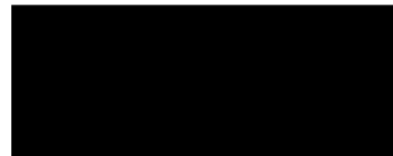


Université de Montréal



**Etude pétrologique des métagabbros de la région du lac Le Doré, est
de la Province de Grenville, Québec.**

par

Isabelle Lépine

Département de géologie

Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maître es sciences (M.Sc.)

en géologie

Mai 1997

©Isabelle Lépine, 1997

Université de Montréal



QE

3

U54

1998

2002

Université de Montréal

Étude géologique des métaschistes de la région de Lac Beauport

de la Province de Québec (Québec)

Université de Montréal

Département de géologie

Faculté des arts et des sciences

Étude géologique des métaschistes de la région de Lac Beauport

de la Province de Québec (Québec)

Étude géologique des métaschistes de la région de Lac Beauport

de la Province de Québec



Université de Montréal

Faculté des arts et des sciences

Département de géologie

Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé:

**Etude pétrologique des métagabbros de la région du lac Le Doré, est
de la Province de Grenville, Québec.**

présenté par:

Isabelle Lépine

a été évalué par un juré composé des personnes suivantes:

Shaocheng Ji, Président rapporteur

Walter Trzcienski, directeur de recherche

Pierre Verpaelst, codirecteur

James Bourne, membre du jury

mémoire accepté le: 24. 04. 1998

SOMMAIRE

Les métagabbros de la région du lac Le Doré se retrouvent dans deux unités: le dyke de Le Doré et la Suite Mafique de Lillian (retrouvée sous formes de dykes et de filons-couches). Ces métagabbros se retrouvent à l'est du Terrane de Wakeham dans la Province de Grenville et sont en intrusion dans la Suite Felsique d'Olomane qui a été daté a 1239 Ma ainsi que dans le Porphyre de Kataht daté à 1510 Ma. Le métagabbro de Le doré contient des olivines entourées de couronne de réaction et des rosettes d'amphibole, tandis que les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian contiennent seulement des rosettes d'amphibole. Les analyses à la microsonde ont montré que les couronnes de réaction autour de l'olivine se composent d'une première couche d'orthopyroxène, d'une seconde couche de biotite et d'une troisième couche d'amphibole contenant des inclusions de spinelle. Les couronnes d'orthopyroxène et de biotite sont probablement le résultat du processus igné, tandis que la couronne d'amphibole est produit de la diffusion à l'état solide lors du refroidissement du dyke vers les températures de la roche encaissante. Les calculs thermobarométriques, effectués à l'aide de TWEEQU et du thermomètre de Holland et Blundy, ont montré que le dyke de le Doré a été formé à des températures de l'ordre de 700°C, tandis que les métagabbros de la suite Mafique de Lillian ont été formés à des températures variant de 500 à 620°C. Comme la température n'était pas assez élevée lors de la formation des couronnes de réaction le grenat ne s'est pas formé, empêchant ainsi d'avoir un bon baromètre dans les assemblages métamorphiques. Par contre la déstabilisation du grenat en anorthite nous a permis d'estimer une pression maximale

de 7268 bars, retrouvée dans les roches au moment de la formation des couronnes de réaction. Ces températures et pressions sont représentatives des faciès élevés indiquant une profondeur de 10 à 20 km. Les analyses chimiques ont permis de voir que les métagabbros du dyke de Le Doré se retrouvent dans le champ des tholéiites continentales. De plus, les diagrammes de discrimination tectonique laissent supposer ces métagabbros se seraient formés dans un environnement intra-plaque comme les fonds océaniques ou les plateaux continentaux. Le métagabbros du dyke de Le Doré se serait donc formé dans un environnement de rift continental.

TABLE DES MATIERES

	pages
SOMMAIRE.....	i
TABLE DES MATIERES.....	iii
LISTES DES TABLEAUX.....	vii
LISTES DES FIGURES.....	ix
LISTES DES PHOTOS.....	xv
REMERCIEMENTS.....	xx
INTRODUCTION.....	3
CHAPITRE 1: Cadre géologique.....	6
1.1 Localisation de la région étudiée.....	7
1.2 Travaux antérieurs.....	7
1.3 Le Terrane de Wakeham.....	9
1.4 Géologie de la région du lac Le Doré.....	12
1.4.1 Structure dans la région du lac Le Doré.....	16
1.4.2 Métamorphisme.....	17
1.4.3 Lithogéochimie.....	17
1.4.4 Géochronologie des événements.....	18
CHAPITRE 2: Les métagabbros du dyke de Le doré et de la Suite mafique de Lillian	21
2.1 Introduction.....	22

	pages
2.2	Observations sur le terrain.....22
2.2.1	Méthodologie.....22
2.3	Description mégascopique.....24
2.3.1	Dyke de Le Doré.....24
2.3.2	Suite Mafique de Lillian.....24
2.4	Description microscopique.....26
2.4.1	Méthodologie.....26
2.4.2	Dyke de métagabbro de Le Doré.....26
2.4.3	Suite Mafique de Lillian.....31
2.5	Géochimie des minéraux.....43
2.5.1	Méthodologie d'analyse à la microsonde.....43
2.5.2	Minéraux contenus dans le métagabbro du dyke de Le Doré.....44
2.5.3	Minéraux contenus dans la Suite Mafique de Lillian.....60
2.6	Assemblages métamorphiques.....68
2.6.1	Métagabbros à olivine du dyke de Le Doré.....68
2.6.2	Métagabbros à rosettes du dyke de Le Doré et de la Suite Mafique de Lillian.....70
2.7	Discussion.....71
2.8	Conclusion.....73

	pages
CHAPITRE 3: Géochimie.....	74
3.1 Introduction.....	75
3.2 Méthode d'analyse.....	75
3.2.1 Méthodes analytiques.....	75
3.3 Comportement des éléments majeurs et traces.....	76
3.4 Comportement des terres rares.....	91
3.5 Graphiques de discrimination tectonique.....	102
3.6 Discussion.....	105
CHAPITRE 4: Les couronnes de réaction.....	107
4.1 Introduction.....	108
4.2 Etudes précédentes sur les couronnes.....	108
4.3 Hypothèses.....	112
4.4 Réactions formant les couronnes.....	116
4.4.1 Hypothèse ignée.....	116
4.4.2 Hypothèse métamorphique.....	117
4.5 Discussion.....	122
CHAPITRE 5: Thermobarométrie.....	120
5.1 Introduction.....	124
5.1.1 Méthodologie.....	125
5.1.2 Logiciel TWEEQU (Thermobarometry With Estimation EQUilibration State) de Berman.....	126

5.1.3	Le thermomètre hornblende-plagioclase	
	de Holland et Blundy.....	127
5.2	Résultats thermobarométriques.....	129
5.2.1	Thermomètre hornblende-plagioclase.....	129
5.2.2	Calculs obtenus à l'aide de TWEEQU.....	130
5.3	Discussion.....	140
	CONCLUSION.....	146
	REFERENCES.....	151
	ANNEXES.....	A-1
	Annexe A.....	A-1
	Annexe B.....	B-1
	Annexe C.....	C-1
	Annexe D.....	D-1
	Annexe E.....	E-1
	Annexe F.....	F-1
	Annexe G.....	G-1
	Annexe H.....	H-1

LISTE DES TABLEAUX

	pages
Tableau I: Géochronologie des événements dans la région du lac Le Doré.....	20
Tableau II: Analyses de la composition des sulfures retrouvées dans le dyke de Le Doré.....	27
Tableau III: Étalons utilisés lors des analyses à la microsonde.....	44
Tableau IV: Analyses de la composition des olivines retrouvées dans les métagabbros de Le Doré.....	45
Tableau V: Le rapport Mg/Mg+Fe et la composition des olivines.....	46
Tableau VI: Analyses de la composition des orthopyroxènes dans les bandes de réaction.....	48
Tableau VII: Analyses de la composition des biotites dans les méta- gabbros de la région du lac Le Doré.....	50
Tableau VIII: Analyses de la composition chimique des amphiboles des métagabbros du dyke de Le Doré.....	52
Tableau IX: Analyses de la composition des plagioclases retrouvés dans les métagabbros à olivine et à rosette du dyke de Le Doré.....	55
Tableau X: Analyses de la composition des clinopyroxènes dans le dyke de Le Doré.....	56

Tableau XI: Analyses de la composition des inclusions de spinelles retrouvées dans les bandes d'amphibole des métagabbros à olivine du dyke de Le Doré.....	59
Tableau XII: Analyses de la composition des chlorites retrouvées au centre des rosettes des métagabbros du dyke de Le Doré.....	61
Tableau XIII: Analyses de la composition chimique des amphiboles des métagabbros de la Suite mafique de Lillian.....	62
Tableau XIV: Analyses de la composition des chlorites retrouvées dans les métagabbros de la Suite mafique de Lillian.....	66
Tableau XV: Analyse de la composition des plagioclases retrouvés dans les métagabbros de la Suite mafique de Lillian.....	67
Tableau XVI: Analyses chimiques des métagabbros de dyke de Le Doré.....	85
Tableau XVII: Variation des terres rares dans les minéraux, d'après Henderson (1984)	96

LISTE DES FIGURES

	pages
Figure 1.1: Localisation de la province de Grenville et du Terrane de Wakeham dans l'est de l'Amérique du Nord, d'après Rivers et al, 1989.....	8
Figure 1.2: Carte géologique simplifiée du Terrane de Wakeham, d'après Martignole et al, 1994.....	11
Figure 1.3: Carte géologique de la région des lacs Cormier (SNRC 12N/04), Bohier (SNRC 12N/03), Briend (SNRC 12N/05) et Le Doré (SNRC 12N/06) Moyenne-Côte-Nord, Ministère des Ressources Naturelles, RG 97-08, sous presse (Madore et al, 1997).....	13
Figure 1.4: Carte géologique montrant le dyke de Le Doré ainsi que les gabbros de la Suite Mafique de Lillian. RG 97-08, sous presse. (Madore et al, 1997).....	15
Figure 2.1: Carte géologique du Dyke de Le Doré et de la suite Mafique de Lillian montrant les échantillons pris lors de l'été 95.....	23
Figure 2.2: Variation de variation des Al_2O_3 , MgO et FeO dans les grains de spinelle et les amphiboles où se retrouve le spinelle.....	58
Figure 2.3: Diagramme ACF montrant la transition entre les assemblages des faciès amphibolite supérieur et granulite inférieur. (a) Faciès granulite inférieur. On remarque l'assemblage observé dans le métagabbro à olivine en gris. De plus, on peut voir que le champ de la hornblende est plus petit qu'au faciès amphibolite supérieur. Ce champ diminue ou grandit en fonction de la température. Plus la température est élevée, plus le champ est petit. Les flèches indiquent l'axe principale du changement. (b) Faciès amphibolite supérieur. Spear, 1993.....	69
Figure 3.1: Variation des éléments majeurs Fe_2O_3 , MnO et MgO en fonction de SiO_2 (en poids pourcent).....	77

Figure 3.2:	Variation des éléments traces compatibles Co, Ni et Cr (en ppm) en fonction de SiO ₂ (en poids pourcent).....	78
Figure 3.3:	Variation de Al ₂ O ₃ , Na ₂ O + K ₂ O et CaO (en poids pourcent) en fonction de SiO ₂ (en poids pourcent).....	80
Figure 3.4:	Variation des éléments traces incompatibles Y et Zr (en ppm) en fonction de SiO ₂ (en poids pourcent).....	83
Figure 3.5:	Variation de P ₂ O ₅ (en poids pourcent) en fonction de TiO ₂ et SiO ₂ (en poids pourcent).....	84
Figure 3.6:	(a) Diagramme de discrimination entre une suite tholéitique et calc-alcaline de Irvine et Baragar, 1971. (b) Diagramme ACF. (c) Diagramme de discrimination entre une suite alcaline et sub-alcaline de Irvine et Baragar, 1971.....	92
Figure 3.7:	(a) Variation du Cr (en ppm) en fonction de Ni (en ppm). (b) Variation de V (en ppm) en fonction de Ti/1000 (en ppm) (diagramme de discrimination de Shervais, 1982).....	93
Figure 3.8:	Variation des terres rares dans le plagioclase, clinopyroxène et olivine, (d'après Herderson, 1984).....	95
Figure 3.9:	(a) Variation de La/Yb en fonction de La (en ppm). (b) Variation de Yb (en ppm) en fonction de La (en ppm). (c) Variation de Nd (en ppm) en fonction de Ce (ppm).....	98
Figure 3.10:	Diagramme de normalisation des terres rares sur les valeurs des chondrites de Leedy. (a) Métagabbros à olivine du dyke de Le Doré. (b) Métagabbros à rosette du dyke de Le Doré.....	99

