidote et chlorite à partir de la hornblende et de la biotite noir
  - Chloritisation de certaines linéations près de la faille de la rivière Bostonnais      séricite, carbonate, quartz, épidote et chlorite à partir des plagioclases et des minéraux mafiques dans les zones fail- lées et fracturées
  - Séricite, carbonate, quartz, épidote et chlo- rite présents dans les échantillons d'anorthosite provenant des zones de faille spécialement

## 6.4 Couronnes réactionnelles:

### 6.4.1 Introduction:

L'anorthosite de Borgia est caractérisée par la présence de nombreuses textures coronitiques dans lesquelles l'olivine et/ou l'orthopyroxène (rarement la magnétite-ilménite) sont entourés d'amphibole ( $\pm$  biotite) et parfois de grenat. Les structures linéaires de la partie centrale du massif montrent, en coupe transversale, les couronnes les mieux développées et les plus nombreuses (planche XIII-A et XIII-B). La forme des couronnes est arrondie ou elliptique; lorsque deux ou plusieurs couronnes se touchent, l'ensemble prend une forme amiboïde. Le diamètre (ou le plus grand axe de l'ellipse) des couronnes mesure en moyenne de 3 à 5 cm; les plus grosses couronnes mesurent jusqu'à 10 cm de diamètre. Les petites structures linéaires (un centimètre et moins en section transversale) ne montrent pas de texture coronitique. Les minéraux des couronnes sont petits (environ un millimètre de diamètre) et sont granulaires; dans l'anorthosite gabbroïque (voir carte géologique) on trouve cependant de gros cristaux d'orthopyroxène (peut-être primaire) entourés d'amphibole et rarement de grenat.

### 6.4.2 Description microscopique:

La description microscopique des couronnes est basée sur

l'étude de 19 lames minces. Grâce aux observations faites sur chacune de ces lames minces, on peut distinguer 6 parties distinctes dans la "couronne idéale" de l'anorthosite de Borgia (planche XVI, XVII, XVIII, XIX).

CENTRE			BORDURE		
A	B	C	D	E	F
Ol	Opx II	Cpx II	Parg	Gr	Plag
± opx II	± Ol	± Parg	± Opx III	± parg	± parg
± Mt-IL	± Mt-IL		± Sp III	± Opx III	± Opx III
	± Sp II		± Plag	± Plag	± Gr
			± Bi	± Bi	± Bi
			± Cpx II		

La liste des abréviations des minéraux est donnée dans l'appendice I.

Aucune couronne ne contient toutes ces zones en couches successives. Les couronnes les plus communes de l'anorthosite de Borgia sont formées des parties B -D -E - F ou B - D - F (planche XI-B et XI-C).

#### 6.4.2.1 Partie A: Olivine

Un cristal d'olivine de un centimètre de long a été observé dans le coeur d'une seule couronne (planche XVI, XVIII). Le cristal est traversé par de nombreuses fractures qui vont dans tous les sens. Quelques grains d'opx II et de magnétite se sont formés à l'intérieur du cristal d'olivine;

on y trouve aussi du matériel d'altération brunâtre en faible quantité. Une fine pellicule de magnétite, localement discontinue, entoure le cristal d'olivine.

#### 6.4.2.2 Partie B: orthopyroxène II

L'opx II est en grains polygonaux d'environ 1 mm de diamètre montrant des points de jonction triple. On peut penser que les cristaux d'orthopyroxène centimétriques qui, dans l'anorthosite gabbroïque, forment souvent un litage, (planche IX-A et IX-B) sont d'origine ignée et primaires (I), alors que les grains polygonaux d'orthopyroxène qui entourent le cristal d'olivine (planche XVIII) sont métamorphiques et secondaires (II). On voit en lame mince que les cristaux d'orthopyroxène centimétriques contiennent de nombreuses inclusions orientées de magnétite-ilménite alors que les grains polygonaux en sont dépourvus. Par analogie, tous les grains d'orthopyroxène polygonaux sont considérés comme étant secondaires (II).

L'opx II forme le coeur de la plupart des couronnes (planche XI-B et XI-C). Le centre de cette partie contient rarement des grains d'olivine (probablement reliques), de magnétite et de spinelle qui sont intersticiels entre les grains d'opx II (planche XVII et XIX). La magnétite (ilménite?) et le spinelle sont considérés comme étant secondaires puisqu'on les trouve associés avec l'opx II.

La pargasite et/ou la biotite se rencontrent rarement dans la zone d'opx II. Cependant, on trouve localement de la cummingtonite (amphibole fibreuse incolore à mâcle multiple avec une figure optique biaxe positive) et de l'anthophyllite (amphibole incolore à extinction parallèle) qui remplace en tout ou en partie l'opx II.

#### 6.4.2.3 Partie C: Clinopyroxène II

La majorité des couronnes ne contiennent pas de clinopyroxène. Cependant on trouve parfois quelques grains polygonaux de cpx semblables aux grains d'opx II. Le cpx ne forme pas de couche continue autour de la zone d'opx II, mais, lorsqu'il est présent, il se place toujours en bordure immédiate de cette zone (planche XVII et XIX). Il est probable que le cpx soit lui aussi secondaire à cause de son association avec l'opx II et à cause de la forme polygonale des grains qui suggère une origine métamorphique similaire à celle de l'opx II.

La bordure de l'anorthosite est foliée, au lieu d'être linéée comme au centre, et les couronnes y sont rares, sinon absentes (voir chapitre 8). Dans cette bordure, l'opx est rare et le cpx II forme la majeure partie des agrégats de minéraux mafiques. De faibles quantités d'opx mal formé (peut-être tertiaire), de hornblende (ou pargasite?), de biotite, de quartz et de magnétite-ilménite sont intersticiels

entre ou recouvrent partiellement les grains de cpx II. Les plagioclases autour des cpx II ont une composition d'environ  $An_{40}$ ; ils sont de 10 à 15% plus sodique que les plagioclases "normaux" de l'anorthosite (environ  $An_{54}$ ) et ils ne sont pas zonés comme les grains de plagioclase autour des couronnes. Ces observations sont importantes ici si l'on considère que les assemblages de minéraux des linéations et des foliations dans l'anorthosite sont théoriquement dérivés des mêmes minéraux primaires.

#### 6.4.2.4 Partie D: Pargasite

Dans toutes les couronnes, on observe une zone contenant beaucoup de pargasite qui forme une couche continue (planche XVII, XIX). La zone de pargasite est très variable du point de vue minéralogie et textural, même à l'intérieur d'une seule lame mince qui montre plusieurs couronnes et parfois à l'intérieur d'une seule couronne.

Les grains de pargasite sont parfois polygonaux avec des points de jonction triple, parfois en symplectite avec d'autres minéraux tels que plagioclase, opx, biotite et spinelle. Bien que la pargasite soit en général le minéral le plus abondant de cette zone, il est possible que le plagioclase prédomine (planche XI-B). Le plagioclase de cette zone montre un zonage inverse et sa biréfringence jaunâtre indique qu'il est plus calcique que les plagioclases de l'extérieur

des couronnes. La bordure plus calcique de ces plagioclases contient localement de petits grains mal formés d'opx ou de spinelle. On trouve, dans la zone d'amphibole, plusieurs grains dont une partie est faite de plagioclase et l'autre de pargasite.

Les grains d'opx de cette zone sont petits, mal formés et souvent intersticiels entre les grains de pargasite et de plagioclase. Il est possible qu'une partie d'un grain soit faite de pargasite et l'autre partie d'opx. Cette association intime de l'opx avec la pargasite semble indiquer que cet opx fait partie d'une génération postérieure à celle de l'opx II. L'"opx III" désigne ces grains d'orthopyroxène mal formés et intimement liés à la pargasite ainsi qu'aux autres minéraux associés à la partie D.

La biotite trouvée dans cette zone est normalement vert pâle, quelques fois brun pâle. Elle est souvent présente mais peu abondante. Un grain peut être formé de pargasite et de biotite ou encore d'opx III et de biotite.

Le spinelle, lorsqu'il est présent dans cette zone, est inclus dans l'opx III, dans la pargasite et, plus rarement, dans la bordure calcique des plagioclases. Les inclusions de spinelle sont petites avec des formes en gouttes allongées (vermiculaires). Ce spinelle est complètement différent du spinelle II trouvé dans la partie B à cause de sa dimension, de sa forme et de sa texture; le spinelle de la partie D est considéré comme étant tertiaire à cause de son association

avec la pargasite et l'opx III.

La zone C (cpx II) forme parfois un agrégat relique à l'intérieur de la zone D (pargasite).

#### 6.4.2.5 Partie E: Grenat

Environ une couronne sur deux contient du grenat en grains hexagonaux bien formés (planche XI-B, XI-C). Les grains de grenat peuvent former une couche continue et compacte autour de la partie D (planche XIX). Il arrive parfois que l'on trouve des grains de grenat contenant des inclusions de minéraux de la partie D (pargasite, opx III, spinelle, plagioclase). Du grenat amorphe, contenant des inclusions de minéraux opaques (magnétite), de pargasite et de biotite, a aussi été observé près d'une "veine" de pargasite qui recoupe, depuis l'intérieur de la couronne, une bordure particulièrement bien formée de grenat polygonaux (planche XIX).

#### 6.4.2.6 Partie F: Plagioclase

Les plagioclases en bordure des couronnes sont plus petits que les plagioclases "normaux" de l'anorthosite. Ils sont zonés avec une bordure plus calcique alors que les plagioclases "normaux" de l'anorthosite ne le sont pas. La zone de plagioclase contient souvent pargasite, opx III,

grenat et/ou biotite en grains intersticiels entre les plagioclases. Les petites linéations d'un centimètre ou moins de diamètre en coupe transversale ne montrent souvent que cet assemblage de minéraux en agrégat.

Comme nous l'avons observé au début de la présente section, chaque couronne ne contient pas toutes ces parties. On note cependant que chaque zone a une position définie dans la couronne et que deux zones ne sont jamais inversées (par exemple, on ne trouve pas de pargasite entourée de cpx II). On peut former toutes les couronnes de l'anorthosite de Borgia à l'aide des lettres A à F, lesquelles correspondent à chacune des parties précédemment décrites; on peut rencontrer, du centre à la bordure, les parties suivantes:

A - B - C - D - F

B - C - D - E - F

B - C - D - F

B - D - E - F

B - D - F

C - F

E - F

F

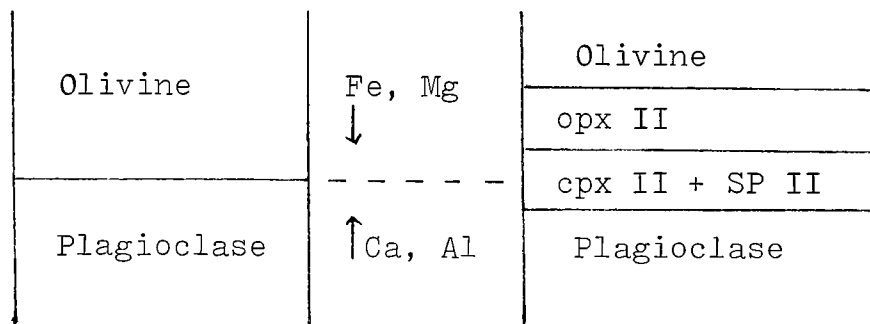
}  
}  
}

la texture coronitique est ici peu  
ou pas évidente

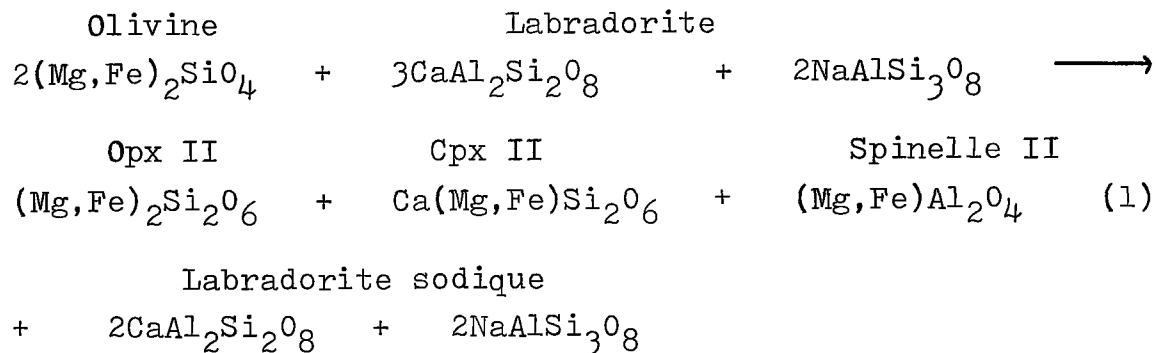
Chacun de ces états a été observé dans au moins une couronne avec les restrictions décrites pour chacune des parties.

### 6.4.3 Dédutions pétrologiques:

Les textures coronitiques indiquent, selon plusieurs auteurs, que des minéraux ont réagi ensemble en solution solide pour se rééquilibrer à de nouvelles conditions de température et/ou de pression et pour ainsi former un nouvel assemblage de minéraux (voir Griffin and Heier, 1973; England, 1974; Gardner and Robins, 1974; Grieve and Gittins, 1975; et plusieurs autres). Lorsqu'elle se produit, la réaction se fait au contact des deux minéraux primaires où se forment les minéraux nouveaux. Si la réaction s'arrête avant l'épuisement des deux phases primaires, le coeur et la bordure de la couronne contiennent des minéraux reliques primaires qui sont séparés par une ou plusieurs couches intermédiaires de minéraux nouveaux. Il est probable que la formation des couronnes de l'anorthosite de Borgia soit d'abord due à la réaction entre l'olivine et la plagioclase pour donner une couche d'orthopyroxène du côté de l'olivine et une couche de clinopyroxène et de spinelle du côté du plagioclase tel qu'indiqué par Griffin et Heier (1973).



L'équation théorique qui correspondrait à cette réaction pourrait s'écrire:



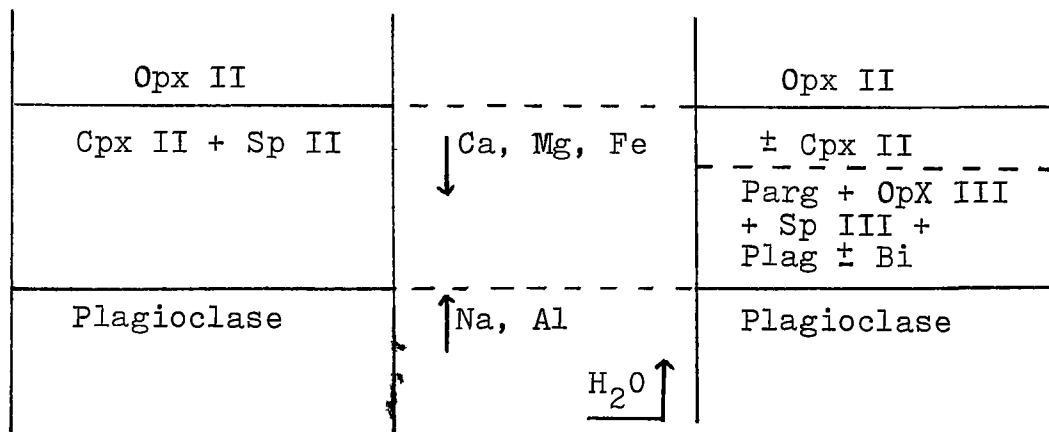
Dans les couronnes de l'anorthosite de Borgia, cette réaction aurait produit les parties B et C à partir des parties A et F. On peut cependant noter que:

- 1- L'olivine primaire a probablement été consommée au complet, la plupart du temps.
- 2- L'olivine relique s'entoure d'une mince pellicule de magnétite dont il n'est pas tenu compte dans la réaction 1.
- 3- La couche de cpx est très mince et souvent absente; aucun spinelle ne lui est associé.
- 4- Le plagioclase primaire avait probablement la composition du plagioclase "normal" de l'anorthosite, soit à peu près  $\text{An}_{54}$ ; le plagioclase produit par cette réaction se retrouve probablement au centre des plagioclases zonés qui entourent les couronnes et qui sont plus sodiques (environ  $\text{An}_{40}$  -  $\text{An}_{45}$ ) que les

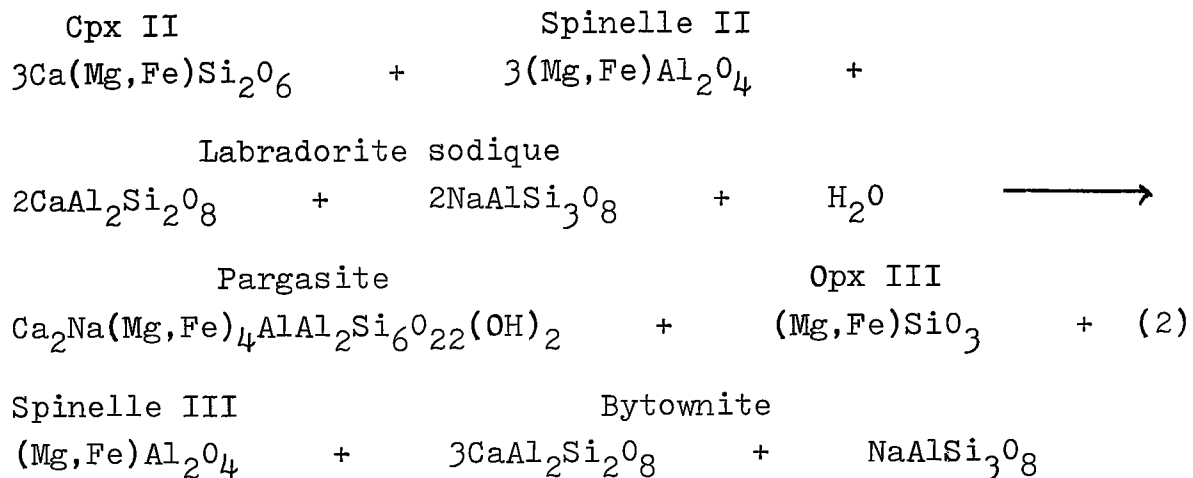
plagioclases "normaux".

5- La présence, en bordure du massif d'anorthosite, d'aggrégats de cpx entourés de grains de plagioclase plus sodique que les plagioclases "normaux" de l'anorthosite pourrait indiquer que la réaction 1, en se poursuivant suffisamment longtemps, transformerait même l'opx II en cpx. La réaction 2 ou 3 (hydratation du cpx pour donner des minéraux hydratés; voir plus loin) n'aurait pas affecté ces aggrégats de cpx.

Pour former la partie D (pargasite) des couronnes, il faut nécessairement introduire de l'eau (et peut-être aussi une faible quantité de potassium pour la formation de la biotite) dans le système. Si l'on assume que l'olivine a été complètement consommée dans la réaction 1, on obtient le schéma suivant, basé sur les observations faites sur les couronnes:



L'équation théorique correspondante pourrait s'écrire:



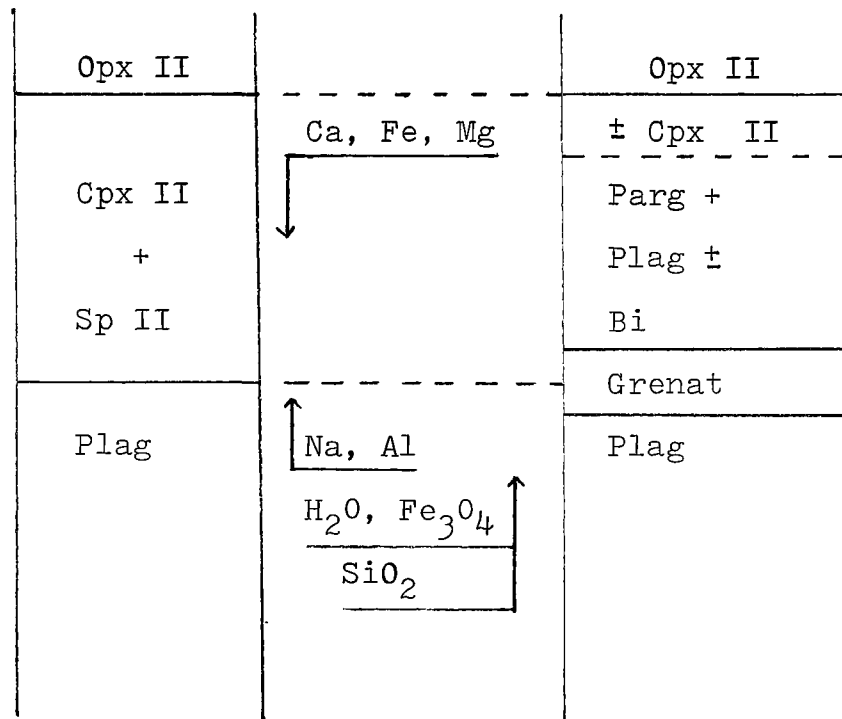
On peut noter que:

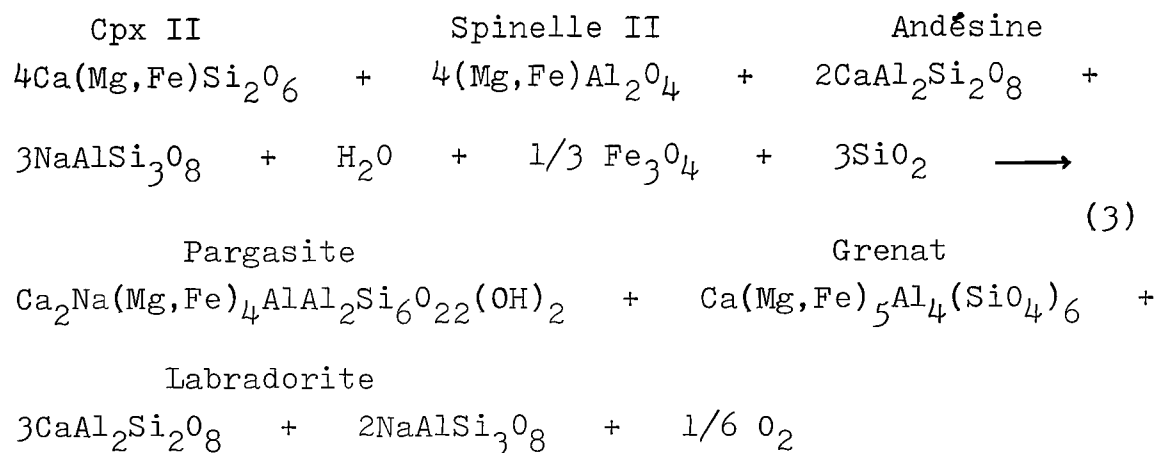
- 1- Dans la plupart des couronnes de l'anorthosite de Borgia, le cpx II et le spinelle II ont été consommés au complet lors de cette réaction, mais par endroits du cpx II relique est trouvé dans la couche de pargasite.
- 2- Lorsque l'opx II est hydraté, on obtient de la cummingtonite et de l'anthophyllite à la place de la pargasite.
- 3- Le plagioclase formé par la réaction 2 est calcique; il se place sur les grains sodiques formés par la réaction 1, ce qui donne un zonage inverse.

La présence de la partie E (grenat) dépendrait peut-être de l'abondance d'oxyde de fer accessible lors de la réaction 2. Martignole et Schrijver (1973) ont en effet noté que le grenat était absent des roches contenant un haut rapport  $100 \text{ Mg/Mg} + \text{Fe}^{++}$ . McLelland et Whitney (1977) ont aussi

trouvé que la formation du grenat était favorisée par la présence d'un oxyde de fer dans les réactants. Dans le cas présent, cet oxyde de fer pourrait provenir des impuretés expulsées des plagioclases lors de leur recristallisation (Philpotts, 1966).

L'addition d'oxyde de fer (et de quartz) aux réactants de la réaction 2 favoriserait la formation du grenat à la place de opx III et de sp III; on aurait le schéma suivant avec l'équation théorique correspondante:





On peut noter que:

- 1- Le grenat est très abondant autour de gros agrégats d'oxyde de fer dans l'anorthosite.
- 2- La position des grains de grenat entre les grains de plagioclase, à une certaine distance des couronnes, semble indiquer qu'une partie des éléments (Ca, Fe, Mg) nécessaires à la formation du grenat a pu se déplacer sur une distance de quelques millimètres, l'autre partie (oxyde de fer) se trouvant probablement entre les grains de plagioclase.

D'autres facteurs pouvant affecter la formation des grenats sont donnés par McLelland et Whitney (1977):

- a) Une très haute pression est nécessaire pour la formation des grenats magnésiens.
- b) La recristallisation avancée du plagioclase favorise la formation du grenat en permettant des échanges d'ions plus faciles entre les grains et sur une

distance moins grande.

- c) L'activité de l'eau favorise la diffusion des composants devant former le grenat; par contre, une trop grande activité de l'eau favorise la formation d'amphibole et/ou de mica en plus ou à la place du grenat.
- d) Une faible fugacité de l'oxygène favorise la formation du grenat.

A cause de toutes ces variables pouvant influencer la formation du grenat, il est difficile de dire exactement pourquoi telle couronne contient du grenat alors que telle autre n'en contient pas. Si les oxydes de fer nécessaires à la formation du grenat proviennent des impuretés expulsées des plagioclases lors de leur recristallisation, on peut supposer que la distribution de ces oxydes devait être relativement homogène dans l'anorthosite puisque la recristallisation est partout complète. Si l'on assume que la pression était à peu près partout égale dans le massif de Borgia (à cause de ses dimensions relativement faibles), il reste les variations de la pression de l'eau et de la fugacité de l'oxygène comme facteurs responsables de la présence erratique du grenat.

#### 6.4.4 Observations chimiques:

Des analyses à la micro-sonde ont été faites par le

Dr. Plant de la Commission Géologique du Canada sur les deux lames minces contenant de l'olivine. Les photos permettant de localiser chacune des analyses dans les couronnes, les résultats complets des analyses et les formules recalculées de chacun des minéraux sont donnés dans l'appendice III et les planches XVI à XIX. Dans le but de simplifier la comparaison entre les analyses des minéraux des deux couronnes, les moyennes des analyses pour chaque minéral sont indiquées dans les tableaux 1 et 2.

#### 6.4.4.1 Olivine:

La composition de l'olivine varie très peu à l'intérieur d'une couronne et même dans les deux couronnes analysées. Une composition de  $79.5 \pm 0.5\%$  Fo décrit la variation maximum observée dans les sept analyses des olivines des deux couronnes. L'olivine montre un léger enrichissement en Mg (1% Fo) en bordure du cristal par rapport au centre (voir appendice III: analyses 21, 22 et 23 de la lame mince 24-5A-75).

#### 6.4.4.2 Altération brunâtre des olivines:

Cette altération a la composition d'un silicate de fer et de magnésium hydraté. Le rapport  $Mg/Mg+Fe+Mn$  est variable d'une couronne à l'autre mais semble homogène à l'intérieur d'une même couronne. L'eau forme un constituant majeur (il

Tableau 1 : Moyenne des analyses pour chaque minéral des couronnes  
Lame mince 17-6-75

	(4)(*) ol	(2) alt. brun	(7) opx II int	(3) opx II mil	(3) opx II ext	(2) cpx II
SiO <sub>2</sub>	38.65	44.53	54.02	53.37	53.06	52.05
TiO <sub>2</sub>	.04	.10	.10	.10	.06	.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.06	3.77	2.25	2.35	1.75	2.35
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.04	.05	.02	.03	.02	.06
FeO(total)	21.82	28.95	14.83	17.66	20.67	7.09
MnO	.22	.05	.23	.23	.26	.05
MgO	39.21	6.90	27.79	25.56	23.61	14.93
CaO	-	1.72	.25	.37	.42	23.59
Na <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	.22
K <sub>2</sub> O	-	.26	-	-	-	.04
Total	100.04	86.29	99.49	99.67	99.84	100.46

Formule recalculée

Si	1.0016	-	1.9470	1.9464	1.9595	1.9253
Al	.0018	-	.0956	.1006	.0758	.1025
Ti	.0008	-	.0027	.0027	.0018	.0031
Cr	.0007	-	.0006	.0008	.0005	.0016
Fe(total)	.4728	-	.4471	.5389	.6385	.2194
Mn	.0048	-	.0069	.0072	.0082	.0014
Mg	1.5140	-	1.4926	1.3887	1.2994	.8228
Ca	-	-	.0097	.0143	.0165	.9351
Na	-	-	-	-	-	.0154
K	-	-	-	-	-	.0017
<u>Mg</u>	.7602	.1925	.7667	.7177	.6677	.7885
Mg+Fe+Mn						
Autre	75.95Fo	-	76.57En .50Wo	71.21En .74Wo	66.49En .84Wo	41.62En 47.29Wo

(\*) Les numéros entre parenthèses indiquent le nombre d'analyses qui ont servi à calculer la moyenne

Tableau 1 : Moyenne des analyses pour chaque minéral des couronnes

Lame mince 17-6-75 (suite)

	(5) opx III	(2) amph int	(4) amph mil	(4) amph ext	(2) bi int	(4) bi ext
SiO <sub>2</sub>	52.98	45.25	42.91	40.90	37.12	36.76
TiO <sub>2</sub>	.05	.61	.37	.38	2.25	2.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.77	10.69	13.03	15.43	15.63	15.26
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.05	.07	.03	.03	.01	.01
FeO(total)	21.23	11.03	12.54	12.40	12.16	15.84
MnO	.26	.08	.06	.02	-	-
MgO	23.56	15.86	14.43	13.23	17.79	14.79
CaO	.26	12.04	11.66	11.88	.18	.19
Na <sub>2</sub> O	-	2.13	2.17	2.80	.05	-
K <sub>2</sub> O	-	.40	.50	.72	9.17	9.05
Total	100.06	97.56	97.69	97.78	94.34	94.78

Formule recalculée

Si	1.9551	6.6087	6.3095	6.0424	5.5169	5.5344
Al	.0769	1.7381	2.2601	2.6880	2.7377	2.7093
Ti	.0013	.0666	.0412	.0422	.2514	.3270
Cr	.0013	.0077	.0031	.0030	.0006	.0009
Fe	.6553	1.3475	1.5423	1.5318	1.5122	1.9947
Mn	.0081	.0093	.0072	.0022	-	-
Mg	1.2960	3.4524	3.1623	2.9122	3.9400	3.3187
Ca	.0104	1.8836	1.8365	1.8804	.0287	.0299
Na	-	.6022	.6175	.8006	.0129	-
K	-	.0747	.0940	.1348	1.7380	1.7388
<u>Mg</u>	.6614	.7178	.6707	.6551	.7230	.6244
Mg+Fe+Mn						
Autre	66.06En	-	-	-	-	-

Tableau 1 : Moyenne des analyses pour chaque minéral des couronnes

Lame mince 17-6-75 (suite)

	(3) gr centre	(3) gr bor- dure	(5) plag 1(*)	(4) plag 2(*)	(4) plag 3(*)	(3) plag 4(*)
SiO <sub>2</sub>	38.93	38.88	46.25	55.33	55.09	55.15
TiO <sub>2</sub>	.03	.04	-	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.09	21.16	34.62	28.18	28.54	28.60
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.05	.06	-	-	-	-
FeO(total)	25.10	25.87	.16	.05	.05	.09
MnO	.82	.83	-	-	-	-
MgO	9.34	8.99	-	-	-	-
CaO	4.79	4.44	17.50	9.98	10.48	10.54
Na <sub>2</sub> O	.03	.02	1.42	5.81	5.52	5.39
K <sub>2</sub> O	-	-	.04	.14	.12	.16
Total	100.18	100.29	99.99	99.48	99.80	99.93

Formule recalculée

Si	5.9887	5.9881	-	-	-	-
Al	3.8241	3.8423	-	-	-	-
Ti	.0039	.0046	-	-	-	-
Cr	.0054	.0069	-	-	-	-
Fe	3.2284	3.3418	-	-	-	-
Mn	.1068	.1087	-	-	-	-
Mg	2.1402	2.0633	-	-	-	-
Ca	.7902	.7333	-	-	-	-
Na	.0099	.0070	-	-	-	-
K	.0007	-	-	-	-	-
<u>Mg</u>	.3908	.3748	-	-	-	-
<u>Mg+Fe+Mn</u>						
Autre	50.02alm	52.13alm	87.00an	48.33an	50.85an	51.47an
	4.55and	4.12and	12.74ab	50.85ab	48.43ab	47.60ab
	8.28gro	7.76gro	.26or	.83or	.75or	.90or
	35.09pyr	33.91pyr				
	1.75spe	1.69spe				
	.14uva	.17uva				

- (\*) plag 1 : dans la zone de grenat  
 plag 2 : centre des grains autour des couronnes  
 plag 3 : bordure des grains autour des couronnes  
 plag 4 : au hasard dans la lame mince

Tableau 2 : Moyenne des analyses pour chaque minéral des couronnes

Lame mince 24-5A-75

	(3)(*) ol	(2) alt. brun	(3) opx II int	(1) opx II ext	(1) cpx II	(2) opx III
SiO <sub>2</sub>	38.71	41.19	54.01	53.21	49.66	52.56
TiO <sub>2</sub>	.02	.01	.07	.02	.15	.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.05	.51	2.33	3.14	5.83	3.51
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.02	.02	.09	.05	.04	.02
FeO(total)	21.88	21.36	15.24	17.38	7.67	18.47
MnO	.19	.21	.24	.29	.08	.32
MgO	39.20	20.18	27.46	25.40	14.53	24.85
CaO	-	.31	.38	.31	20.60	.21
Na <sub>2</sub> O	-	.55	-	-	1.23	-
K <sub>2</sub> O	-	.01	-	-	.03	-
Total	100.06	84.32	99.81	99.80	99.82	99.96

Formule recalculée

Si	1.0026	-	1.9449	1.9346	1.8470	1.9186
Al	.0014	-	.0989	.1346	.2556	.1511
Ti	.0004	-	.0018	.0005	.0042	.0010
Cr	.0003	-	.0023	.0014	.0011	.0004
Fe	.4739	-	.4590	.5285	.2386	.5639
Mn	.0042	-	.0073	.0089	.0025	.0099
Mg	1.5132	-	1.4737	1.3763	.8054	1.3520
Ca	-	-	.0148	.0121	.8210	.0081
Na	-	-	-	-	.0887	-
K	-	-	-	-	.0014	-
<u>Mg</u>	.7599	.4840	.7597	.7192	.7696	.7021
Mg+Fe+Mn						
Autre	75.97Fo	-	75.67En .76Wo	71.80En .63Wo	43.18En 44.02Wo	70.27En .42Wo

(\*) Les numéros entre parenthèses indiquent le nombre d'analyses qui ont servi à calculer la moyenne

Tableau 2 : Moyenne des analyses pour chaque minéral des couronnes

Lame mince 24-5A-75 (suite)

	(4) sp III	(3) amph int	(4) plag int	(2) amph ext	(4) plag 1 (*)	(2) plag 2 (*)
SiO <sub>2</sub>	-	40.46	54.34	40.39	57.53	56.65
TiO <sub>2</sub>	.04	.81	-	.79	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	61.53	14.87	29.50	15.15	27.01	27.98
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.05	.04	-	.06	-	-
FeO(total)	27.28	11.35	.03	11.75	.05	.08
MnO	.09	.05	-	.12	-	-
MgO	11.73	14.02	-	13.18	-	-
CaO	-	11.54	10.85	11.34	8.25	9.30
Na <sub>2</sub> O	-	2.94	5.30	3.22	6.62	5.98
K <sub>2</sub> O	-	.90	.07	.85	.13	.12
Total	100.72	96.99	100.18	96.82	99.54	100.09

Formule recalculée

Si	-	6.0159	-	6.0255	-	-
Al	15.5510	2.6056	-	2.6638	-	-
Ti	.0057	.0902	-	.0881	-	-
Cr	.0073	.0045	-	.0062	-	-
Fe	4.8908	1.4113	-	1.4660	-	-
Mn	.0159	.0067	-	.0152	-	-
Mg	3.7457	3.1065	-	2.9293	-	-
Ca	-	1.8385	-	1.8119	-	-
Na	-	.8485	-	.9300	-	-
K	-	.1714	-	.1618	-	-
<u>Mg</u>	.4329	.6864	-	.6642	-	-
<u>Mg+Fe+Mn</u>						
Autre	-	-	52.98an 46.60ab .40or	-	40.53an 58.80ab .73or	45.90an 53.40ab .70or

(\*) plag 1 : centre des grains autour des couronnes  
 plag 2 : bordure des grains autour des couronnes

manque de 13 à 16% au total des oxydes).

#### 6.4.4.3 Orthopyroxène II:

L'opx II le plus rapproché du centre des couronnes (et donc de l'olivine) a un rapport  $Mg/Mg+Fe+Mn$  semblable à celui de l'olivine, soit environ 0.76 dans les deux lames minces étudiées (17-6-75 et 24-5A-75). Il semble ainsi évident que l'opx II soit dérivé de l'olivine. Le graphique de la figure 5 montre les variations du Fe et du Mg dans l'opx II de la lame mince 17-6-75 en fonction de la position des analyses dans la couronne; en s'éloignant du centre de la couronne, le contenu en Mg de l'opx II baisse et le contenu en Fe augmente de façon graduelle. La composition de l'opx II passe de 77.5% En au centre, à 66.1% En en bordure dans une lame mince (17-6-75), et de 77.4% En à 71.8% En dans l'autre lame mince (24-5A-75).

#### 6.4.4.4 Clinopyroxène II:

Les seuls grains de clinopyroxène qui restent se trouvent en bordure immédiate des grains d'opx II. Les analyses à la micro-sonde de trois grains de cpx montrent que ceux-ci ont un rapport  $Mg/Mg+Fe+Mn$  légèrement plus élevé que celui de l'olivine (aussi celui de l'opx II de l'intérieur) avec laquelle ils coexistent (cpx II,  $Mg/Mg+Fe+Mn = .79$  et

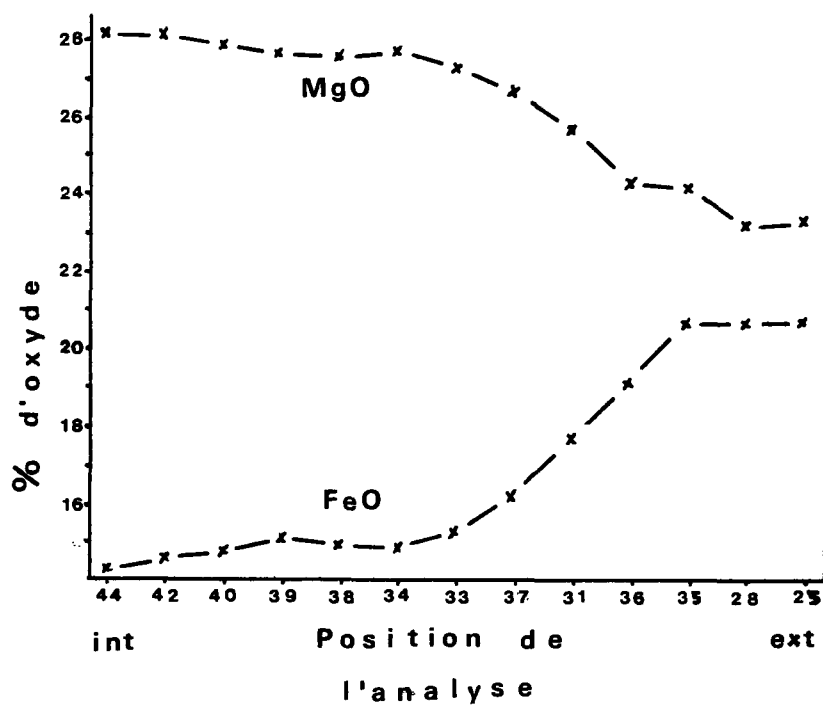


FIGURE 5: VARIATION DU MgO  
 ET DU FeO DANS L'OPXII DE LA  
 LAME MINCE 17-6-75 EN FONCTION  
 DE LA POSITION DE L'ANALYSE  
 DANS LA COURONNE

.77; olivine,  $Mg/Mg+Fe+Mn = .76$  et  $.76$ ; lames minces 17-6-75 et 24-5A-75 respectivement). Le rapport  $Mg/Mg+Fe+Mn$  du cpx II est beaucoup plus élevé que celui de l'opx II adjacent à lui (opx II ext,  $Mg/Mg+Fe+Mn = .67$  et  $.72$ ; dans lames minces 17-6-75 et 24-5A-75 respectivement).

#### 6.4.4.5 Orthopyroxène III:

Les grains d'orthopyroxène associés avec la pargasite sont considérés comme tertiaires. L'analyse à la micro-sonde de ces grains montrent qu'ils sont chimiquement peu différents des grains d'opx II. L'enrichissement en Fe de l'intérieur vers l'extérieur de la couronne noté dans la zone d'opx II, se poursuit dans les grains d'opx III et se traduit par un rapport  $Mg/Mg+Fe+Mn$  plus petit pour ces derniers.

#### 6.4.4.6 Spinelle III:

Des grains de spinelle inclus dans la pargasite ou l'opx III ont été analysés à la micro-sonde. Les résultats indiquent que le spinelle III est relativement riche en fer, avec un rapport moyen  $Mg/Mg+Fe+Mn$  de  $.43$ .

#### 6.4.4.7 Amphibole (pargasite):

Les amphiboles analysées montrent que le fractionnement pour le Fe et pour le Mg est le même que celui observé dans la couche d'opx II. Les amphiboles les plus riches en Mg ( $Mg/Mg+Fe+Mn = 0.72$  et  $0.69$ ; dans lames minces 17-6-75 et 24-5A-75 respectivement) se trouvent à l'intérieur de la couronne et ceux qui sont les plus riches en Fe ( $Mg/Mg+Fe+Mn = 0.64$  et  $0.66$  dans 17-6-75 et 24-5A-75 respectivement) sont à l'extérieur de la couronne. La proportion de FeO contenue dans les amphiboles est plus grande que celle contenue dans le clinopyroxène II adjacent; la proportion de MgO demeure semblable dans les deux cas.

#### 6.4.4.8 Biotite:

Les résultats des analyses des grains de biotite de la lame mince 17-6-75 montrent que les grains en bordure immédiate de la couronne sont plus magnésiens que les grains plus éloignés ( $Mg/Mg+Fe+Mn = 0.72$  contre  $0.62$  respectivement). Les rapports  $Mg/Mg+Fe+Mn$  de la biotite sont semblables à ceux des amphiboles. Les principales différences chimiques entre ces deux minéraux hydratés sont: la concentration du  $K_2O$  et du  $TiO_2$  dans la biotite et la concentration du  $CaO$  et du  $Na_2O$  dans l'amphibole.

#### 6.4.4.9 Grenat:

Les grenats analysés proviennent de la lame mince 17-6-75. Les résultats des analyses montrent qu'ils sont riches en Fe, Mg et Ca. Leur rapport  $Mg/Mg+Fe+Mn$  est beaucoup plus bas que ceux de tous les autres minéraux ferro-magnésiens des couronnes soit 0.38. La bordure de chaque grain analysé est légèrement enrichie en Fe et appauvrie en Mg et en Ca par rapport au coeur.

#### 6.4.4.10 Plagioclase:

L'analyse à la micro-sonde du centre et de la bordure de plusieurs grains de plagioclase a confirmé l'existence d'un zonage inverse pour les plagioclases autour des couronnes. Dans la lame mince qui contient du grenat (17-6-75), le % An augmente en moyenne de 2.5% An sur la bordure des grains de plagioclase alors que dans la lame mince sans grenat (24-5A-75), le % An augmente en moyenne de 5% An. On trouve les plagioclases les plus calciques ( $An_{87}$  en moyenne) dans la zone de grenat, alors que dans la zone d'amphibole, la composition est variable ( $An_{47}$  à  $An_{64}$ ) et la moyenne se situe autour de  $An_{53}$ . A quelques centimètres des couronnes, les plagioclases ont une composition d'environ  $An_{51}$  d'après les analyses faites à la micro-sonde; cette composition diffère peu de la composition trouvée par la

méthode de Michel-Lévy ( $An_{54}$ ).

#### 6.4.5 Interprétation des résultats des analyses chimiques des minéraux des couronnes:

##### 6.4.5.1 Olivine:

L'olivine montre un léger enrichissement en Mg (1% Fo) en bordure du cristal par rapport au centre. Cette tendance, si elle est réelle, pourrait expliquer la présence d'une mince pellicule de magnétite sur le pourtour du cristal d'olivine. Une oxydation de l'olivine pourrait provoquer la formation de la magnétite au dépens de l'olivine qui s'enrichirait du même coup en Mg, d'abord sur la bordure, puis progressivement vers le centre par un mécanisme d'homogénéisation. L'olivine originale aurait donc été plus riche en Fe que ne le montrent les analyses.

##### 6.4.5.2 Altération brunâtre des olivines:

L'eau semble former un constituant majeur de cette altération. Il est donc probable que cette altération se soit formée à partir de l'olivine en même temps que les amphiboles de la couche externe, lors d'une phase d'hydratation.

#### 6.4.5.3 Orthopyroxène II:

L'opx II montre en enrichissement en Mg de l'extérieur vers l'intérieur de la couronne. Plusieurs auteurs ont noté que l'orthopyroxène a un plus haut rapport  $Mg/Mg+Fe+Mn$  que l'olivine avec laquelle il coexiste (Grieve and Gittins, 1975; Reynolds and Fredrickson, 1962; Ramberg and DeVore, 1951). Si cette observation est juste, l'olivine qui était en équilibre avec l'opx II de l'extérieur (si la composition de ce dernier n'a pas changé depuis sa formation) devait alors avoir un rapport  $Mg/Mg+Fe+Mn$  beaucoup plus bas que celui calculé d'après les analyses (composition de l'olivine originale d'au plus 66% Fo au lieu de 76% Fo calculé). A mesure que progresse la réaction entre l'olivine et le plagioclase, il faut que l'olivine s'enrichisse en Mg pour former de l'orthopyroxène de plus en plus magnésien de l'extérieur vers l'intérieur de la couronne tel qu'observé dans les analyses. Le Fe en excès produit par cette réaction doit être alors soit expulsé à l'extérieur de la couronne, soit plus probablement concentré sous forme de magnétite sur le pourtour du cristal d'olivine.

o

#### 6.4.5.4 Clinopyroxène II:

En état d'équilibre, le degré de partition du fer et du magnésium dans l'orthopyroxène et le clinopyroxène

coexistants est en fonction de la température et de la pression (Kretz, 1963). Le coefficient de distribution ( $K_D$ ) est défini par:

$$K_D(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2}) = [X^{\text{O}}\text{Mg} \cdot (1 - X^{\text{C}}\text{Mg})] / [(1 - X^{\text{O}}\text{Mg}) \cdot X^{\text{C}}\text{Mg}]$$

où X est la fraction moléculaire de magnésium pour l'orthopyroxène (<sup>o</sup>) ou pour le clinopyroxène (<sup>c</sup>) (Deer, Howie and Zussman, 1971).

Un  $K_D$  de 0.73 signifie, d'après Kretz (1963), que les deux pyroxènes qui coexistent se sont cristallisés à des températures ignées, alors qu'un  $K_D$  de 0.54 indique des températures métamorphiques.

Le  $K_D$  des clinopyroxènes a été calculé en fonction de l'orthopyroxène de l'intérieur (i) et de l'extérieur (e) des couronnes, successivement:

Lame mince 17-6-75		Lame mince 24-5A-75	
opx	cpx	opx	cpx
-grain 11 et 44 (i): $K_D=0.62$		-grain 16 et 25 (i): $K_D=0.72$	
-grain 11 et 25 (e): $K_D=0.92$		-grain 16 et 18 (e): $K_D=0.88$	
-grain 12 et 44 (i): $K_D=0.65$			
-grain 12 et 25 (e): $K_D=0.97$			

Les valeurs 0.92, 0.97 et 0.88 sont beaucoup trop élevées pour être réalistes. Il semble que le clinopyroxène

ait été en équilibre avec l'orthopyroxène de l'intérieur (opx IIint) de la couronne et non pas avec l'opx qui lui est adjacent (opx IIext). Les valeurs de  $K_D$  obtenues entre le cpx et l'opx de l'intérieur de la couronne sont cependant encore trop élevées car une correction pour le  $Fe^{+3}$  présent dans les deux phases devrait être faite pour obtenir le  $K_D$  réel (Grieve and Gittins, 1975).

#### 6.4.5.5 Amphibole:

L'amphibole montre le même enrichissement en Mg de l'extérieur vers l'intérieur de la couronne que celui montré par l'orthopyroxène II. Si l'on accepte que l'amphibole (et ses minéraux associés) provient de l'hydratation de la couche de cpx II, comme il est suggéré dans les déductions pétrologiques sur les couronnes (page 87), on peut supposer que le cpx II (et le spinelle?) montrait, avant la phase d'hydratation un enrichissement en Mg vers l'intérieur de la couronne semblable à celui observé dans la couche d'amphibole. Cette hypothèse s'appuie sur le fait que les grains de cpx II reliques sont relativement plus magnésiens que les grains d'amphibole adjacents aux cpx II, poursuivant ainsi la même polarité d'enrichissement en Mg vers l'intérieur de la couronne que celle observée dans la couche d'amphibole.

## 6.4.5.6 Orthopyroxène III:

Les grains d'opx III analysés sont tous plus riches en Fe que les grains d'opx II de bordure. D'après les réactions 2 et 3 (voir page 87 et 89), l'opx III se serait formé en même temps que l'amphibole à partir du cpx II lors d'une phase d'hydratation. Le cpx II se trouvant en bordure de l'opx II, on peut supposer que si de l'orthopyroxène s'était formé à la place du cpx II, cet orthopyroxène aurait été plus riche en Fe que ne l'est l'opx II de bordure, d'après les observations faites sur la variation du rapport  $Mg/Mg+Fe+Mn$  dans la couche d'opx II. Il semble alors raisonnable de penser que l'opx III, dérivé du cpx II, aura une composition plus riche en Fe que l'opx II de bordure à cause de sa position par rapport à ce dernier dans la couronne (voir schéma de la figure 6).

Figure 6 : Schéma hypothétique expliquant le rapport

Mg/Mg+Fe+Mn de l'opx III:

Situation après la réaction 1 (page 91)

	opx II Mg/Mg+Fe+Mn	cpx II (+spinnelle) Mg/Mg+Fe+Mn	Plagioclase
olivine			

Les rapports  $Mg/Mg+Fe+Mn$  sont théoriquement un peu plus élevés pour le cpx de la position 1 par rapport à l'orthopyroxène de la position A, 2 par rapport à B, etc. Le cpx 4 a cristallisé en équilibre avec l'opx D qui se forme à partir de l'olivine; le cpx 4 remplace l'opx A. L'hydratation du cpx 4 donnera de la pargasite et de l'opx III; ce dernier reprendra la composition de l'opx A, soit un rapport  $Mg/Mg+Fe+Mn$  plus bas qu'en B.

#### 6.4.5.7 Spinelle:

La photo 24-5A-C (voir planche XVI-C) montre que le spinelle (taches noires sur la photo) se trouve à quelques millimètres du clinopyroxène II (position 16 sur la photo). Cette situation pourrait s'expliquer si l'on suppose que l'amphibole et l'opx III remplacent le cpx II en conservant en partie les éléments du cpx II de façon métastable (c'est-à-dire sans tenir compte des conditions de température et de pression qui devraient imposer certaines restrictions sur la distribution du Fe et du Mg dans les nouveaux minéraux formés). L'équilibre serait ensuite rétabli lorsque le spinelle forme des inclusions dans l'amphibole et l'opx III. Si un tel mécanisme est possible, les amphiboles et les opx III analysés (qui ne contiennent pas d'inclusions de spinelle) seraient plus riches en Fe et Al que les amphiboles et les opx III contenant des inclusions de spinelle (les

amphiboles et les opx III avec inclusions de spinelle n'ont pas été analysés).

Il est aussi possible que le spinelle III représente les restes du spinelle II qui n'auraient pas participé à la réaction 2 et/ou 3 (page 93 et 95).

#### 6.4.5.8 Biotite:

La formation de la biotite nécessite l'apport d'une petite quantité de potassium. Cet élément peut provenir soit des plagioclases recristallisés de l'anorthosite, soit d'un métasomatisme. Dans l'un ou l'autre cas, la quantité de potassium apportée est faible puisque la quantité de biotite cristallisée dans les couronnes est négligeable.

#### 6.4.5.9 Grenat:

Les conditions de formation du grenat ont déjà été discutées dans la partie "déduction pétrologique" (pages 93 à 96). Le faible rapport  $Mg/Mg+Fe+Mn$  du grenat calculé à partir des analyses faites à la micro-sonde souligne l'importance d'une bonne source en Fe pour la formation de ce minéral.

#### 6.4.5.10 Plagioclase:

Les analyses à la micro-sonde des grains de plagioclase indiquent que:

- a) le centre des grains de plagioclase en bordure des couronnes est plus sodique que le plagioclase "normal" de l'anorthosite;
- b) la bordure des grains de plagioclase près des couronnes est plus calcique que le centre (zonage inverse);
- c) les plagioclases analysés dans la zone de grenat sont excessivement calciques.

On peut en déduire que:

- a) le centre sodique des grains a été formé par la réaction 1;
- b) la bordure calcique des grains a été formée par les réactions 2 et/ou 3.
- c) lorsque la couche de grenat est bien formée, la diffusion d'éléments (ou d'ions) à l'extérieur de la couronne par la réaction 3 est empêchée; le résultat est un plagioclase très calcique dans la zone de grenat.

#### 6.4.6 Discussion sur la formation des couronnes:

La plupart des auteurs récents s'entendent pour dire que

les textures coronitiques proviennent de la réaction entre un minéral mafique primaire (olivine, orthopyroxène, clinopyroxène ou magnétite-ilménite) et du plagioclase (Sapountzis, 1975; Gardner and Robins, 1974; Whitney, 1973; Griffin and Heier, 1973; et plusieurs autres). Griffin and Heier et d'autres (Gardner and Robins, 1974; Sapountzis, 1975, etc.) suggèrent qu'un métamorphisme décroissant (baisse de température et/ou de pression) pendant et après la mise en place suffit pour expliquer la formation de la plupart de ces couronnes et que la chimie originale est conservée (sauf pour l'eau dans le cas où la couronne contient des amphiboles).

Les principaux éléments impliqués dans la réaction sont Fe, Mg, Ca et Al. Si seuls les éléments provenant de l'olivine (Fe et Mg) sont susceptibles de migrer, le contact opx-cpx (ou opx-amphibole) représente alors le contact olivine-plagioclase original (Murthy, 1958; Mason, 1967). Il a été observé cependant que le calcium et l'aluminium aussi migraient (Griffin and Heier, 1973; McLelland, 1977) puisque les plagioclases entourant ces couronnes sont plus sodiques que les plagioclases à une certaine distance des couronnes. Il faut alors supposer que le contact olivine-plagioclase original n'est plus conservé dans les couronnes et qu'il se trouverait quelque part dans la couche de clinopyroxène (ou d'amphibole) tel qu'observé par Grieve et Gittins (1974).

Certains auteurs ont tenté d'écrire une équation balancée de la réaction à partir de quelques analyses

chimiques des principales phases faites à la micro-sonde et d'une composition normative de la couronne (Grieve and Gittins, 1974; England, 1974). Ces auteurs n'arrivent pas, même en assumant une migration des contacts (Grieve and Gittins, 1974) à établir une équation balancée pour la plupart des oxydes et ils concluent que l'olivine originale devait être plus riche en magnésium que ne l'indique l'analyse de l'olivine relique. Dans la présente étude, la partition du fer et du magnésium dans l'orthopyroxène II spécialement, mais aussi dans l'olivine et dans les amphiboles tend à démontrer que l'olivine primaire devait être au contraire plus riche en fer et qu'elle est devenue magnésienne à mesure que la réaction 1 a progressé.

Du plagioclase montrant un zonage inverse ( $An_{53}$  à  $An_{64}$  et  $An_{23}$  à  $An_{45}$ ) a été rapporté par England (1974) autour des couronnes qu'il a décrites. Celles-ci contiennent de la cummingtonite et de la hornblende pargasitique dans leurs bordures. L'hydratation de la bordure de la couronne semble ici aussi avoir provoqué le zonage inverse des plagioclases. Cette phase hydratée ne peut être que d'origine métasomatique et il est possible que d'autres éléments (par exemple le potassium contenu dans les amphiboles et la biotite) soient introduits dans le système en même temps que l'eau.

#### 6.4.7 Description de la formation des couronnes de l'anorthosite de Borgia:

A partir des observations pétrologiques et chimiques faites précédemment, nous allons décrire, à l'aide des schémas de la figure 7, les changements minéralogiques et chimiques qui ont pu se produire pendant la formation des couronnes.

##### Schéma A:

Avant la phase de recristallisation qui a affecté l'anorthosite, l'olivine est en contact et en équilibre avec le plagioclase. On suppose que les cristaux primaires étaient gros et semblables à ceux d'autres anorthosites non recristallisés. La présence d'un gros cristal d'olivine, sans doute protégé par son enveloppe coronitique, rend cette hypothèse plausible.

##### Schéma B:

Pendant la phase de recristallisation, l'olivine et le plagioclase deviennent hors d'équilibre et de nouveaux minéraux se forment au contact entre ces deux minéraux primaires. L'opx II se forme au dépens de l'olivine à mesure que celle-ci perd du Fe et du Mg. Ces éléments se combinent avec du Ca et de l'Al fourni par le plagioclase pour former du cpx II et du spinelle II en bordure et au dépens de l'opx

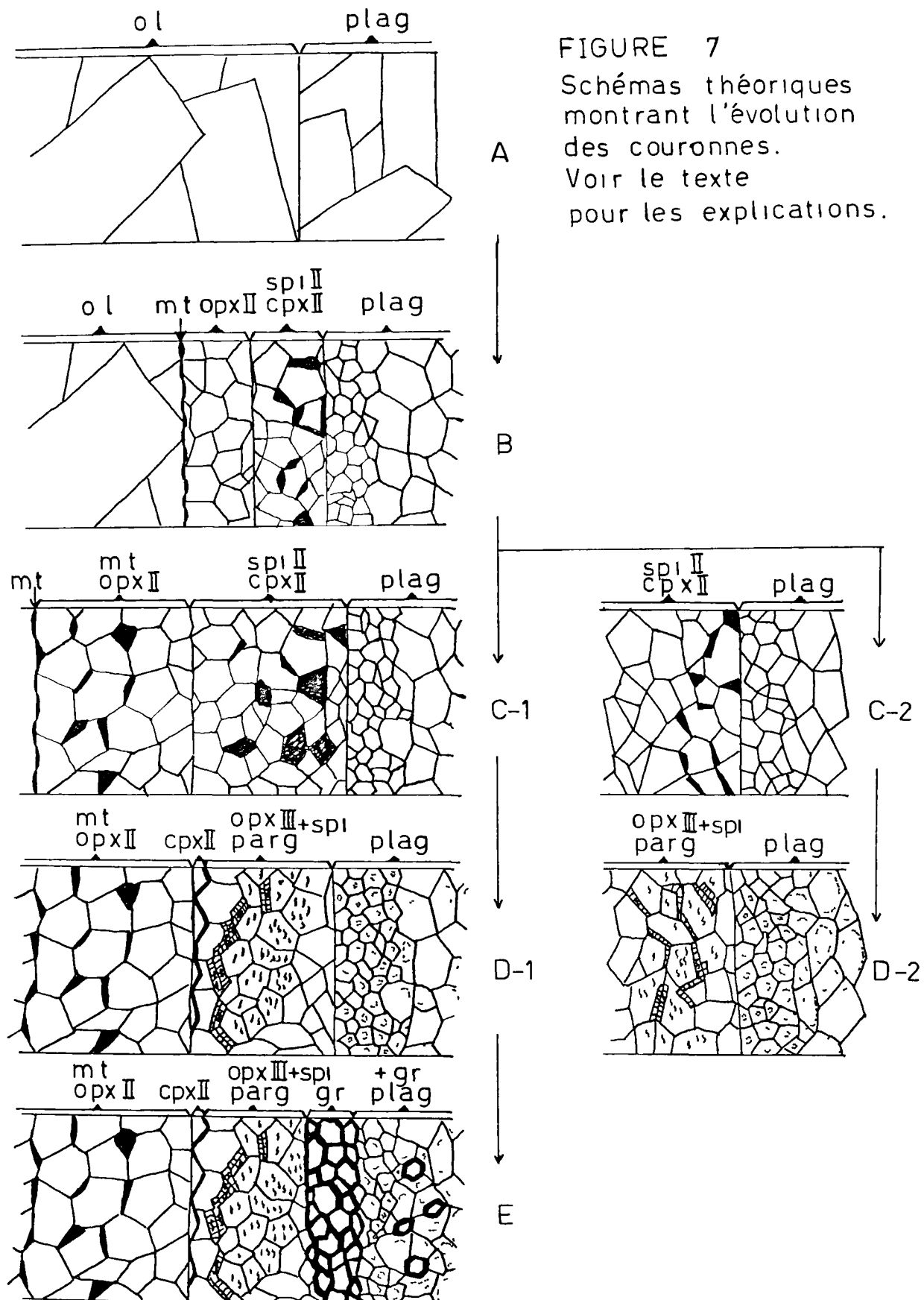


FIGURE 7  
Schémas théoriques  
montrant l'évolution  
des couronnes.  
Voir le texte  
pour les explications.

II. L'opx II, le cpx II et le spinelle II se forment avec une texture polygonale indiquant que le taux de croissance des minéraux est grand par rapport au taux de nucléation (Griffin and Heier, 1973).

A mesure que la réaction se poursuit au dépens de l'olivine, le contact olivine-opx II se déplace vers l'intérieur, de même que le contact opx II-cpx II + spinelle II. Le spinelle II, riche en aluminium, a probablement tendance à se masser entre la plagioclase et le cpx II. Ce dernier contact migre probablement vers l'extérieur de la couronne à mesure que le Fe et le Mg, provenant de l'olivine et non utilisés par les deux couches formées, se combinent avec le Ca et l'Al fournis par la plagioclase pour former du cpx II et du spinelle II.

D'après l'interprétation des analyses chimiques, il semble que l'olivine perde plus rapidement le Fe que le Mg; on constate en effet que:

- 1- l'olivine est plus magnésienne en bordure qu'au coeur;
- 2- une pellicule de magnétite s'individualise entre l'olivine et l'opx II;
- 3- la couche d'opx II est plus magnésienne à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Les plagioclases adjacents aux couronnes perdent une partie du Ca et de l'Al au dépens du cpx II et du spinelle II formés. La composition des plagioclases en bordure des

couronnes devient alors plus sodique que la composition des plagioclases éloignés des couronnes. Il est possible, qu'un haut taux de diffusion des éléments en bordure des couronnes favorise un haut taux de nucléation des grains de plagioclase à cet endroit; ces grains seront alors plus petits que les grains plus éloignés des couronnes.

#### Schéma C-1:

La réaction progresse jusqu'à l'épuisement de l'olivine ou bien jusqu'à ce que les conditions de température et de pression ne permettent plus l'échange rapide d'ions.

#### Schéma C-2:

Si, même après la disparition de l'olivine, le cpx II continue à se former au dépens de l'opx II, le résultat final donne un agrégat de cpx II entouré de plagioclase sodique. Les petits agrégats de minéraux noirs sont les plus susceptibles de poursuivre cette réaction jusqu'au bout.

#### Schéma D-1:

Pendant une phase de métasomatisme, le cpx II en bordure des couronnes est transformé en pargasite et en opx III. Le Ca et l'Al dégagés par cette réaction sont transférés aux plagioclases en bordure des couronnes; les plagioclases fournissent le Na nécessaire aux amphiboles et les

grains de plagioclase montrent un zonage inverse. Si la quantité de  $H_2O$  est suffisante pour attaquer aussi le coeur d'opx II, celui-ci est transformé en anthophyllite et en cummingtonite. Il est possible que la pargasite et l'opx III se forment de façon métastable au dépens du cpx II et que du spinelle III s'individualise par la suite sous forme d'inclusions dans la pargasite et l'opx III.

#### Schéma D-2:

Si le coeur d'opx II est complètement transformé en cpx II avant que la phase de métasomatisme survienne (schéma C-2), le cpx II est alors transformé en agrégat de pargasite et d'opx III ( $\pm$  spinelle III) entouré de grains de plagioclase avec zonage inverse. Puisque seules les petites couronnes sont susceptibles de prendre l'état du schéma C-2, une faible quantité de  $H_2O$  est suffisante pour transformer tout le cpx II qui n'est alors à peu près jamais conservé au coeur de ces petits agrégats de pargasite et d'opx III ( $\pm$  spinelle).

#### Schéma E:

Une quantité optimum de  $H_2O$  et peut-être aussi l'apport de Fe d'une source extérieure à la couronne permettrait la formation de grenat en bordure des couronnes. Une trop grande quantité de  $H_2O$  favoriserait la formation des minéraux hydratés (pargasite  $\pm$  biotite), alors qu'une trop faible

quantité de H<sub>2</sub>O empêcherait la diffusion rapide des éléments à l'extérieur de la couronne et favoriserait le développement de l'opx III dans la couche de pargasite. Une source extérieure de Fe semble indiquée car des grains de grenat sont interstitiels entre les plagioclases à quelques millimètres des agrégats coronitiques. Du plagioclase très calcique (bytownite) se forme à l'intérieur de la couche de grenat lorsque celle-ci est hermétique à la diffusion des éléments à l'extérieur des couronnes.

#### 6.4.8 Géothermomètre et géobaromètre basés sur les compositions chimiques des couronnes:

##### 6.4.8.1 Géothermomètre:

Wood et Banno (1973) et Wells (1977) ont chacun établi, à l'aide de données expérimentales, une formule empirique permettant de calculer la température de formation de l'assemblage opx-cpx en état d'équilibre, connaissant la composition chimique de ces deux minéraux. En théorie, l'activité de la composante Mg<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub> dans l'orthopyroxène (a<sub>Mg<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub><sup>opx</sup>) coexistants en état d'équilibre, et le contenu en Fe<sup>2+</sup> par rapport à Fe<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> dans l'orthopyroxène (X<sub>Fe</sub><sup>opx</sup>), seraient fonction de la température et seraient à peu près indépendants de la pression (Wood and Banno, 1973; Wells, 1977).</sub>

D'après Wood et Banno (1973), on doit supposer que:

- 1- Les phases d'orthopyroxène et de clinopyroxène agissent comme des solutions idéales contenant deux sites dans lesquels on retrouve les composantes  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  et  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  dans des proportions qui varient en fonction de la température. La présence d'un solvus dans le système nous indique que l'activité "idéale" de la composante  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  dans l'orthopyroxène et dans le clinopyroxène, calculée à partir de la composition chimique de chacun des pyroxènes, ne peut pas être l'activité réelle de la composante  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  dans les pyroxènes; cependant il appert que l'activité "idéale" calculée et l'activité réelle vont varier systématiquement l'une par rapport à l'autre.
- 2- La solution des composantes de l'orthopyroxène ( $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6 + \text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ) dans la phase de clinopyroxène augmente avec l'addition de  $\text{Fe}^{2+}$  dans le système.
- 3- L'addition de  $\text{Al}^{3+}$  dans le système ne change pas la solubilité des composantes des pyroxènes de façon significative.
- 4- En variant la pression entre 1 bar et 30 Kbars dans un système cristallisant l'orthopyroxène et le clinopyroxène, on ne modifie la température d'équilibre (si le rapport de l'activité du  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  dans les deux pyroxènes est constant) que de 50°C ou moins.

On calcule la température de formation (en °C) de deux

pyroxènes cristallisés en état d'équilibre à l'aide des formules suivantes:

$$T(^{\circ}\text{C}) = (-10202/(\ln(K)-7.65 X_{\text{Fe}}^{\text{opx}} + 3.88(X_{\text{Fe}}^{\text{opx}})^2 -4.6)) - 273$$

(Wood and Banno, 1973) (1)

$$T(^{\circ}\text{C}) = (7341/(3.355 + 2.44 X_{\text{Fe}}^{\text{opx}} - \ln K)) - 273$$

(Wells, 1977) (2)

où:  $X_{\text{Fe}}^{\text{opx}} = (\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+}))_{\text{opx}}$  (3)

et:  $K = a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{cpx}} / a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{opx}}$  (4)

On trouve l'activité "idéale" de la composante  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  dans chacune des phases par la formule suivante:

$$a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{minéral}} = (\text{Mg}^{2+}/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{Na}^+))_{\text{M}_2} \times (\text{Mg}^{2+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+} + \text{Ti}^{4+} + \text{Cr}^{3+} + \text{Mg}^{2+}))_{\text{M}_1}$$

(5)

où  $\text{M}_2$  et  $\text{M}_1$  représentent les positions que peut prendre le Mg et le Fe dans la structure cristalline des pyroxènes. Pour calculer le  $\text{Mg}^{2+}$  et le  $\text{Fe}^{2+}$  dans les positions  $\text{M}_2$  et  $\text{M}_1$ , on suppose que la distribution des ions  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{2+}$  dans les sites  $\text{M}_2$  et  $\text{M}_1$  pour chacune des phases se fait au hasard après

avoir "bloqué" les autres ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , ...) qui peuvent prendre les positions  $M_2$  et  $M_1$ . On a donc:

$$\begin{aligned} (\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+})_{M_2} &= (\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+})_{M_1} = \\ &(\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+})_{\text{minéral}} \end{aligned} \quad (6)$$

Les analyses à la micro-sonde des pyroxènes des couronnes nous permettent de calculer la formule chimique de ces minéraux par rapport à 6 oxygènes. On doit cependant évaluer le contenu en  $\text{Al}^{\text{IV}}$ ,  $\text{Al}^{\text{VI}}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Fe}^{2+}$  dans chacun de ces minéraux puisque l'analyse à la micro-sonde ne nous permet pas de calculer ces valeurs. La méthode décrite par McLelland et Whitney (1977) a été retenue:

$$\text{Al}^{\text{IV}} = 2.0 - \text{Si}^{\text{IV}} \quad (7)$$

$$\text{Al}^{\text{VI}} = \text{Al}^{\text{total}} - \text{Al}^{\text{IV}} \quad (8)$$

$$\text{Fe}^{3+} = (\text{Al}^{\text{IV}} + \text{Na}) - (\text{Al}^{\text{VI}} + 2\text{Ti}^{\text{VI}}) \quad (9)$$

$$\text{Fe}^{2+} = \text{Fe}^{\text{total}} - \text{Fe}^{3+} \quad (10)$$

Tous ces calculs ont été faits à partir de la moyenne des analyses chimiques des grains d'opx de l'intérieur de la couronne, de la moyenne des analyses des grains d'opx de l'extérieur, et de la moyenne des analyses des grains de cpx,

et ce pour les lames minces 17-6-75 (T1 dans le tableau 3) et 24-5A-75 (T1 dans le tableau 4). Nous avons aussi calculé les températures de formation de l'opx et du cpx en considérant tout le fer présent sous forme de  $\text{Fe}^{2+}$ ; les températures ainsi trouvées (TII dans les tableaux 3 et 4) sont au maximum 250°C plus basses que les températures où l'on tient compte de l'oxydation du fer. De même les températures trouvées en supposant que tout l'Al est sous forme de  $\text{Al}^{\text{VI}}$  et le fer sous forme de  $\text{Fe}^{2+}$  sont au maximum 650°C plus élevées que les températures calculées en corrigeant l' $\text{Al}^{\text{IV}}$  et le  $\text{Fe}^{3+}$  (TIII dans les tableaux 3 et 4).