- Figure 3.11:** Diagramme des terres rares normalisées des métagabbros du dyke de Le Doré dans les valeurs habituelles pour les tholéïtes intra-plaques, d'après Henderson, 1984. Les zones ombragées représentent les valeurs pour la plupart des tholéïtes.....101
- Figure 3.12:** (a) Diagramme de discrimination tectonique Th-Hf-Ta de Wood, (1980) montrant le comportement intra-plaque ou MORB des métagabbros du dyke de Le Doré. (A: basaltes de ride mid-océanique de type N; B: basaltes de ride mid-océanique de type E et basaltes tholéïtiques intra-plaque; C: basaltes alcalins intra-plaque; D: basaltes de marges destructives) (b) Diagramme de discrimination tectonique Zr-Ti-Y de Pearce et Cann (1973), montrant le comportement intra-plaque des métagabbros du dyke de Le Doré. (WPB (D): basaltes intra-plaque, OFB (B): basaltes de fond océanique LKT (A et B): tholéïtes faibles en potassium; CAB (B et C): basaltes continentaux alcalins) (c) Diagramme de discrimination de Shervais (1981) montrant la variation de V en fonction du Ti (ARC basaltes d'arrière arc et OFB: basaltes de fond océanique).....103
- Figure 4.1:** Couronne autour de l'olivine dans les métagabbros de la Norvège et l'État de New-York. La première couche se compose d'orthopyroxène et la seconde couche de clinopyroxène et spinel, d'après Best, M.G., 1982.....110
- Figure 4.2** a) Projection à partir de l'olivine du liquide saturé en olivine du système Ol-Cpx-Plag-SiO₂, modifié d'après Morse, 1980, page 235. b) Diagramme de

	phase du système Fo-An-SiO ₂ après Anderson (1915) et Irvine(1975), modifié de Morse, 1980, page 162).....	118
Figure 4.3:	Zone de réaction d'orthopyroxène et d'hornblende et de spinelle entre l'olivine et le plagioclase montrant la migration des atomes lors des réaction, d'après Kretz, Jones et Hartree, 1989.....	121
Figure 5.1:	Figure montrant les températures obtenues à l'aide du thermomètre de Holland et Blundy (1994). Température en °C et pression en kbar. (a) Températures obtenues pour les métagabbros à olivine du dyke de Le Doré, échantillon 4202-A. (b) Température obtenues pour l'échantillon 4214-B seulement (dyke de Le Doré). On remarque que la température est plus élevée que dans l'échantillon 4214-B.....	131
Figure 5.2:	Figure montrant les températures obtenues à l'aide du thermomètre de Holland et Blundy (1994). Température en °C et pression en kbar. (a) Températures obtenues pour les métagabbros à rosettes du dyke de Le Doré, échantillon 4202-B2 et 4215. (b) Températures obtenus pour les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4221.....	132
Figure 5.3:	Figure montrant les températures obtenus à l'aide des calculs thermobarométriques de TWEEQU. La température est en °C et la pression en bar. (a) Températures obtenus pour l'échantillon 4214-B (dyke de Le Doré). On remarque que la est généralement plus basse que pour l'échantillon 4202-A. (b) Températures obtenus pour l'échantillon 4202-A	

(dyke de Le Doré). Les températures obtenues sont plus élevées que pour l'échantillon 4214-B.....134

- Figure 5.4:** Figure montrant les pression obtenues à l'aide des calculs de TWEEQU. La température est exprimé en °C et la pression est en bar. (a) Baromètre montrant la déstabilisation de grossulaire en anorthite dans les échantillon du dyke de Le Doré. (b) Figure représentant la superposition du thermomètre et du baromètre obtenue pour les échantillons du dyke de Le Doré. La varie donc entre 650 et 750°C et la pression maximale est de 7268 bar.....135
- Figure 5.5:** Figure montrant les températures obtenus à l'aide des calculs thermobarométriques de TWEEQU. La température est en °C et la pression en bar. (a) Températures obtenus pour les métagabbros à rosette du dyke de Le Doré. (b) Températures obtenus pour les métagabbros à rosette du dyke de Le Doré. Même si sont les mêmes réactions les courbes semblent avoir un comportement légèrement différent.....137
- Figure 5.6:** Figure montrant les températures obtenus à l'aide des calculs thermobarométriques de TWEEQU. La température est en °C et la pression en bar. (a) Températures obtenus pour les métagabbros à rosette du dyke de Le Doré. (b) Figure montrant la superposition des trois dernière figure (5.5a-bb et 5.6a). Le champs des températures obtenu pour les métagabbros à rosette est donc entre 300 et 560°C.....139

- Figure 5.7:** Figure montrant les températures obtenus à l'aide des calculs thermobarométriques de TWEEQU pour les métagabbros à rosette de la Suite Mafique de Lillian. La température est en °C et la pression en bar..... 142
- Figure 5.8:** Diagramme de la pression et température montrant les champs des divers faciès métamorphiques, d'après Yardley, 1989. La température est en °C et la pression en Kbar. Les abréviations utilisées sont: Hfls = hornfels, AE = albite-épidote, HBL = hornblende, PX = pyroxène et PREH-PUMP = prehnite-pumpelleite..... 143
- Figure 5.9:** Diagramme montrant la relation métamorphique existant entre les différents métagabbros. La température est en °C et la pression en bar..... 144

LISTE DES PHOTOS

	pages
Photo 2.1: (a) Rosette dans les métagabbros du dyke de Le Doré. (b) Enclaves plus felsiques dans les métagabbros de la Suite Felsique de Lillian.....	25
Photo 2.2: (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon. 4214-B. On voit bien la texture sub-ophitique. (c) Lumière naturelle. (d) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette, échantillon 4202-B2. On remarque bien la texture sub-ophitique.....	28
Photo 2.3: (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 8-4-3. Les couronnes autour des olivines sont très peu développées. Bas dans la séquence, échantillon près du lac Le Doré. (c) Lumière naturelle. (d) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 8-4-3. Les couronnes autour des olivine commence à être un peu mieux formées. Bas de la séquence, échantillon près du lac Le Doré.(e) Lumière naturelle. (f) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 4202-A. Les couronnes entourant l'olivine sont bien développées. On remarque bien la première couche d'orthopyroxène et la dernière couche d'ampibole.(g) Lumière naturelle. (h) Lumière polarisée. Métagabbros à olivine, échantillon 4202-A. Les couronnes autour des olivines sont de plus en développées. Les couronnes sont de plus en plus large. Plus haut dans la séquence.(i) Lumière naturelle.	

	(j) Lumière polarisée. Métagabbros à olivine, échantillon 4214-B. La bande d'amphibole est très large. Encore plus haut dans la séquence, échantillon à l'est du lac Le Doré. (k) Lumière naturelle. (l) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette, échantillon 4202-B2. Les rosettes d'amphibole sont maintenant bien formées. L'olivine est complètement disparue.....	30
Photo 2.4:	(a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 4214-B. Couronne d'amphibole et de biotite autour des oxydes.....	32
Photo 2.5:	(a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 4214-B. On voit bien les bandes d'orthopyroxène et d'amphibole.....	33
Photo 2.6:	Métagabbros du dyke de Le Doré. Photo "backscatter electron". (a) Bande de biotite en couleur foncée entre les bandes d'orthopyroxène et d'amphibole en gris. Échantillon 4202-A (b) Bande d'orthopyroxène en gris pâle. Échantillon 4202-A (c) Rosette d'amphibole avec au centre des grains individuel de biotite. Échantillon 4215.....	34
Photo 2.7:	(a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette, échantillon 4202-B2. Les rosettes d'amphibole sont bien développées. En lumière polarisée on peut observer la texture sub-ophitique qui est bien préservée.....	35
Photo 2.8:	(a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbros à rosette, échantillon. Les clinopyroxènes commencent à s'altérer en amphibole.....	36

- Photo 2.9:** (a) Métagabbro à olivine, échantillon 4214-B (b) Métagabbro à rosette, échantillon 4201. Photo en lumière naturelle des opaques dans les deux sortes de métagabbros.....38
- Photo 2.10:** (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette, échantillon 4202-B2. La bande de biotite autour de l'oxyde est très large.....39
- Photo 2.11:** Métagabbro à rosette, échantillon 4202-B2. (a) Lumière naturelle. Les rosettes sont mieux développées au contact avec les plagioclases. (b) Lumière naturelle. Les rosettes sont bien développées.....40
- Photo 2.12:** (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette. Suite Mafique de Lillian, échantillon 4221. Les rosettes sont composées d'amphibole et de chlorite. Les plagioclases sont très altérés. (c) Lumière naturelle. (d) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4205-C. Le coeur des rosettes est un enchevêtrement de biotite et de chlorite.....41
- Photo 2.13:** (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4205-C. Les métagabbros ont préservés leur texture sub-ophitique.....42
- Photo 2.14:** (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 4202-A. Les olivines sont complètement entourées de clinopyroxène. Le rapport Mg/Mg+Fe varie entre 0.58 et 0.66. (c) Lumière naturelle. (d) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 4202-A. L'olivine touche

à la fois au clinopyroxène et au plagioclase. Le rapport $Mg/Mg+Fe$ varie entre 0.57 et 0.64. (e) Lumière naturelle. (f) Lumière polarisée. Métagabbros à olivine, échantillon 4202-A L'olivine est totalement entourée par les couronnes de réaction. Le rapport $Mg/Mg+Fe$ varie entre 0.54 et 0.59.....47

- Photo 2.15:** Photo “backscatter electron”. (a) Métagabbro à rosette du dyke de Le Doré. Dans le cœur des rosettes les amphiboles se retrouvent sous forme de petits grains individuels. La largeur de la bande d’amphibole dans la rosette est plus ou moins constante. (b) Métagabbro à olivine du dyke de Le Doré. Les plagioclases sont zonés. La bordure des grains est plus riche en albite que le centre des grains. (c) Métagabbro à olivine du Dyke de Le Doré. Sur cette photo on voit la bande d’amphibole. (d) Métagabbro à olivine du Dyke de Le Doré. Sur cette photo on voit les inclusions de spinelles dans la bande d’amphibole. (e) Métagabbro à rosette de la Suite Mafique de Lillian. La bordure des rosettes est de largeur constante. (f) Métagabbro à rosette de la Suite Mafique de Lillian. Au centre de la rosette il y a des cristaux de chlorite.....53
- Photo 2.16:** Métagabbros à rosette de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4221. (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. La chlorite se retrouve au cœur des rosettes.....64
- Photo 2.17:** (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4205-C. Le clinopyroxène à presque tout été remplacé par l’amphibole.....65

Photo 4.1: Métagabbros du dyke Le Doré. Photo “backscatter electron”. On peut observer le contact entre l’olivine et la bande d’orthopyroxène.....115

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pas pris forme sans le soutiens de certaines personnes. Je tiens à remercier mon directeur Walter E. Trzcienski ainsi que mon co-directeur Pierre Verpaelst qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de cette aventure, ils ont fait preuve de patience. Ce projet a été proposé par Pierre et Louis Madore à l'été 1995, dans le cadre du projet Wakeham du ministère des ressources naturelles (MRN), sans leur proposition je n'aurais pas eu la chance de découvrir les gabbros du lac Le Doré. J'aimerais aussi remercier Glen Poirier de l'Université McGill pour nous avoir aidé avec la microsonde, sans lui je n'aurais pas eu les images de distribution des éléments, qui m'ont été très utile. Il ne faudrait pas oublier Jean-Pierre Bourque qui a fait de belles lames minces, ainsi que Monsieur Demidoff pour l'aide apporté dans certaine figure.