D'après les résultats qui précèdent, le pourcentage d'erreur maximum dû aux corrections apportées pour le  $\text{Fe}^{3+}$  et l' $\text{Al}^{\text{IV}}$  nous oblige à placer les températures dans les limites suivantes:

lame mince 17-6-75:

Équation de Wells:	opx IIint - cpx II :	870 ± 370°C
	opx IIext - cpx II :	875 ± 360°C
Équation de Wood-Banno:	opx IIint - cpx II :	905 ± 280°C
	opx IIext - cpx II :	869 ± 260°C

lame mince 24-5A-75:

Équation de Wells:	opx IIint - cpx II :	964 ± 320°C
	opx IIext - cpx II :	972 ± 350°C
Équation de Wood-Banno:	opx IIint - cpx II :	971 ± 230°C
	opx IIext - cpx II :	957 ± 250°C

Tableau 3: Formules chimiques des minéraux permettant de calculer la température de formation des couronnes  
Lame mince 17-6-75

	opx IIint	opx IIext	cpx II
Si	1.9470	1.9595	1.9253
Al IV	.0530	.0405	.0747
Al VI	.0426	.0353	.0278
Ti	.0027	.0018	.0031
Cr	.0006	.0005	.0016
Fe 3+	.0050	.0016	.0561
Fe 2+ M2	.2250	.3208	.0102
Fe 2+ M1	.2171	.3160	.1531
Mn	.0069	.0082	.0014
Mg M2	.7595	.6546	.0512
Mg M1	.7331	.6449	.7716
Ca	.0097	.0165	.9351
Na	-	-	.0154
K	-	-	.0017
%En	76.57	66.49	41.62
%Wo	.50	.84	47.29
Pds% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.25	1.75	2.35
Mg 2+	.7715	.6711	.8344
Mg 2+ + Fe 2+			
I Al IV et Fe 3+ corrigés			
minéral $a_{Mg_2Si_2O_6}$	.5556	.4221	.0385
$X_{Fe}^{opx}$	.2285	.3289	-
II Al IV corrigé, Fe 3+ non corrigé			
minéral $a_{Mg_2Si_2O_6}$	.5556	.4221	.0366
$X_{Fe}^{opx}$	.2305	.3294	-
III Al IV et Fe 3+ non corrigés			
minéral $a_{Mg_2Si_2O_6}$	.5265	.4052	.0526
$X_{Fe}^{opx}$	.2305	.3294	-

Tableau 3: Formules chimiques des minéraux permettant de calculer la température de formation des couronnes  
Lame mince 17-6-75 (suite)

Equation de Wood-Banno	T I (*)	T II	T III
opx IIint-cpx II	884°C	876°C	933°C
opx IIext-cpx II	849°C	843°C	894°C
Equation de Wells			
opx IIint-cpx II	842°C	833°C	907°C
opx IIext-cpx II	847°C	839°C	911°C

(\*) T I, T II, T III d'après les valeurs de  $a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{minéral}}$   
et  $X_{\text{Fe}}^{\text{opx}}$  en I, II et III.

Tableau 4: Formules chimiques des minéraux permettant de calculer la température de formation des couronnes  
Lame mince 24-5A-75

	opx IIint	opx IIext	cpx II
Si	1.9449	1.9346	1.8470
Al IV	.0551	.0654	.1530
Al VI	.0438	.0692	.1026
Ti	.0018	.0005	.0042
Cr	.0023	.0014	.0011
Fe 3+	.0077	-	.1307
Fe 2+ M2	.2510	.2712	.0142
Fe 2+ M1	.2002	.2573	.0937
Mn	.0073	.0089	.0025
Mg M2	.8198	.7062	.1057
Mg M1	.6540	.6700	.6997
Ca	.0148	.0121	.8210
Na	-	-	.0887
K	-	-	.0014
%En	75.67	71.80	43.18
%Wo	.76	.63	44.02
Pds% Al2O3	2.33	3.14	5.83
Mg 2+	.7656	.7225	.8819
Mg 2+ + Fe 2+			
I Al IV et Fe 3+ corrigés			
$a_{\text{minéral}}^{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}$	.5392	.4747	.0694
$X_{\text{Fe}}^{\text{opx}}$	.2344	.2775	-
II Al IV corrigé, Fe 3+ non corrigé			
$a_{\text{minéral}}^{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}$	.5353	.4747	.0619
$X_{\text{Fe}}^{\text{opx}}$	.2375	.2775	-
III Al IV et Fe 3+ non corrigés			
$a_{\text{minéral}}^{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}$	.5120	.4437	.0806
$X_{\text{Fe}}^{\text{opx}}$	.2375	.2775	-

Tableau 4: Formules chimiques des minéraux permettant de calculer la température de formation des couronnes  
Lame mince 24-5A-75 (suite)

Equation de Wood-Banno	T I (*)	T II	T III
opx IIint-cpx II	967°C	948°C	995°C
opx IIext-cpx II	949°C	933°C	982°C
Equation de Wells			
opx IIint-cpx II	955°C	932°C	996°C
opx IIext-cpx II	960°C	937°C	1006°C

(\*) T I, T II, T III d'après les valeurs de  $a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{minéral}}$   
et  $X_{\text{Fe}}^{\text{opx}}$  en I, II et III.

Les températures trouvées avec les deux "thermomètres" sont équivalentes et donnent des différences de température de moins de 35°C. Les deux "thermomètres" étant à priori aussi valables l'un que l'autre, on peut faire la moyenne des températures de chaque assemblage dans chacune des lames minces et calculer un pourcentage d'erreur maximum dû à l'écart des températures trouvées par chacun des "thermomètres":

lame mince 17-6-75: opx IIint - cpx II:  $887 \pm 54^{\circ}\text{C}$

opx IIext - cpx II:  $872 \pm 39^{\circ}\text{C}$

lame mince 24-5A-75: opx IIint - cpx II:  $968 \pm 36^{\circ}\text{C}$

opx IIext - cpx II:  $964 \pm 42^{\circ}\text{C}$

Les différences de température trouvées entre l'assemblage opx IIint - cpx II et opx IIext - cpx II ne sont pas significatives (moins de 15°C d'écart). Nous retenons les températures données par l'assemblage opx IIint - cpx II puisque ces minéraux sont susceptibles d'avoir cristallisé en même temps et en état d'équilibre, d'après notre modèle d'évolution des couronnes décrit à la figure 7. On obtient alors une température moyenne de  $928 \pm 95^{\circ}\text{C}$  pour la formation des couronnes, en combinant les températures fournies par les minéraux opx IIint - cpx II des deux lames minces.

#### 6.4.8.2 Géobaromètre:

Griffin (1971a) et Martignole (1977) donnent, à partir de

données expérimentales d'autres auteurs (Emslie, 1970; Irving and Green, 1969; Green and Ringwood, 1967; Kushiro and Yoder, 1966), les courbes montrant les champs de stabilité de l'olivine-plagioclase, de l'opx-cpx-spinelle-plagioclase et du grenat-cpx-plagioclase en fonction de la température et de la pression. Ces courbes sont reproduites dans la figure 8a. Si l'on suppose que  $928 \pm 95^{\circ}\text{C}$  est la température à laquelle la réaction entre l'olivine et la plagioclase a eu lieu pour produire l'assemblage opx-cpx-spinelle-plagioclase, on obtient alors des pressions maximums, correspondantes aux températures trouvées, de 8.4 à 9 kbs d'après la courbe expérimentale de Emslie (figure 8a, courbe numéro 1, points A et B) et des pressions minimum de 6.8 à 7.4 kbs d'après la courbe expérimentale de Kushiro et Yoder (figure 8a, courbe numéro 4, points C et D). Le point E au centre du parallélogramme partiel ABDC (figure 8a) représente la température ( $928^{\circ}\text{C}$ ) et la pression (7.8 kbs) moyennes auxquelles la réaction entre l'olivine et le plagioclase a pu se former; la surface du parallélogramme partiel ABDC représente le pourcentage d'erreur sur cette température et sur cette pression.

Dans la figure 8b, la courbe X est une courbe de même pente que les courbes 1, 2, 3 et 4, mais passant par le point E défini plus haut ( $928^{\circ}\text{C}$  et 7.8 kbs). N'importe laquelle des courbes 1, 2, 3 et 4 pourrait servir à la place de la courbe X dans la discussion qui va suivre. La courbe 5

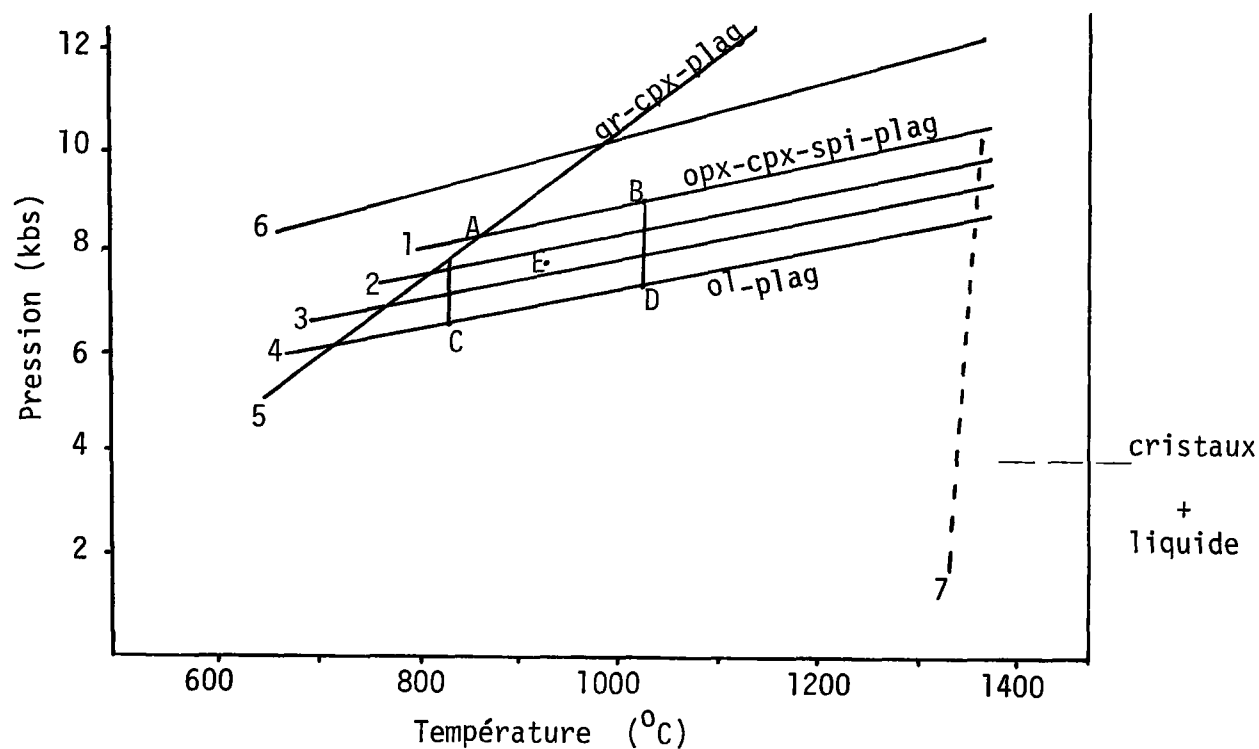


Figure 8a: courbes expérimentales montrant les champs de stabilité de l'ol, de l'opx, du cpx, du spi, du gr et du plag.

- Courbe 1: d'après Emslie (1970)  
 2: d'après Green et Ringwood (1967)  
 3: d'après Irving et Green (1970)  
 4: d'après Kushiro et Yoder (1966)  
 5: d'après Kushiro et Yoder (1966)  
 6: d'après Irving et Green (1970)  
 7: solidus de An + Fo d'après Kushiro et Yoder (1966)

Points A, B, C, D, E: voir le texte pour explication.

Liste des abréviations à la page 195.

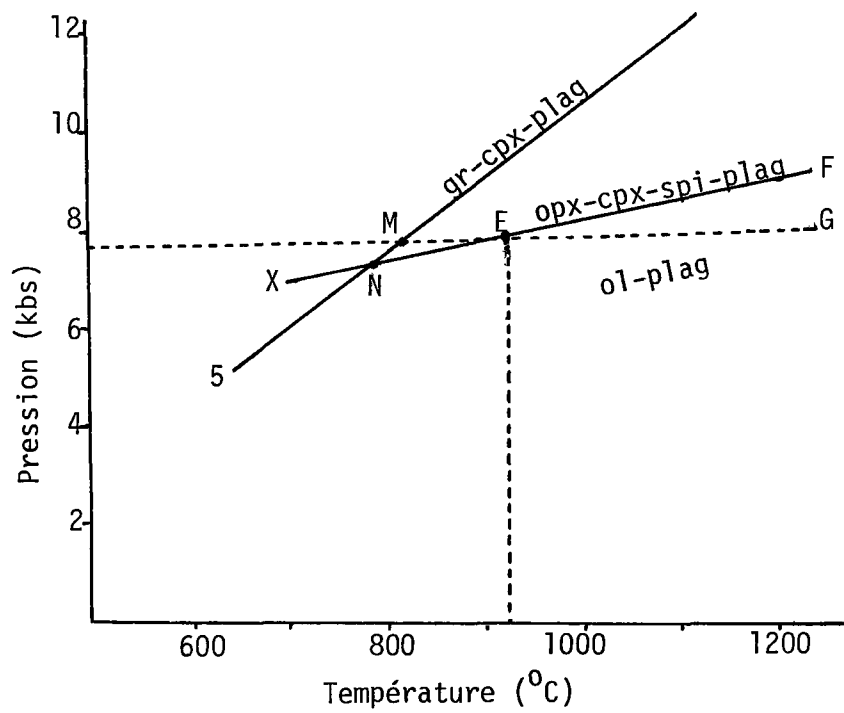


Figure 8b: Dessin simplifié de la figure 8a.

Voir le texte pour les explications.

Liste des abréviations à la page 195.

de la figure 8b est la même que la courbe 5 de la figure 8a; la courbe 6 de la figure 8a, qui aurait pu être choisie à la place de la courbe 5 dans la discussion qui va suivre, donnerait des pressions de formation du grenat trop élevées par rapport à des températures relativement basses.

Donc, si l'on accepte que le point E, dans la figure 8b, représente la température et la pression auxquelles la formation des pyroxènes et du spinelle a eu lieu, il faut que l'anorthosite primaire ait cristallisé à une température et une pression délimitées par le triangle ouvert FEG de la figure 8b. En effet, pour que l'anorthosite primaire contienne de l'olivine, la température et la pression de cristallisation doivent se trouver sous la courbe X (et ainsi en dessous du côté EF du triangle FEG). Si de plus on suppose que la pression dans l'anorthosite n'a pas pu augmenter (les structures linéaires subverticales dans l'anorthosite indiqueraient en effet que la masse est montée et donc que la pression a baissé), la pression de 7.8 kbs, donnée par le point E de la figure 8b, est un minimum pour la pression de cristallisation de l'anorthosite (la pression originale de cristallisation de l'anorthosite doit donc se trouver au-dessus du côté EG du triangle FEG).

Après être passée par le point E, l'anorthosite doit se retrouver dans le triangle MNE (figure 8b). La pression de 7.8 kbs devient ici un maximum si l'on suppose toujours que la pression dans l'anorthosite n'a pas pu augmenter. La

courbe X définit la limite inférieure du triangle MNE puisque l'olivine ne se reforme pas à partir des pyroxènes des couronnes de l'anorthosite. Il est probable que la phase d'hydratation a lieu pendant que la roche est dans le triangle MNE puisque l'opx se forme en association avec l'amphibole.

L'anorthosite doit enfin traverser le côté MN du triangle MNE (figure 8b) pour permettre au grenat de se former là où les conditions ( $P_{H_2O}$  adéquate, présence d'oxyde de fer) le permettent.

Maintenant si, lors de la mise en place de l'anorthosite, la pression demeure constante et seule la température baisse (trajet GEM sur la figure 8b), on devrait s'attendre à trouver de gros cristaux de plagioclase semblables à ceux d'autres anorthosites (par exemple celles du Morin et du lac St-Jean). Dans le cas particulier, l'évidence de terrain montre que le plagioclase a recristallisé et l'orientation des fuseaux de minéraux sombres, combinée à la faible densité de l'anorthosite indique que la masse a dû monter dans la croûte. La pression aurait donc baissé en même temps que la température, et la roche aurait traversé l'intérieur du triangle FEG, passé par le point E, traversé l'intérieur du triangle MNE et enfin elle aurait franchi le côté MN du triangle MNE.

Si on veut interpréter les couronnes de l'anorthosite de Borgia par un métamorphisme régional prograde, il faut que:

- 1- l'anorthosite primaire cristallise avec de l'olivine sous

- la courbe X de la figure 8b;
- 2- la température et la pression augmentent et l'anorthosite passe par le point E de la figure 8b; l'anorthosite doit ainsi s'enfoncer dans la croûte. Ce métamorphisme régional dans le facies granulite produit alors une linéation subverticale au centre de l'anorthosite et une foliation sur la bordure. La courbe X de la figure 8b est alors traversée et les couronnes commencent à se former;
  - 3- un second métamorphisme régional, celui-ci dans le facies amphibolite se produit ensuite pour hydrater les couronnes sans même les déformer.

Il serait aussi possible qu'une seule période de métamorphisme dans le facies amphibolite supérieur ou dans le facies granulite ait été suffisante pour produire les couronnes. Il deviendrait cependant difficile d'expliquer le zonage inverse dans les plagioclases.

L'auteur ne nie pas qu'un métamorphisme régional dans un facies élevé (amphibolite ou granulite) ait pu être la cause de la mise en place de l'anorthosite au niveau où on la voit actuellement. Newham (1964), Rondot (1961), et Laurin et Sharma (1972) ont en effet noté que les roches avoisinantes de l'anorthosite sont dans un facies métamorphique élevé (amphibolite et granulite). Nous croyons cependant que l'anorthosite n'a pas été métamorphisée in situ à cause des structures que l'on observe dans le massif; nous suggérons

que la montée diapirique de l'anorthosite (causée ou non par un métamorphisme régional) est responsable du centre linéé et de la bordure foliée du massif., Nous suggérons aussi que la formation des couronnes s'est faite pendant et après la montée diapirique par un métamorphisme rétrograde.

## 7.0 Pegmatites et aplites:

L'anorthosite de Borgia est souvent injectée par des filons et des veines de matériel pegmatitique et aplitique de composition et d'orientation variables. Ces injections se retrouvent partout dans l'anorthosite; elles sont cependant plus abondantes près des zones de faille. On peut aussi remarquer que le bloc de l'est (cf. chapitre sur la structure) qui correspondrait, d'après l'interprétation structurale, au toit du massif, contient beaucoup plus de pegmatite qu'ailleurs. On trouve enfin des injections semblables dans les roches adjacentes à l'anorthosite, spécialement dans la monzonite quartzifère et dans le complexe gneissique (voir chapitres correspondants).

Dans la monzonite quartzifère (voir ce chapitre), il existe de bonnes évidences pour dire que les pegmatites et aplites proviennent de la fusion partielle des roches adjacentes à l'anorthosite. On avancera ici l'hypothèse que les injections recoupant l'anorthosite proviennent du mobilisat formé par la fusion partielle des roches adjacentes et que les phases d'injections sont intimement liées à l'épisode de fracturation et de faille dans l'anorthosite.

## 7.1 Description des injections dans l'anorthosite

On peut subdiviser les injections dans l'anorthosite en

trois catégories, soient les injections acides, intermédiaires et basiques; les premières sont beaucoup plus abondantes que les suivantes.

#### 7.1.1 Injections acides:

Les injections acides ont des contacts francs avec l'anorthosite. La dimension des injections est variable; on peut trouver des veines de un centimètre d'épais, des filons de 1 ou 2 mètres d'épais, ou même des affleurements complets de plusieurs mètres carrés. La composition des injections est granitique. Le pourcentage de minéraux noirs est faible, soit moins de 5%; on trouve généralement de la biotite et/ou de la hornblende, mais du clinopyroxène, a aussi été identifié dans deux pegmatites. Localement, la composition peut varier à l'intérieur du même filon: le feldspath de K est très abondant au centre de filon et il est complètement absent en bordure; le passage entre les deux zones se fait graduellement.

Les injections acides ont en général une texture pegmatitique; on trouve quelques filons avec une texture aplitique qui contiennent des zones ou des poches de matériel pegmatitique. Certains filons sont massifs, d'autres sont déformés en bordure, d'autres encore sont complètement cisailés, écrasés. La déformation est parallèle aux bords du filon même lorsque l'orientation de celui-ci tourne.

Cette déformation est en général oblique à la structure présente dans l'anorthosite.

Plusieurs filons contiennent des blocs d'anorthosite qui sont allongés parallèlement aux bords du filon (planche XIV-A). Souvent on trouve aussi des filons en réseaux qui recoupent l'anorthosite dans tous les sens, ce qui donne une allure bréchique à la roche (planche XIV-B et XIV-C).

En lame mince, on peut identifier le feldspath de K comme étant du microcline; il arrive parfois que la mâcle en grille soit très estompée et que les propriétés optiques correspondent à l'orthose. Le plagioclase a une composition d'environ  $An_{27}$ . Le quartz se présente en grains ou encore en lentilles; son extinction est souvent onduleuse. La biotite brune, la hornblende verte, la muscovite et la chlorite sont peu abondantes dans les injections acides.

Dans les pegmatites, le microcline forme des cristaux de 1 à 2 cm de long entourés de petits grains de microcline, de plagioclase et de quartz. Le microcline montre souvent une texture microperthitique en cheveux. Dans les aplitites, la texture est blastomylonitique.

#### 7.1.2 Injections intermédiaires:

Les filons intermédiaires ont des contacts franc avec l'anorthosite. Ils sont en général petits, soit 4 à 5 cm d'épais, ou plus rarement 30 cm d'épais (planche XIV-A). Ces

filons recouper, comme dans le cas des filons acides, la structure de l'anorthosite. Ces injections ont une composition dioritique et même anorthositique: le quartz et le feldspath de K sont peu abondants et même absents, et l'indice de couleur varie entre 10 et 50%. Les principaux minéraux noirs présents dans ces injections sont la hornblende, la biotite, la magnétite et parfois même du clinopyroxène. Le plagioclase constitue la plus grande partie de la roche.

La texture peut être pegmatitique ou aplitique. Les aplites peuvent former des réseaux qui donnent une allure bréchique à la roche comme dans le cas des injections acides; ces brèches se retrouvent exclusivement près des zones de faille. Lorsque les filons de composition intermédiaire sont déformés, la foliation est parallèle aux bords du filon. La composition très riche en plagioclase de ces filons rend difficile la distinction entre ceux-ci et l'anorthosite en affleurement; on peut cependant les repérer grâce à leur indice de couleur en général plus grand que pour l'anorthosite.

On voit en lame mince que les plagioclases ont peu de mâcles et que celles-ci sont souvent estompées ou onduleuse; la composition du plagioclase varie entre  $An_{37}$  et  $An_{43}$ . Ils sont parfois altérés en scapolite. Les gros plagioclases de 1 à 2 cm de long sont entourés de petits grains de plagioclase intersticiels qui montrent des points de jonction triple semblables à ceux de l'anorthosite.

### 7.1.3 Injections basiques:

Ces filons sont constitués presque exclusivement de hornblende (hornblendite). Le grain est moyen (1 à 5 mm). Ces filons peuvent mesurer de 15 à 20 cm d'épais et même beaucoup plus; un affleurement de plusieurs mètres carrés est constitué essentiellement d'amphibolite contenant des blocs d'anorthosite (planche XV-A). Un filon semblable, qui contient des blocs d'anorthosite, est intimement associé avec une phase pegmatitique acide et donne un zone d'injection très complexe (planche XV-B et XV-C). Cet affleurement est situé dans la partie nord de la faille de la rivière Bostonnais (voir 6-1-77 sur la carte de localisation).

La lame mince montre de la hornblende verte et de la biotite brune en grains de 1 à 2 mm de long. Le plagioclase a une composition d'environ  $An_{38}$  et il se présente en grains intersticiels qui montrent d'excellents points de jonction triple. Apatite, sphène, zircon, carbonate et quartz peuvent être présents en faible quantité.

### 7.2 Interprétation:

On peut formuler certaines hypothèses sur l'origine de ces injections à partir des observations précédentes et des observations faites dans les roches adjacentes à l'anorthosite de Borgia, spécialement dans la monzonite quartzifère

(voir ce chapitre).

Observations	Hypothèses
- variété de la composition des injections	- la source de matériel injecté n'est pas homogène
- présence d'injections foliées et déformées et d'autres massives	- au moins deux phases d'injection sont possibles
- les injections forment des brèches ou encore contiennent des blocs d'anorthosite	- l'anorthosite était consolidée lors des injections
- un affleurement contient les deux types d'injection entremêlés	- les injections acides et basiques peuvent se produire ensemble
- les zones d'injection les plus complexes et les plus abondantes se retrouvent près des failles de la rivière Bostonnais et du lac Deschênes. L'orientation des filons est irrégulière	- les injections sont reliées à la période de fracturation et de faille dans l'anorthosite
- présence localement de cpx associé à de la hornblende	- certaines injections ont dû cristalliser à des température et pression relativement élevées

Observations	Hypothèses
<p>- les gros plagioclases des injections intermédiaires sont entourés de grains de plagioclase polygonaux avec des points de jonction triple semblables à ceux de l'anorthosite; certaines pegmatites acides ont de gros cristaux de plagioclase surtout sur les bords des filons</p>	<p>- les injections intermédiaires pourraient être le résultat de la recristallisation de l'anorthosite le long des fractures à cause de la circulation d'un fluide de haute température et de haute pression</p>

Si ces hypothèses sont valables, on peut procéder par étapes et dire que:

- a) La source des injections devait avoir accès aux failles et fractures qui traversent l'anorthosite; les roches adjacentes à l'anorthosite sont susceptibles d'avoir fourni un tel matériel à l'embouchure des failles.
- b) Si l'auréole granulitique autour de l'anorthosite est bien le résultat de la mise en place de celle-ci, les roches qui lui sont adjacentes sont donc plus vieilles et ne peuvent pas avoir injecté l'anorthosite.
- c) Donc, si on accepte que l'auréole granulitique est le résultat de la mise en place de l'anorthosite, il est possible que les roches de l'auréole ait alors été

réactivées et qu'elles aient subi une fusion partielle (voir chapitre sur la monzonite quartzifère). On se trouve alors dans une situation de déséquilibre: si on suppose au départ que le mobilisat formé par la fusion partielle ne peut pas s'échapper de la roche, cette dernière a deux parties distinctes, soit la restite qui cristallise l'assemblage de minéraux typique du faciès granulite et un mobilisat riche en eau qui ne peut pas se cristalliser tant que la température et la pression reste trop élevée. Lorsque la température baisse, le mobilisat peut cristalliser en filons-couches parallèles au litage formé dans la restite. Cependant si le mobilisat peut s'échapper par les failles et fractures formées dans l'anorthosite, la restite a nécessairement une composition plus mafique que la roche originale dont elle provient et le mobilisat peut former les multiples injections de composition diverse dans l'anorthosite, à mesure que les failles ou fractures libèrent le mobilisat dans les roches adjacentes à l'anorthosite.

## 8.0 Eléments structuraux:

### 8.1 Anorthosite:

L'anorthosite contient deux principaux domaines structuraux: une zone de bordure où la foliation prédomine et la partie centrale de l'anorthosite où la structure linéaire est la mieux développée. La zone de transition entre ces deux domaines ne contient souvent pas assez de minéraux noirs pour montrer la structure.

La foliation dans l'anorthosite est définie par des plans parallèles de minéraux noirs de quelques millimètres d'épaisseur qui peuvent être continus ou discontinus. La présence de minéraux noirs est donc essentielle à l'expression de la foliation dans l'anorthosite. C'est dans les facies les plus gabbroïques que la foliation est la mieux marquée. Des laminations millimétriques et des rubans centimétriques de minéraux noirs s'y développent avec force et on trouve même localement un litage décimétrique donné soit par l'alternance de bandes avec chacune une texture particulière (par exemple, une bande à gros cristaux de pyroxène alternera avec une autre bande avec des minéraux noirs à grain fin) soit par la proportion de minéraux mafiques, certaines bandes anorthositiques alternant avec des bandes plus gabbroïques.

Les linéations dans l'anorthosite sont formées par l'allongement parallèle d'aggrégats de minéraux noirs, mais non

par l'orientation de ces minéraux. Encore ici, les minéraux noirs sont nécessaires et certaines zones dans le même affleurement seront plus linéées que d'autres. La structure linéaire n'est jamais continue à travers toute la roche; les plus longues structures linéaires mesurent un ou deux mètres mais la plupart ont une moyenne de 5 à 30 cm de long. La dimension transversale peut atteindre le décimètre pour les structures linéaires les plus grosses mais en général la largeur varie autour de 1 à quelques centimètres. La structure linéaire se termine en biseaux aux deux extrémités et la forme transversale est très variable. Localement la structure linéaire est aplatie et donne une vague foliation, mais en général elle est représentée par une série de fuseaux entourés de plagioclase.

Dans le domaine linéaire, on trouve par endroit des masses décimétriques de minéraux noirs et des cristaux centimétriques de pyroxène qui ne montrent aucune structure et dont l'allongement ou l'aplatissement n'est pas assez significatif pour pouvoir mesurer une linéation ou une foliation. Certaines zones dans l'anorthosite n'ont donc pas été affectées par le processus qui a formé la linéation et la foliation.

Aucune forme de plissement n'a été vue dans le domaine linéaire, sinon la forme plus ou moins sinusoïdale de certaines sections transversales de structures linéaires. Dans le domaine folié, on trouve quelques plis isoclinaux

formés par les plans de minéraux noirs, indiquant que les plis se sont développés après la formation de ces plans.

Au moins deux failles majeures recoupent l'anorthosite du nord au sud. Sur le terrain, on les reconnaît par des brèches de failles où des blocs d'anorthosite sont emballés dans une pâte à grain fin de composition anorthositique ou encore par des zones mylonitisées ou la fracturation et les plans de cisaillement recoupent une anorthosite broyée. Ces zones de faille sont soulignées en photo aérienne par une série de lacs et rivières rectilignes, d'orientation nord-sud, souvent bordés par des escarpements.

Un dernier point à souligner est la présence dans l'anorthosite de veines, de dikes et de réseaux de pegmatites de composition variable. Certaines pegmatites sont foliées et pratiquement gneissique alors que d'autres sont massives. La foliation dans la plupart des cas est parallèle aux bords du dike et complètement différente de la structure présente dans l'anorthosite. Il faut donc supposer des injections de matériel pegmatitique postérieures aux mécanismes de formation de la structure dans l'anorthosite. Les pegmatites foliées auraient peut-être été écrasées par l'anorthosite à cause de mouvements tardifs le long des fractures ou des failles, tandis que les pegmatites massives seraient plus jeunes. La présence de blocs d'anorthosite non déformés dans les pegmatitiques foliées (mais quand même allongés parallèlement à la foliation de la pegmatite) laisse supposer que l'anorthosite

est, de par sa composition et sa texture homogène, beaucoup plus difficile à déformer que le matériel pegmatitique.

## 8.2 Roches adjacentes

Au nord de l'anorthosite, la monzonite quartzifère montre souvent une lamination millimétrique donnée par l'aplatissement de lentilles de quartz. Des concentrations de minéraux noirs forment parfois des rubans centimétriques parallèles aux laminations. Un litage décimétrique plus ou moins régulier est souvent caractérisé par l'alternance de bandes roses (gneiss rose) avec une roche blanche. Plus près de l'anorthosite le litage est marqué par l'alternance de bandes claires plagioclasiques et foncées (abondance de minéraux noirs). Du boudinage a été observé à un endroit dans les bandes foncées et un petit pli centimétrique y a aussi été noté. On n'observe aucune linéation majeure. Loin de l'anorthosite la foliation est marquée essentiellement par l'aplatissement du quartz; texture rubanée et litage sont absents.

A l'est de l'anorthosite, la leucodiorite est très homogène et la foliation n'y est soulignée que par de petits plans discontinus de minéraux noirs, à tous les 2 ou 3 millimètres. On trouve rarement des pegmatites avec une déformation parallèle à la foliation dans la leucodiorite.

A l'ouest de l'anorthosite, le complexe gneissique

montre une très bonne foliation. Les laminations millimétriques sont exprimées par des lentilles de quartz et/ou par des plans continus de minéraux noirs. Des concentrations de minéraux noirs forment souvent des rubans centimétriques dans la roche. L'alternance de bandes décimétriques claires et foncées (ou encore rose et blanche dans le facies amphibolite) donne une apparence litée à la roche. Une linéation donnée par l'allongement de minéraux noirs a été notée localement. Du boudinage dans les bandes sombres n'apparaît que rarement en bordure de l'anorthosite. On trouve localement quelques petits plis mineurs formés par les laminations ou les rubans de minéraux.

En règle générale, l'allongement des collines est parallèle à la direction de la foliation.

### 8.3 Analyse structurale:

#### 8.3.1 Introduction:

Une vue d'ensemble de la carte géologique (figure 10) et de la carte d'analyse structurale (figure 11) hors-texte montre que le centre de l'anorthosite est linéé et que les parties externes de l'anorthosite ainsi que les roches adjacentes sont foliées. Le tableau est cependant compliqué par la présence de deux failles majeures d'orientation NNE qui recoupent l'anorthosite et par une zone de faille ou de fracturation dans les gneiss plus à l'est. On peut donc

subdiviser la région en trois blocs structuraux séparés par deux failles (blocs ouest, central et est); le domaine XIV (figure 11, hors-texte) forme une zone à part séparée du bloc E par la zone de fracturation.

Les zones (ou ceintures) et les axes de zone ( $\pi$ ), que nous décrivons plus loin, sont l'expression des variations dans l'orientation des foliations; les axes de zones peuvent représenter soit des axes d'étalement (structure imposée par le diapirisme de l'anorthosite), soit des axes de pli (structure imposée par une déformation régionale postérieure à la mise en place de l'anorthosite).

Le bloc ouest comprend des gneiss et de l'anorthosite foliés. Il est subdivisé en trois domaines (I, II et III) qui donnent des zones E-W avec faible plongement de l'axe de zone vers le sud. Le bloc E contient lui aussi des gneiss et de l'anorthosite foliés; deux domaines (XII et XIII) donnent des zones orientées WNW avec faible plongement de l'axe de zone vers le NNE. Le domaine XIV ne forme pas de zone; il ne contient que des gneiss dont la foliation est orientée NNE avec un faible pendage vers l'E.

Le bloc central est subdivisé en huit domaines dont deux sont surtout linéés (VII et XI) et six sont surtout foliés (X, IV, V, VI, VIII et IX). Les six domaines foliés sont disposés en demi-cercle à l'W des deux domaines linéés. Les trois domaines au NW donnent des axes de zones qui plongent vers le

NE; les trois domaines du SW donnent des axes de zone qui plongent vers le SE.

Dans le texte qui va suivre, nous décrirons chaque domaine séparément. Nous présenterons ensuite des coupes géologiques et structurales (hors-texte) et nous discuterons enfin de la mise en place de l'anorthosite par rapport aux structures qu'on y retrouve.

### 8.3.2 Choix des domaines:

La distinction des différents domaines au moyen de la lithologie (si on regroupe par exemple tous les éléments structuraux de l'anorthosite sur un seul stéréonet) donne une analyse structurale ardue. Il semble plutôt que les divers types de roche (anorthosite et roches adjacentes) ont subies une déformation d'ensemble qui les a tous affectés, mais de façon différente dans chacun des domaines. Les structures imposées par cette déformation contrôlent la topographie; ainsi les collines sont souvent allongées parallèlement à la direction de la foliation, et les rivières et les lacs majeurs suivent l'orientation des failles. Chaque domaine choisi réunit les éléments structuraux d'une colline ou d'un groupe de collines similaires entourés de lacs, de rivières et d'escarpements prononcés. Chaque domaine structural est identifié par un chiffre romain de I à XIV.

La faille du lac Deschênes et la faille de la rivière

Bostonnais sont les limites naturelles qui servent à diviser la région en trois unités distinctes ou encore en trois blocs structuraux. La faille du lac Deschênes, d'orientation NNE, est marquée par un escarpement qui suit la bordure ouest des domaines V, VI et IX. Des brèches de faille où des blocs d'anorthosite sont emballés dans une pâte anorthositique recristallisée sont visibles dans la partie W de domaine V. La faille de la rivière Bostonnais a formé une vallée aux flancs escarpés, orientée nord-sud. On y retrouve des zones de cisaillement prononcé ainsi que de nombreuses injections de pegmatite contenant des blocs d'anorthosite. Les deux failles sont subverticales d'après les zones de cisaillement et d'après les miroirs de faille constitués par les escarpements.

La division de la région en trois blocs structuraux séparés par deux failles permet de reconnaître les trois principales unités structurales naturelles de la carte. La subdivision de chacun des blocs en domaines homogènes montre le style tectonique de chacun des blocs.

### 8.3.3 Bloc occidental:

Le bloc structural de l'ouest se trouve à l'ouest de l'escarpement du lac Deschênes. On y retrouve trois types de lithologie soient l'anorthosite, le gabbro anorthositique et le complexe gneissique (facies granulite et amphibolite);

des pegmatites sont aussi présentes dans tous ces types de roche en quantité appréciable. Dans ce bloc structural, les collines sont circulaires ou allongées NS et NNE. Trois domaines structuraux ont été reconnus dans ce bloc (domaines I, II et III).

#### 8.3.3.1 Domaine I:

Le domaine I forme la partie la plus à l'ouest du bloc. Le domaine est allongé NS et comprend deux collines orientées elles aussi NS. Les deux collines sont formées de roches du complexe gneissique, celle du sud dans le facies amphibolite et celle du nord dans le facies granulite. La foliation est NS avec de forts pendages vers l'est ou l'ouest. Le stéréonet du domaine I contient 15 pôles à la foliation (hémisphère sud) qui forment une zone partielle orientée EW; l'axe de zone ( $\pi$ ) plonge légèrement vers le sud.

#### 8.3.3.2 Domaine II:

Le domaine II comprend une série de collines orientées NNE. On y retrouve de l'anorthosite, du gabbro anorthositique et des roches du complexe gneissique essentiellement dans le facies granulite. La direction de la foliation tourne légèrement vers le NE par rapport à la foliation du domaine I, suivant ainsi le bord de l'anorthosite. Les 31 pôles à la

foliation reportés sur le stéréonet II forment une zone orientée WNW avec un faible plongement de l'axe de zone vers le SSW. Quatre linéations orientées EW avec un plongement moyen ( $35^{\circ}$  -  $65^{\circ}$ ) vers l'est ont été observées dans ce domaine.

#### 8.3.3.3 Domaine III:

Le domaine III forme la partie centrale et SE du bloc ouest. Il regroupe une série de collines arrondies ou allongées NS. Anorthosite, gabbro anorthositique et roches du complexe gneissique dans le faciès granulite y sont représentés. La foliation est très variable. En effet, seules les parties N et S du stéréonet III ne contiennent pas de pôles à la foliation, donnant une ceinture très large orientée EW. Quarante-six pôles à la foliation sont reportées. Quatre zones de plis décimétriques ont été observées dans ce domaine; ce sont des plis isoclinaux, avec plan axial incliné vers l'est et vers le nord. Deux de ces zones de plis ont des axes qui plongent vers le nord avec un angle de  $40^{\circ}$  et les deux autres plongent vers l'est avec des angles de  $10^{\circ}$  à  $15^{\circ}$ . La relation entre ces microplis et l'ensemble de la structure est inconnue.

La superposition des stéréonets de ces trois domaines donne une ceinture très large orientée EW avec faible plongement de l'axe de zone vers le sud. Chaque axe de zone

pris individuellement est à peu près parallèle à la direction du contact de l'anorthosite avec le complexe gneissique.

#### 8.3.4 Bloc oriental:

Ce bloc comprend toutes les roches à l'est de la rivière Bostonnais. Anorthosite et monzonite quartzifère en sont les principales unités. Des pegmatites contenant des blocs d'anorthosite se retrouvent en abondance dans ce bloc, spécialement près de la zone de faille de la rivière Bostonnais. Les collines sont allongées NS. Le bloc est subdivisé en deux domaines structuraux (XII et XIII).

##### 8.3.4.1 Domaine XII:

Le domaine XII contient le contact E et NE de l'anorthosite avec la monzonite quartzifère. Le pendage de la foliation de la monzonite quartzifère est relativement faible ( $10^{\circ}$  à  $15^{\circ}$ ) contrairement à celui de la foliation dans l'anorthosite qui est fort ( $45^{\circ}$  et plus). La direction de la foliation de la monzonite quartzifère suit plus ou moins le contact entre l'anorthosite et la monzonite quartzifère alors que la direction de la foliation de l'anorthosite est discordante par rapport à ce contact et est orientée NE-SW. Le résultat donne, sur le stéréonet XII, une bonne ceinture donnée par 27 pôles. L'orientation de la ceinture est WNW

et le plongement de l'axe de zone se fait vers le nord sous un angle d'environ 30 degrés. On note ici que la direction de l'axe de zone n'est pas du tout parallèle à la direction du contact entre l'anorthosite et la roche adjacente comme c'était le cas dans les domaines I, II et III.

#### 8.3.4.2 Domaine XIII:

Le domaine XIII forme le segment sud du bloc est. Il ne contient que de l'anorthosite injectée de pegmatite, dans une seule colline allongée nord-sud. La foliation est NNE en général, avec un pendage moyen ( $40^{\circ}$  -  $50^{\circ}$ ) vers l'ÈSE. Les 11 pôles à la foliation donnent une ceinture partielle assez bonne. La zone est orientée WNW et l'axe de zone plonge légèrement vers le nord. Trois linéations plongeant vers le nord avec un angle moyen sont aussi reportées.

#### 8.3.4.3 Domaine XIV:

Ce domaine est séparé du bloc E par une zone de fracturation qui semble marquer le contact entre la monzonite quartzifère et la leucodiorite. Le domaine XIV est fait exclusivement de ce dernier type de roche. La direction de la foliation est NNE avec un faible pendage vers l'est ( $20^{\circ}$  -  $40^{\circ}$ ). Onze pôles à la foliation ont été reportés sur le stéréonet XIV; les points sont regroupés et aucune ceinture

ne peut être tracée. La foliation est, ici encore, parallèle à la bordure de l'anorthosite.

La combinaison des domaines XII et XIII donne pour le bloc E une ceinture WNW avec faible plongement de l'axe de zone vers le nord. L'addition du domaine XIV augmente la concentration des pôles au centre de la ceinture.

#### 8.3.5 Bloc central:

Ce bloc est constitué de huit domaines structuraux dont deux sont surtout linéés et six sont surtout foliés. Le bloc a une forme rectangulaire; il est allongé NS et les côtés W et E sont bordés par des failles. Ces deux côtés sont en contact avec l'anorthosite des blocs W et E respectivement. Les côtés nord et sud du rectangle sont en contact respectivement avec la monzonite quartzifère et le complexe gneissique.

Les six domaines foliés forment les parties nord, ouest et sud du rectangle; les deux domaines linéés se trouvent au centre et dans la partie E du bloc central. La profonde vallée du lac Palembert traverse ce bloc du nord au sud; aucune indication de faille n'y a été rencontrée.

##### 8.3.5.1 Domaine X:

Ce domaine est situé dans la partie NE du rectangle

constitué par le bloc central. Il contient de l'anorthosite, du gabbro anorthositique, du gabbro et de la monzonite quartzifère dans le facies granulite et dans le facies amphibolite. C'est dans ce domaine que le contact entre l'anorthosite et la roche encaissante est le mieux exposé, le long de la route principale. Ce domaine est essentiellement folié. Des plis décimétriques et du boudinage n'ont été observés qu'à un seul endroit dans la monzonite quartzifère, près du contact avec l'anorthosite. Le report de 78 pôles à la foliation sur le stéréonet X, donne une zone orientée NW, avec axe de zone plongeant vers le NE. La ceinture, quoique large, est quand même bien formée. La direction de l'axe de zone est discordante avec la direction du contact entre l'anorthosite et la monzonite quartzifère.

#### 8.3.5.2 Domaine IV:

Ce domaine forme le coin NW du bloc central. Deux principaux types de lithologie y sont représentés, soient l'anorthosite dans la partie est et une roche verdâtre dans la partie ouest. Cette roche verdâtre est probablement un mélange du complexe gneissique dans le facies granulite et de gabbro anorthositique. Quatorze pôles à la foliation ont été reportés sur le stéréonet IV; ceux-ci forment une zone orientée NW-SE avec axe de zone plongeant légèrement vers le NE. La direction de l'axe de zone est ici encore à peu près

parallèle à la direction du contact entre l'anorthosite et la roche encaissante.

#### 8.3.5.3 Domaine V:

Ce domaine est essentiellement constitué d'une colline orientée NW: on n'y retrouve que de l'anorthosite. Vingt-et-un pôles à la foliation et 9 linéations sont reportés sur le stéréonet V. Les linéations sont à peu près subverticales comme les linéations des domaines linéés que nous verrons plus loin. Les pôles à la foliation forment une zone partielle orientée NW-SE avec axe de zone plongeant vers le NE avec un angle moyen ( $50^{\circ}$ ). La plupart des pôles à la foliation sont situés dans le quadrant NW du stéréonet V indiquant que l'anorthosite a un pendage dominant vers le SE.

#### 8.3.5.4 Domaine VI:

Ce domaine se trouve dans le prolongement sud du domaine V. Il contient de l'anorthosite et du gabbro anorthositique. La foliation est orientée NS avec un pendage moyen ( $50^{\circ}$ - $75^{\circ}$ ) surtout vers l'est. Le report de 13 pôles à la foliation donne une zone orientée EW avec un axe de zone à peu près subhorizontal.

#### 8.3.5.5 Domaine VIII:

Le domaine VIII est dans le prolongement SE du domaine VI. Le domaine, de même que les principales collines qui le constituent, est allongé NW-SE. Des roches anorthositiques et des roches du complexe gneissique dans le facies granulite y sont représentées. La partie SE du domaine est faite d'une lame d'anorthosite allongée NW-SE et entourée de roches du complexe gneissique sur les cotés NE et SW. Les 31 pôles à la foliation reportés sur le stéréonet VIII donnent une très bonne zone orientée NE-SW avec axe de zone plongeant vers le SE sous un angle d'environ 20°. Ici encore, la direction de l'axe de zone est parallèle à la direction du contact entre l'anorthosite et le complexe gneissique.

#### 8.3.5.6 Domaine IX:

Le domaine IX est situé au coin SW du bloc central. On y retrouve de l'anorthosite, du gabbro anorthositique et des roches du complexe gneissique dans le facies granulite. Les collines sont en général orientées NW-SE. Les 20 pôles à la foliation reportés sur le stéréonet IX donnent une zone à peu près semblable à celle montrée par le stéréonet VIII, c'est-à-dire orientée NW-SE avec plongement faible de l'axe de zone vers le SE. La direction de  $\pi$  est en partie concordante et en partie discordante avec la direction du contact

anorthosite-gneiss.

#### 8.3.5.7 Domaine VII:

Ce domaine se trouve au coeur du bloc central. Il est constitué de nombreuses collines arrondies ou légèrement allongées NS, toutes faites de roches anorthositiques bien à pauvrement linéées. Les foliations y sont à peu près absentes. Toutes les linéations ont un plongement supérieur à  $55^{\circ}$ . Dans la partie sud du domaine, les linéations plongent surtout vers le nord alors que dans la partie nord, les linéations plongent vers le sud; dans la partie centrale du domaine, les linéations plongent indistinctement vers l'est ou vers l'ouest ou sont subverticales. Trente-trois linéations sont reportées sur le stéréonet VII. Elles sont toutes regroupées au centre du stéréonet. La structure pourrait être représentée en trois dimensions par un cône aplati, avec le grand axe d'aplatissement orienté NS. La pointe du cône plongerait vers l'ouest ou vers l'WSW avec un angle très grand.

#### 8.3.5.8 Domaine XI:

Ce domaine forme toute la partie est du bloc central. Il comprend de l'anorthosite et de l'anorthosite gabbroïque. Foliations et linéations sont souvent associées dans

l'anorthosite gabbroïque alors que, dans l'anorthosite, la linéation prédomine. Ici encore on peut remarquer que dans la partie sud du domaine les linéations plongent surtout vers le nord ou le NW tandis que dans la partie nord, les linéations plongent vers le sud ou le SW; cependant dans la partie E du domaine, les linéations, sauf une, plongent vers l'W et dans la partie W, elles plongent, sauf deux, vers l'E. Les 20 pôles à la foliation reportés sur le stéréonet XI ne forment aucune zone précise. Les linéations par contre se groupent dans la partie centrale du stéréonet. La structure en trois dimensions pourrait ici aussi être représentée par une forme en cône, mais cette fois non aplati. La pointe du cône serait ici subverticale.

En résumé, le bloc central peut se subdiviser en trois sous-régions: la partie linéée qui constitue le coeur et la portion E du bloc, la partie foliée du N et du NW qui montre des axes de zones orientés NE-SW avec plongement vers le NE et la partie SW qui montre des axes de zones orientés NW-SE avec plongement vers le SE.

#### 8.3.6 Coupes structurales et géologiques:

Trois coupes ont été dessinées à partir des cartes topographique, géologique et structurale. Deux de ces coupes sont orientées EW et traversent les trois blocs structuraux; l'autre coupe traverse le bloc central avec une orientation

NNE. L'échelle horizontale est de 1:50,000 soit la même que la carte de base. Les domaines structuraux traversés sont indiqués en haut des coupes et les blocs structuraux sont limités au bas des coupes. Les traits près de la surface topographique représentent les foliations projetées en coupe et les pointillés en sont leurs prolongements interprétés en profondeur. Les tirets montrent les contacts géologiques interprétés. L'orientation des flèches représente l'orientation des linéations vues en coupe. Ces linéations sont probablement dues à l'allongement des minéraux noirs lors de la montée diapirique de l'anorthosite. L'orientation et le mouvement relatif des failles sont interprétés de façon à ce que le bloc central soit la partie qui monte.

#### 8.3.6.1 Coupe A-B:

Cette coupe va du lac Chasseur à l'ouest jusqu'au chenal Bostonnais à l'est. Elle montre le bloc W, le bloc central et le bloc E séparés par deux failles. Le domaine II du bloc W comprend deux collines, celle de l'W faite de roches du complexe gneissique dans le facies granulite et celle de l'E faite d'anorthosite. Les foliations dans le complexe gneissique sont subverticales sur les flancs de la colline, mais subhorizontales au sommet. Si cette colline était exclusivement faite de roche du complexe gneissique, l'auréole granulitique aurait alors ici une épaisseur de 2.4 km environ.

D'autres contacts plus au sud permettent de penser que l'auréole dans le complexe gneissique aurait tout au plus 1000 mètres d'épaisseur. Il semble donc raisonnable de montrer une anorthosite sous-jacente à cette colline de complexe gneissique; l'anorthosite peut ainsi former le faciès granulite d'une distance moins grande. Deux autres arguments semblent valider cette hypothèse, à savoir, une colline d'anorthosite, juste au sud de la colline du complexe gneissique, semble, de par sa structure et son orientation, s'enfoncer sous le complexe gneissique vers le nord; et des lames d'anorthosite pénètrent effectivement dans le complexe gneissique près de la partie centrale du lac Deschênes et au sud du massif près de la route. La structure du complexe gneissique est interprétée comme formant un anticlinal au-dessus de l'anorthosite supposée sous-jacente. Les affleurements sur le sommet de la colline seraient peut-être plus rares à cause de cette foliation subhorizontale.

Les structures sur les flancs de la colline d'anorthosite sont subverticales ou inclinées vers l'est. Une deuxième forme anticlinale est supposée pour former un demi-cylindre discuté plus loin dans l'interprétation structurale.

Le lac Réserve est probablement contrôlé par une zone de faille avec des injections de pegmatite. Les roches en bordure du lac sont souvent "contaminées" ou encore elles ont subi un métasomatisme qui se traduit par l'apparition de quartz, de carbonates et de muscovite entre ou sur les grains

de plagioclase de l'anorthosite. On retrouve des brèches de faille du côté E du lac. Le pendage vers l'W de la faille semble indiqué par une falaise sur le bord E du lac Deschênes, la falaise a pu agir comme miroir de faille. Le mouvement relatif de la faille est hypothétique.

Trois domaines du bloc central sont ensuite recoupés, soient les domaines V, VII et XI qui ne contiennent que de l'anorthosite. Le domaine V a une foliation verticale ou avec un grand angle de pendage vers l'E. La transition entre le domaine V et le domaine VII n'est pas visible sur le terrain mais on note en coupe la rupture de pente lorsqu'on passe dans le domaine linéé (domaine VII). Les linéations de ce dernier domaine sont à plongement S et se voient en coupe E-W comme des linéations subverticales pour la plupart.

Le lac Palembert forme, du point de vue topographique, une profonde incision entre les domaines VII et XI. Aucune faille n'y a cependant été observée sur le terrain. Une explication possible serait que les deux masses linéées soient montées ensemble et que le contact entre les deux se soit "cicatrisé" sous l'effet de la chaleur. Cette "cicatrice" semble cependant avoir été beaucoup plus susceptible à l'érosion que les masses principales. Le domaine XI contient à l'endroit de la coupe des linéations qui plongent vers le sud et qui apparaissent ici encore comme des linéations subverticales en coupe EW.

La faille de la rivière Bostonnais sépare le domaine XI

du domaine XII. De nombreux plans de cisaillement et des injections de pegmatites sont visibles près de la route principale qui longe à cet endroit la rivière Bostonnais. L'orientation de la faille et le mouvement relatif des compartiments sont hypothétiques.

Le domaine XII montre une anorthosite, avec une foliation subverticale, qui disparaît vers l'E sous la monzonite quartzifère avec une foliation à faible pendage. Cette interprétation repose sur les faits suivants: premièrement, la monzonite quartzifère possède une foliation à faible pendage; deuxièmement, l'anorthosite du domaine XIII qui est juste au S montre un faible pendage vers l'est; et troisièmement, la carte aéromagnétique indique que l'anorthosite se prolonge sous la monzonite quartzifère.

La leucodiorite affleurerait de l'autre côté du chenal Bostonnais soit à la limite E de la coupe.

#### 8.3.6.2 Coupe C-D:

Cette coupe est, elle aussi, orientée EW et se trouve à environ 4 km au sud de la coupe A-B. Le point C est à environ 1 km à l'W du lac Deschênes et le point D est juste à l'E du lac en Voûte. Les trois blocs structuraux sont ici aussi représentés, de même que la leucodiorite à l'E.

Les premiers 600 mètres de la coupe montrent des roches du complexe gneissique dans le facies granulite bordées à

l'E par une petite lame d'anorthosite qui affleure sur la rive W du lac Deschênes. La foliation du complexe gneissique à cet endroit est N-S avec pendage subvertical partout sur cette première colline. Immédiatement à l'ouest de la coupe, le facies amphibolite apparaîtrait. Six cent mètres environ serait donc l'épaisseur de l'auréole granulitique de l'anorthosite dans le complexe gneissique à cet endroit.

Le lac Deschênes est bordé à l'W par de l'anorthosite et à l'E par des roches du complexe gneissique dans le facies granulite. Puisqu'en général l'anorthosite a une expression topographique positive, il est supposé que le complexe gneissique passe sous le lac Deschênes à cet endroit, avec une forme synclinale, pour permettre de rejoindre l'anorthosite à l'E et à l'W du lac. Il est aussi possible que l'anorthosite à l'E du lac fasse partie d'une série de lames dûes à la faille du lac Deschênes. La première hypothèse (synclinal) est dessinée en coupe.

La petite colline d'anorthosite à l'est du lac Deschênes montre sur son sommet une foliation à peu près horizontale alors que sur les flancs, la foliation a un fort pendage vers l'est. Des plis isoclinaux dont le plan axial pend vers l'E ont aussi été notés sur les flancs de cette colline. L'interprétation en coupe donne une forme anticlinale avec plan axial incliné vers l'est.

La vallée qui suit à l'E serait l'expression topographique de la même faille que sur la coupe A-B près du lac

Réserve, soit la faille du lac Deschênes. Le fond de cette vallée est occupé par des roches du complexe gneissique.

Un fort escarpement borde ensuite la partie W du bloc central. Une traverse menée le long de cet escarpement montre que sur le flanc ouest de cette colline on retrouve des roches du complexe environ à mi-chemin entre la base et le sommet de la colline. Une interprétation possible serait qu'on retrouve ici la répétition du complexe gneissique à cause de la faille du lac Deschênes, tel qu'indiqué sur la coupe.

On traverse ensuite le domaine VI qui montre une foliation NS à pendage essentiellement vers l'E. Cette zone foliée correspondrait sur la coupe A-B à la zone foliée de la colline à l'est du lac Réserve. La forme anticlinale est interprétée à partir de la variation du pendage des foliations.

Une vallée marque ensuite le contact entre l'anorthosite foliée du domaine VI et le domaine linéé VII. Les linéations du domaine VII ont un plongement vers le nord à l'endroit de la coupe et sont représentées par des linéations subverticales sur la coupe E-W.

La vallée du lac Palembert sert ensuite à différencier les domaines VII et XI. La partie W du domaine XI montre une linéation subverticale alors que la partie E, plus gabbroïque, est linéée mais aussi foliée. La linéation de cette deuxième partie montre un plongement vers l'W. La faille de la

rivière Bostonnais marque la fin du bloc central.

La foliation du domaine XIII est NNE avec pendage moyen vers l'est. L'angle de pendage dans l'anorthosite diminue plus on se rapproche du contact avec la monzonite quartzifère.

Le contact entre l'anorthosite du domaine XIII et la monzonite quartzifère du domaine XII est marqué par une vallée. La monzonite quartzifère qui se trouve alors à former le toit de l'anorthosite, montre un faible pendage incliné vers l'est.

Le contact entre la monzonite quartzifère et la leucodiorite (domaine XIV) est précédé par une zone de fracturation intense à l'intérieur de la monzonite quartzifère. Un escarpement indique le contact entre les deux types de roche. Cet escarpement est interprété comme une faille sur la coupe C-D; la faille pourrait avoir été provoquée par la montée diapirique de l'anorthosite sous-jacente à la leucodiorite. Les mouvements relatifs des compartiments de la faille montrent cette hypothèse.

#### 8.3.6.3 Coupe E-F:

La coupe E-F est orientée NNE et ne montre que le bloc central. La monzonite quartzifère, au N, est dans le facies amphibolite et montre une foliation avec un léger pendage vers le N. Une vallée marque ensuite le contact avec la

monzonite quartzifère dans le facies granulite (deuxième vallée sur la coupe). Vient ensuite une masse gabbroïque avec une foliation plus redressée; ce gabbro est probablement apparenté à l'anorthosite avec laquelle il doit se joindre en profondeur. Entre le gabbro et l'anorthosite on trouve une roche verdâtre dans le facies granulite qui, de par sa texture ocellée, ressemble à la monzonite quartzifère. La foliation pend vers le nord dans ces roches. La forme synclinale est hypothétique.

Le contact entre l'anorthosite et la monzonite quartzifère est franc et la foliation des deux types de roche y est parallèle. La forme anticlinale au S de ce contact n'est peut-être pas réelle et vient de ce que la structure n'est pas perpendiculaire à la coupe.

Le contact entre la partie foliée de l'anorthosite du domaine X et l'anorthosite linéée du domaine XI est marqué par une vallée. Dans la partie nord du bloc XI les linéations plongent vers le sud et dans la partie sud elles plongent vers le nord.

Le contact entre les domaines linéés XI et VII est caché par les sables du lac Palembert, de même que le contact entre les domaines VII et VIII.

La coupe traverse la partie SE du domaine VIII. Elle montre les relations entre une lame d'anorthosite qui semble avoir percé au travers du complexe gneissique.

#### 8.4 Observations générales:

A partir des structures vues sur le terrain et des stéréonets construits, on peut formuler les observations suivantes:

- A- L'anorthosite de Borgia doit être considérée en trois parties distinctes séparées par deux failles (faille Deschênes et faille Bostonnais).
- B- Le déplacement des failles s'est fait verticalement puisqu'aucun déplacement horizontal majeur n'est observé d'un part et d'autre des failles près des contacts entre l'anorthosite et la roche encaissante.
- C- L'anorthosite est linéée au centre de la masse et foliée tout autour. La linéation est subverticale.
- D- Les stéréonets des blocs est et ouest donnent des ceintures est-ouest et donc des axes de zones de direction nord-sud, avec faible plongement ( $10^{\circ}$ -  $30^{\circ}$ ).
- E- Les stéréonets des domaines foliés du bloc central se divisent en deux groupes, soit le groupe du nord (domaines X, IV et V) dont les ceintures sont orientées NW-SE avec axe de zone plongeant vers le NE ( $10^{\circ}$  -  $50^{\circ}$ ), et le groupe du sud (domaines VI, VIII et IX) qui montrent des ceintures orientées NE-SW avec plongement de l'axe de zone vers le SE ( $0^{\circ}$  -  $35^{\circ}$ ).
- F- Dans la partie occidentale de l'anorthosite, les axes de zone ( $\pi$ ) de chaque domaine changent de direction

graduellement, avec un plongement SE au S, passant par un plongement S ou N, et enfin avec un plongement NE au N.

G- Aucun domaine ne montre de ceinture orientée nord-sud.

H- La foliation dans les roches encaissantes est en général parallèle au contact entre l'anorthosite et la roche adjacente.

I- La foliation de plusieurs pegmatites qui recoupent l'anorthosite est parallèle aux bords du filon. Ceci indique que cette foliation n'est pas associée au reste de la structure mais plutôt qu'elle est due à l'écrasement du filon par la masse d'anorthosite.

J- Par contre, les gneiss roses de la monzonite quartzifère ont une foliation parallèle à celle de la monzonite quartzifère. Ceci indique que les gneiss roses se sont individualisés avant la fin de la mise en place de l'anorthosite.

#### 8.5 Mise en place et déformation:

La structure régionale antérieure à la mise en place de l'anorthosite était probablement constituée par les contacts entre trois types de roche, soient le complexe gneissique, la leucodiorite et la monzonite quartzifère. Ceci est démontré par l'auréole granulitique qui entoure maintenant l'anorthosite dans ces trois types de roche (cf. chapitre sur la pétrographie). La carte régionale montre que ces contacts sont orientés N-S (cf. figure 3).

La montée diapirique de l'anorthosite est indiquée par les linéations centrales et les foliations tout autour du massif ainsi que par la forme générale arrondie. Le diapirisme a pu être amorcé soit par un métamorphisme régional qui aurait mobilisé l'anorthosite, soit par une faiblesse dans la croûte à cause des contacts entre trois types de roche, soit par une combinaison des deux. L'anorthosite n'est peut-être pas moins dense que les roches qui lui sont adjacentes (la leucodiorite serait la moins dense, d'après sa minéralogie). On peut supposer cependant que les roches qui étaient au-dessus de l'anorthosite avant le début de la montée diapirique étaient plus dense que l'anorthosite et que le massif a continué sa poussée vers le haut dans des roches de densité à peu près équivalente à la sienne.

L'anorthosite qui se mettra ainsi en place suivra donc la structure sus-jacente déjà présente. C'est ce que l'on observe spécialement dans les blocs E et W où les axes de zone sont subhorizontaux et d'orientation N-S. La forme allongée N-S de plusieurs domaines homogènes (reflétée par l'allongement des collines) indique aussi le contrôle structural qu'a subi l'anorthosite lors de son emplacement. Si un métamorphisme régional est responsable de la montée diapirique de l'anorthosite, il est probable que les structures imposées par ce métamorphisme aient été surtout N-S, et que le diapirisme de l'anorthosite n'ait fait que déformer ces structures.

Cependant dans le bloc central, les axes de zones de la partie NW (X, IV, V) sont basculés vers le NE et ceux du SW (VI, VIII, IX) sont basculés vers le SE. Ceci pourrait s'expliquer en supposant que la suite du mouvement diapirique se fait essentiellement dans la partie centrale de l'anorthosite où la roche s'étale en cône d'après l'analyse structurale, alors que les côtés se trouvent bloqués par les roches encaissantes. Les axes de zones originellement N-S se trouvent ainsi déplacés dans le sens des aiguilles d'une montre au NW de la zone linéée et dans le sens inverse au SW.

Par la suite, température et pression ont dû baisser graduellement jusqu'au point où l'anorthosite s'est mise à se fracturer et à se failler pour répondre aux contraintes diapiriques. Ici encore, les failles principales reprennent la même orientation nord-sud que les structures originales. C'est durant cette étape que de nombreuses pegmatites ont probablement été injectées dans l'anorthosite le long des failles et des fractures. Certaines de ces pegmatites ont été foliées parallèlement aux bords du filon, sans doute écrasées par les mouvements de l'anorthosite, alors que d'autres, peut-être plus tardives, sont demeurées intactes. Toute la région dans son ensemble a ensuite été soulevée jusqu'à son présent niveau (ordogène ou Grenvillienne?).

La structure de l'anorthosite et des roches encaissantes peut aussi s'expliquer d'une autre façon. On peut en effet supposer que la structure en dôme imposée par la mise en

place de l'anorthosite a été reprise par une phase de déformation (qui serait peut-être responsable de la recristallisation de l'anorthosite). Cette déformation formerait des microplis dans les roches de la région et donnerait, à l'échelle locale des axes de zone (ou axes de pli) orientés surtout N-S, mais influencés ou partiellement contrôlés par la forme en dôme de l'anorthosite.

On pourrait alors facilement concilier le parallélisme de la foliation avec la direction des contacts à l'échelle de l'affleurement (structure originale du dôme), et la discordance entre l'orientation des axes de zones et l'orientation des contacts dans les parties N et S du dôme (structure donnée par la nouvelle phase de déformation).

On doit alors postuler que le coeur de l'anorthosite, qui contient la partie linéée, a été protégée de cette déformation, et que le facies métamorphique de l'auréole granulitique autour de l'anorthosite n'a pas été affecté par cette déformation.

## 9.0 Etude du rapport K/Rb dans l'anorthosite de Borgia:

### 9.1 Utilité du rapport:

La possibilité pour le Rb de remplacer le K (diadochisme) a été constatée dans une grande variété de roches par plusieurs auteurs (Ahrens and others, 1952; Gast, 1965; Isachsen, 1969). Le K et le Rb sont associés spécialement à cause d'un rayon ionique semblable et d'une valence égale (+1). De plus, le Rb ne forme aucun minéral qui lui soit propre, mais remplace plutôt le K (Isachsen and others, 1969).

Ces propriétés ont conduit plusieurs auteurs (Ahrens and others, 1952; Gast, 1965; Isachsen and others, 1969) à utiliser le concept du rapport K/Rb comme un paramètre pouvant indiquer le degré de différenciation de la roche. Deux populations du rapport K/Rb ressortent de la littérature (Isachsen, 1969): les valeurs autour de 250 seraient dérivées du matériel de la croûte continentale alors que les valeurs supérieures à 500 proviendraient du manteau ou de la croûte profonde. Des études plus récentes (Griffin, Sandvoll and Kristmannottir, 1974) ont cependant montré que plusieurs roches formées par l'accumulation de cristaux (et spécialement les roches riches en plagioclases) pouvaient avoir un haut rapport K/Rb et ce indépendamment de la profondeur de cristallisation.

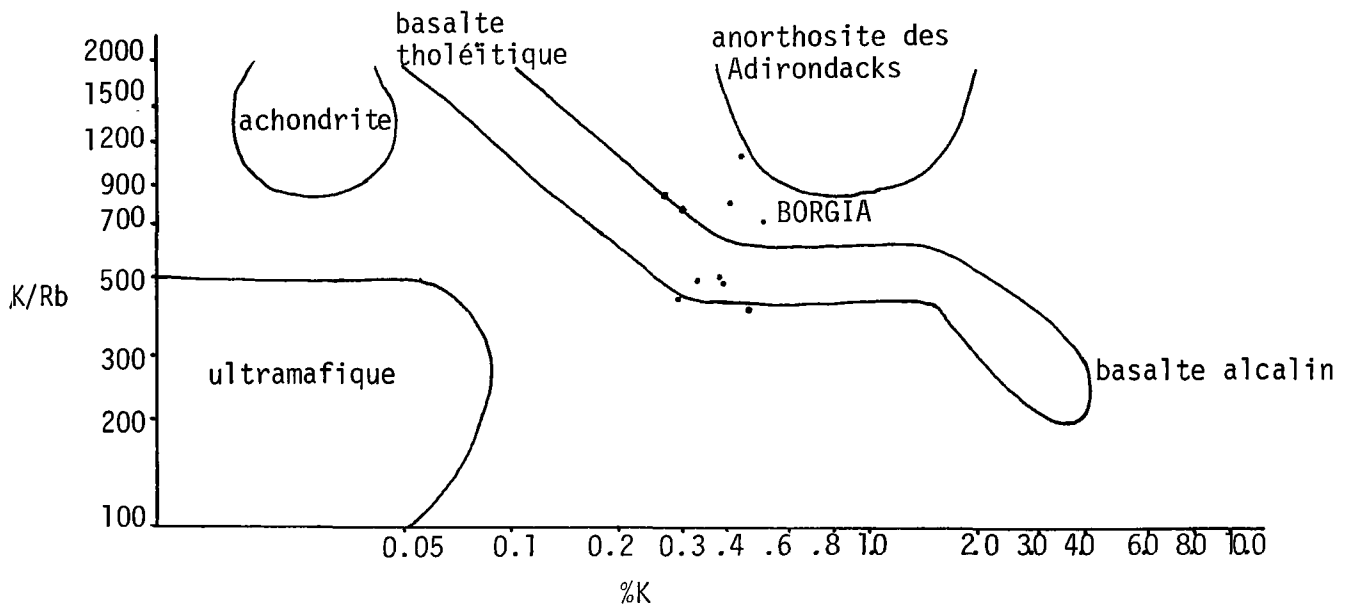


Figure 9: K/Rb et %K illustré pour divers types de roche; d'après Isachsen (1969). Les points représentent l'anorthosite de Borgia.

## 9.2 Présentation des résultats:

Des échantillons d'anorthosite contenant moins de 5% de minéraux mafiques ont été analysés pour le K et le Rb par la compagnie Bondar-Clegg à Ottawa et par Mme Diane Garrett, technicienne à l'université d'Ottawa. La compagnie Bondar-Clegg a utilisé la méthode de fluorescence "X" et Mme Diane Garrett s'est servi de l'absorption atomique. Un ordre de grandeur semblable pour les valeurs obtenues par les deux méthodes semble valider les résultats.

Les résultats des analyses sont donnés dans le tableau 5. On y montre le numéro d'échantillon et l'analyste, les contenus en K et en Rb donnés par l'analyse chimique et le rapport entre ces deux valeurs (K/Rb). Sur la carte de localisation, les affleurements d'où proviennent les échantillons utilisés pour les analyses chimiques sont identifiés par un cercle plein. La figure 9 montre le rapport K/Rb en fonction du % K contenu dans la roche en valeurs logarithmiques et compare l'anorthosite de Borgia avec d'autres types de roche (figure reproduite de Isachsen, 1969).

## 9.3 Analyse et interprétation des résultats:

A cause du nombre restreint d'échantillons analysés (seulement 9) et du pourcentage d'erreur des techniques d'analyse (environ 0.5% à 66%), l'analyse et l'interprétation

Tableau 5: Résultats des analyses du K et du Rb dans les  
échantillons d'anorthosite (roche totale)

No d'échantillon	analyste (*)	K (ppm)	Rb (ppm)	K/Rb
11-6-75	BC	2630 ± 20	3 ± 2	880
19-6-75	BC	4120 ± 20	5 ± 2	820
27-1-75	BC	3380 ± 20	7 ± 2	480
40-7-75	BC	3970 ± 20	8 ± 2	500
18-2-75	DG	3050 ± 20	4 ± 2	800
29-1-75	DG	5220 ± 20	7 ± 2	730
32-6-75	DG	4770 ± 20	11 ± 2	430
41-14-75	DG	3930 ± 20	8 ± 2	500
28-2-75	DG	4480 ± 20	4 ± 2	1120

(\*) Analystes: BC : Bondar-Clegg (Ottawa)

DG : Mme Diane Garrett

des résultats ne peuvent être que qualitatives et très sommaires. On remarque que les échantillons d'anorthosite pris près de la bordure contiennent environ deux fois plus de rubidium (7 à 10 ppm) que les échantillons du centre (3 à 5 ppm). Le contenu en potassium dans les différents échantillons d'anorthosite varie entre 0.26% et 0.52% de la roche totale, indépendamment de la position de l'échantillon dans l'anorthosite. Enfin, on peut distinguer entre deux groupes de valeur de K/Rb: les valeurs supérieures à 800 proviennent des échantillons du centre de l'anorthosite et les valeurs inférieures à 500, de la bordure; seul l'échantillon 29-1-75 qui vient de la bordure nord de l'anorthosite a une valeur intermédiaire (K/Rb = 734).