Un merci spécial à mon ami et Glyn Williams-Jones qui a su apporter un support géologique "psychologique" et informatique à tout ce travail. Merci aussi aux amis(es) de géologie avec qui la détente était agréable, Jean-Marc, André, Alex, Kazuko, Caroline, Julie, Merci aussi à Alain Cournoyer pour la longue correction de ce travail.

Finalement, je voudrais souligner le soutien et les encouragements de ma famille, Louise, Yvan, Julie et Mélanie. Sans eux le travail accompli n'aurait certainement jamais vu le jour. Merci beaucoup.



A ma famille.....

Introduction

La région du lac Le Doré est située près du Terrane de Wakeham, dans la Province de Grenville et sa géologie est connue depuis moins de 30 ans (Bourne *et al.*, 1977 et Verpaelst *et al.*, 1997). Cette région a été plus travaillée à l'ouest du lac Le Doré dans le Terrane de Wakeham (Wynne-Edwards, 1972, Sharma *et al.*, 1975, Bourne *et al.*, 1977 et Martignole *et al.*, 1992). Selon Rivers *et al.* (1989) le Terrane de Wakeham est une ceinture allochtone monocyclique comprenant à la base le Groupe d'Aguanus séparé du Groupe de Davy par la zone ductile de la rivière Nabisipi (Rivers *et al.*, 1989).

A l'est du Terrane de Wakeham on retrouve le lac Le Doré, en grande partie, dans la Suite felsique d'Olomane. Cette suite felsique est recoupée par le porphyre de Kathat qui a été daté à 1510 ± 10 Ma (Verpaelst *et al.*, 1997) et par les métagabbros du dyke de Le Doré et de la Suite Mafique de Lillian.

Les métagabbros du dyke de Le Doré et de la Suite Mafique de Lillian sont l'objet d'étude de ce mémoire de maîtrise, proposé à la suite de la cartographie de la région du lac Le Doré à l'été 1995 par l'équipe du ministère des Ressources naturelles du Québec, afin de mieux comprendre les relations existant entre les différents types de métagabbros.

Tout d'abord nous ferons une revue des études précédentes dans le Terrane de Wakeham et dans la région du lac Le Doré, dans le but de présenter l'environnement géologique. Ces métagabbros ont été étudiés en vue de vérifier s'il y a plusieurs suites. Une étude pétrographique et une études géochimique des minéraux seront faites afin de comparer les métagabbros de la région du lac Le Doré, afin de faire ressortir leurs grandes similitudes au point de vue pétrographique. La géochimie détaillée des

minéraux sera utilisée pour souligner les grandes similarités entre les métagabbros dans la région du lac Le Doré. Le métagabbro du dyke de Le Doré sera discuté plus en détail, car il comprend des textures kélyphitiques très intéressantes. Nous utiliserons les analyses géochimiques des minéraux faites à la microsonde pour mieux comprendre le comportement des éléments chimiques dans les couronnes de réaction.

Le métagabbro du dyke de Le Doré est aussi composé de métagabbros à rosette d'amphibole. Le même genre de rosette est observé dans la Suite Mafique de Lillian. Malgré le métamorphisme qu'ils ont subi, les deux types de métagabbros ont préservé leur texture sub-ophitique.

Autour des cristaux d'olivine, observés dans le dyke de Le Doré, nous observons une couronne de réaction. La couche interne est composée d'orthopyroxène, la mince couche du milieu se compose de biotite et la couche externe d'amphibole avec des inclusions de spinelle. Ce type de couronne pourrait être le fruit de la réaction entre le plagioclase et l'olivine lors d'un processus de diffusion (Shand, 1945, Ashworth, 1986, Kretz *et al.*, 1989 Grant, 1988, Johnson et Carlson, 1991).

Ensuite, nous utiliserons les analyses géochimiques des roches afin de vérifier certaines hypothèses concernant la formation des gabbros dans la région du lac Le Doré. A l'aide des diagrammes tectoniques et des terres rares nous mettrons en évidence dans quel type d'environnement tectonique se sont formés les métagabbros du dyke de le Doré. De plus, nous pourrons voir si les métagabbros à olivine et les métagabbros à rosette ont un comportement géochimique se ressemblant.

Ces couronnes de réaction seront regardées en détail afin de mieux

comprendre les réactions qui les ont formées. Nous parlerons aussi des hypothèses discutées dans la documentation.

Finalement, à l'aide de la thermobarométrie nous tenterons de mieux comprendre l'environnement métamorphique de ces métagabbros. Pour mieux comprendre l'environnement métamorphique, le thermomètre de Holland et Blundy (1994) et le logiciel TWEEQU (Thermobarometry With Estimation EQUilibration State) de Berman (1991) sont utilisés pour estimer les températures et les pressions enregistrées dans les différents métagabbros. Les logiciels servant au calcul de la température et de la pression permettent de vérifier cette relation pétrographique. Le thermomètre de Holland et Blundy utilise les échanges NaAl-CaSi entre le plagioclase et l'amphibole pour calculer la température. Le logiciel TWEEQU utilise la position de tous les équilibres possibles pour les assemblages de minéraux pour ainsi les placer dans l'espace P-T-X (CO₂) (Berman 1991). Avec ce dernier logiciel, l'échange Fe-Mg entre l'orthopyroxène et la biotite est utilisé pour calculer la température des métagabbros à olivine du dyke de Le Doré. Dans les métagabbros à rosette du dyke de Le Doré et de la Suite Mafique de Lillian, l'échange Fe-Mg entre la chlorite et l'amphibole est utilisé pour calculer les températures.

Chapitre 1

Cadre géologique

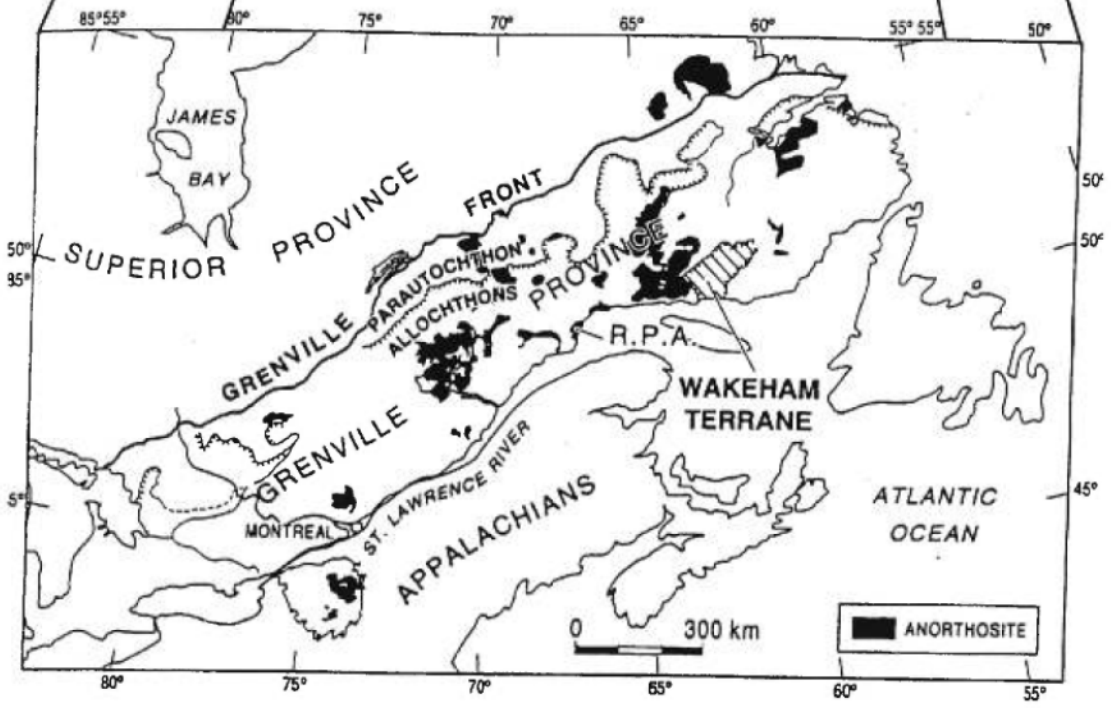
1.1 Localisation de la région étudiée

Le métagabbro du dyke de Le Doré et les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian sont situés dans la partie nord-est de la Province de Grenville (figure 1.1), dans la Moyenne et la Basse-Côte-Nord. Ces roches gabbroïques se retrouvent sur le feuillet du lac Le Doré (SNRC 12N/06). Le dyke de gabbro de Le Doré et la Suite Mafique de Lillian se situent au nord-est du Terrane de Wakeham, (Rivers *et al.*, 1989) un terrain allochtone monocyclique mésoprotérozoïque, dans la partie est de la Province de Grenville (figure 1.1). L'accès à la région se fait par hydravion à partir de Havre-Saint-Pierre et de Natashquan sur des distances respectives de 195 et 125 km.

1.2 Travaux antérieurs

Peu de gens ont cartographiés la région du lac Le Doré et ses alentours. Des travaux de reconnaissance ont été entrepris par la Commission Géologique du Canada (Bourne *et al.*, 1976) dans la région de la rivière Morhiban et de la rivière Natashquan. La région du lac Le Doré (anciennement lac Lillian) a été cartographiée à l'échelle de 1:250 000 par Bourne *et al.* (1977, 1978) et a fait l'objet d'une compilation régionale (Indarès et Martignole, 1993). Selon ces derniers auteurs, ces dykes et filons-couches de gabbros se retrouvent partout à travers la région. Toutes ces roches gabbroïques sont déformées et métamorphisées au même faciès métamorphique que les grès et les roches environnantes; les gabbros semblent plus jeunes que les roches

Figure 1.1 Localisation de la province de Grenville et du Terrane de Wakeham dans l'est de l'Amérique du Nord, d'après Rivers et al, 1989.



qui composent le Wakeham.

Les gabbros étudiés ont aussi été cités dans les travaux de Wynne-Edwards en 1972. Il parle des filons-couches de gabbros qui se retrouvent dans le Terrane de Wakeham. Il pense que ces gabbros sont reliés aux intrusions anorthositiques retrouvées plus à l'ouest dans la région. Ces gabbros sont déformés et métamorphisés au faciès des schistes verts et des amphibolite.