L'analyse à la micro-sonde de grains de plagioclase faite par le Dr. Plant (voir section sur les couronnes) montre que ceux-ci contiennent en général moins de .18% de  $K_2O$ . La différence de pourcentage avec la roche totale (contenu en potassium de .26% à .52%) doit donc se trouver entre les grains de plagioclase ou plus probablement dans les quelques minéraux ferro-magnésiens tels l'amphibole et le mica qui contiennent du potassium en quantité appréciable. La variation du pourcentage de potassium dans la roche totale (voir tableau 5) reflète probablement la plus ou moins grande abondance de minéraux noirs présents dans l'échantillon analysé. Le rapport K/Rb semble cependant varier en fonction de la position de l'échantillon dans l'anorthosite, tel que

mentionné plus haut.

Les grains d'amphibole et de mica intergranulaires entre les grains de plagioclase auraient une origine métasomatique d'après l'interprétation donnée dans le chapitre sur l'anorthosite. Le plagioclase, en recristallisant, aurait expulsé les éléments nécessaires à la formation de l'amphibole et du mica, sauf le potassium et l'eau qui auraient été apportés par un fluide circulant entre les grains de plagioclase et dans les cassures. Ce fluide proviendrait peut-être de la fusion partielle des gneiss adjacents à l'anorthosite; la phase mobile dérivée de cette fusion partielle aurait injecté l'anorthosite par les failles et les fractures pour former les nombreuses pegmatites qui recoupent l'anorthosite (voir chapitre sur la monzonite quartzifère et sur les pegmatites et aplites).

Si cette hypothèse est exacte, il serait illusoire de conclure que la bordure de l'anorthosite est plus contaminée (ou contient plus de rubidium) que le centre, tel que suggéré par le résultat des analyses. En effet, s'il y a vraiment eu contamination, celle-ci se fera en fonction de la proximité des pegmatites ou des failles par lesquelles un fluide aurait pu circuler et non en fonction de la proximité de la bordure de l'anorthosite.

L'anorthosite de Borgia est peu différente de l'anorthosite des Adirondacks du point de vue contenu en potassium et rubidium, bien que l'une soit complètement recristallisée et

l'autre soit à peu près massive. L'anorthosite de Borgia a un pourcentage de potassium et un rapport K/Rb un peu moins élevés que ceux de l'anorthosite des Adirondacks (voir figure 9).

## 10.0 Conclusion:

La mise en place de l'anorthosite de Borgia par diapirisme a été suggérée à maintes reprises au cours du présent travail. Ce mode d'emplacement nous permet en effet d'expliquer la pétrographie et la structure de l'anorthosite, l'auréole granulitique dans les roches adjacentes et enfin les nombreuses injections de pegmatite qui recoupent l'anorthosite.

La première étape de l'histoire de la mise en place de l'anorthosite est d'abord une cristallisation ignée à la base de la croûte ou à la limite supérieure du manteau. Nous n'avons pas trouvé de cristaux de plagioclase primaire semblable à ceux des anorthosites du Morin et du lac St-Jean (entre autres); nous avons cependant observé des cristaux d'olivine primaire à l'intérieur de quelques couronnes ainsi que des cristaux d'orthopyroxène dans l'anorthosite gabbroïque. La présence de ces deux minéraux reliques nous indique que la température et la pression de cristallisation de l'anorthosite devaient se trouver sous la courbe X de la figure 8b (ou encore sous une des courbes 1, 2, 3 ou 4 de la figure 8a). Si l'on suppose que l'anorthosite a dû monter dans la croûte à cause de sa faible densité, les températures et pressions de cristallisation doivent alors nécessairement se trouver tout près du segment EF de la courbe X (figure 8b), puisque le point E représente la température et la pression de formation des pyroxènes et du spinelle des couronnes à

partir de l'olivine et du plagioclase. Le point E (928°C à 7.8 kbs) fixe ainsi la température et la pression minimum de cristallisation de l'anorthosite. Une pression de cet ordre correspondrait à environ 20 km de profondeur, soit à la partie profonde de la croûte. Le contenu en K et en Rb dans l'anorthosite de Borgia est peu différent de celui des anorthosites des Adirondacks.

La seconde étape de l'histoire géologique de l'anorthosite qui a peut-être suivi la première sans interruption, est une période de recristallisation pendant laquelle la structure diapirique s'est formée et pendant laquelle les couronnes ont commencé à se créer. Une faiblesse dans la croûte au-dessus de l'anorthosite aurait pu faciliter la montée diapirique de la masse; en effet l'anorthosite s'est mise en place au contact entre trois types de roche: soient le complexe gneissique, la leucodiorite et la monzonite quartzifère. Un métamorphisme régional dans le facies granulite ou amphibolite supérieur aurait aussi pu provoquer la montée de l'anorthosite. L'auteur suggère cependant que l'anorthosite est montée à un niveau peut-être alors affecté par un métamorphisme dans le facies amphibolite; la roche aurait subi un métamorphisme de contact dans le facies granulite autour de l'anorthosite lors de la mise en place de celle-ci.

L'analyse structurale de la déformation de l'anorthosite et des roches encaissantes rend plausible l'hypothèse d'un diapirisme. Nous avons en effet observé que le centre de

l'anorthosite contient surtout des linéations subverticales alors que la bordure contient une foliation parallèle en affleurement au contact avec la roche encaissante, quand celui-ci est visible. Nous avons aussi remarqué que les roches adjacentes à l'anorthosite sont de plus en plus déformées (et dans un plus haut facies métamorphique) à mesure qu'on se rapproche du contact avec l'anorthosite. L'orientation des structures de l'anorthosite suggère que la mise en place a été en partie contrôlée par l'attitude N-S des contacts entre les roches encaissantes pré-existantes, et/ou par un métamorphisme régional formant des structures orientées N-S. Dans le premier cas, l'anorthosite aurait adopté une structure N-S à cause de contacts pré-existants, et elle aurait imposée cette structure aux roches encaissantes, d'où le parallélisme des axes de zones dans l'anorthosite et dans les roches encaissantes. Dans le second cas, toutes les roches auraient été affectées ensemble par une déformation régionale qui aurait formé les axes de zones à peu près N-S.

Dans les couronnes de l'anorthosite, les pyroxènes secondaires, formés à partir de la réaction ol-plag, sont recristallisés en polyèdres comme les plagioclases de l'anorthosite; on peut donc supposer que la formation des couronnes s'est faite en même temps que la recristallisation des plagioclases. L'étude de ces couronnes nous a permis de constater qu'elles ne peuvent se former que si la température et la pression baissent dans la roche. On peut attribuer

cette baisse de pression et de température au diapirisme de l'anorthosite qui s'est refroidie en montant dans la crôte. Les température et pression trouvées à partir des analyses des pyroxènes de ces couronnes nous indiquent que la formation des couronnes a pu se produire soit pendant un métamorphisme régional prograde, soit par un métamorphisme rétrograde. L'auteur favorise la seconde hypothèse mais ne nie pas la possibilité qu'un métamorphisme prograde ait pu précéder une période de métamorphisme rétrograde.

La troisième étape de l'histoire géologique de l'anorthosite est une phase de fracturation pendant laquelle deux failles se forment, les pegmatites se mettent en place et les minéraux noirs de l'anorthosite sont hydratés. On peut supposer que les failles se sont produites dans l'anorthosite lorsque la déformation plastique, causée par les contraintes diapiriques, n'a plus été possible à cause des températures et des pressions moins élevées; la masse d'anorthosite est devenue cassante et il est remarquable que les deux failles principales soient à peu près parallèles aux structures créées par la déformation plastique dans l'anorthosite. Ces deux failles ont divisé l'anorthosite en trois blocs structuraux; le bloc occidental, celui du centre et le bloc oriental qui représenteraient respectivement le mur, le coeur et le toit du massif.

Selon notre hypothèse, les roches adjacentes à l'anorthosite ont été métamorphosées dans le facies granulite lors

de la mise en place du massif. Ce métamorphisme de contact n'a probablement pas été capable de chasser toute l'eau contenue dans ces roches. Une situation de déséquilibre a dû s'établir pour former un litage dans les roches adjacentes au massif et l'eau a pu se concentrer dans certains niveaux et en abaisser le point de fusion. Lorsque l'anorthosite a commencé à se fracturer, il est possible que le matériel en fusion dans les roches adjacentes au massif ait alors été expulsé pour injecter l'anorthosite le long des failles et fractures nouvellement formées. Il est alors facile d'expliquer la variété des injections dans l'anorthosite puisque le matériel fondu provenant d'une variété de roches avait probablement une composition hétérogène. De même, on peut supposer que les premières injections ont été foliées parallèlement aux bords des filons à cause d'un écrasement dû à des mouvements de la masse anorthositique; on peut aussi supposer que d'autres injections plus tardives n'ont pas été affectées par ces mouvements créant ainsi deux catégories de pegmatite.

La présence de minéraux hydratés dans l'anorthosite peut s'expliquer par une phase de métasomatisme liée aux injections pegmatitiques. L'association commune de l'amphibole et de l'orthopyroxène dans les couronnes de même que le zonage inverse pris par les plagioclases autour des couronnes présumément lors de cette phase métasomatique nous permettent de penser que l'anorthosite était encore à des pressions et

des températures relativement élevées lors de la phase d'hydratation. En effet, pour que l'orthopyroxène soit encore stable lors de la formation de l'amphibole, la température et la pression devraient théoriquement être plus élevées qu'au point N de la figure 8b (environ 800°C et 7 kbs).

L'âge de la mise en place de l'anorthosite par rapport à l'orogénèse grenvillienne est difficile à déterminer. Les gneiss encaissants ont subi leur dernière déformation régionale avant ou pendant la mise en place de l'anorthosite; un métamorphisme régional postérieur à la mise en place de l'anorthosite aurait ramené toutes les roches au même facies. Si cette déformation régionale date de l'orogénèse grenvillienne, l'anorthosite serait alors tardi-grenvillienne ou grenvillienne. Si par contre la déformation est plus ancienne, il semblerait que l'orogénèse grenvillienne n'a pas affecté la région et l'âge de l'anorthosite demeure indéterminé.

## BIBLIOGRAPHIE

- Ahrens, L.H.; Pinson, W.H.; Kearns, M.M.; 1952. Association of Rb and K and their abundance in common igneous rocks and meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 2, p. 229-242
- Baer, A.J.; 1976. Preliminary report on the Borgia meta-anorthosite (La Tuque, Quebec, Canada). *Can. J. Earth Sc.*, 13-1, p. 84-91
- Deer, Howie and Zussman; 1971. *Rock Forming Minerals*
- Emslie, R.F.; 1970. Liquidus relations and subsolidus reactions in some plagioclase bearing systems. *Carnegie Institution Washington Yearbook* 69, p. 148-155
- England, R.V.; 1974. Corona structures formed by near-isochemical reaction between olivine and plagioclase in metamorphosed dolerite. *Mineralogical Magazine* 39, p. 816-818
- Fyfe, W.S.; 1973. The granulite facies, partial melting and the Archean crust. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lon. A* 273, p. 457-461
- Gardner, P.M.; Robins, B.; 1974. The olivine-plagioclase reaction: geological evidence from the Seiland petrographic province, Northern Norway. *Contr. Mineral. and Petrol.* 44, p. 149-156
- Gast, P.W.; 1965. Terrestrial ratio of K/Rb and the composition of the earth's mantle. *Science*, 147, p. 858-860
- Green, D.H.; Ringwood, A.E.; 1967. The stability fields of aluminous pyroxene peridotite and garnet peridotite and their relevance in upper mantle structure. *Earth planet Sc. Lett.* 3, p. 151-160
- Grieve, R.A.F.; Gittins, J.; 1975. Composition and formation of coronas in the Hadlington gabbro, Ontario, Canada. *Can. J. Earth Sc.* 12, p. 289-299
- Griffin, W.L.; 1971. Genesis of coronas in anorthosites of the Upper Jotun Nappe, Indre Sogn, Norway. *Jour. Petrol.* 12, p. 219-243
- Griffin, W.L.; Heier, K.S.; 1973. Petrological implications of some corona structures. *Lithos.* 6, p. 315-335

- Griffin, Sandvoll and Kristmannottir; 1974. Trace element composition of anorthosite plagioclase. *Earth and Planetary Sc. Letters*, 24, p. 213-223
- Heier, K.S.; 1957. Phase relations of K-feldspar in metamorphism. *J. Geol.*, 65, p. 468-479
- Irving, A.J.; Green, D.H.; 1970. Experimental duplication of mineral assemblages in basic inclusions of the Delegate breccia pipes. *Phys. Earth Pla. Int.* 3, p. 385-389
- Isachsen, Y.W. (editor); 1969. Origin of anorthosite and related rocks. New York St. Museum and Sc. Services Mem. 18
- Kerr, P.; 1959. *Optical Mineralogy*. McGraw-Hill, 442 p.
- Kretz, R.; 1963. Distribution of Mg and Fe between orthopyroxene and calcic pyroxene in natural mineral assemblages. *J. Geol.* p. 773-785
- Kushiro, I.; Yoder, H.S.; 1966. Anorthite-fosterite and anorthite-enstatite reactions and their bearing on the basalt-eclogite transformation. *J. Petrol.* 7, p. 337-362
- Laurin, A.F.; Sharma, K.N.M.; 1972. Grenville Project 1965-66-67; Quebec Depart. Nat. Res. Open file manuscript
- Martignole, J.; Schrijver, K.; 1973. Effect of rock composition on appearance of garnet in anorthosite-charnockite suites. *Can. J. Earth Sc.* 7, p. 1132-1139
- Martignole, J.; 1975. Le Précambrien dans le sud de la Province Tectonique de Grenville (Bouclier Canadien). Thèse de doctorat d'Etat, Toulouse, France, 404 p.
- Mason, R.; 1967. Electron-probe microanalysis of corona in a troctolite from Sulitjelma Norway. *Mineral. Mag.* 36, p. 504-514
- McLelland, J.M.; Whitney, P.R.; 1977. The origin of garnet in the anorthosite-charnockite suite of the Adirondacks. *Contr. Mineral. Petrol.*, 66, p. 161-181
- Murthy, M.V.N.; 1958. Coronites from India and their bearing on the origin of coronas. *Geol. Soc. Am. Bull.* 69, p. 23-38
- Newham, W.D.N.; 1964. Interim report on Chaumonot area (Lavolette and Quebec electoral districts) Quebec Dept. Nat. Res. Open file manuscript

- Philpotts, A.R.; 1966. Origin of the anorthosite-mangerite rocks of southern Quebec. *J. Petrol.* 7, p. 1-67
- Ramberg, H.; DeVore, G.; 1951. The distribution of  $Fe^{++}$  and  $Mg^{++}$  in co-existing olivines and pyroxenes. *J. Geol.* 59, p. 193-210
- Reynolds, R.C.; Fredrickson, A.F.; 1962. Corona development in Norwegian hyperites and its bearing on the metamorphic facies concept. *Geol. Soc. Am. Bull.* 73, p. 59-72
- Rondot, J.; 1961. Preliminary report on Langelier area, Laviolette and Quebec counties. Quebec Dept. Nat. Res. Prelim. Report 450
- Sapountzis, E.S.; 1975. Coronas from the Thessaloniki gabbros (North Greece). *Contrib. Mineral. Petrol.* 51, p. 197-203
- Wells, P.R.A.; 1977. Pyroxene thermometry in simple and complex systems. *Contr. Mineral. Petrol.* 62, p. 129-139
- Whitney, P.R.; McLelland, J.M.; 1973. Origin of coronas in meta-gabbros of the Adirondack Mts, N.Y. *Contr. Mineral. Petrol.* 39, p. 81-98
- Winkler, H.G.F.; 1974. Petrogenesis of metamorphic rocks, Springer-Verlag, New York, N.Y., 3rd edition, 237 p.'
- Wood, B.J.; Banno, S.; 1973. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems. *Contr. Mineral. Petrol.* 42, p. 109-124

## Appendice I

Liste des abréviations utilisées:

$a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{minéral}}$  : activité de la composante  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  dans un minéral

ab: albite	Kb: kilobar
Alm: almandine	Kf: efeldspath de potassium
Amph: amphibole	km: kilomètre
And: andradite	M: microcline
An: anorthite	m: mètre
Ap: apatite	mil: milieu
Bi: biotite	mm: millimètre
Car: carbonate	Mt: magnétite
Chl: chlorite	Mu: muscovite-séricite
cm: centimètre	N: nord
Cpx: clinopyroxène	Or: orthose
E: est	Ol: olivine
En: enstatite	Op: minéraux opaques
Ep: épidote	Opx: orthopyroxène
ext: extérieur de couronne	Parg: pargasite
Fo: forstérite	Plag: plagioclase
Gr: grenat	PPM: partie par million
Gro: grossulaire	Px: pyroxène
Hbl: hornblende	Pyr: pyrope
Il: ilménite	Qz: quartz
int: intérieur de couronne	re: texture de remplacement

## Appendice I: Liste des abbréviations utilisées (suite):

S:	sud
Spe:	spessartine
Sph:	sphène
Spi:	spinelle
TR:	texture de remplacement
Uva:	uvarovite
2V:	angle de l'axe optique
W:	ouest
Wo:	wollastonite
Zr:	Zircon
I:	primaire
II:	secondaire
III:	tertiaire
1-2A-75:	1 = numéro de traverse
	2 = numéro d'affleurement
	A = échantillon
	75 = année

Appendice II

Minéralogie des lames minces  
des principales unités

Appendice II: Minéralogie des lames minces du complexe gneissique (unité 1)

Numéro  
d'échantillon

Facies amphibolite

	plag	Kf	Qz	ol	opx	cpx	amph	bi	gr	ap	zr	chl	ep	mu	car	op	re
3-2-75	an33	-	*	-	-	-	*	*	-	*	-	-	-	-	*	-	-
3-5B-75	an28	or-M	*	-	-	-	*	*	-	*	-	-	-	-	*	-	-
4-1-75	an23	M	*	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	*	-	*	*
4-3-75	an25	or-M	*	-	-	-	*	-	-	*	*	*	-	*	*	*	*
4-4-75	an28	M	*	-	-	-	*	*	-	*	*	-	-	-	-	*	*
26-1-75	an27	M	*	-	-	-	*	*	-	*	*	*	-	*	-	*	*

Facies granulite

1-1A-75	an20	or	-	*	*	*	*	-	-	*	-	-	-	-	-	*	*
1-1B-75	an13	or	-	-	*	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	*	*
3-3-75	an34	-	*	-	*	*	*	*	-	*	*	-	-	-	*	*	-
5-1-75	an22	or	-	-	*	*	*	-	*	*	-	-	-	-	-	*	-
5-2-75	an24	or	*	-	*	*	*	-	-	*	-	-	-	-	-	*	-
5-11-75	an31	-	-	-	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	*	-
5-14-75	an22	or	*	-	*	*	*	-	-	*	-	-	-	-	-	*	-
6-2-75	an27	or	*	-	-	*	*	*	-	*	-	-	-	*	*	*	-
6-3-75	an32	or	*	-	*	-	-	*	-	*	*	-	-	-	-	*	*
6-5-75	an33	-	*	-	*	-	*	*	-	*	*	*	-	*	-	*	-
8-8-75	an32	or	*	-	*	-	*	*	-	*	*	*	-	*	*	-	*

Appendice II: Minéralogie des lames minces du complexe gneissique (unité 1) (suite)

Numéro  
d'échantillon

Facies granulite (suite)

	plag	Kf	Qz	ol	opx	cpx	amph	bi	gr	ap	zr	chl	ep	mu	car	op	re
9-9-75	an28	-	-	-	*	*	*	-	*	*	*	-	-	-	-	*	-
9-12-75	an18	or	*	-	*	*	*	-	-	*	*	-	-	-	-	*	-
9-13-75	an38	or	*	-	*	*	*	*	-	*	-	-	-	-	-	*	-
16-6-75	an22	or	*	-	*	*	*	*	-	*	*	*	-	*	-	*	*
26-2B-75	an10	or	-	-	-	*	-	*	-	*	-	-	-	-	-	*	*
42-5-75	an32	or	*	-	*	*	*	*	-	*	-	-	-	-	-	*	-
42-6-75	an33	or	*	-	*	-	-	*	-	*	-	-	-	-	-	*	*
10-11A-73	an20	or	-	*	-	*	*	-	-	*	*	-	-	-	-	*	*
10-11H-73	an11	or	-	*	-	*	*	-	-	*	-	-	-	-	-	-	*
1-2-77	an10	or	-	-	-	*	*	-	-	*	-	-	-	-	-	*	*
7-2B-77	an20	or	*	-	-	*	-	-	-	*	*	-	-	-	-	*	*

Appendice II; Minéralogie des lames minces de la leucodiorite (unité 2)

Numéro  
d'échantillon

	plag	Kf	Qz	ol	opx	cpx	amph	bi	gr	ap	zr	chl	ep	mu	car	op	re
14-1-75	an27	or	-	-	*	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	*	*
5-2-77	an16	or	-	-	*	*	*	-	-	-	*	-	-	-	-	*	*
5-4-77	an 9	or	*	-	-	*	*	-	-	*	*	-	*	-	-	*	*
5-6-77	an 8	or-M	-	-	*	*	*	-	-	*	*	-	-	-	-	*	*

Appendice II; Minéralogie des lames minces de la monzonite quartzifère (unité 3)

Numéro  
d'échantillon

Facies amphibolite

	plag	Kf	Qz	ol	opx	cpx	amph	bi	gr	ap	zr	chl	ep	mu	car	op
1-1A-72	an23	M	*	-	-	-	*	*	-	*	*	-	-	*	-	*

Facies granulite

gneiss oeilé à pyroxène

1-5-72	an25	or	*	-	*	*	*	*	-	*	*	-	-	-	-	*
14-3-73	an24	or	*	-	*	*	*	*	-	*	*	-	-	-	-	*
30-2A-75	an32	or	*	-	-	*	*	*	-	*	*	-	-	-	-	*
39-5-75	an22	or	*	-	-	*	*	*	-	*	*	*	-	*	-	*
39-8-75	an19	or	*	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	*

phase rose

29-7-75	an22	or-M	*	-	-	-	-	-	-	*	*	*	-	*	-	*
30-2B-75	an19	M	*	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*
35-1-75	an16	M	*	-	-	-	-	*	-	-	*	-	-	-	-	*
39-1A-75	an27	or	*	-	-	*	*	-	-	*	-	-	-	*	-	*
44-1B-75	an19	-	*	-	-	-	*	*	-	*	*	*	-	*	-	*
4-3A-77	an20	M	*	-	-	-	-	*	-	*	*	*	-	-	-	*

Appendice II: Minéralogie des lames minces de la monzonite quartzifère (unité 3)

(suite)

Numéro  
d'échantillon

Facies granulite

	plag	Kf	Qz	ol	opx	cpx	amph	bi	gr	ap	zr	chl	ep	mu	car	op
			gneiss granulitique													
1-6-72	an29	or	*	-	*	*	*	*	-	*	*	-	-	-	-	*
2-1C-72	an31	or	*	-	-	*	*	*	-	*	*	-	-	*	-	*
2-1D-72	an40	-	*	-	*	*	*	*	-	*	*	-	-	*	-	*
2-1F-72	an30	-	*	-	-	*	*	*	-	*	-	-	-	*	-	*
39-1B-75	an22	or	*	-	-	*	*	*	-	*	*	-	-	*	-	*
44-1A-75	an29	-	*	-	-	-	*	*	-	*	*	-	-	-	-	*
44-2A-75	an29	or	-	-	-	*	*	*	-	*	*	*	*	*	-	-
45-19B-75	an38	-	-	-	*	*	*	*	-	*	*	-	-	-	-	*
4-3B-77	an21	or	*	-	*	*	-	-	-	*	*	*	*	-	-	*

Appendice II: Minéralogie des lames minces du complexe anorthositique (unité 4)

Numéro  
d'échantillon

Anorthosite

	plag	Kf	Qz	ol	spi	opx	cpx	amph	bi	chl	ep	car	mu	ap	sph	gr	op
1-5-75	an54	-	-	-	-	-	-	-	*	-	*	-	*	-	-	-	*
3-6-75	an47	-	*	-	-	-	*	*	-	*	-	*	*	*	*	-	*
5-5A-75	an30	-	*	-	-	-	-	-	*	-	-	*	*	*	-	-	-
5-5B-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	*	-	-	*
5-10-75	an54	-	*	-	-	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	*
9-6-75	an54	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	*	-	-	*
10-3-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	*	*	-	*
10-8-75	an46	-	*	-	-	-	*	*	*	*	-	-	*	*	*	-	*
10-11-75	an57	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-
11-2-75	an54	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	-	-	-	*	-
11-6-75	an59	-	-	-	-	-	-	*	*	*	-	-	*	-	-	-	*
12-8-75	an48	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*
13-1-75	an59	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*
15-3-75	an40	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	*	-	-	-	-
15-5-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*
17-4-75	an57	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	-	-	-	*	-
17-6-75	an54	-	-	*	*	*	*	*	*	-	-	-	*	-	-	*	*
17-12-75	an56	-	-	-	*	*	-	*	*	-	-	-	-	*	-	*	-

Appendice II: Minéralogie des lames minces du complexe anorthositique (unité 4)  
(suite)

Numéro  
d'échantillon

Anorthosite (suite)

	plag	Kf	Qz	ol	spi	opx	cpx	amph	bi	chl	ep	car	mu	ap	sph	gr	op
18-2-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	*	-	*
19-2-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	*	-
19-6-75	an54	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	*
19-11-75	an54	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*	-	-	-	*
20-1-75	an51	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-
20-5D-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	-	*	-	-	*	-	*	-	*
20-8-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*
21-1A-75	an54	-	*	-	-	-	-	*	*	-	*	-	*	-	-	-	*
21-2A-75	an42	-	*	-	-	-	-	*	*	*	-	-	*	-	-	-	*
21-5-75	an54	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	*	-	-	-	*
21-7-75	an56	-	*	-	-	-	-	-	*	-	-	*	*	-	-	-	*
22-1A-75	an44	or	*	-	-	-	-	-	*	-	-	*	*	*	-	-	-
22-1B-75	an53	-	*	-	-	-	-	*	*	-	-	-	*	*	-	-	-
22-5-75	an54	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	*	-	-	-	*
22-9-75	an56	-	*	-	-	-	-	-	*	-	-	*	*	-	-	-	*
23-4-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	-	*	-	*	*	-	-	-	-
25-8-75	an57	-	-	-	-	-	*	*	-	-	*	-	-	*	*	-	*
27-1-75	an54	-	-	-	-	-	*	*	-	-	*	-	-	-	-	-	*

Appendice II: Minéralogie des lames minces du complexe anorthositique (unité 4)  
(suite)

Numéro  
d'échantillon

Anorthosite (suite)

	plag	Kf.	Qz	ol	spi	opx	cpx	amph	bi	chl	ep	car	mu	ap	sph	gr	op
27-6-75	an56	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	*	-	-	-	*
28-2-75	an56	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*	-	*	-	-	-	*
29-1-75	an56	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*	-	*	-	*	-	*
29-2-75	an54	-	-	-	*	*	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*
31-7-75	an54	-	*	-	-	-	-	*	*	*	-	-	-	*	-	-	-
31-8A-75	an58	-	-	-	*	*	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*
32-2-75	an37	or	-	-	-	*	*	*	*	*	*	*	-	*	-	-	*
32-6-75	an54	-	*	-	-	-	-	-	-	*	*	-	*	-	-	-	*
33-9B-75	an54	-	-	-	*	-	-	*	*	*	-	-	*	*	-	-	*
35-3B-75	an56	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-	*	-	-	-	*
35-4A-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*	-	-	-	-	-	*
36-2-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	*	*	-	-	*	-	-	-	*
37-1-75	an57	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*
37-8-75	an54	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*	-	-	-	*
38-1A-75	an54	-	*	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*	*	-	-	-
38-7-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	-	*	-	-	*	*	*	-	*
40-7-75	an54	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*	-	*	*	*	-	*

Appendice II: Minéralogie des lames minces du complexe anorthositique (unité 4)  
(suite)

Numéro  
d'échantillon

Anorthosite (suite)

	plag	Kf	Qz	ol	spi	opx	cpx	amph	bi	chl	ep	car	mu	ap	sph	gr	op
41-14-75	an62	-	-	-	-	-	-	*	-	*	*	-	*	-	-	-	*
43-2A-75	an56	-	*	-	-	-	*	*	*	-	*	-	-	-	-	-	*
45-18A-75	an63	-	-	-	-	-	-	*	-	*	-	*	*	-	-	-	*
2-2C-72	an40	-	-	-	-	-	-	*	*	*	-	*	*	*	-	-	*
2-2F-72	an56	-	-	-	-	-	*	*	-	*	-	-	*	-	-	-	*
3-1A-72	an56	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	*	*	*	-	*
3-4A-72	an52	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	-	*	-	*	-	*
3-5A-72	an64	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	*	-	-	*	-
12-2A-73	an54	-	-	-	-	-	-	*	-	*	-	-	*	-	-	-	-
12-2B-73	an54	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	*	*	*	-	-
12-3A-73	an62	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	*	-	-	*	*
12-4A-73	an68	-	-	-	-	-	-	*	-	*	-	-	*	-	-	-	-
12-4B-73	an60	-	-	-	-	-	-	*	-	*	-	-	*	-	-	-	-
12-4C-73	an54	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*	-	-	-	-
14-4A-73	an68	-	-	-	-	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-
2-2A-77	an49	-	-	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-
2-2B-77	an ?	-	*	-	-	-	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
6-1B-77	an44	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*	-	-	-	-

Appendice II: Minéralogie des lames minces du complexe anorthositique (unité 4)  
(suite)

Numéro  
d'échantillon

Anorthosite gabbroïque

	plag	Kf	Qz	ol	spi	opx	cpx	amph	bi	chl	ep	car	mu	ap	sph	gr	op
12-6-75	an66	-	-	-	-	*	*	*	-	-	-	-	*	-	-	-	*
13-4A-75	an54	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-
13-4B-75	an50	-	-	-	-	?	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-
24-1B-75	an56	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	*	-	-	-	*
24-5A-75	an45	-	-	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	*
24-5B-75	an54	-	-	-	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-
2-5-77	an57	-	-	-	-	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	*

Gabbro anorthositique

2-6-75	an50	-	*	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	*	-	-	-
5-4C-75	an54	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-
5-5C-75	an55	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*
9-5-75	an57	-	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*
16-3-75	an54	-	-	-	-	-	*	*	*	-	-	*	*	*	-	-	*
29-3A-75	an46	-	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*
32-4-75	an62	-	-	-	-	*	*	*	-	-	-	-	-	*	-	*	*
41-7-75	an37	-	*	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	*	-	-	*
42-1-75	an54	-	-	-	*	*	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-

Appendice II: Minéralogie des lames minces du complexe anorthositique (unité 4)  
(suite)

Numéro  
d'échantillon

Gabbro anorthositique (suite)

	plag	Kf	Qz	ol	spi	opx	cpx	amph	bi	chl	ep	car	mu	ap	sph	gr	op
42-2-75	an40	-	-	-	-	*	*	*	-	-	-	*	-	*	-	-	*
42-3-75	an40	or	*	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	*	-	-	*
43-5B-75	an56	--	-	-	*	*	-	*	*	-	-	*	-	-	-	-	*
2-2E-72	an45	-	-	-	-	*	-	*	*	-	-	-	*	-	-	-	-
2-3A-72	an61	-	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	*	*	-	-	*
2-3C-72	an65	--	-	-	-	*	-	*	*	*	-	-	*	-	-	-	-
11-5B-73	an33	--	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	*	*	-	-	*
Gabbro																	
30-9-75	an56	-	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	*	-	-	*
1-4A-72	an54	-	-	--	-	*	*	*	*	-	*	-	*	*	*	-	*
6-2A-77	an54	-	-	-	-	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*
6-2B-77	an47	or	*	-	-	*	-	-	*	-	-	-	*	*	-	-	*

Appendice III

Résultats détaillés des analyses  
faites à la micro-sonde par  
Dr. George Plant

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr Georges Plant (G.S.C.)

OLIVINE

Lame mince	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	24-5A-75	24-5A-75	24-5A-75
Position	41	43	45	48	21	22	23
SiO <sub>2</sub>	39.04	38.52	38.61	38.44	38.65	38.67	38.81
TiO <sub>2</sub>	.03	.04	.09	-	.02	.01	.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.07	.05	.07	.05	.06	.08	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	.07	.07	-	.03	.01	.01
FeO(total)	21.95	22.19	21.56	21.56	22.35	21.89	21.39
MnO	.20	.24	.20	.23	.21	.14	.23
MgO	39.18	38.99	39.25	39.40	38.90	39.32	39.38
CaO	-	-	-	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	-
Total	100.47	100.10	99.85	99.68	100.22	100.12	99.85

	Cations pour 4 oxygènes							
Si	1.0064	.9996	1.0012	.9990	1.0019	1.0009	1.0051	.18
Al	.0021	.0015	.0021	.0015	.0018	.0024	-	
Ti	.0006	.0008	.0018	-	.0004	.0002	.0006	
Cr	-	.0014	.0014	-	.0006	.0002	.0002	
Fe	.4732	.4816	.4676	.4686	.4845	.4739	.4633	
Mn	.0044	.0053	.0044	.0051	.0046	.0031	.0050	
Mg	1.5052	1.5080	1.5169	1.5260	1.5028	1.5168	1.5200	
%Fo	75.9	75.5	76.1	76.3	75.4	76.1	76.4	

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C.)

ALTERATION BRUNATRE DES OLIVINES				
Lame mince	17-6-75	17-6-75	24-5A-75	24-5A-75
Position	46	47	26	27
SiO <sub>2</sub>	44.14	44.92	42.06	40.31
TiO <sub>2</sub>	.08	.11	-	.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.54	3.91	.22	.79
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	.09	-	.04
FeO(total)	29.65	28.24	20.64	22.07
MnO	-	.09	.18	.24
MgO	6.73	7.07	20.52	19.83
CaO	1.61	1.82	.29	.32
Na <sub>2</sub> O	-	-	.55	.55
K <sub>2</sub> O	.23	.29	-	.01
Total	85.98	86.54	84.46	84.18
<u>Mg</u>	.185	.200	.496	.471
Mg+Fe+Mn				

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C.)

ORTHOPYROXENE SECONDAIRE (OPX II)

Lame mince	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75
Position	44	42	40	39	38	34	33
SiO <sub>2</sub>	54.51	54.11	53.92	54.12	53.87	54.02	53.60
TiO <sub>2</sub>	.13	.09	.10	.08	.08	.06	.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.92	1.95	2.12	2.73	2.35	2.18	2.50
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	.01	-	.01	.03	.03	.07
FeO(total)	14.35	14.55	14.71	15.15	14.93	14.92	15.22
MnO	.27	.21	.24	.24	.17	.24	.22
MgO	28.24	28.11	27.93	27.64	27.58	27.77	27.25
CaO	.20	.33	.25	.18	.23	.20	.36
Total	99.62	99.36	99.27	100.15	99.24	99.42	99.37

Cations pour 6 oxygènes

Si	1.9568} 2.0	1.9510} 2.0	1.9473} 2.0	1.9391} 2.0	1.9468} 2.0	1.9490} 2.0	1.9392} 2.0
Al(IV)	.0432} 0	.0490} 0	.0527} 0	.0609} 0	.0532} 0	.0510} 0	.0608} 0
Al(VI)	.0381	.0339	.0376	.0544	.0469	.0417	.0458
Ti	.0035	.0024	.0027	.0022	.0022	.0016	.0041
Cr	-	.0003	-	.0003	.0008	.0008	.0019
Fe	.4308	.4387	.4443	.4540	.4512	.4502	.4605
Mn	.0082	.0064	.0073	.0073	.0052	.0073	.0067
Mg	1.5108	1.5105	1.5033	1.4759	1.4854	1.4932	1.4693
Ca	.0077	.0127	.0097	.0069	.0089	.0077	.0140
%Wo	.40	.65	.50	.36	.46	.39	.72
%En	77.50	76.99	76.80	76.20	76.35	76.53	75.59

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C.)