1.3 Le Terrane de Wakeham

Le terme Wakeham a été utilisé pour désigner un ensemble de roches détritiques faiblement métamorphisées et caractérisées par la présence d'intrusions de filons-couches de gabbro au nord de Havre-Saint-Pierre (Claveau, 1949). Le terme Wakeham Bay Group a été utilisé par Wynne-Edwards (1972) pour désigner ces roches. Sharma (1973) et Sharma et Franconi (1975) donnent le nom de Wakeham à l'ensemble des formations volcaniques acides et basiques interlitées avec des roches sédimentaires faiblement métamorphiques se retrouvant dans la région des lacs Victor et Gaudreault. Bourne *et al.* (1977) confirment l'extension régionale de cette association et notent une possible association entre les roches felsiques volcaniques et les granitoïdes hypabyssaux dans un environnement de rift. Martignole *et al.* (1992) et Indarès et Martignole (1993) divisent le Terrane de Wakeham en deux groupes sédimentaires et volcaniques: à la base, se retrouve le Groupe d'Aguanus (partie est du Terrane de Wakeham), lequel est couvert par le Groupe de Davy (partie ouest du Terrane de Wakeham). Ces deux groupes sont séparés par la zone de cisaillement de

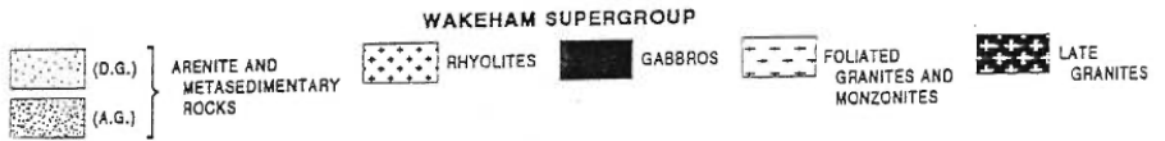
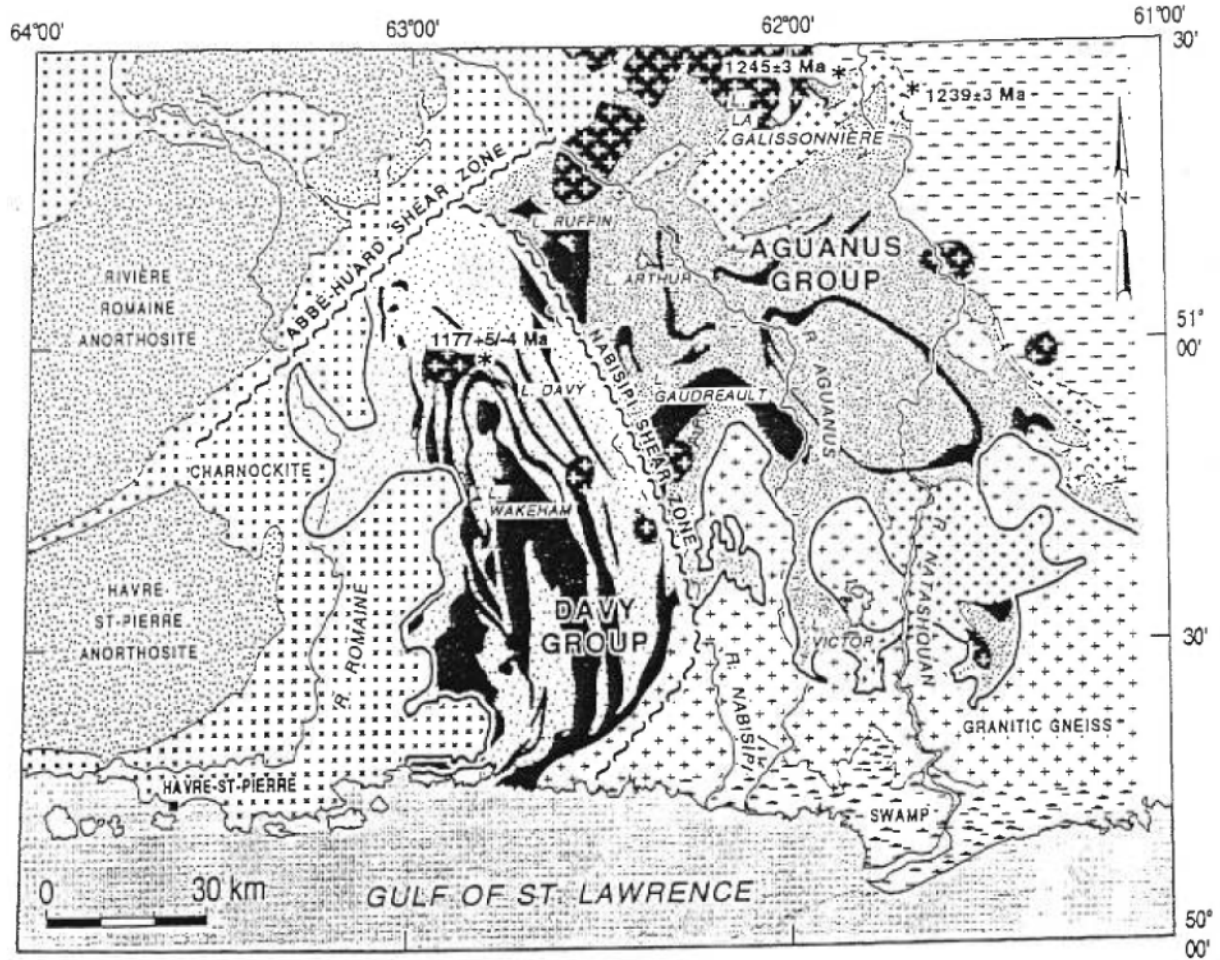
Nabisipi (figure 1.2). Selon Indarès et Martignole (1993), le Groupe de Davy reposerait donc en discordance sur le Groupe d'Aguanus. Ainsi le Groupe de Wakeham a été élevé au rang de Supergroupe.

La partie est du terrane de Wakeham se compose de sédiments: arénites quartzifères, arénites, schistes et arénites feldspathiques lithiques (figure 1.2). Ces sédiments sont intercalés avec des roches felsiques et mafiques. Des rhyolites et des rhyodacites porphyriques subaériennes et quelques niveaux de basalte surmontent les grès. Les roches mafiques se retrouvent en coulée de lave, brèche de coulée, tuf mafique et gabbro comagmatique, interlitées avec des roches sédimentaires. Les intrusions de gabbros sont plus importantes que leurs équivalents extrusifs. Tandis que la partie ouest du terrane de Wakeham se compose de roches sédimentaires détritiques, une grande portion de ces roches proviendrait de l'érosion du Groupe d'Aguanus (Martignole *et al.*, 1994) (figure 1.2). Un grand nombre de filons-couches de gabbros se retrouvent dans ce groupe.

Selon Rivers *et al.* (1989) le Terrane de Wakeham est une ceinture allochtone monocyclique composé uniquement de roches du Supergroupe de Wakeham. Cet ensemble repose sur un socle gneissique protérozoïque inférieur à moyen.

La limite nord-ouest du Terrane de Wakeham est bien définie. En effet, le linéament Abbé-Huard, orienté nord-est sud-ouest, pourrait correspondre à la limite septentrionale de la zone de la faille de l'allochtone monocyclique. Cette zone de cisaillement (Indarès et Martignole, 1993) sépare les roches métavolcaniques et les roches métasédimentaires du Terrane Wakeham des charnockites du complexe de la rivière Romaine. Par contre, la limite ouest reste assez imprécise. Elle se retrouverait

Figure 1.2 Carte géologique simplifiée du Terrane de Wakeham, d'après Martignole et al, 1994.



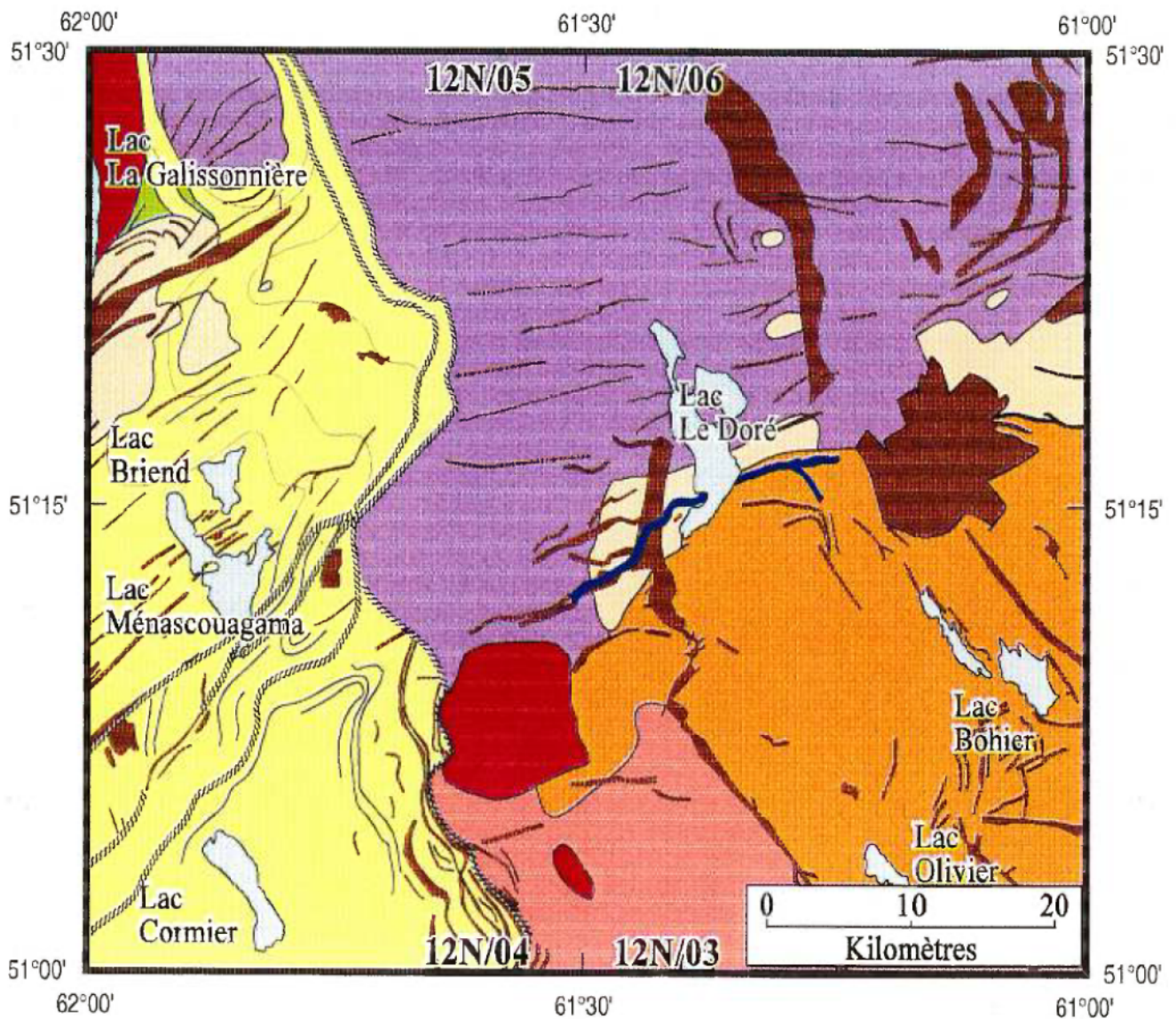
dans la vallée de la rivière Romaine où elle serait scellée et métamorphisée par des intrusions plus récentes. Le linéament de la rivière Natashquan, orienté sud-sud-est pourrait être la limite est du Terrane de Wakeham. En effet, Verpaelst et Madore (1996) pensent que la zone de cisaillement de Natashquan sépare la Suite felsique d'Olomane des sédiments du Wakeham. Finalement, la limite sud du Terrane de Wakeham n'est pas visible, car elle est plissée sous le graben du Saint-Laurent.

1.4 Géologie de la région du lac Le Doré

La région du lac Le Doré (figure 1.3) se compose essentiellement de métagabbros et de granites avec un petit nombre d'îlots kilométriques de sédiments qui composent moins de un pourcent de la région cartographiée.

Nous pouvons distinguer quatre types de granites dans la région du lac Le Doré: le granite à fluorite, le granite à quartz bleu, le granite à texture rapakivi et le porphyre granitique à quartz et feldspath. Les deux premiers types ont été regroupés par Verpaelst et Madore (1996) en une seule unité nommée la Suite felsique d'Olomane, tandis que les deux autres granites ont été regroupés dans la Suite felsique de Kataht (Verpaelst *et al.*, 1997) Cette suite couvre la plus grande partie de la région. Ces granites sont faiblement foliés ou massifs et ils sont mylonitisés près des zones de failles. Le granite à fluorite se retrouve principalement le long de la zone de cisaillement de Natashquan (Verpaelst *et al.*, 1996). Martignole *et al.* (1994) ont daté ce granite à deux endroits dans la région du lac Briend. Les analyses U-Pb ont donné des âges de 1245 ± 3 Ma et 1239 ± 3 Ma. Le granite à texture rapakivi affleure essentiellement dans la partie sud, tandis que le granite à quartz bleu affleure au nord

Figure 1.3 Carte géologique de la région des lacs Cormier (SNRC 12N/04), Bohier (SNRC 12N/03), Briend (SNRC 12N/05) et Le Doré (SNRC 12N/06) Moyenne-Côte-Nord (Madore et al, 1997).



LÉGENDE STRATIGRAPHIQUE

NÉOPROTÉROZOÏQUE OU PALÉZOÏQUE

DYKE DE LE DORÉ

Gabbro à Olivine

NÉOPROTÉROZOÏQUE

SUITE FELSIQUE DE LA GALISSONNIÈRE

Granite

MÉSOPROTÉROZOÏQUE

SUITE MAFIQUE DE LILLIAN

Gabbro, leucogabbro

SUITE FELSIQUE D'OLOMANE

Granite rapakivi

Granite à fluorine et granite à quartz bleu

PORPHYRE DE KATAHT

Porphyre granitique à quartz et feldspaths

GROUPE DE WAKEHAM

Basalte

Grès, mudrock, conglomérat

COMPLEXE DE BOULAIN

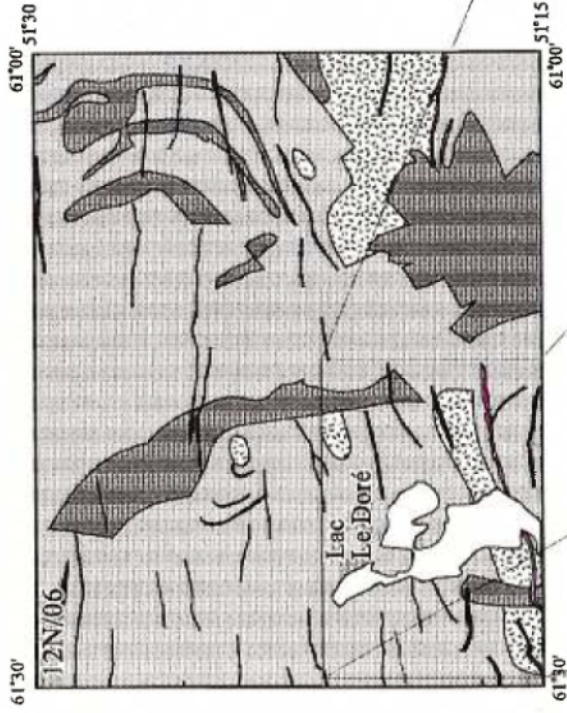
Gneiss granitique, paragneiss

du lac Le Doré. Le contact de ce granite avec les sédiments du Terrane de Wakeham se fait le long de la zone de cisaillement de Natashquan. Il appartient à un domaine différent de la séquence supracrustale. Au sud de la région, on retrouve, sous forme de masse kilométrique, le porphyre à quartz et feldspath, qui a été nommé Porphyre de Kataht. La masse la plus importante se retrouve au sud de la région au contact du granite à fluorite et du granite à texture rapakivi, tandis que des masses moins importantes (enclaves) se retrouvent dans les granites à fluorite au nord du lac Le Doré. Selon Verpaelst *et al.* (1996) le porphyre constitue une intrusion de faible profondeur, mais ne semble pas montrer d'évidence d'une mise en place effusive. La relation entre le granite à fluorite et le porphyre de Kataht est ambiguë, car le contact entre ces deux lithologies n'a pas été observé. Verpaelst *et al.* (1996) ont daté ce porphyre à 1510 ± 10 Ma (U-Pb).

Dans la région du lac Le Doré on retrouve deux types de métagabbros, soit la Suite mafique de Lillian, qui se retrouve sous forme de plutons ou de filons-couches et le métagabbro à olivine du Dyke de Le Doré (figure 1.4). Verpaelst *et al.* croient que le dyke de Le Doré avec son faible degré d'altération, est une intrusion plus récente possiblement d'âge néoprotérozoïque, voire même paléozoïque.

Les dykes de la Suite Mafique de Lillian sont orientés est-ouest avec des pendages généralement abrupts, à l'ouest du lac Le Doré et ils ont une tendance nord-est-sud-ouest près du lac Briend. Ces dykes recoupent les autres lithologies et sont omniprésents. Les grandes intrusions de la Suite Mafique de Lillian se retrouvent principalement près du lac Le Doré et atteignent des surfaces de 60 km^2 . Ces intrusions montrent parfois des pendages faibles à moyens et un léger litage

Figure 1.4 Carte géologique montrant le dyke de Le Doré ainsi que les gabbros de la Suite Mafique de Lillian. RG 97-08, sous presse. (Madore et al, 1997).




NÉOPROTÉROZOÏQUE

 Gabbro à olivine de Le Doré

MÉSOPROTÉROZOÏQUE

 Suite mafique de Lillian

 Porphyre de Kataht

magmatique. Verpaelst *et al.* (1996) suggèrent que ces intrusions représentent plusieurs petits complexes gabbroïques lités. Ces gabbros sont faiblement métamorphisés et conservent une relique de texture sub-ophitique.

Le métagabbro à olivine du Dyke de Le Doré n'est observé qu'à un seul endroit, soit dans la partie sud du lac Le Doré. Le Dyke de Le Doré se distingue des autres métagabbros par la présence d'olivine et par ses clinopyroxènes et plagioclases qui sont très peu altérés. Ce métagabbro est plus ou moins zoné minéralogiquement, avec des parties qui sont plus riches en olivine et pyroxène et d'autres qui sont moins riches en olivine.

Au sud du lac Le Doré, Verpaelst *et al.* (1996) ont observé le complexe gneissique de Boulain, qui se compose de gneiss, paragneiss, quartzites et de gneiss tonalitiques. Ces roches représentent soit le socle gneissique sur lequel reposent, de façon autochtone ou allochtone, les roches supracrustales du Terrane de Wakeham, soit une partie du Terrane de Wakeham métamorphisée et remobilisée.

1.4.1 Structure dans la région du lac Le Doré

Dans la région du lac Le Doré, un seul domaine tectonique est observé (figure 1.3). Ce domaine tectonique correspond à la Suite felsique d'Olomane. Sa limite ouest est la zone de cisaillement de Natashquan. Cette zone de cisaillement sépare la Suite Felsique d'Olomane des sédiments du Supergroupe de Wakeham. De plus, elle est orientée vers le sud-est avec un pendage d'environ 60°. Dans la partie sud, près du lac Briend, l'orientation du cisaillement varie localement, la zone de cisaillement semble s'orienter vers le sud-ouest (Verpaelst *et al.*, 1996). Des plis isoclinaux déversés vers

le nord-est, laissent suggérer que la zone de cisaillement de Natashquan correspond à une faille de chevauchement où les sédiments du Wakeham ont été transportés vers l'est, sur les granites de la Suite Felsique d'Olomane. Par contre, cette faille de cisaillement pourrait aussi être une faille longitudinale qui juxtapose le domaine supracrustal au domaine intrusif (Verpaelst *et al.*, 1996).

À l'est de la Zone de Cisaillement de Natashquan, la fabrique structurale est modérément développée dans les roches intrusives de la Suite Felsique d'Olomane. Ces roches sont souvent massives ou peu foliées. Selon Verpaelst *et al.* (1996), les granites de la Suite Felsique d'Olomane ont une foliation homoclinale qui est orientée l'ouest et inclinée vers le nord (N260°/50°). Par contre, le pendage de la foliation devient faible dans les masses gabbroïques de la Suite Mafique de Lillian.

1.4.2 Métamorphisme

Selon Madore *et al.* (1996), dans la partie est du Wakeham, les sédiments sont métamorphisés entre les faciès schistes verts et les faciès amphibolites. La température aurait atteint environ 550°C et une pression n'exédant pas 3 kbar. Ces valeurs de température et pression seraient représentatives d'un contexte de rift continental avec un flux thermique plus élevé. Pour les gabbros de la Suite Mafique de Lillian et du dyke de Le Doré ni température ni pression n'ont encore été données. Il sera question de température et pression dans les prochains chapitres de ce mémoire.

1.4.3 Lithogéochimie

Les gabbros de la région du lac Le Doré ont des caractéristiques typiques de

magma enrichi dans un environnement intra-plaque, comme les fonds océaniques ou les plateaux continentaux (Verpaelst *et al.*, 1997). Les gabbros proviendraient probablement d'une zone du manteau légèrement enrichie ou d'un magma contaminé par la croûte lors de sa montée.

Les granites tombent dans les domaines des granites intra-plaques anorogéniques ou post-orogéniques (Verpaelst *et al.*, 1997). Cet environnement géologique est similaire à celui des intrusions mafiques. Comme Bourne *et al.* (1977), Verpaelst *et al.* (1997) croient que les roches du Wakeham se seraient mises en place dans un environnement de rift continental. Par contre, la relation entre le Terrane de Wakeham, la Suite Felsique d'Olomane et les gabbros de la région du lac Le Doré n'est pas assez claire pour permettre de conclure que ces roches se seraient mises en place dans la même zone de rift.

1.4.4 Géochronologie des événements

Une chronologie des événements (tableau I) a été proposée par Verpaelst *et al.* (1996). Tout d'abord il y aurait eu la mise en place des sédiments et des roches supracrustales du Groupe de Wakeham sur un socle gneissique il y a plus de 1500 Ma. Le complexe de Boulain pourrait faire partie ou représenter le socle gneissique. Il y a eu par la suite intrusion du porphyre de Kataht dans les sédiments entre 1510 ± 10 Ma et 1495 ± 12 Ma, suivie de la déformation des roches. Après, il y a eu intrusion de la Suite Felsique d'Olomane dans les sédiments du Wakeham et dans le porphyre, suivie du métamorphisme de haute température et de basse pression. Par la suite, la zone de cisaillement de Natashquan s'est développée entre les sédiments du Wakeham et la

Suite Felsique d'Olomane. Il y a eu la mise en place de l'essaim de dykes et des plutons de gabbros de la Suite Mafique de Lillian et la poursuite du mouvement le long de zone de cisaillement de Natashquan avec une réorientation de chaque côté de cette zone. Finalement, il y a eu intrusions de la Suite Felsique de La Galissonnière (993 ± 13 Ma) et du Dyke de Le Doré (moins de 1000 Ma) (Verpaelst *et al.*, 1997).

**Tableau I Chronologie des événements dans la région du lac Le Doré
(Verpaelst *et al.*, 1996)**

Événements	Dates
8) Intrusion de la Suite Felsique de La Galissonnière	993 ± 13 Ma (U-Pb, Loveridge, 1986)
7) Poursuite du mouvement le long de la Zone de Cisaillement de Natashquan avec réorientation de chaque côté de la zone.	
6) Mise en place de l'essai de dykes et des plutons de la Suite Mafique de Lillian.	
5) Développement de la zone de cisaillement de Natashquan entre le Wakeham et la Suite Felsique d'Olomane.	
4) Intrusion de la Suite Felsique d'Olomane dans le porphyre de Kataht et dans les sédiments du Wakeham.	
3) Déformation des roches	
2) Intrusion du Porphyre de Kataht	1510 ± 10 Ma et 1495 ± 12 Ma (U-Pb, Verpaelst <i>et al.</i> , 1996)
1) Mise en place des roches supracrustales du groupe de Wakeham sur un socle gneissique.	> 1500 Ma

Chapitre 2

Les métagabbros du dyke de Le Doré et de la

Suite mafique de Lillian

2.1 Introduction

Nous allons maintenant traiter des métagabbros du Dyke de Le Doré et de la Suite mafique de Lillian. Dans ce chapitre, le terme métagabbro de la Suite mafique de Lillian sera utilisé pour les deux types de métagabbros qui la composent. Aucune distinction n'est faite entre ces deux types de métagabbros, car ils ont tous les deux des rosettes d'amphibole. De plus, nous traiterons les métagabbros du point vue pétrographique et de la géochimie des minéraux. Ceci permettra de faire une comparaison entre les deux unités de métagabbros de la région du lac Le Doré pour vérifier s'ils ont des caractères distinctifs. Finalement, nous parlerons des assemblages métamorphiques retrouvés dans les deux types de métagabbros.