ORTHOPIROXENE SECONDAIRE (OPX II) (suite)

Lame mince	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75
Position	37	31	36	35	28	25
SiO <sub>2</sub>	53.37	53.67	53.08	53.57	52.66	52.94
TiO <sub>2</sub>	.13	.10	.07	.06	.04	.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.61	2.35	2.08	1.61	2.07	1.56
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.01	.04	.04	.05	-	-
FeO(total)	16.18	17.65	19.16	20.65	20.62	20.74
MnO	.22	.22	.26	.22	.30	.27
MgO	26.61	25.69	24.37	24.20	23.18	23.45
CaO	.35	.35	.40	.28	.43	.54
Total	99.48	100.07	99.46	100.64	99.30	99.59

Cations pour 6 oxygènes

Si	1.9371 <sub>N</sub>	1.9481 <sub>N</sub>	1.9541 <sub>N</sub>	1.9604 <sub>N</sub>	1.9558 <sub>N</sub>	1.9623 <sub>N</sub>
Al(IV)	.0629 <sub>O</sub>	.0519 <sub>O</sub>	.0459 <sub>O</sub>	.0396 <sub>O</sub>	.0442 <sub>O</sub>	.0377 <sub>O</sub>
Al(VI)	.0488	.0481	.0441	.0289	.0464	.0305
Ti	.0035	.0027	.0019	.0017	.0011	.0025
Cr	.0003	.0011	.0011	.0014	-	-
Fe	.4911	.5358	.5899	.6320	.6405	.6429
Mn	.0068	.0068	.0081	.0068	.0094	.0085
Mg	1.4394	1.3897	1.3371	1.3198	1.2831	1.2954
Ca	.0136	.0136	.0158	.0110	.0171	.0214
%Wo	.70	.70	.81	.56	.88	1.09
%En	74.04	71.67	67.93	67.24	66.12	66.10

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C.)

ORTHOPYROXENE SECONDAIRE (OPX II) (suite)

Lame mince	24-5A-75	24-5A-75	24-5A-75	24-5A-75
Position	25	20	19	18
SiO <sub>2</sub>	54.12	53.54	54.36	53.21
TiO <sub>2</sub>	.08	.06	.06	.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.55	2.30	2.14	3.14
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.10	.06	.10	.05
FeO(total)	14.19	16.05	15.47	17.38
MnO	.22	.27	.23	.29
MgO	28.16	26.88	27.34	25.40
CaO	.37	.41	.37	.31
Total	99.79	99.57	100.07	99.80

Cations pour 6 oxygènes

Si	1.9398 <sub>N</sub>	1.9415 <sub>N</sub>	1.9533 <sub>N</sub>	1.9346 <sub>N</sub>
Al(IV)	.0602 <sub>O</sub>	.0585 <sub>O</sub>	.0467 <sub>O</sub>	.0654 <sub>O</sub>
Al(VI)	.0476 <sub>N</sub>	.0398 <sub>N</sub>	.0440 <sub>N</sub>	.0692 <sub>N</sub>
Ti	.0022 <sub>N</sub>	.0016 <sub>N</sub>	.0016 <sub>N</sub>	.0005 <sub>N</sub>
Cr	.0027 <sub>N</sub>	.0016 <sub>N</sub>	.0027 <sub>N</sub>	.0014 <sub>N</sub>
Fe	.4254 <sub>N</sub>	.4868 <sub>N</sub>	.4649 <sub>N</sub>	.5285 <sub>N</sub>
Mn	.0067 <sub>N</sub>	.0083 <sub>N</sub>	.0070 <sub>N</sub>	.0089 <sub>N</sub>
Mg	1.5042 <sub>N</sub>	1.4527 <sub>N</sub>	1.4641 <sub>N</sub>	1.3763 <sub>N</sub>
Ca	.0142 <sub>N</sub>	.0159 <sub>N</sub>	.0142 <sub>N</sub>	.0121 <sub>N</sub>
%Wo	.73	.81	.73	.63
%En	77.38	74.29	75.34	71.80

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C.)

CLINOPYROXENE II (CPX II)

Lame mince	17-6-75	17-6-75	24-5A-75
Position	11	12	16
SiO <sub>2</sub>	52.00	52.09	49.66
TiO <sub>2</sub>	.14	.08	.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.49	2.21	5.83
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.04	.07	.04
FeO(total)	6.885	7.30	7.67
MnO	.03	.06	.08
MgO	15.01	14.84	14.53
CaO	23.52	23.66	20.60
Na <sub>2</sub> O	.32	.11	1.23
K <sub>2</sub> O	.07	-	.03
Total	100.50	100.42	99.82

Cations pour 6 oxygènes

Si	1.9216	1.9290	1.8470
Al(IV)	.0784	.0710	.1530
Al(VI)	.0301	.0255	.1026
Ti	.0039	.0022	.0042
Cr	.0011	.0020	.0011
Fe	.2126	.2261	.2386
Mn	.0009	.0019	.0025
Mg	.8266	.8190	.8054
Ca	.9313	.9388	.8210
Na	.0229	.0079	.0887
K	.0033	-	.0014
%Wo	47.26	47.32	44.02
%En	41.95	41.28	43.18

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C)

ORTHOPYROXENE III (OPX III)

Lame mince	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75
Position	26	27	29	30	32
SiO <sub>2</sub>	53.19	52.94	52.33	53.57	52.86
TiO <sub>2</sub>	.07	.07	-	.07	.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.27	1.70	2.29	1.33	2.24
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.07	.03	.06	.04	.04
FeO(total)	21.86	21.53	21.24	20.45	21.08
MnO	.34	.27	.24	.20	.25
MgO	23.41	23.32	23.21	24.35	23.53
CaO	.38	.30	.19	.23	.21
Total	100.59	100.16	99.56	100.24	100.24

Cations pour 6 oxygènes

Si	1.9618) <sub>N</sub>	1.9567) <sub>N</sub>	1.9437) <sub>N</sub>	1.9665) <sub>N</sub>	1.9469) <sub>N</sub>
Al(IV)	.0382) <sub>O</sub>	.0433) <sub>O</sub>	.0563) <sub>O</sub>	.0335) <sub>O</sub>	.0531) <sub>O</sub>
Al(VI)	.0170	.0308	.0440	.0240	.0442
Ti	.0019	.0019	-	.0019	.0008
Cr	.0019	.0008	.0017	.0011	.0011
Fe	.6743	.6655	.6598	.6278	.6493
Mn	.0106	.0085	.0076	.0062	.0078
Mg	1.2868	1.2845	1.2848	1.3321	1.2916
Ca	.0150	.0119	.0076	.0090	.0083
%Wo	.75	.61	.39	.46	.43
%En	65.12	65.47	65.81	67.66	66.26

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C.)

ORTHOPYROXENE III (OPX III) (suite)

Lame mince	24-5A-75	24-5A-75
Position	24	17
SiO <sub>2</sub>	52.59	52.52
TiO <sub>2</sub>	.03	.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.23	3.79
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.03	-
FeO(total)	18.64	18.30
MnO	.33	.31
MgO	25.01	24.69
CaO	.16	.25
Total	100.02	99.90

Cations pour 6 oxygènes

Si	1.9207	1.9164
Al(IV)	.0793	.0836
Al(VI)	.0598	.0794
Ti	.0008	.0011
Cr	.0008	-
Fe	.5693	.5585
Mn	.0102	.0096
Mg	1.3613	1.3427
Ca	.0063	.0098
%Wo	.32	.51
%En	70.28	70.26

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C.)

SPINELLE III (SPI III)

Lame mince Position	24-5A-75 près de 17	24-5A-75 près de 17	24-5A-75 près de 8	24-5A-75 près de 10
TiO <sub>2</sub>	.10	-	-	.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	61.00	62.00	61.30	61.80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.04	.04	-	.10
FeO(total)	27.80	27.30	27.70	26.30
MnO	.10	.10	.05	.10
MgO	11.10	11.80	11.80	12.20
Total	100.14	101.24	100.85	100.54

Cations pour 32 oxygènes

Ti	.0163	-	-	.0064
Al	15.5557	15.5746	15.5010	15.5727
Cr	.0065	.0064	-	.0161
Fe(III)	.4215	.4190	.4990	.4048
Fe(II)	4.6071	4.4457	4.4697	4.2963
Mn	.0183	.0180	.0091	.0181
Mg	3.5781	3.7470	3.7718	3.8860
<u>Mg</u>	.4148	.4342	.4311	.4516
Mg+Fe+Mn				

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C.)

AMPHIBOLE (PARGASITE)

Lame mince	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75
Position	7	9	8	6	10	5	4	3
SiO <sub>2</sub>	46.29	44.20	43.88	44.45	41.79	41.52	40.87	41.13
TiO <sub>2</sub>	.35	.86	.32	.41	.39	.37	.39	.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.03	11.15	11.94	11.36	14.11	14.70	15.48	15.17
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.08	.06	.05	-	.06	-	.01	.04
FeO(total)	11.05	11.01	12.18	12.09	12.85	13.03	13.09	12.64
MnO	.09	.06	.05	.02	.09	.07	.03	-
MgO	16.34	15.38	15.13	15.35	13.71	13.54	13.21	12.99
CaO	12.29	11.78	11.66	11.82	11.57	11.57	11.77	12.18
Na <sub>2</sub> O	1.80	2.45	2.22	1.94	2.35	2.15	2.78	2.90
K <sub>2</sub> O	.16	.64	.24	.50	.61	.65	.66	.73
Total	97.48	97.59	97.67	97.94	97.53	97.60	98.29	98.15

Cations pour 23 oxygènes

Si	6.7448 <sup>8</sup>	6.4725 <sup>8</sup>	6.4287 <sup>8</sup>	6.4921 <sup>8</sup>	6.1809 <sup>8</sup>	6.1363 <sup>8</sup>	6.0218 <sup>8</sup>	6.0661 <sup>8</sup>
Al(IV)	1.2552 <sup>0</sup>	1.5275 <sup>0</sup>	1.5713 <sup>0</sup>	1.5079 <sup>0</sup>	1.8191 <sup>0</sup>	1.8637 <sup>0</sup>	1.9782 <sup>0</sup>	1.9339 <sup>0</sup>
Al(VI)	.2960 <sup>5</sup>	.3975 <sup>5</sup>	.4911 <sup>5</sup>	.4483 <sup>5</sup>	.6414 <sup>5</sup>	.6977 <sup>5</sup>	.7109 <sup>5</sup>	.7039 <sup>5</sup>
Ti	.0384 <sup>5</sup>	.0947 <sup>5</sup>	.0353 <sup>5</sup>	.0450 <sup>5</sup>	.0434 <sup>5</sup>	.0411 <sup>5</sup>	.0432 <sup>5</sup>	.0410 <sup>5</sup>
Cr	.0088 <sup>5</sup>	.0066 <sup>5</sup>	.0055 <sup>5</sup>	-	.0067 <sup>5</sup>	-	.0011 <sup>5</sup>	.0044 <sup>5</sup>
Fe	1.3465 <sup>1</sup>	1.3484 <sup>1</sup>	1.4924 <sup>1</sup>	1.4768 <sup>1</sup>	1.5895 <sup>1</sup>	1.6105 <sup>1</sup>	1.6130 <sup>1</sup>	1.5591 <sup>1</sup>
Mn	.0111 <sup>1</sup>	.0074 <sup>1</sup>	.0062 <sup>1</sup>	.0025 <sup>1</sup>	.0113 <sup>1</sup>	.0088 <sup>1</sup>	.0037 <sup>1</sup>	-
Mg	3.5483 <sup>2</sup>	3.3565 <sup>2</sup>	3.3035 <sup>2</sup>	3.3412 <sup>2</sup>	3.0220 <sup>2</sup>	2.9823 <sup>2</sup>	2.9007 <sup>2</sup>	2.8552 <sup>2</sup>
Ca	1.9188 <sup>2</sup>	1.8484 <sup>2</sup>	1.8304 <sup>2</sup>	1.8498 <sup>2</sup>	1.8336 <sup>2</sup>	1.8322 <sup>2</sup>	1.8582 <sup>2</sup>	1.9244 <sup>2</sup>
Na	.5086 <sup>2</sup>	.6957 <sup>2</sup>	.6307 <sup>2</sup>	.5494 <sup>2</sup>	.6739 <sup>2</sup>	.6161 <sup>2</sup>	.7942 <sup>2</sup>	.8293 <sup>2</sup>
K	.0297 <sup>2</sup>	.1196 <sup>2</sup>	.0449 <sup>2</sup>	.0932 <sup>2</sup>	.1151 <sup>2</sup>	.1226 <sup>2</sup>	.1241 <sup>2</sup>	.1374 <sup>2</sup>
Mg	.7233	.7123	.6879	.6931	.6537	.6481	.6421	.6468
Mg+Fe+Mn								

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C.)

AMPHIBOLE (PARGASITE) (suite)

Lame mince	17-6-75	17-6-75	24-5A-75	24-5A-75	24-5A-75	24-5A-75	24-5A-75
Position	2	1	15	14	13	11	12
SiO <sub>2</sub>	41.17	40.44	40.57	40.55	40.27	40.48	40.30
TiO <sub>2</sub>	.35	.41	.74	.73	.95	.70	.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.52	15.56	14.11	15.26	15.23	15.15	15.14
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.05	.01	.03	.06	.03	.09	.02
FeO(total)	11.23	12.63	11.42	11.29	11.34	11.79	11.71
MnO	-	.04	.08	.04	.04	.11	.13
MgO	13.71	13.00	14.21	14.03	13.82	13.23	13.12
CaO	11.84	11.73	11.81	11.51	11.30	11.28	11.39
Na <sub>2</sub> O	2.79	2.71	2.86	2.95	3.02	3.08	3.35
K <sub>2</sub> O	.74	.73	.93	.88	.90	.92	.78
Total	97.40	97.26	96.76	97.30	96.90	96.83	96.81

Cations pour 23 oxygènes

Si	6.0677 <sup>∞</sup>	6.0141 <sup>∞</sup>	6.0570 <sup>∞</sup>	6.0020 <sup>∞</sup>	5.9887 <sup>∞</sup>	6.0365 <sup>∞</sup>	6.0145 <sup>∞</sup>
Al(IV)	1.9323 <sup>0</sup>	1.9859 <sup>0</sup>	1.9430 <sup>0</sup>	1.9980 <sup>0</sup>	2.0113 <sup>0</sup>	1.9635 <sup>0</sup>	1.9855 <sup>0</sup>
Al(VI)	.7645 <sup>5</sup>	.7423 <sup>5</sup>	.5406 <sup>5</sup>	.6650 <sup>5</sup>	.6590 <sup>5</sup>	.7001 <sup>5</sup>	.6785 <sup>5</sup>
Ti	.0388 <sup>2</sup>	.0459 <sup>2</sup>	.0831 <sup>2</sup>	.0813 <sup>2</sup>	.1063 <sup>2</sup>	.0785 <sup>2</sup>	.0976 <sup>2</sup>
Cr	.0055 <sup>2</sup>	.0011 <sup>2</sup>	.0034 <sup>2</sup>	.0067 <sup>2</sup>	.0034 <sup>2</sup>	.0101 <sup>2</sup>	.0022 <sup>2</sup>
Fe	1.3842 <sup>1</sup>	1.5709 <sup>1</sup>	1.4259 <sup>1</sup>	1.3976 <sup>1</sup>	1.4104 <sup>1</sup>	1.4704 <sup>1</sup>	1.4616 <sup>1</sup>
Mn	-	.0050 <sup>1</sup>	.0101 <sup>1</sup>	.0050 <sup>1</sup>	.0050 <sup>1</sup>	.0139 <sup>1</sup>	.0164 <sup>1</sup>
Mg	3.0114 <sup>2</sup>	2.8813 <sup>2</sup>	3.1617 <sup>2</sup>	3.0949 <sup>2</sup>	3.0630 <sup>2</sup>	2.9403 <sup>2</sup>	2.9182 <sup>2</sup>
Ca	1.8698 <sup>8</sup>	1.8692 <sup>8</sup>	1.8893 <sup>8</sup>	1.8255 <sup>8</sup>	1.8006 <sup>8</sup>	1.8024 <sup>8</sup>	1.8214 <sup>8</sup>
Na	.7973 <sup>8</sup>	.7815 <sup>8</sup>	.8279 <sup>8</sup>	.8467 <sup>8</sup>	.8708 <sup>8</sup>	.8906 <sup>8</sup>	.9694 <sup>8</sup>
K	.1391 <sup>2</sup>	.1385 <sup>2</sup>	.1771 <sup>2</sup>	.1662 <sup>2</sup>	.1708 <sup>2</sup>	.1750 <sup>2</sup>	.1485 <sup>2</sup>
Mg	.6851	.6464	.6877	.6881	.6834	.6645	.6638
Mg+Fe+Mn							

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C.)

BIOTITE

Lame mince	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75
Position	13	14	15	16	17	18
SiO <sub>2</sub>	36.99	37.25	37.19	36.44	37.06	36.33
TiO <sub>2</sub>	2.01	2.49	2.90	3.12	2.96	2.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.35	15.90	15.41	15.55	14.94	15.14
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	.01	.03	-	-	-
FeO (total)	13.40	10.92	16.01	16.63	15.22	15.49
MnO	-	-	-	-	-	-
MgO	17.33	18.25	14.63	13.80	15.64	15.09
CaO	.19	.17	.14	.16	.19	.25
Na <sub>2</sub> O	-	.09	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	9.34	8.99	9.35	8.64	9.20	9.02
Total	94.61	94.07	95.66	94.34	95.21	93.89

Cations pour 22 oxygènes

Si	5.5230 <sup>8</sup>	5.5108 <sup>8</sup>	5.5532 <sup>8</sup>	5.5201 <sup>8</sup>	5.5426 <sup>8</sup>	5.5211 <sup>8</sup>
Al(IV)	2.4770 <sup>0</sup>	2.4892 <sup>0</sup>	2.4468 <sup>0</sup>	2.4799 <sup>0</sup>	2.4574 <sup>0</sup>	2.4789 <sup>0</sup>
Al(VI)	.2251	.2841	.2661	.2973	.1769	.2338
Ti	.2257	.2770	.3257	.3555	.3329	.2937
Cr	-	.0011	.0034	-	-	-
Fe	1.6733	1.3511	1.9993	2.1069	1.9037	1.9687
Mn	-	-	-	-	-	-
Mg	3.8563	4.0237	3.2557	3.1155	3.4860	3.4177
Ca	.0304	.0269	.0224	.0260	.0304	.0407
Na	-	.0258	-	-	-	-
K	1.7792	1.6968	1.7812	1.6698	1.7554	1.7488
Mg	.6974	.7486	.6195	.5966	.6468	.6345
Mg+Fe+Mn						

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George Plant (G.S.C.)

GRENAT

Lame mince	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	Position
Position	19	20	21	22	23	24	
SiO <sub>2</sub>	38.95	38.92	38.85	38.72	39.00	39.00	
TiO <sub>2</sub>	.09	.04	.01	.07	-	.01	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.11	21.27	21.08	21.19	21.07	21.02	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.09	.06	.01	.05	.04	.07	
FeO(total)	25.36	26.03	24.67	25.85	25.26	25.72	
MnO	.76	.77	.87	.89	.83	.84	
MgO	9.59	9.38	8.93	8.65	9.49	8.94	
CaO	4.34	4.12	5.33	4.58	4.71	4.63	
Na <sub>2</sub> O	.10	-	-	-	-	.07	
K <sub>2</sub> O	.01	-	-	.01	-	-	
Total	100.40	100.59	99.75	100.01	100.40	100.30	
Cations pour 24 oxygènes							
Si	5.9783 <sup>0</sup>	5.9725 <sup>0</sup>	6.0003	5.9856 <sup>0</sup>	5.9876 <sup>0</sup>	6.0062	
Al(IV)	.0217 <sup>0</sup>	.0275 <sup>0</sup>	-	.0144 <sup>0</sup>	.0124 <sup>0</sup>	-	
Al(VI)	3.7983 <sup>4</sup>	3.8207 <sup>4</sup>	3.8385 <sup>4</sup>	3.8476 <sup>4</sup>	3.8014 <sup>4</sup>	3.8166 <sup>4</sup>	
Cr	.0104 <sup>4</sup>	.0069 <sup>4</sup>	.0012 <sup>4</sup>	.0058 <sup>4</sup>	.0046 <sup>4</sup>	.0081 <sup>4</sup>	
Fe+3	.1809 <sup>4</sup>	.1678 <sup>4</sup>	.1591 <sup>4</sup>	.1385 <sup>4</sup>	.1940 <sup>4</sup>	.1741 <sup>4</sup>	
Ti	.0104 <sup>4</sup>	.0046 <sup>4</sup>	.0012 <sup>4</sup>	.0081 <sup>4</sup>	-	.0012 <sup>4</sup>	
Mg	2.1937 <sup>6</sup>	2.1452 <sup>6</sup>	2.0555 <sup>6</sup>	1.9928 <sup>6</sup>	2.1714 <sup>6</sup>	2.0519 <sup>6</sup>	
Fe+2	3.0744 <sup>6</sup>	3.1729 <sup>6</sup>	3.0275 <sup>6</sup>	3.2035 <sup>6</sup>	3.0494 <sup>6</sup>	3.1386 <sup>6</sup>	
Mn	.0988 <sup>6</sup>	.1001 <sup>6</sup>	.1138 <sup>6</sup>	.1165 <sup>6</sup>	.1079 <sup>6</sup>	.1096 <sup>6</sup>	
Ca	.7138 <sup>6</sup>	.6774 <sup>6</sup>	.8821 <sup>6</sup>	.7586 <sup>6</sup>	.7748 <sup>6</sup>	.7640 <sup>6</sup>	
Na	.0298 <sup>6</sup>	-	-	-	-	.0209 <sup>6</sup>	
K	.0020 <sup>6</sup>	-	-	.0020 <sup>6</sup>	-	-	
							19
							20
							21
							22
							23
							24

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George  
Plant (G.S.C.)

PLAGIOCLASE

Lame mince	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75
Position	49	50	51	52	53	54	55	57
SiO <sub>2</sub>	46.18	46.21	46.77	45.93	46.18	54.91	55.33	54.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34.55	34.67	34.51	34.97	34.44	28.62	28.22	28.31
FeO	.09	.20	.13	.27	.13	.03	.10	-
CaO	17.94	17.42	17.02	17.88	17.24	10.09	10.31	10.28
Na <sub>2</sub> O	.95	1.63	1.64	1.31	1.57	5.67	5.45	5.66
K <sub>2</sub> O	.06	.03	.05	.06	.02	.14	.13	.11
Total	99.77	100.16	100.12	100.42	99.58	99.46	99.54	99.23
An	90.9	85.4	84.9	88.0	85.8	49.2	50.7	49.8
Ab	8.7	14.5	14.8	11.6	14.1	50.0	48.5	49.6
Or	.4	.2	.3	.3	.1	.8	.8	.6

Plant (G.S.C.)

PLAGIOCLASE (suite)

Lame mince	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75	17-6-75
Position	56	59	58	60	61	loin	des	couronnes
SiO <sub>2</sub>	55.00	55.63	54.94	55.90	55.07	55.90	54.02	55.52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.70	28.15	28.74	27.62	28.50	28.49	28.72	28.60
FeO	-	.13	.04	.05	.07	.10	.08	.09
CaO	10.57	9.89	10.48	9.64	10.57	10.19	11.13	10.30
Na <sub>2</sub> O	5.42	6.09	5.74	5.80	5.46	5.55	5.09	5.52
K <sub>2</sub> O	.09	.17	.13	.15	.15	.16	.18	.14
Total	99.78	100.06	100.07	99.16	99.82	100.39	99.22	100.17
An	51.6	46.8	49.8	47.5	51.3	49.9	54.2	50.3
Ab	47.9	52.2	49.4	51.6	47.9	49.2	44.8	48.8
Or	.5	1.0	.8	.9	.9	.9	1.0	.8

Appendice III: Résultats des analyses faites à la micro-sonde par Dr George  
Plant (G.S.C.)

PLAGIOCLASE (suite)

Lame mince	24-5A-75	24-5A-75	24-5A-75	24-5A-75	24-5A-75
Position	7	8	9	10	1
SiO <sub>2</sub>	55.78	55.20	51.73	54.63	57.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.59	28.69	31.45	29.27	26.83
FeO	.09	.14	.09	.19	.08
CaO	9.82	10.10	12.87	10.59	8.06
Na <sub>2</sub> O	6.10	5.95	3.87	5.28	7.04
K <sub>2</sub> O	.07	.07	.05	.09	.18
Total	100.45	100.15	100.06	100.05	99.91
An	46.9	48.2	64.5	52.3	38.4
Ab	52.7	51.4	35.1	47.2	60.6
Or	.4	.4	.3	.5	1.0

Plant (G.S.C.)

PLAGIOCLASE (suite)

Lame mince	24-5a-75	24-5A-75	24-5A-75	24-5A-75	24-5A-75
Position	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	56.43	56.78	57.92	56.86	57.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.07	27.27	26.97	27.88	26.98
FeO	.05	.01	.07	.11	.03
CaO	9.43	8.71	7.99	9.16	8.23
Na <sub>2</sub> O	5.96	6.31	6.62	5.99	6.52
K <sub>2</sub> O	.12	.08	.15	.12	.09
Total	100.06	99.16	99.72	100.12	99.54
An	46.3	43.1	39.7	45.5	40.9
Ab	53.0	56.5	59.5	53.8	58.6
Or	.7	.5	.9	.7	.5

PLANCHE I

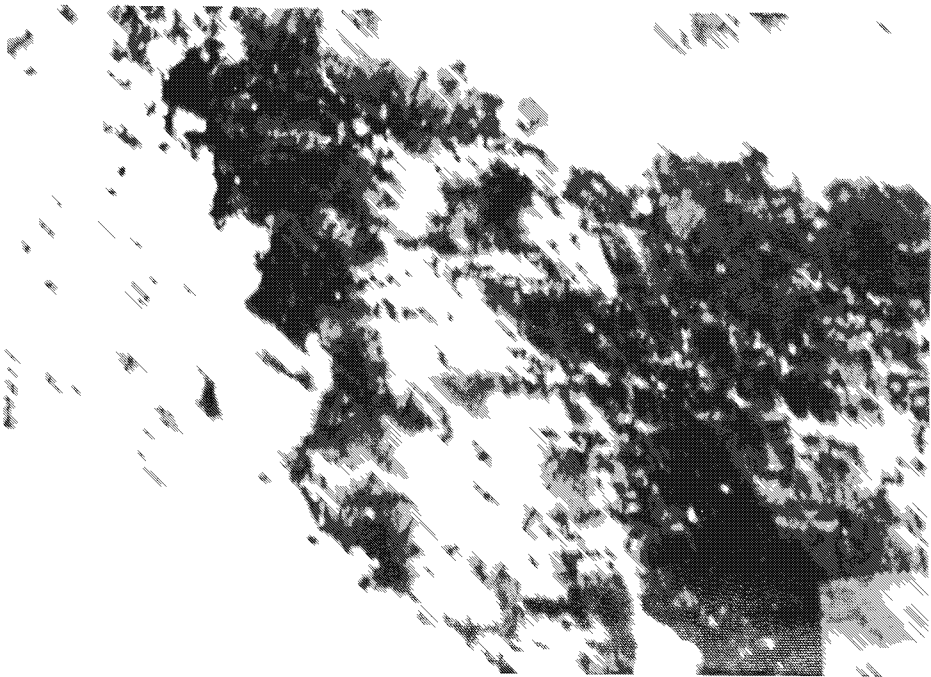
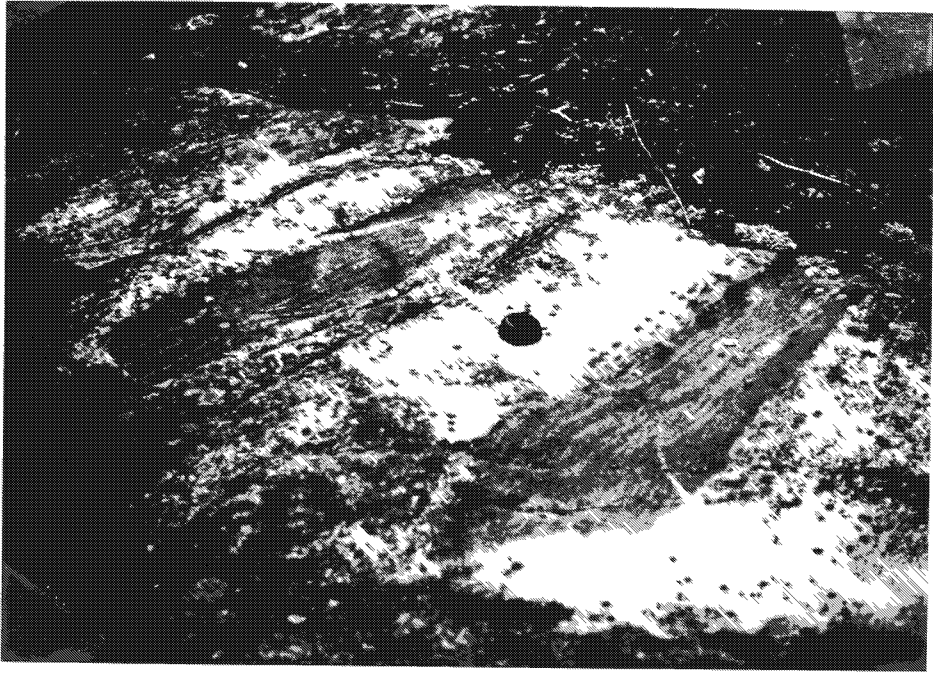
I-A Complexe gneissique, dans le facies amphibolite.  
Litage discontinu et abondance de mobilisat.  
Affleurement 3-5-77

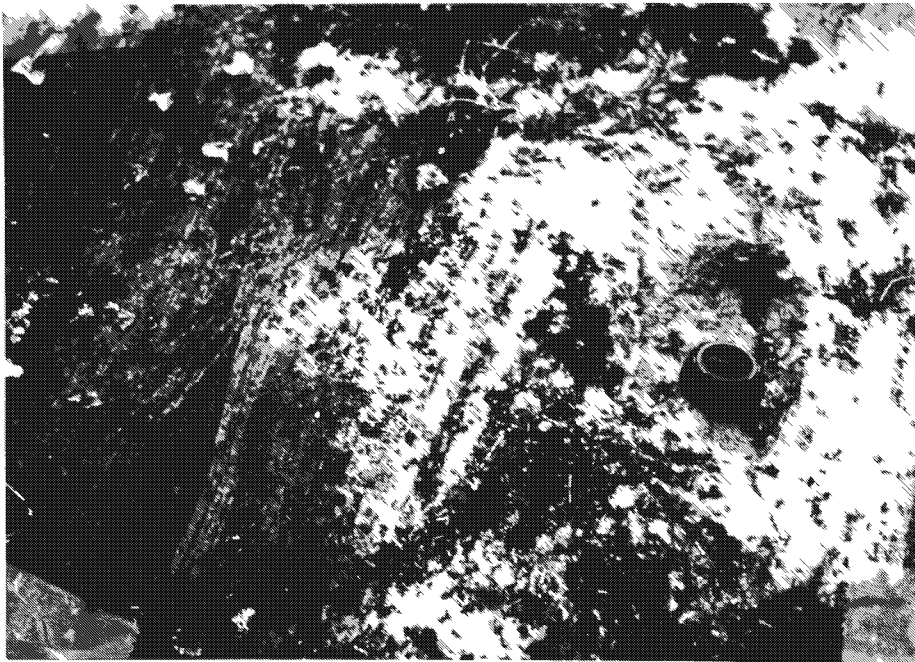
I-B Complexe gneissique dans le facies amphibolite.  
Gros grain de microcline dont la mâcle en grille  
s'estompe. Longueur de la photo: 4 mm.  
Affleurement 3-5-75

PLANCHE II

II-A Complexe gneissique dans le facies granulite.  
Laminations et textures rubanées.  
Affleurement 27-5-75

II-B Complexe gneissique dans le facies granulite.  
Boudinage des couches mafiques.  
Affleurement 3-3-77

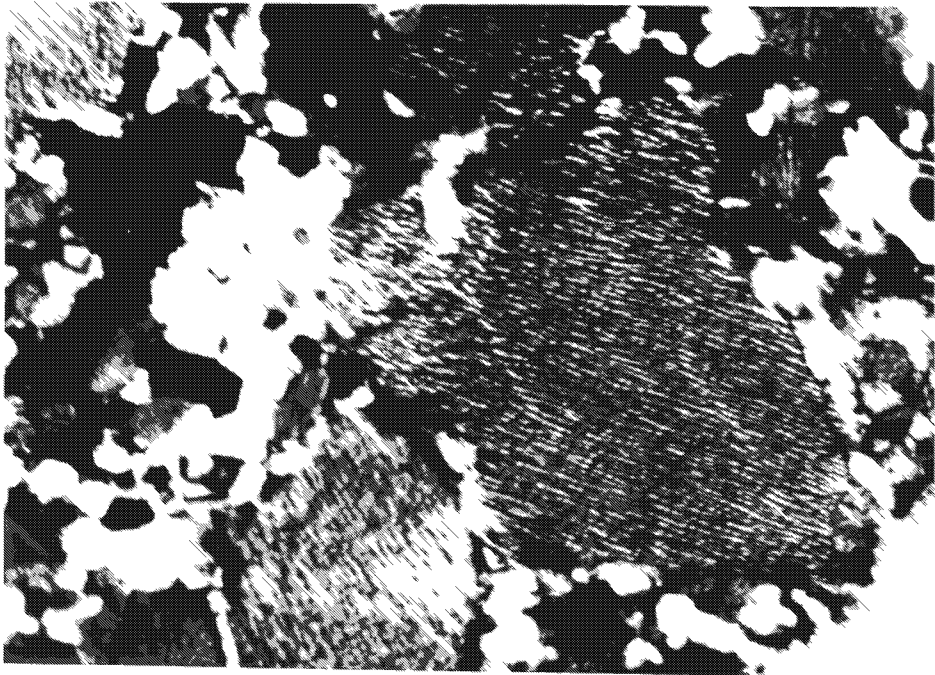
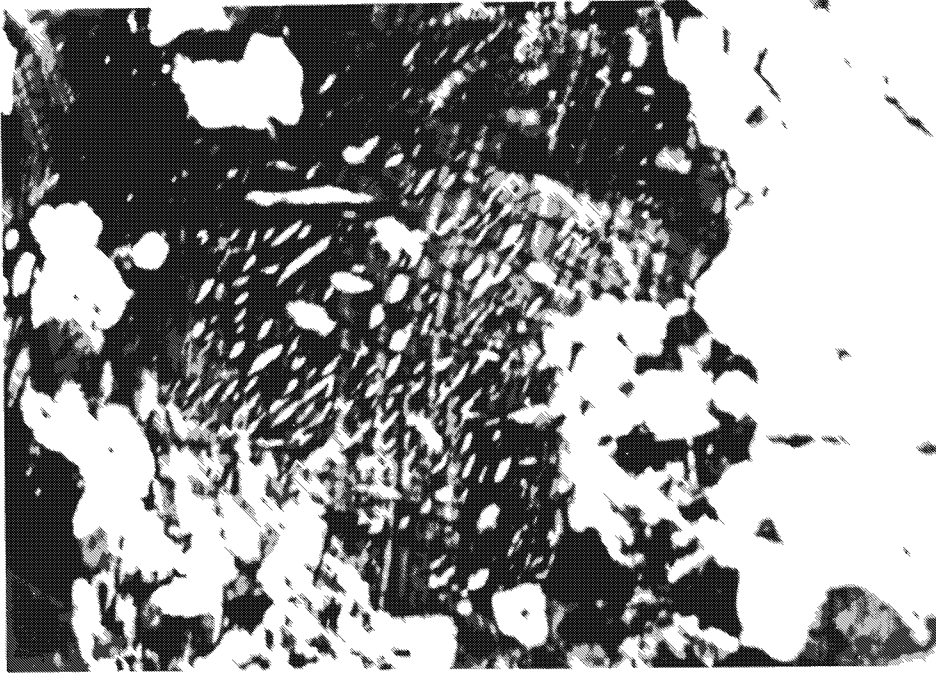




### PLANCHE III

III-A Complexe gneissique dans le facies granulite.  
Grain de plagioclase avec la mâcle de l'albite  
estompée; le grain montre une texture de  
remplacement en goutte avec l'orthose. Longueur  
de la photo: 3 mm.  
Affleurement 6-3-75