2.2 Observations sur le terrain

2.2.1 Méthodologie

Les échantillons du dyke de Le Doré et de la Suite Mafique de Lillian ont été amassés dans le cadre d'un projet du ministère des Ressources naturelles à l'été 1995. Des traverses ont été effectuées dans le but de regarder plus en détail ces métagabbros. Des échantillons ont été pris à différents endroits dans ces métagabbros afin de voir d'éventuelles variations dans la minéralogie et dans la composition des minéraux (figure 2.1).

Figure 2.1 Carte géologique du Dyke de Le Doré et de la suite Mafique de Lillian montrant les échantillons pris lors de l'été 95.

2.3 Description mégascopique

2.3.1 Dyke de Le Doré

Sur le terrain, ce métagabbro est de couleur gris foncé, à grains moyens (2-3 mm) et se compose de plagioclase, d'olivine, de clinopyroxène, d'ilménite et de magnétite. Généralement ce métagabbro est assez frais et les plagioclases qui le composent ne sont pas altérés. Le métagabbro de Le Doré semble zoné, avec des parties riches en olivine et pyroxène et d'autres parties contenant seulement du pyroxène et des rosettes d'amphibole.

2.3.2 Suite Mafique de Lillian

Les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian sont de couleur vert foncé et à grains moyens à grossiers (2-5 mm). Ils sont composés de plagioclase, d'amphibole, de clinopyroxène, de biotite, de chlorite, d'ilménite, de magnétite et de pyrite. Ces roches sont composées de plus de 45% d'amphibole et de pyroxène. Les plagioclases sont bleutés à rosâtres. À quelques endroits de grosses rosettes (5cm) d'amphiboles ont été observées (photo 2.1a). Des enclaves plus felsiques ont été observées dans les grandes masses de métagabbro (photo 2.1b). Ces enclaves ne semblent pas avoir d'orientation préférentielle. Dans certains dykes de métagabbro, des petits dykes (environ 5-10 cm d'épaisseur) plus felsiques ont été observés. Ces petits dykes sont souvent altérés en épidote et sont à grains très fins. Même s'ils semblent avoir subi un métamorphisme, les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian conservent leur

Photo 2.1 (a) Rosette dans les métagabbros du dyke de Le Doré. (b) Enclaves plus felsiques dans les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian.



texture sub-ophitique.

2.4 Description microscopique

2.4.1 Méthodologie.

Une quarantaine de lames minces des métagabbros de la région du lac Le Doré ont été examinées au microscope lors de ce projet, soit environ 20 lames minces pour la Suite Mafique de Lillian et 20 pour le dyke de Le Doré. Chaque lame mince a été examinée attentivement pour mieux comprendre leurs assemblages minéralogiques et métamorphiques.

2.4.2 Dyke de métagabbro de Le Doré

Le dyke de Le Doré se compose d'olivine (environ 70%), de clinopyroxène (plus de 5%) et de plagioclase zoné (15-20%). Les minéraux accessoires retrouvés dans ce métagabbro sont la titanite, l'apatite et la baddeleyite (observée à la microsonde). Environ 5% d'oxydes (ilménite et magnétite) et moins de 1% de sulfures (chalcopyrite, pyrite et sulfures de Cu-Ni-Co) (tableau II) sont compris dans ce métagabbro. Ces métagabbros ont préservé leur texture ignée sub-ophitique (photo 2.2a-b). Le faible degré d'altération de certains plagioclases, ainsi que la formation des couronnes de réaction, autour de l'olivine, sont des caractéristiques des métagabbros à olivine du dyke de Le Doré. Dans certaines lames minces nous avons observé un début de recristallisation dans les plagioclases. En effet, on voit bien que les nouveaux grains

Tableau II Analyses de la composition des sulfures retrouvés dans le dyke de Le Doré.

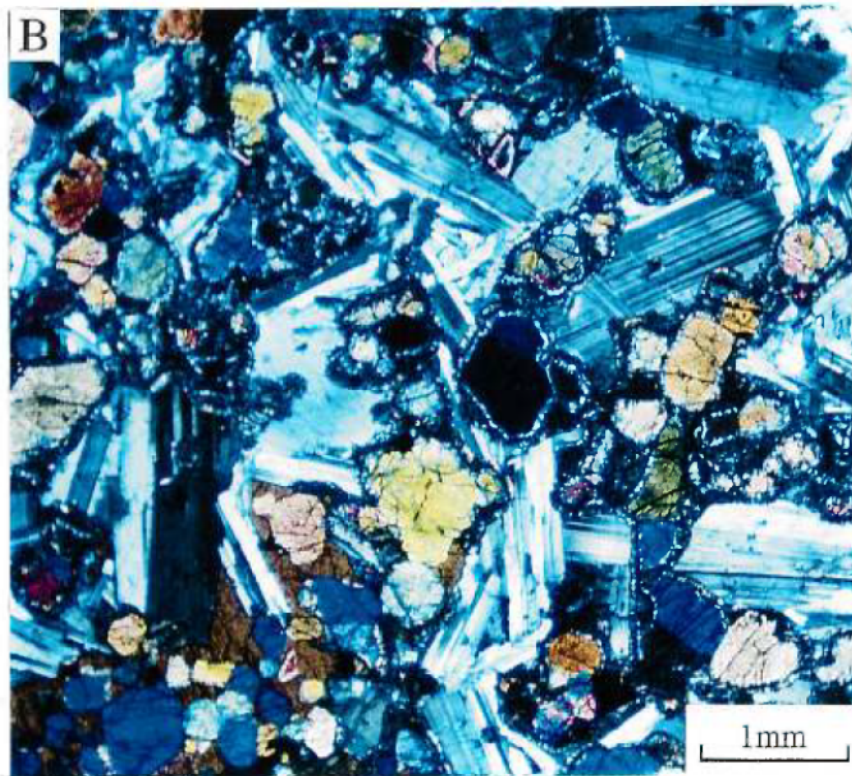
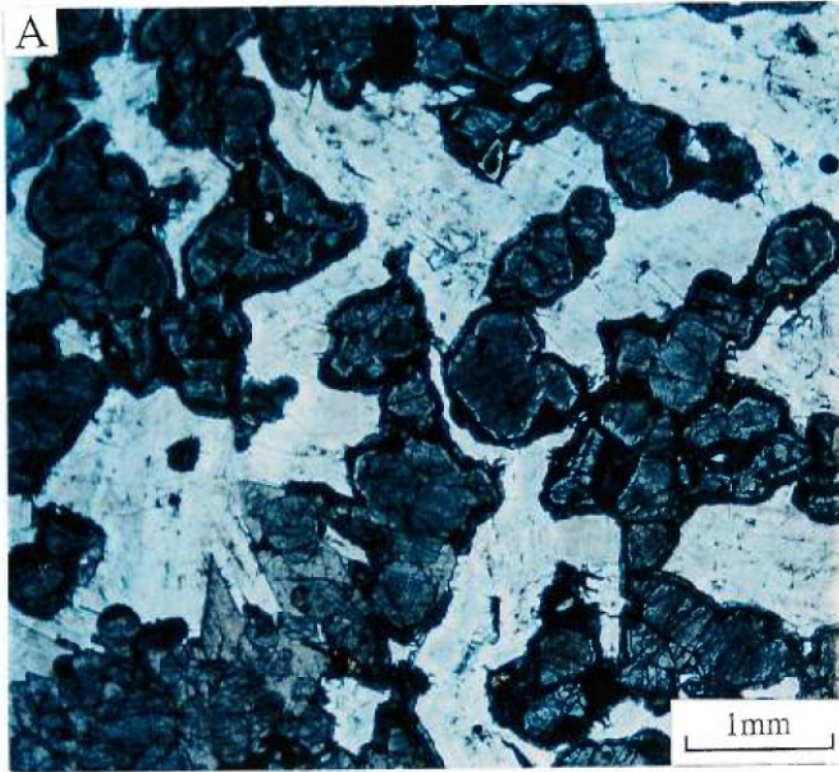
8-4-3.

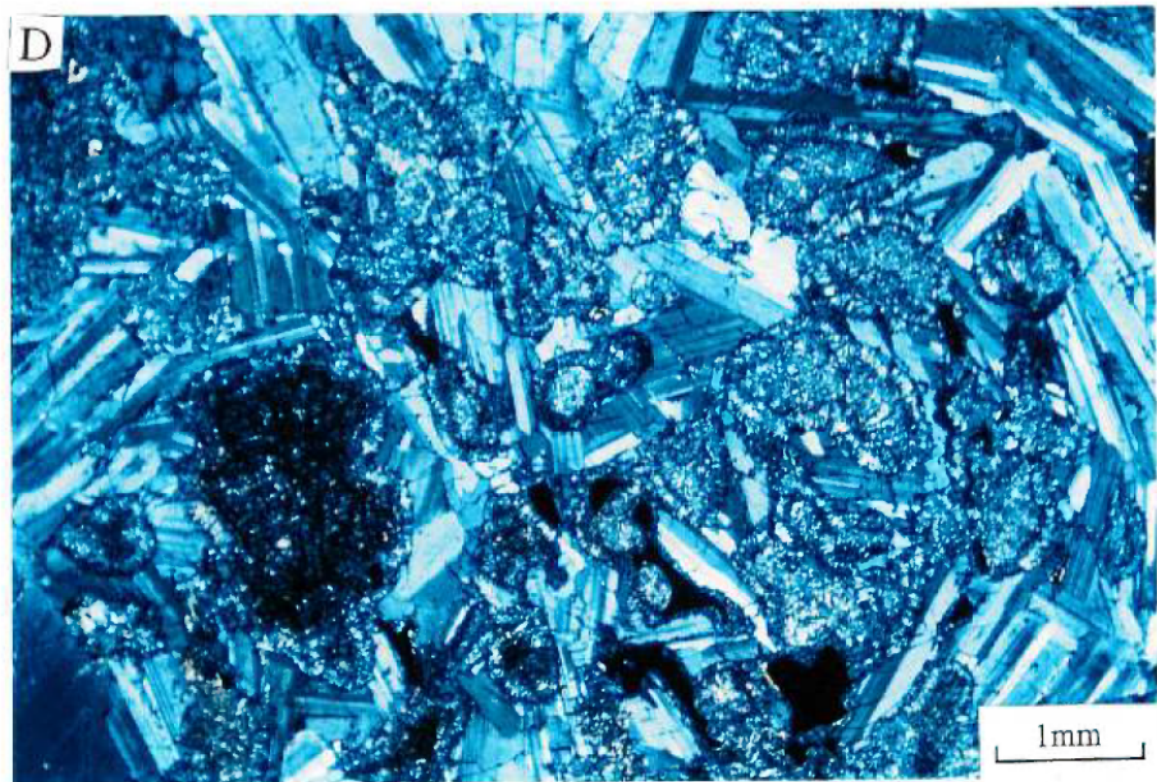
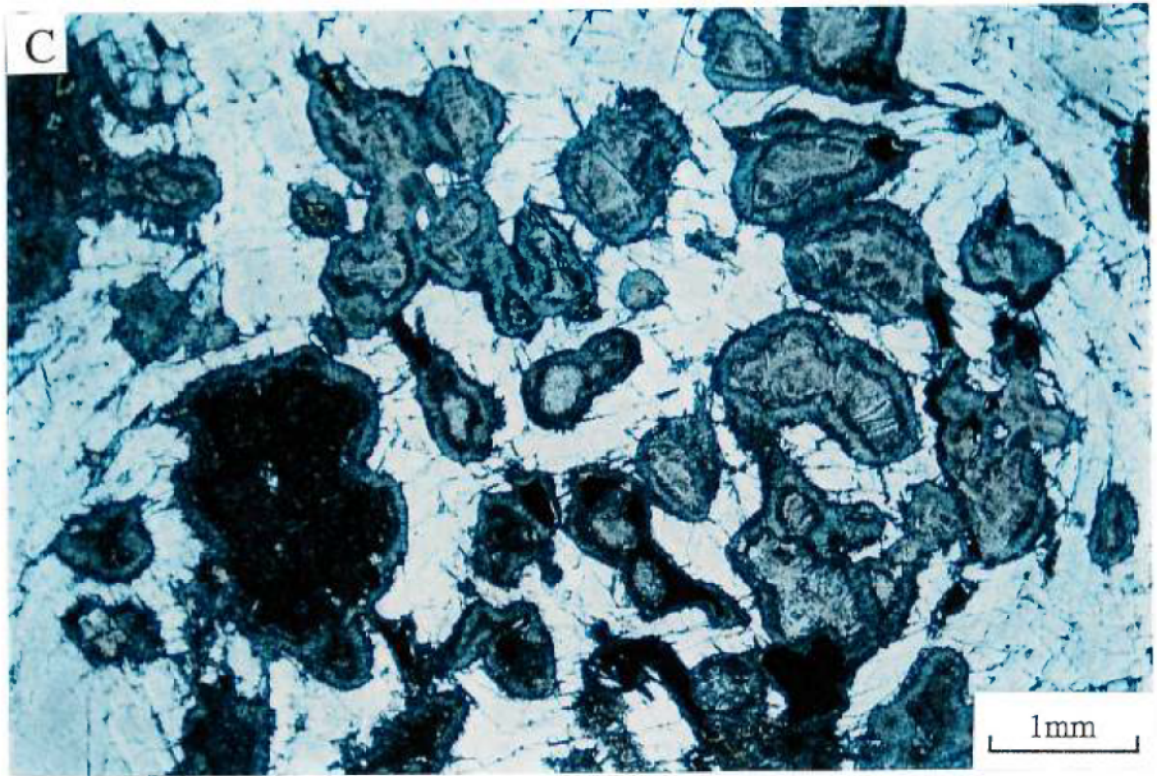
	photo-A			photo-B			photo-C			
	point 1	point 4	point 8	point 13	point 17	point 20	point 26	point 27	point 28	point 29
Cu	0,43	27,09	0,16	0,26	0,10	0,47	32,71	33,13	33,34	33,35
S	36,36	333,59	33,26	34,02	33,58	33,67	35,22	35,14	35,22	35,09
Fe	63,84	36,97	36,68	36,10	36,82	36,99	31,79	31,82	32,27	31,73
Co										
Ni	0,00	27,09	26,50	27,33	27,41	27,02	0,26	0,04	0,08	0,12
Zn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03	0,00
Total	100,63	98,13	96,61	97,69	97,91	98,14	100,00	100,17	100,93	100,30