III-B Complexe gneissique dans le facies granulite.  
Grains de feldspath montrant des textures  
mésoperthitiques en cheveux. Longueur de la  
photo: 3 mm.  
Affleurement 26-2-75



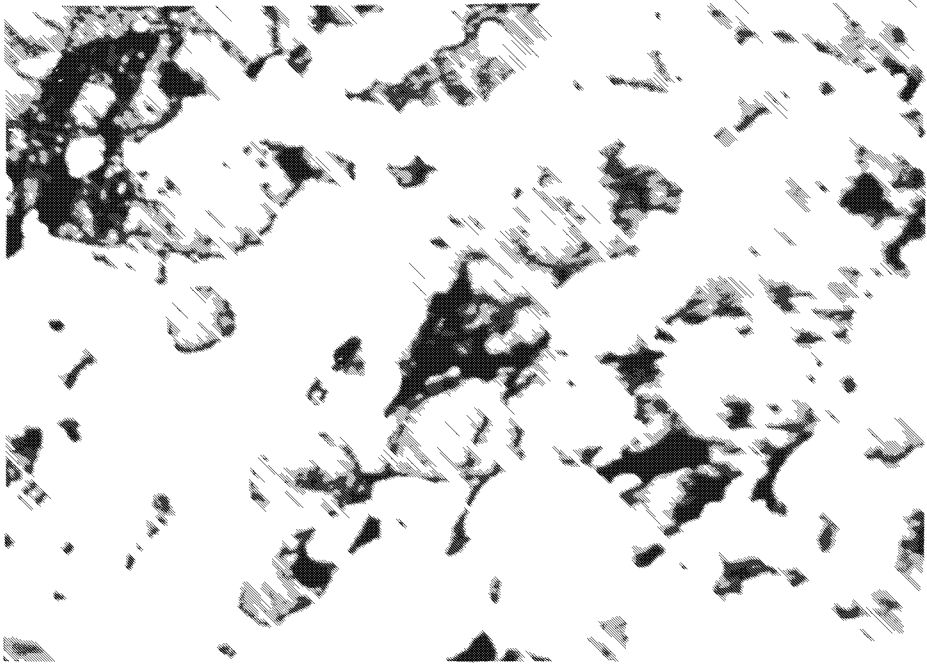


PLANCHE IV

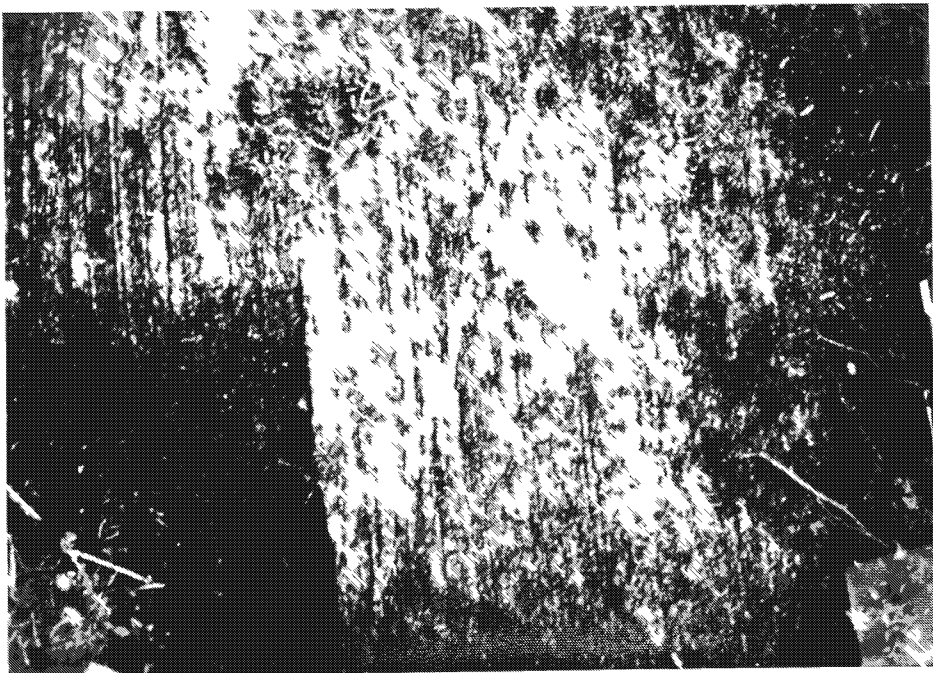
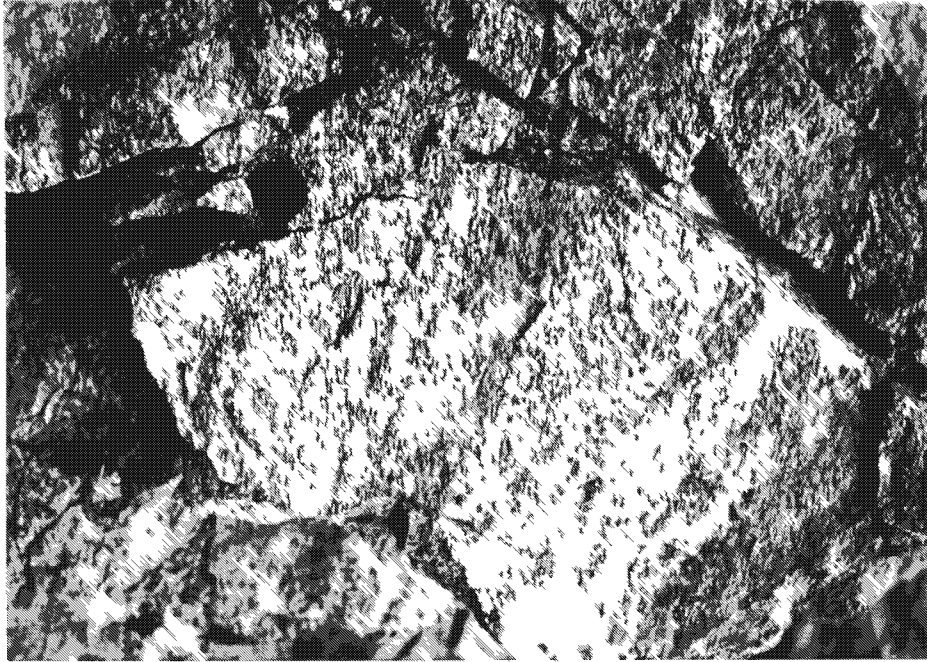
-A Complexe gneissique dans le facies granulite.  
Orthopyroxène et clinopyroxène dans le même grain;  
noter la forme en losange prise par l'aggrégat  
de pyroxène. Longueur de la photo: 2.25 mm.  
Affleurement 1-1-75

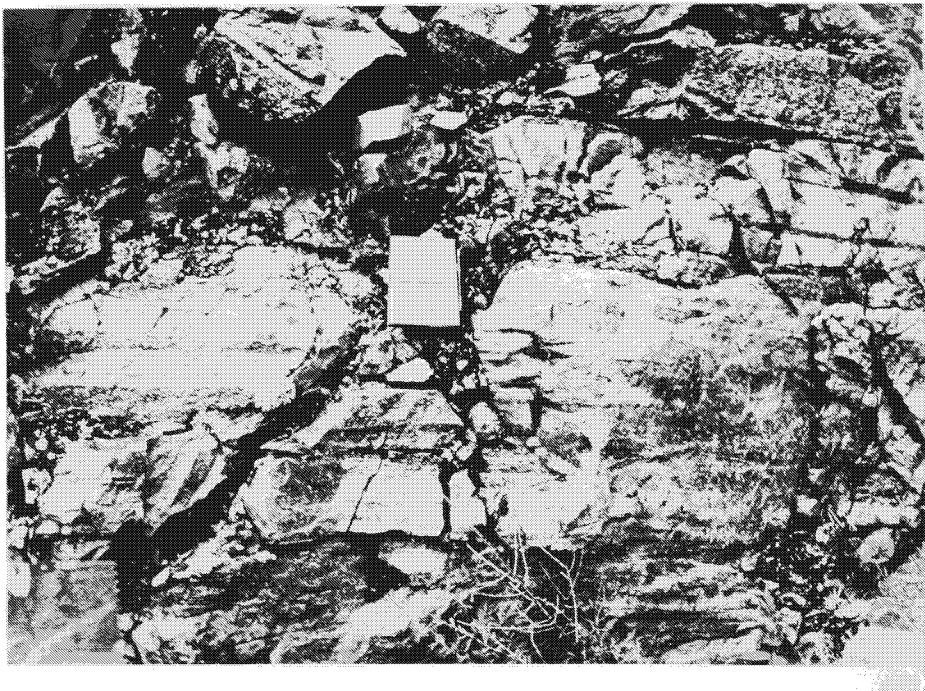
-B Leucodiorite avec injections de matériel  
pegmatitique parallèles à la foliation.  
Affleurement 5-1-77

PLANCHE V

V-A Monzonite quartzifère dans le facies amphibolite.  
Texture ignée; légèrement foliée; oeuillée par  
endroits; couleur d'altération rose le long des  
fractures probablement tardives.  
Affleurement 6-3-77

V-B Monzonite quartzifère dans le facies granulite;  
gneiss oeuillé. Lamination et texture rubanée;  
texture oeuillée.  
Affleurement 4-6-77





## PLANCHE VI

--A Monzonite quartzifère dans le facies granulite;  
gneiss ocellé et gneiss rose. Contact diffus entre  
le gneiss ocellé et le gneiss rose; la foliation  
traverse les deux types de roche.

Affleurement 6-7-77

-B Monzonite quartzifère dans le facies granulite:  
gneiss ocellé et gneiss rose. Litage irrégulier,  
localement plissé, fait des 2 types de roche.

Affleurement 6-7-77

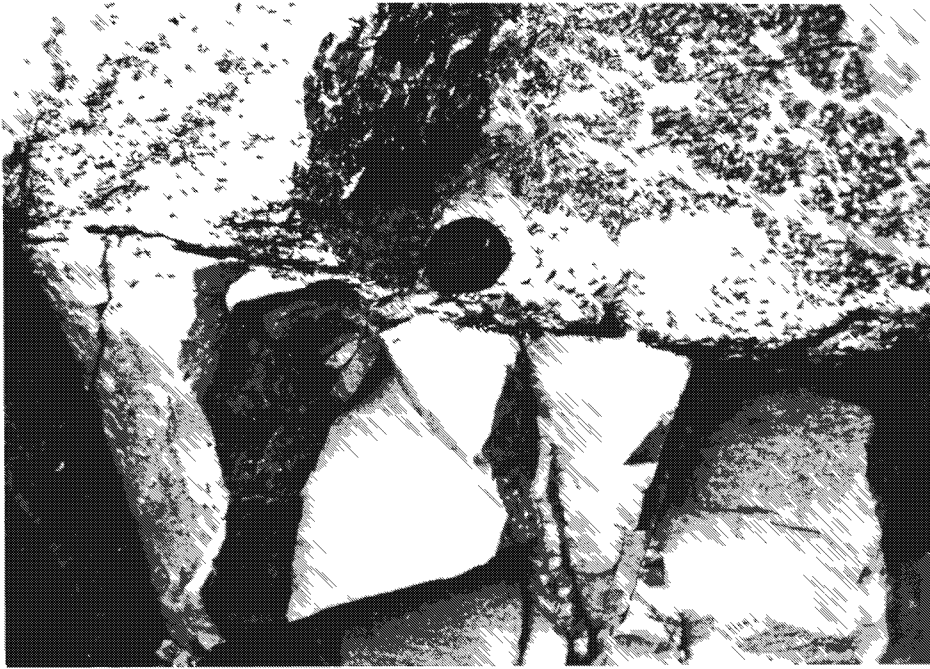
PLANCHE VII

VII-A Monzonite quartzifère dans le facies granulite;  
gneiss ocellé et gneiss rose. Gneiss rose  
individualisé recoupe le gneiss ocellé sous form  
de dyke.

Affleurement 6-7-77

VII-B Monzonite quartzifère dans le facies granulite;  
gneiss ocellé et gneiss rose. Gneiss ocellé  
relique à l'intérieur du gneiss rose.

Affleurement 6-9-77



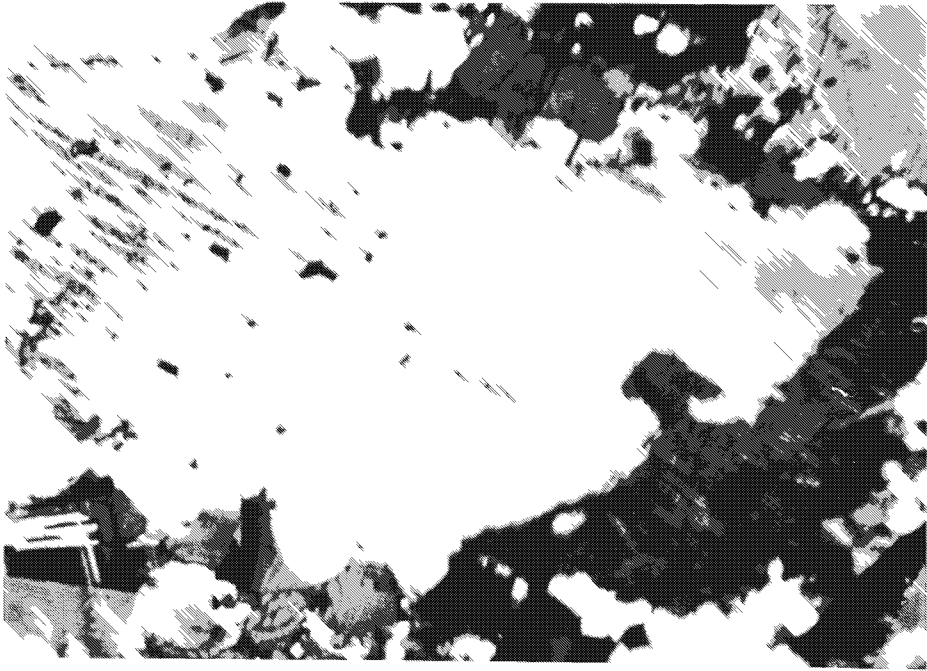
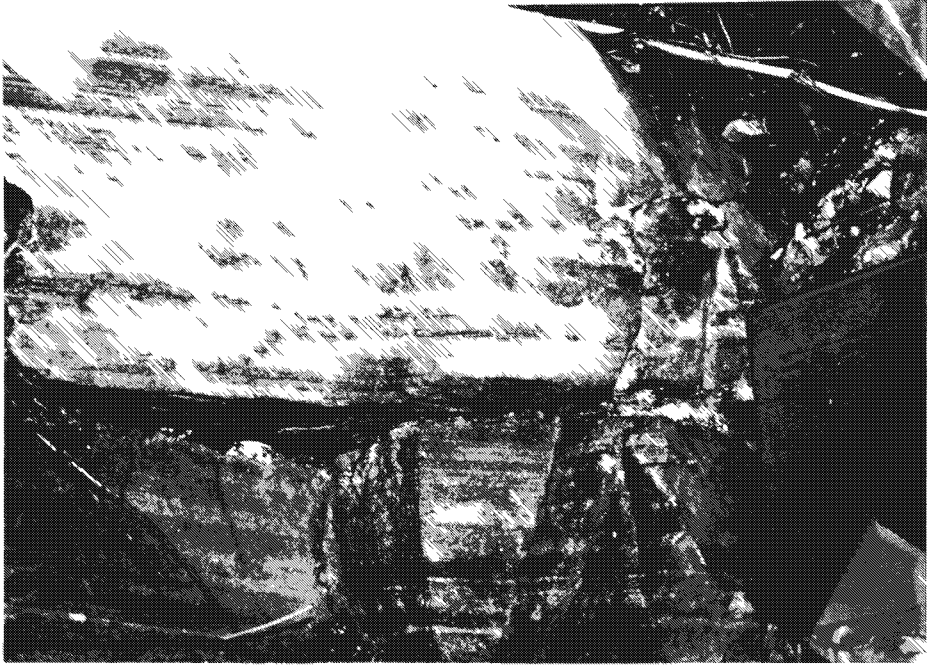


PLANCHE VIII

I-A Monzonite quartzifère dans le facies granulite;  
gneiss granulitique. Lamination, texture rubanée  
et litage; boudinage dans la couche mafique.  
Affleurement 6-10-77

I-B Monzonite quartzifère dans le facies granulite;  
gneiss ocellé. Porphyroblaste de plagioclase  
montrant la mâcle polysynthétique de l'albite;  
noter l'orthose non mâclée, dans la partie inférieure  
droite de la photo, qui remplace le plagioclase.  
Longueur de la photo: 4 mm.  
Affleurement 30-2-75

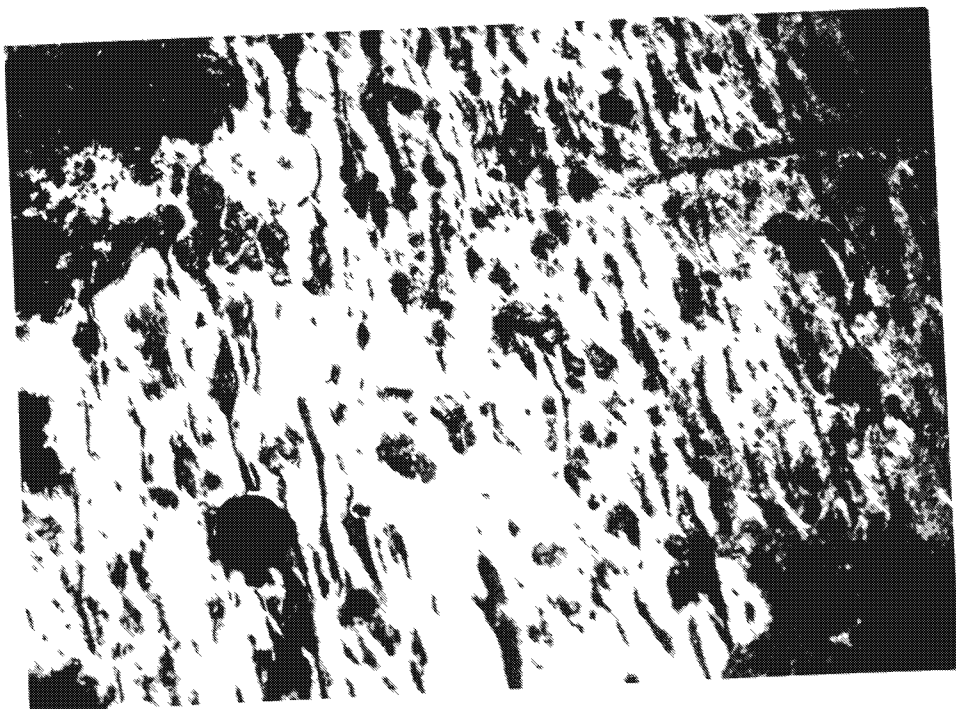
PLANCHE IX

IX-A Anorthosite gabbroïque. Litage (primaire?) donné par l'alternance de bande riche en plagioclase et en gros cristaux de pyroxène, avec une bande plus riche en cristaux de pyroxène plus petits.

Affleurement 24-1-75

IX-B Anorthosite gabbroïque. Gros cristaux de pyroxène montrant une déformation "fluidale".

Affleurement 12-4-75



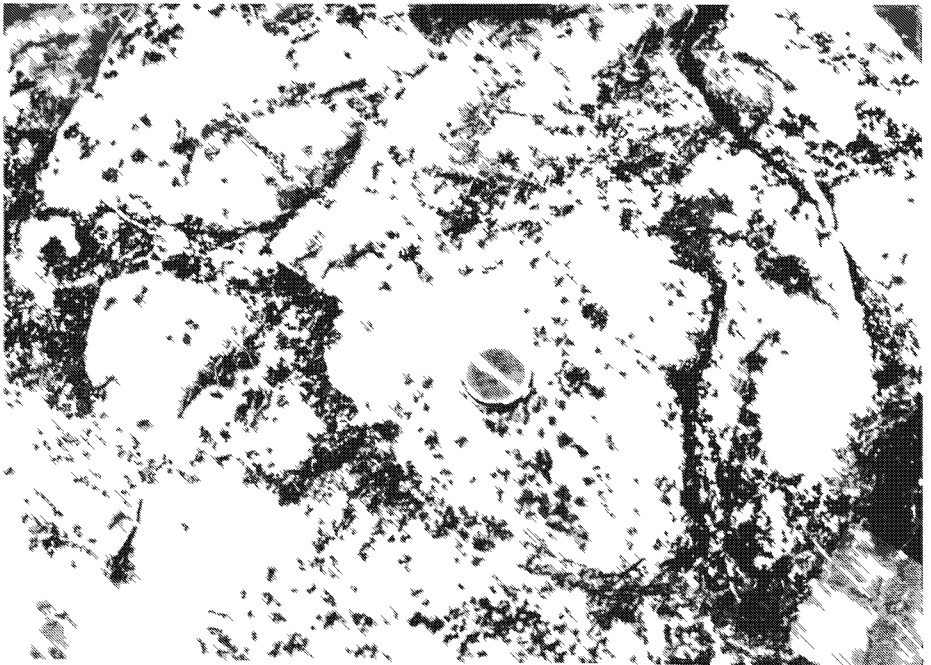


PLANCHE X

A Anorthosite "contaminée". Dans la zone de faille de la rivière Bostonnais, l'anorthosite est méconnaissable: de nombreuses fractures traversent la roche et l'épidote et la chlorite sont fortement développées. Affleurement 2-2-77

B Anorthosite "bréchique". Dans la zone de faille du lac Deschênes, on trouve des blocs d'anorthosite dans une pâte anorthositique recristallisée. Affleurement 22-1-75

## PLANCHE XI

XI-A Anorthosite. Contours polygonaux des grains de plagioclase qui montrent des points de jonction triple. Longueur de la photo: 3 mm.

Affleurement: 18-2-75

XI-B Anorthosite. Lumière naturelle. Couronne faite d'opx II entourée d'une symplectite de parg et d'opx III, bordée par une zone de plag, d'opx III et de parg; quelques grenats se placent dans la couche externe. Longueur de la photo: 4 mm.

Affleurement: 17-4-75

Liste des abréviations à la page

XI-C Même chose que XI-B; en lumière polarisée.

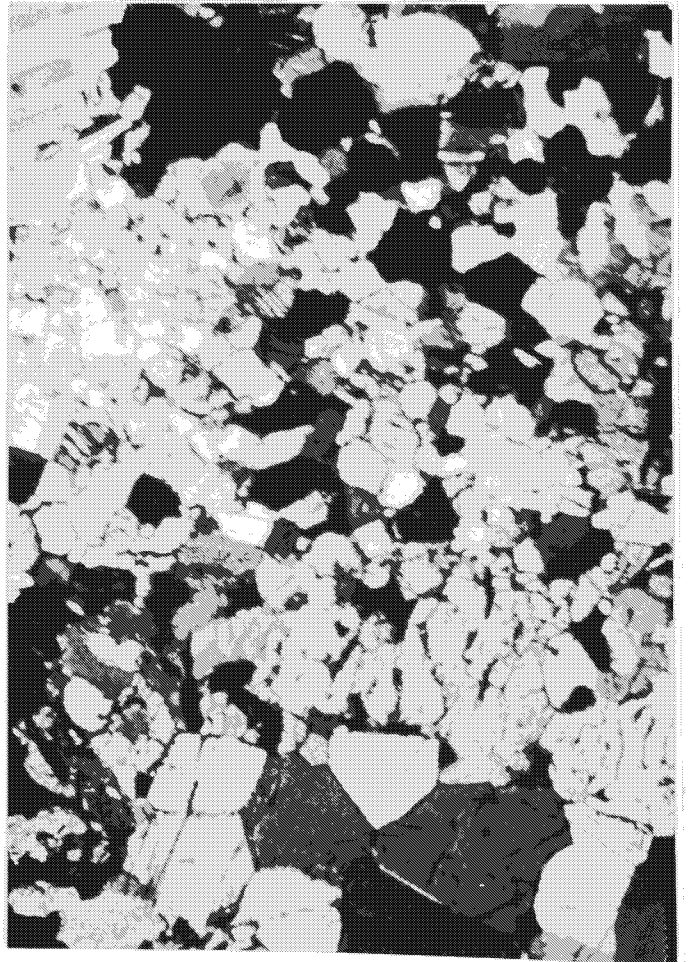
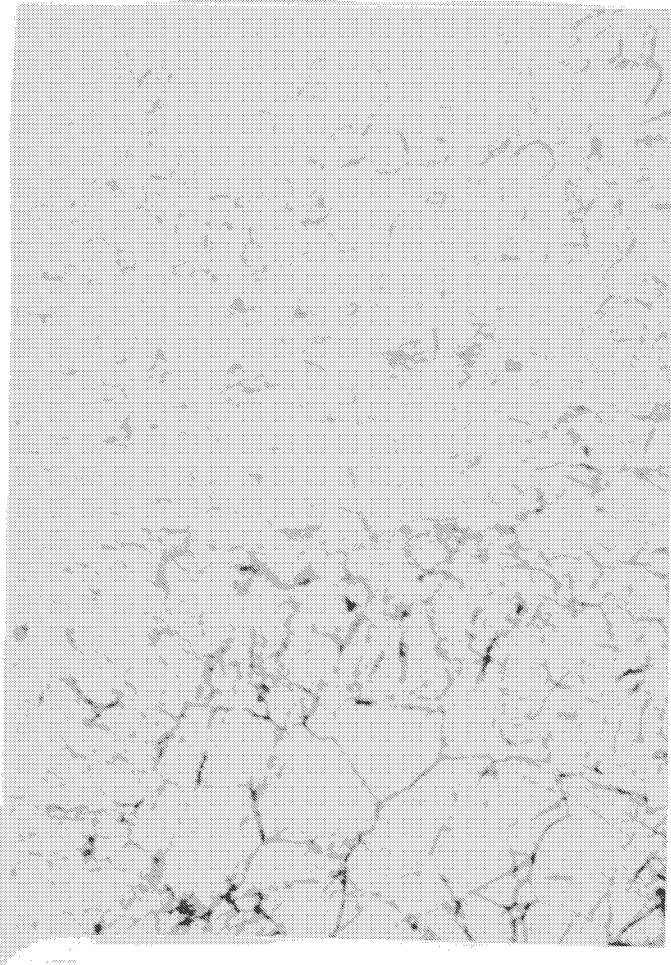
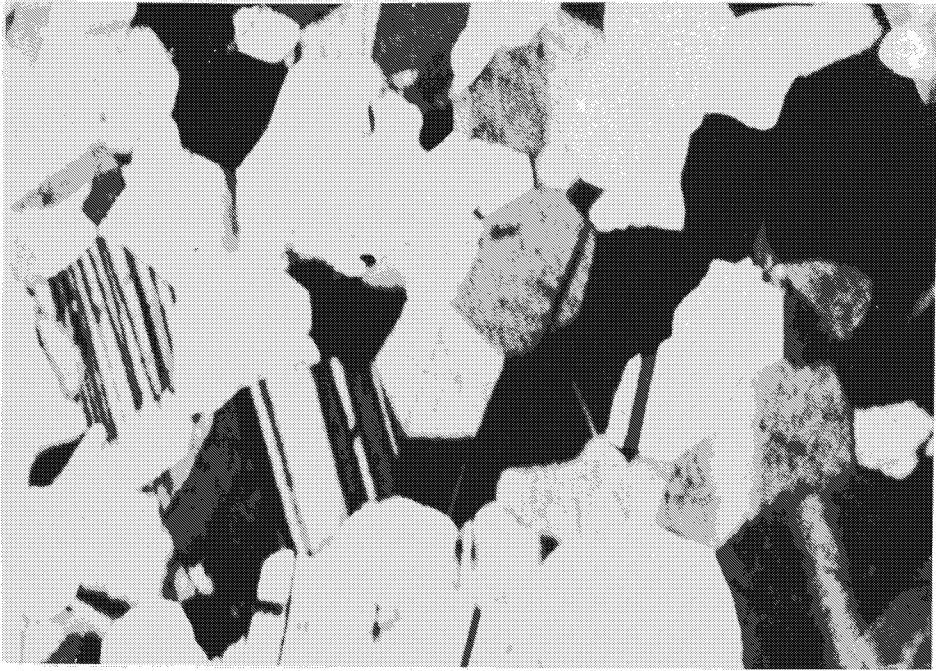




PLANCHE XII

XII-A Anorthosite. Lumière naturelle. Hornblende avec une forme en losange; les grains sont intersticiels entre les grains de plagioclase. Longueur de la photo: 2 mm.

Affleurement 45-18-75

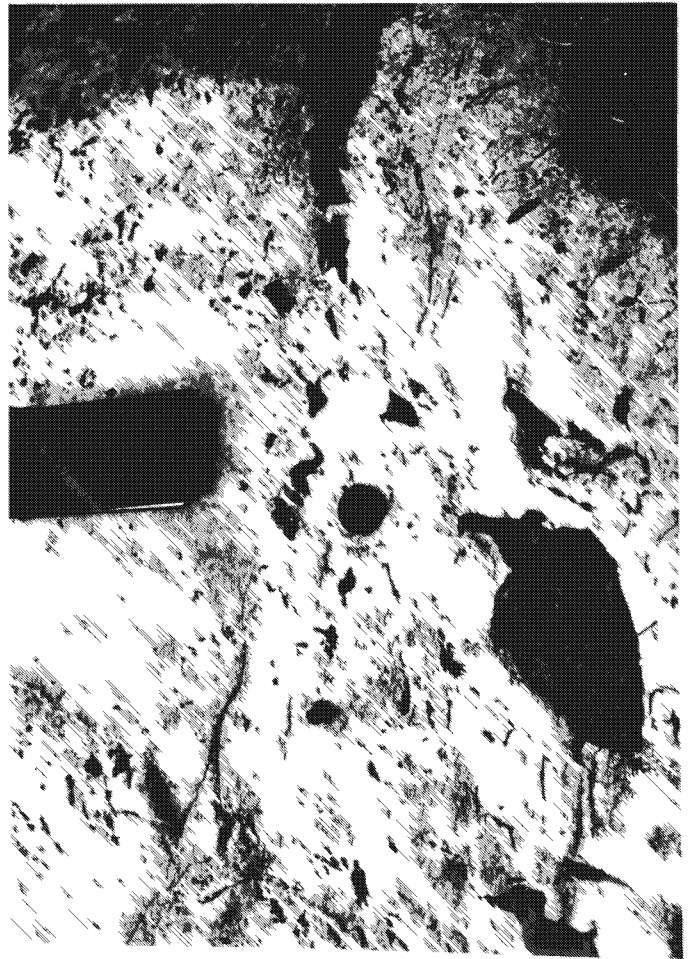
XII-B Anorthosite. Lumière naturelle. Grains de biotite en bâtonnets non orientés; les grains sont intersticiels entre les grains de plagioclase. Longueur de la photo: 4 mm.