4201

	photo-A			
	point 1	point 2	point 3	point 4
Cu	0,00	0,00	33,59	33,86
S	42,07	42,36	34,83	34,74
Fe	12,23	12,35	30,42	30,74
Co	22,49	23,30	0,16	0,09
Ni	24,24	24,55	0,06	0,03
Zn	1,22	0,00	0,07	0,03
Total	102,25	102,55	99,12	99,49

Photo 2.2 (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon. 4214-B. On voit bien la texture sub-ophitique. (c) Lumière naturelle. (d) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette, échantillon 4202-B2. On remarque bien la texture sub-ophitique.



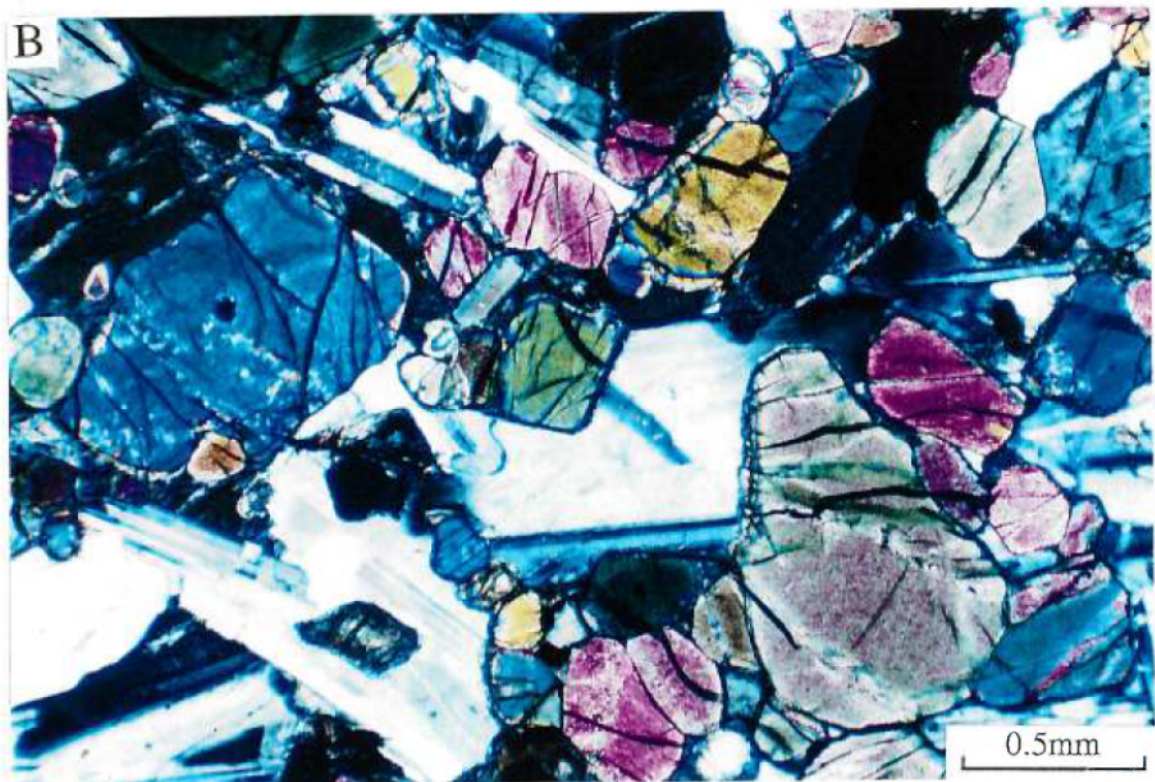
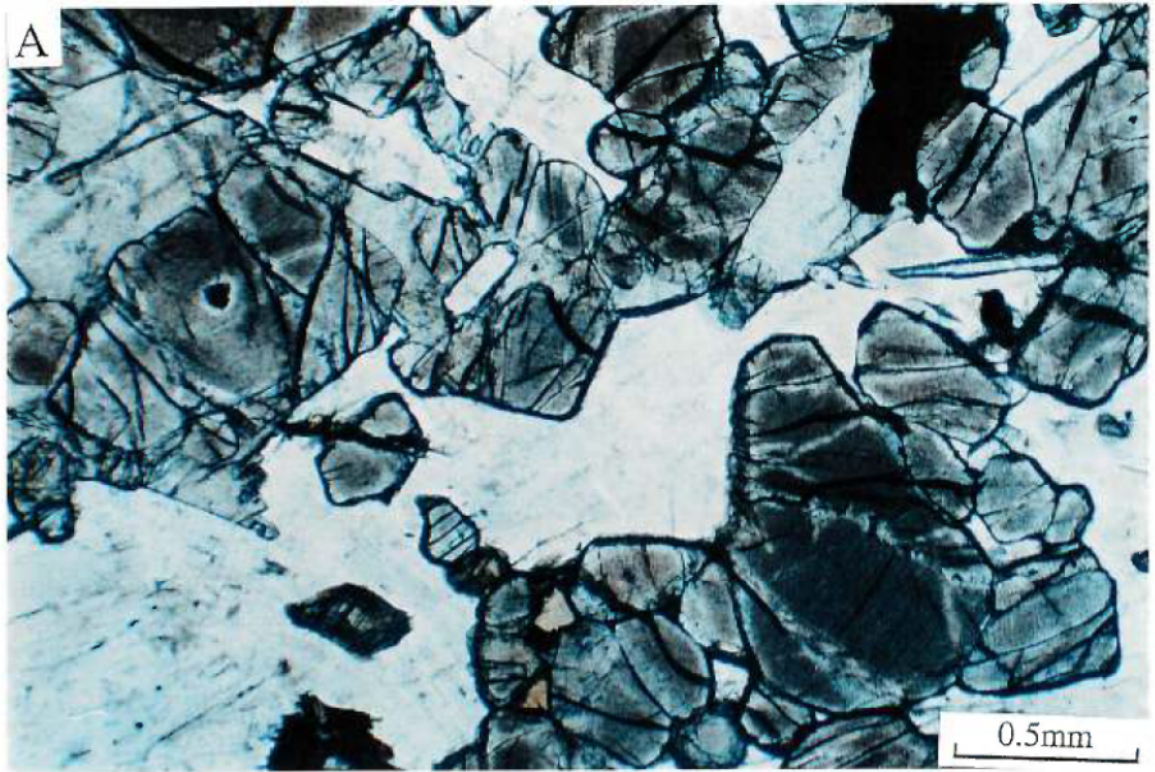


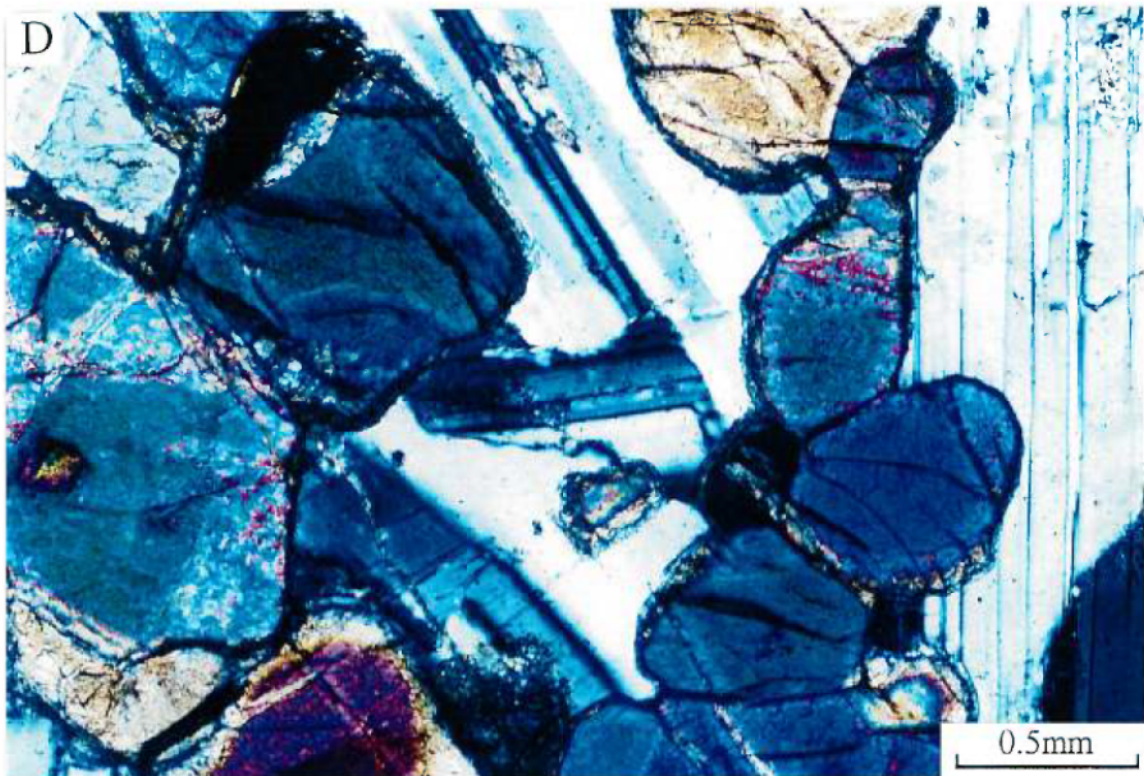
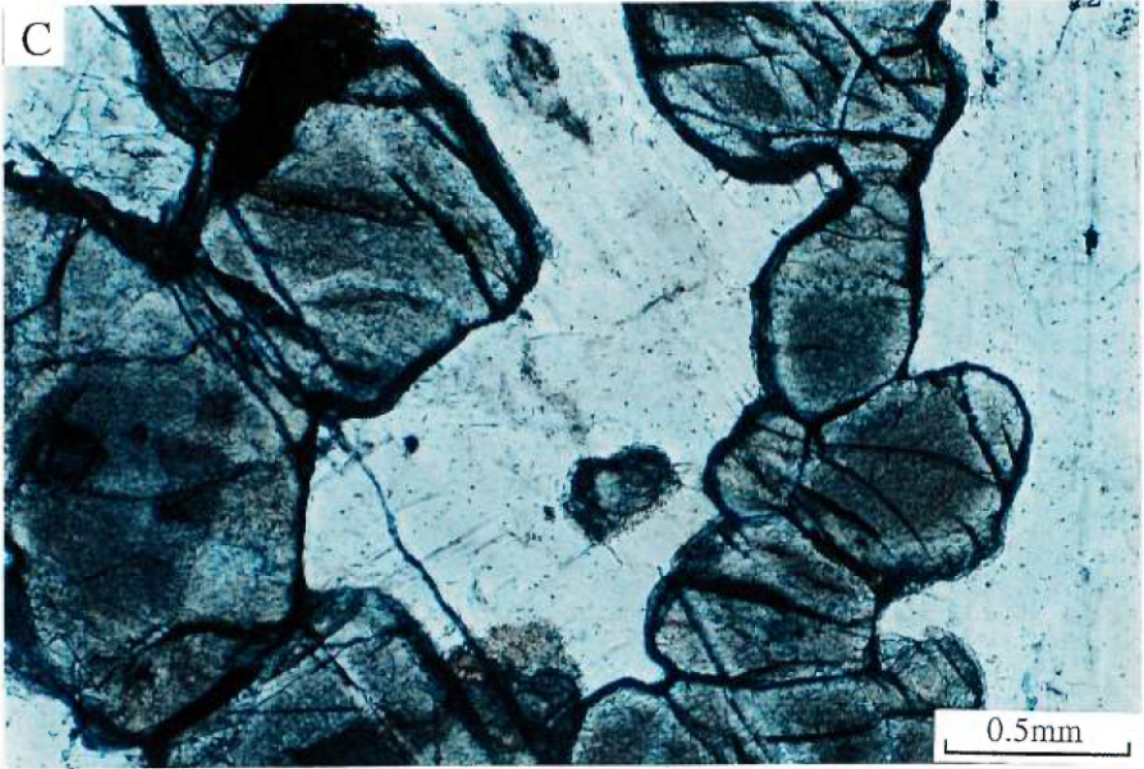
de plagioclase recourent les macles des plagioclases d'origine magmatique (photos 2.3f-h-j, 2.5b et 2.14f). Un changement progressif dans le degré de formation des couronnes a été observé. En effet, au bas de la séquence, les olivines sont entourées par des couronnes peu ou mal développées. Plus on monte vers le haut de la séquence, plus les couronnes sont bien développées pour enfin arriver aux rosettes de hornblende où l'olivine est complètement disparue (photo 2.3a-l). Ces parties comprennent seulement des clinopyroxènes et des rosettes d'amphibole (photo 2.3k)