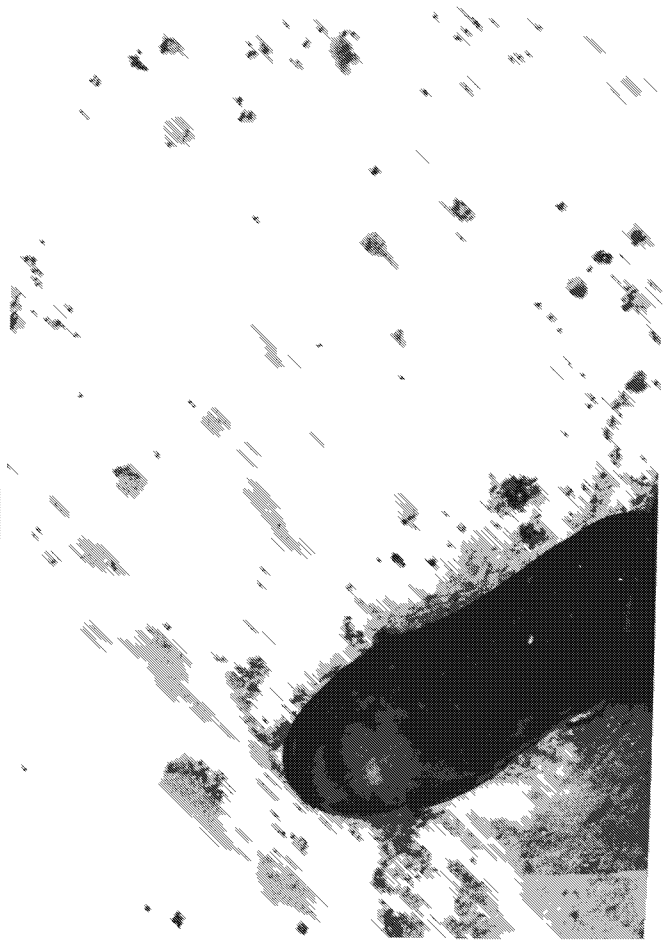
Affleurement 11-2-75

XIII-A Anorthosite montrant des structures  
linéaires subverticales.  
Affleurement 6-13-77

XIII-B Anorthosite. Les coupes trans-  
versales des structures linéaires  
montrent des couronnes; noter le  
grenat rose pâle en bordure de la  
plus grosse couronne.  
Affleurement 11-6-75

XIII-C Anorthosite montrant  
des structures  
foliées plissées.  
Affleurement 35-4-75





XIV-A Filon de pegmatite, pauvre en  
feldspath de K, qui recoupe  
l'anorthosite; contient loca-  
lement des blocs d'anorthosite.  
Affleurement 40-2-75

XIV-B Réseau de pegmatite  
qui recoupe l'anorthosite  
dans tous les sens.  
Affleurement 2-1-75

XIV-C Affleurement de pegmatite  
contenant des blocs  
d'anorthosite.  
Affleurement 40-6-75

XV-A Affleurement d'amphibolite  
contenant des blocs  
d'anorthosite.  
Affleurement 10-11-75

XV-B Mélange d'injection acide et  
basique qui contiennent des  
blocs d'anorthosite; l'af-  
fleurement se trouve près de  
la faille de la rivière  
Bostonnais.  
Affleurement 6-1-77

XV-C Mélange d'injection acide et  
basique qui recoupe l'anor-  
thosite et en contient des  
blocs.  
Affleurement 6-1-77

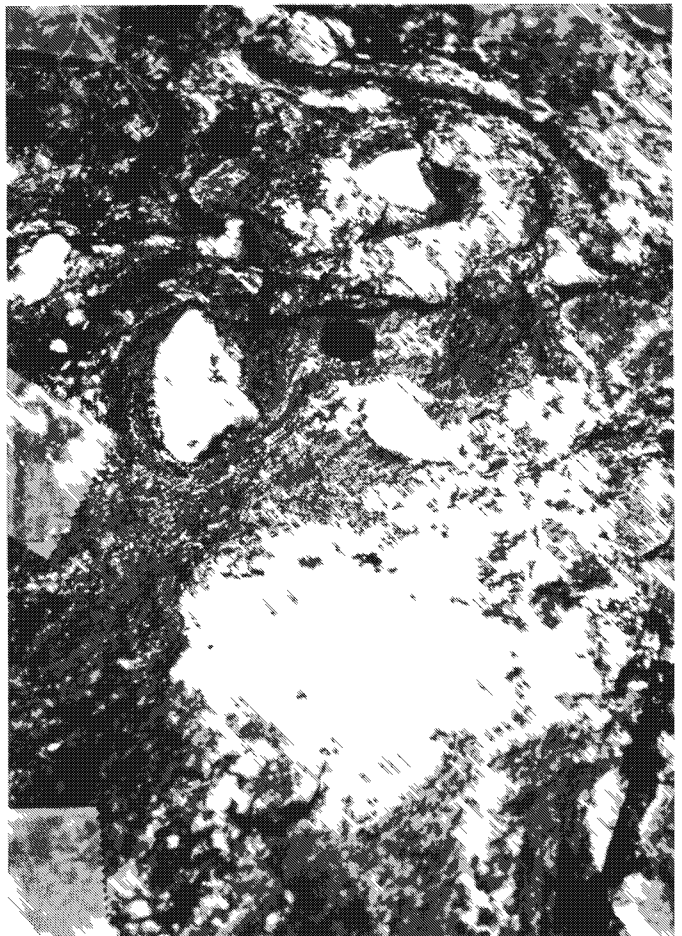
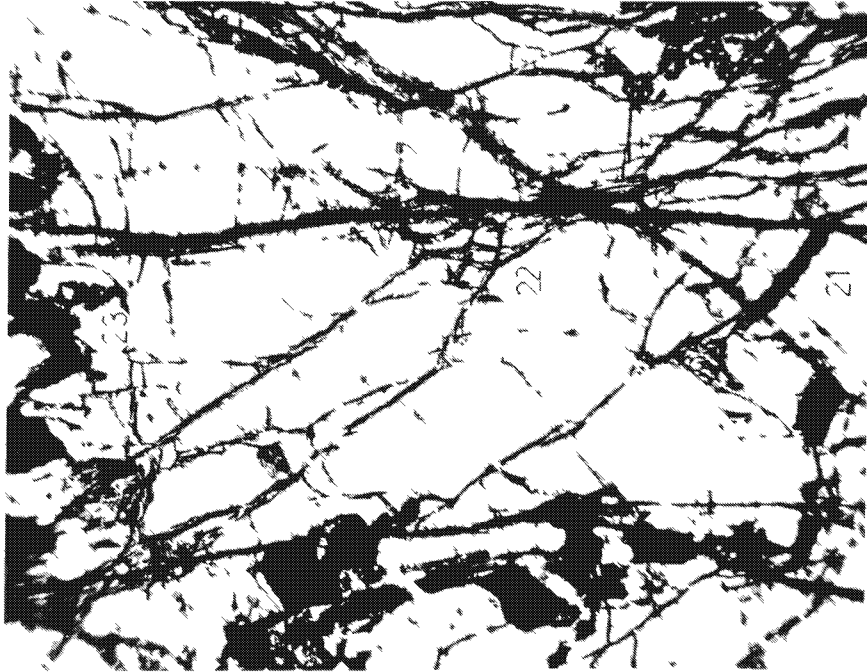


PLANCHE XVI



A

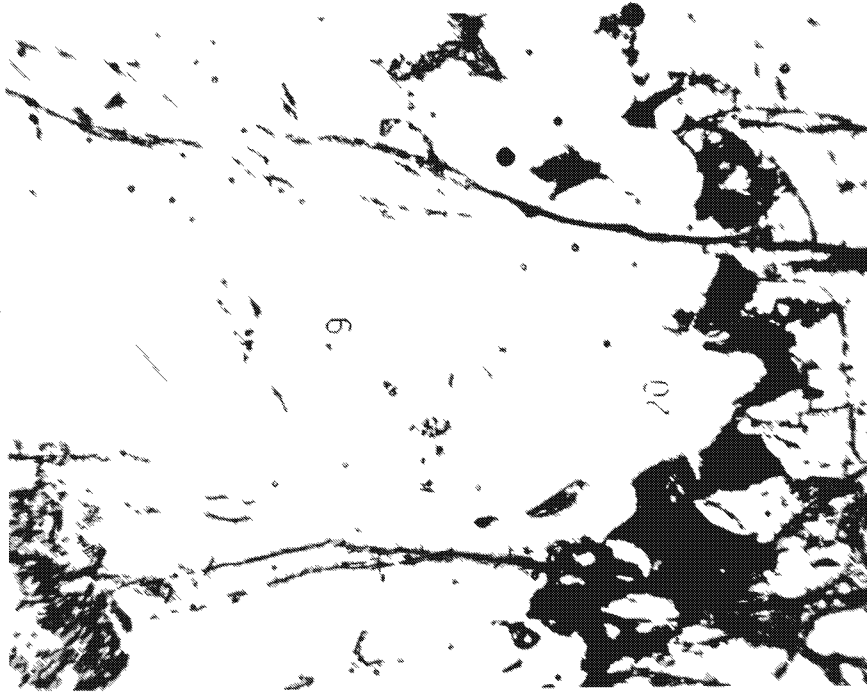


24-05A

PLANCHE XVI



B



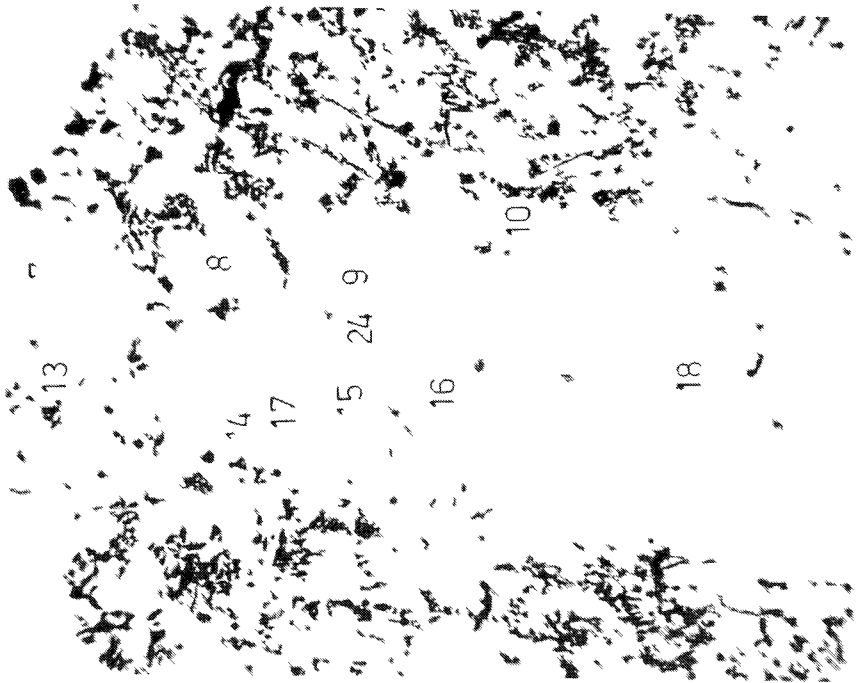
24-05A

## PLANCHE XVI

Toutes les photos de la planche XVI ont été prises par r. George Plant sur la lame mince 24-5A-75; elles mesurent toutes 3.3 mm de long, sauf la planche XVI-E qui mesure mm de long. La position des photos est donnée par le schéma de la planche XVIII.

- lanche XVI-A: Coeur d'olivine
- lanche XVI-B: Bordure d'opx II
- lanche XVI-C: Relique de cpx II; symplectite de parg +  
opx III + spi III + plag
- lanche XVI-D1: Lumière naturelle. Zone de plag en bordure  
de la couronne
- lanche XVI-D2: Lumière polarisée. Même chose que XVI-D1
- lanche XVI-E: Vue générale du coeur d'olivine et de la  
bordure d'opx II

PIANCHE X  
↑ C



24-05A

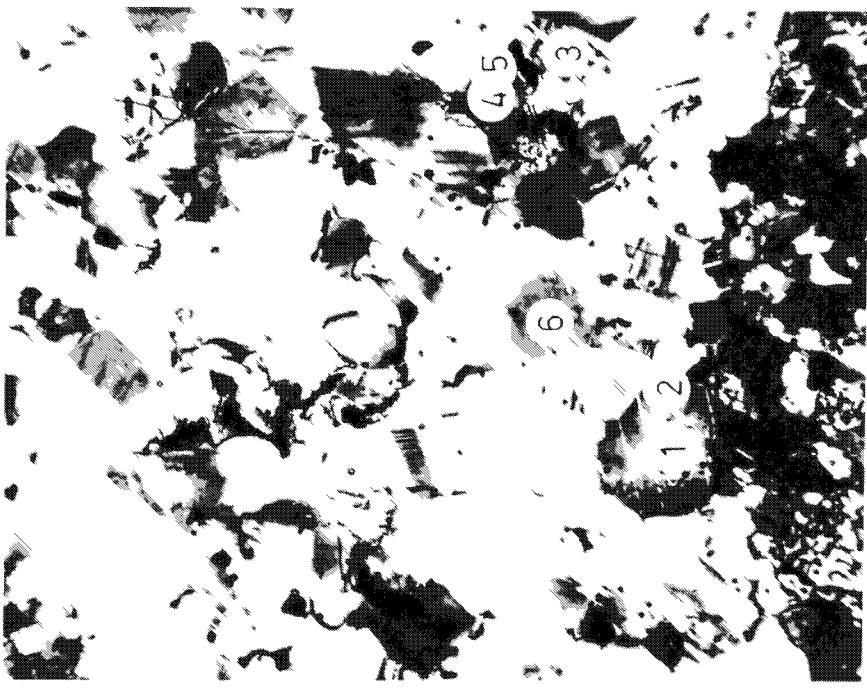
P IANCHE Y  
↑ D-1



24-05A

PLANCHE XVI

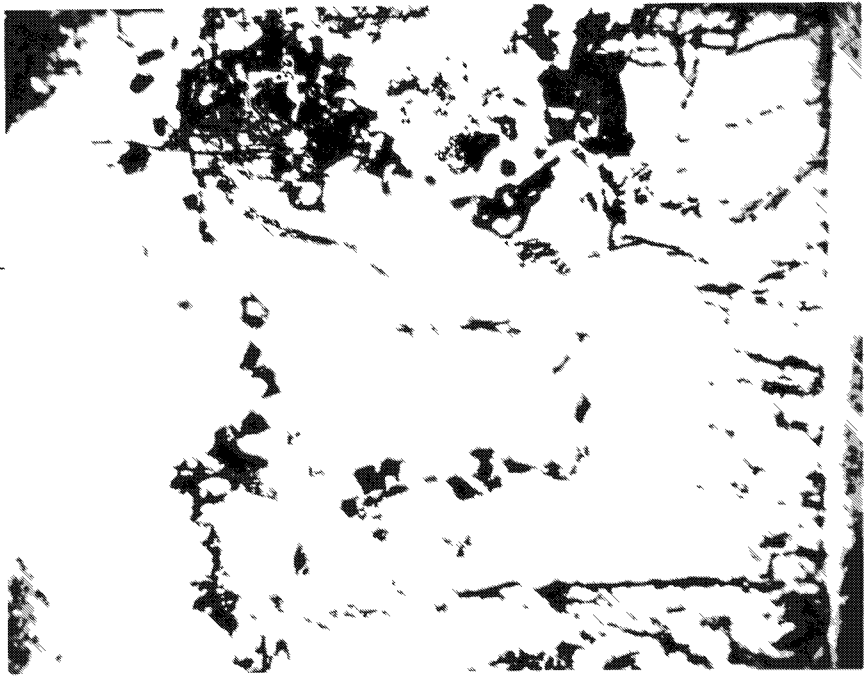
D-2



24-05A

P\_LANCHE XVII

E



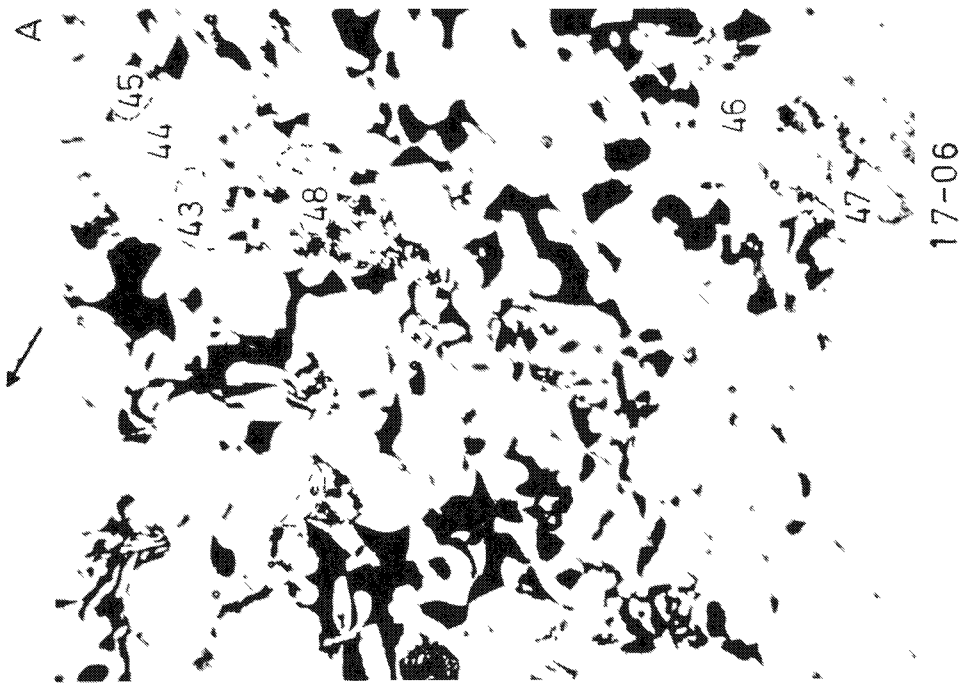
24-05A

## PLANCHE XVII

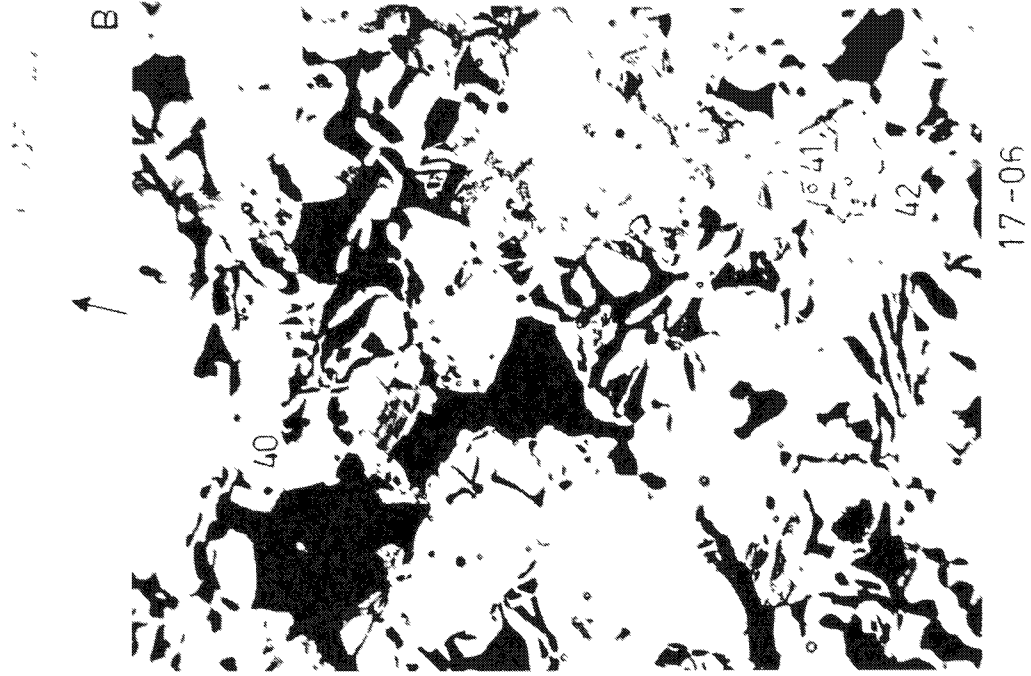
Toutes les photos de la planche XVII ont été prises par Dr. George Plant sur la lame mince 17-6-75; elles mesurent toutes 3 mm de long. La position des photos est donnée par le schéma de la planche XIX.

- Planche XVII-A: Coeur d'opx II et de mt avec grains d'ol reliques
- Planche XVII-B: Idem
- Planche XVII-C: Idem
- Planche XVII-D: Idem
- Planche XVII-E: Zone de contact entre opx II et symplect de parg-spi-opx III-plag
- Planche XVII-F: Idem
- Planche XVII-G: Symplectite de parg-opx III-spi-plag
- Planche XVII-H: Zone de grenat
- Planche XVII-I: Symplectite contenant de la biotite qui recoupe la zone de grenat
- Planche XVII-J1: Lumière naturelle. Plagioclase et grain de biotite
- Planche XVII-J2: Lumière polarisée. Idem.
- Planche XVII-K: Grains de biotite entre les grains de plag

PLANCHE XVII

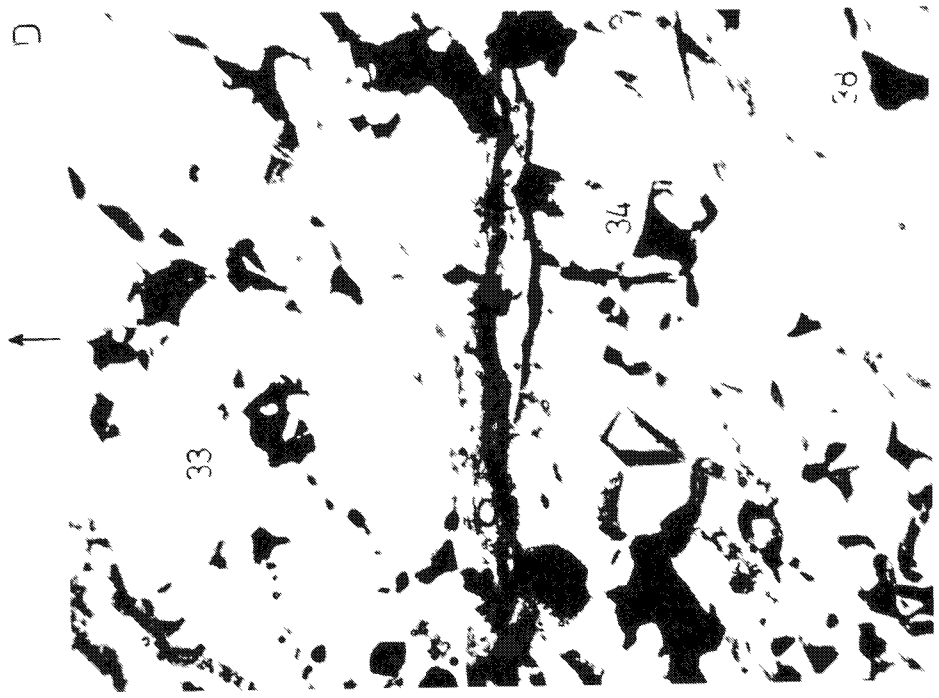


17-06



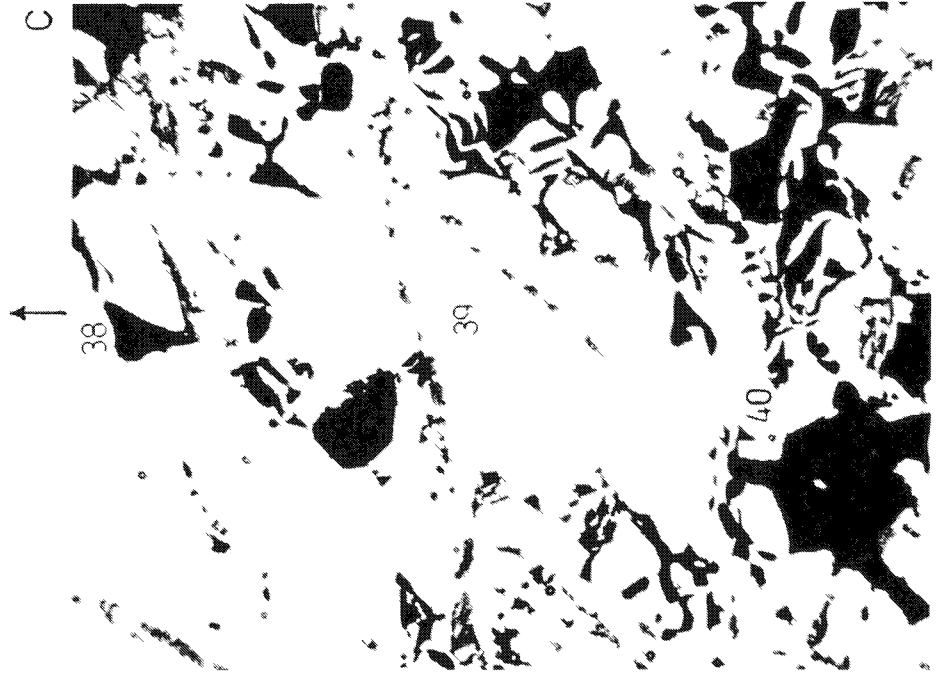
17-06

1111



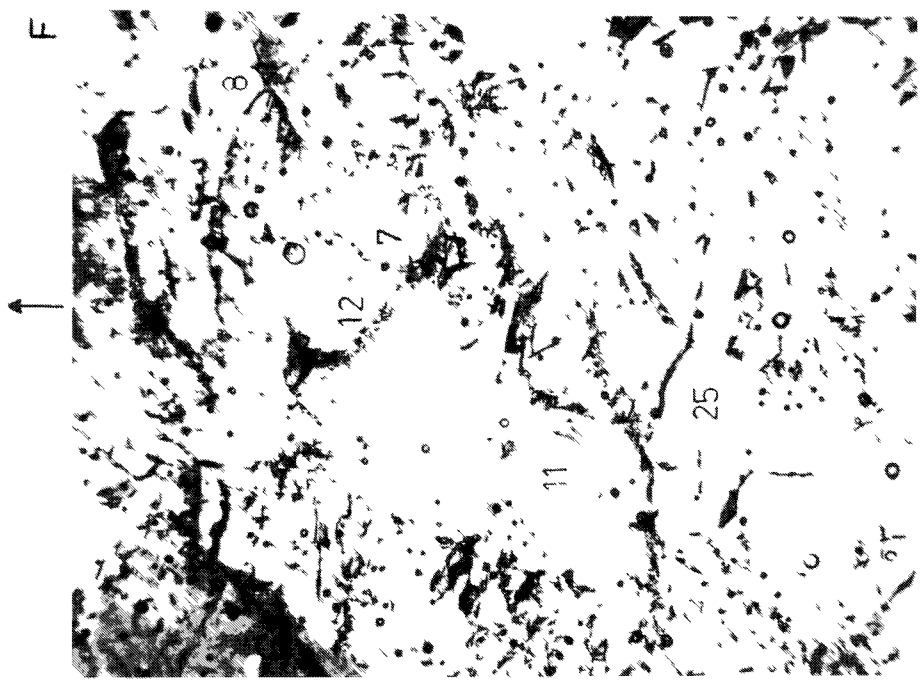
17-06

1111



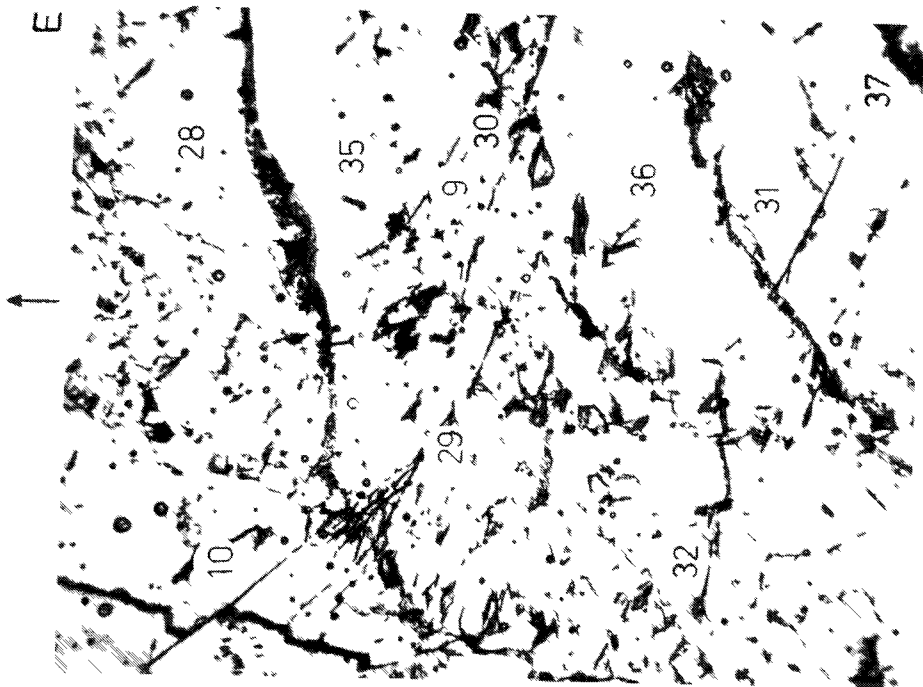
17-06

PLANCHE XVII



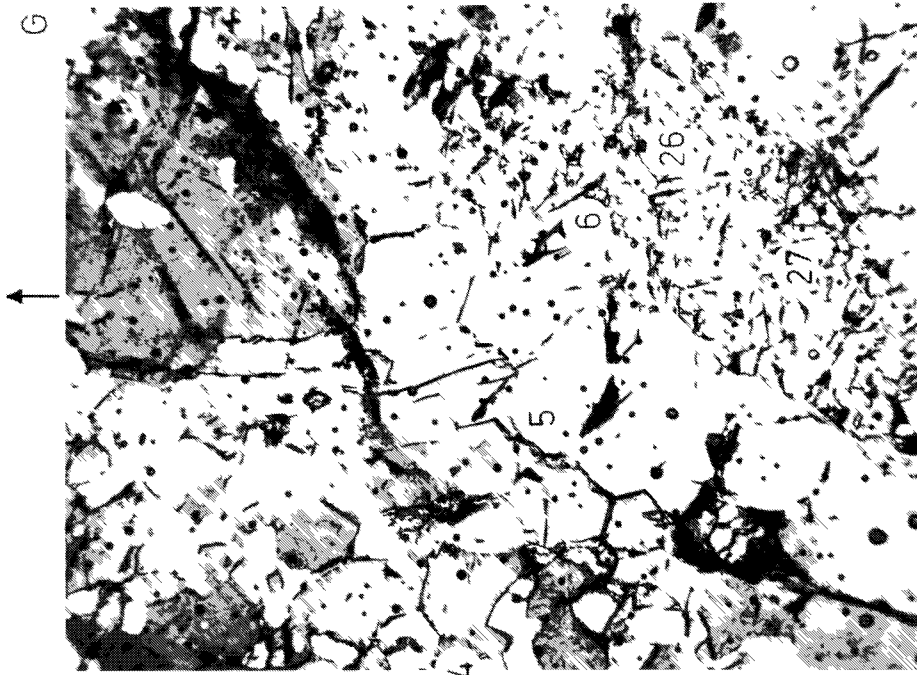
17-06

PLANCHE XVII



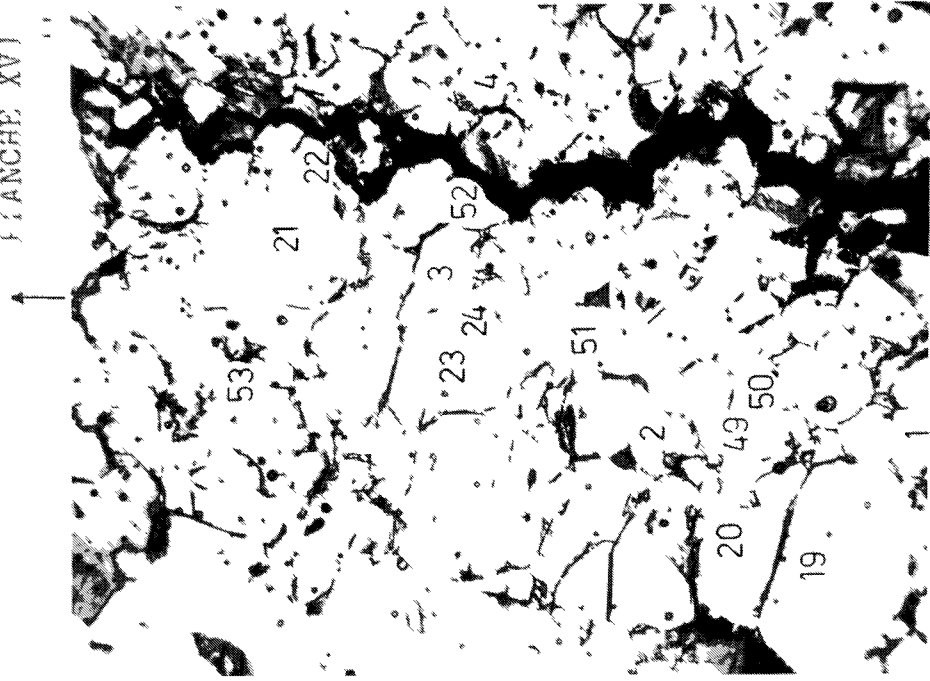
17-06

PLANCHE XVII



17-06

PLANCHE XVI



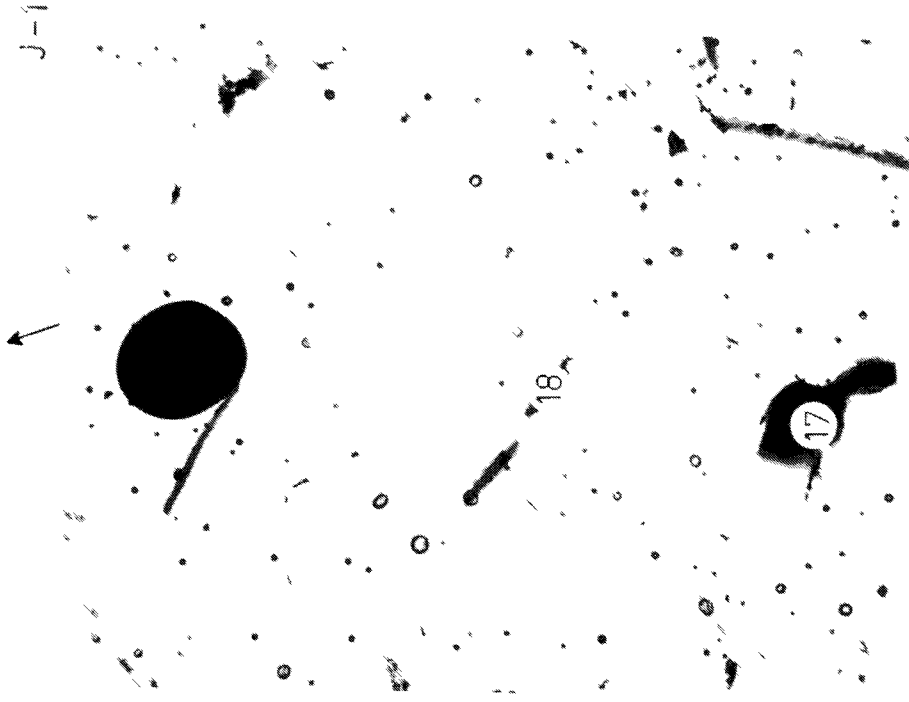
17-06

PLANCHE XVII



17-06

PLANCHE XVII



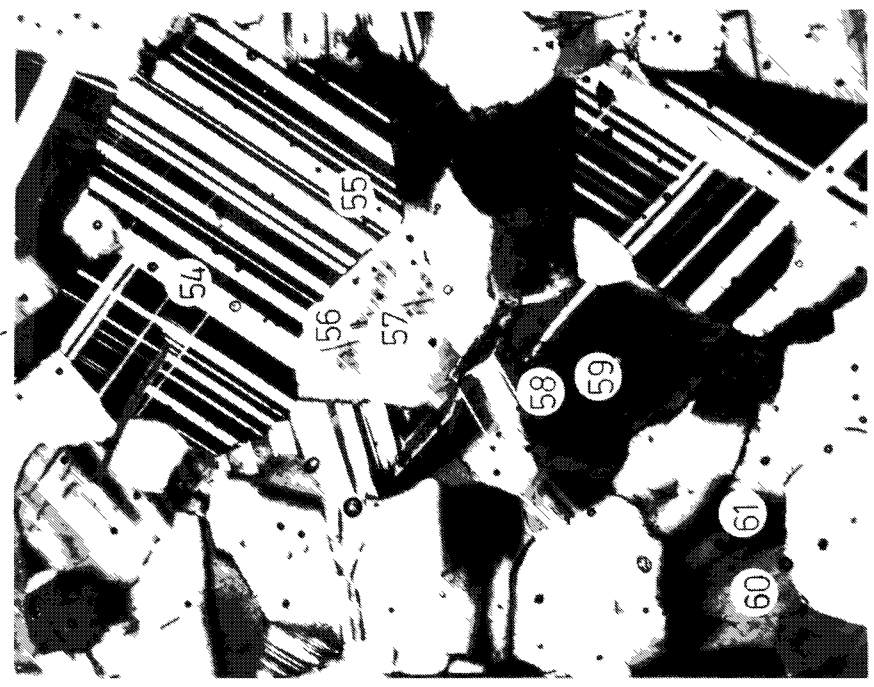
17-06

L.A. I K



17-06

L.A. XVI -2



17-06



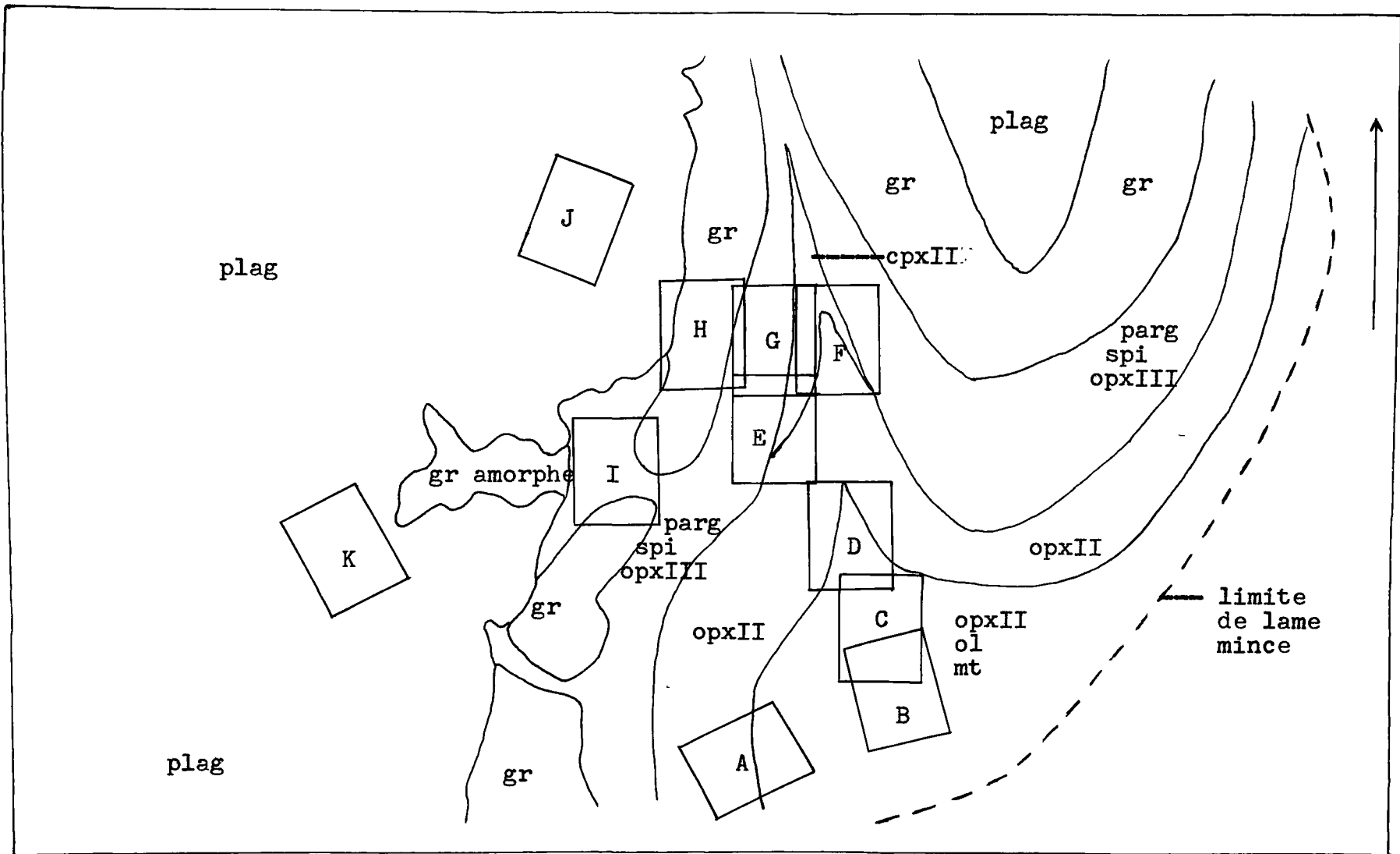


Planche. XIX: Schéma de la lame mince 17-6-75 montrant la localisation 0 — 5 mm des photos de la planche XVII. La flèche permet d'orienter les photos.