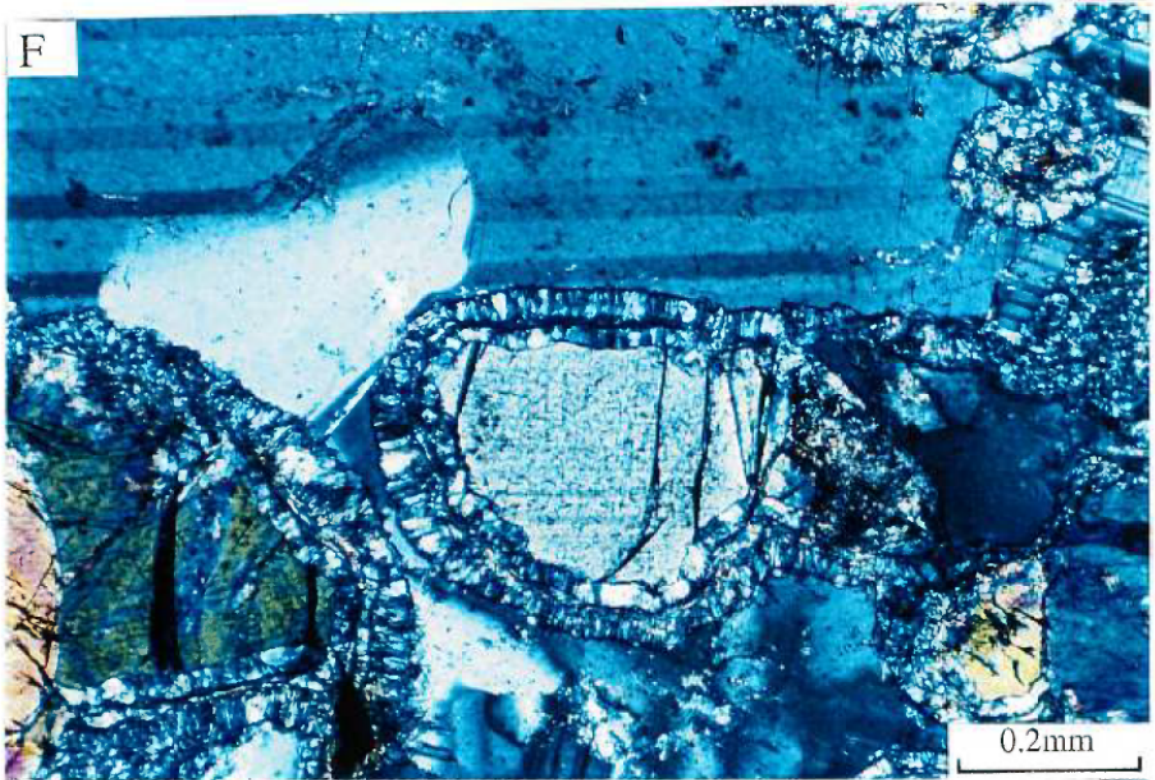
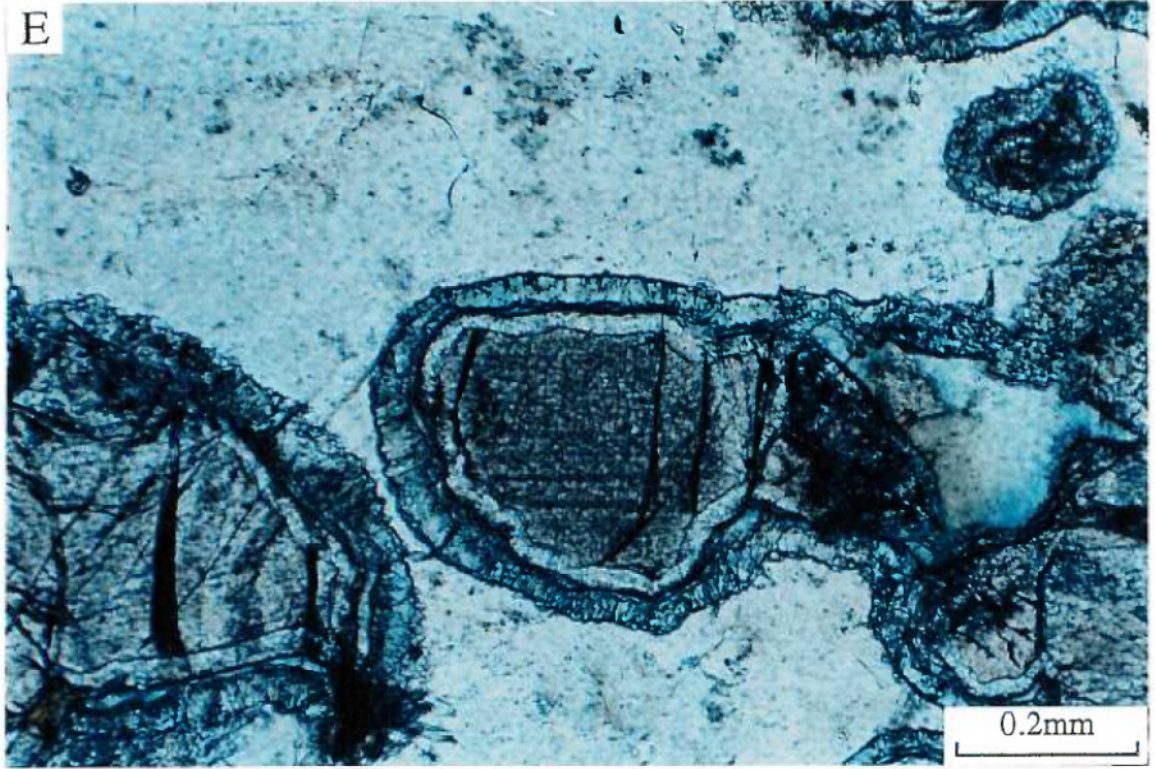
Lorsque les olivines sont en contact avec le plagioclase, des couronnes de réaction sont observées. Ces couronnes sont habituellement composées de deux bandes et quelques fois de trois bandes de minéraux distincts. Il faut noter aussi que le même genre de couronne s'observe autour des oxydes. Par contre, dans ce dernier cas les couronnes sont moins nombreuses et se composent de biotite ou de hornblende ou les deux à la fois (photo 2.4).

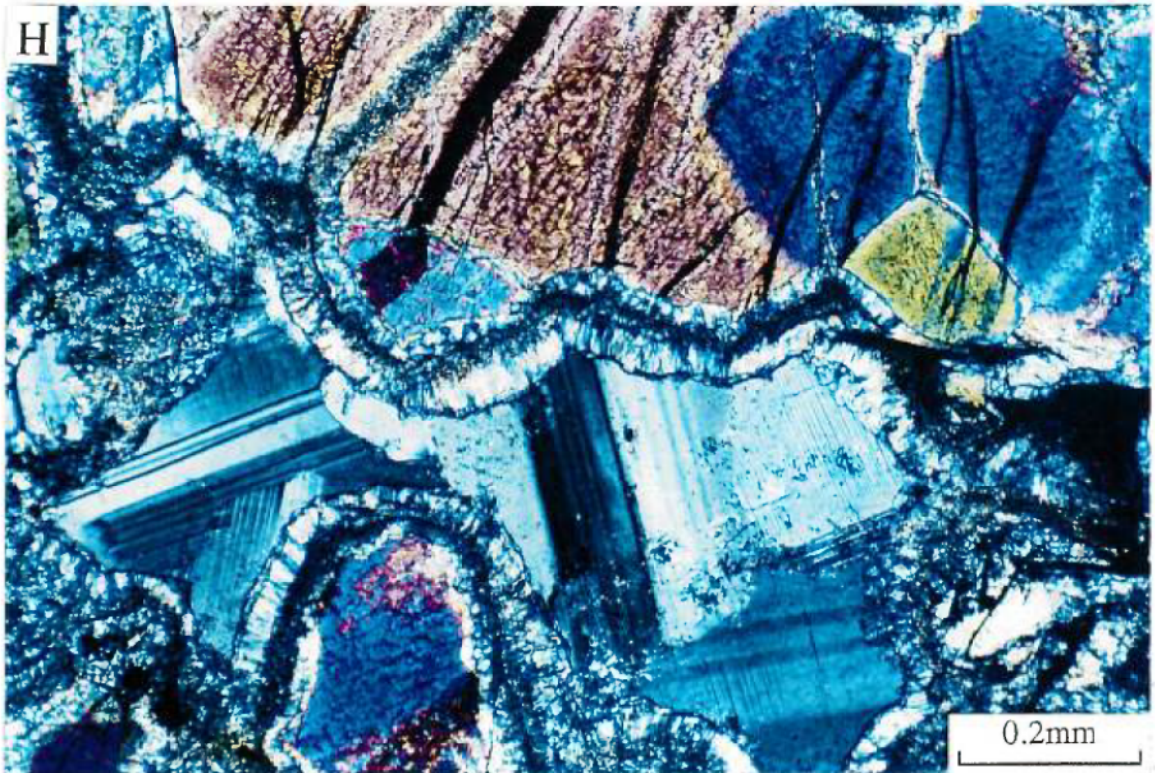
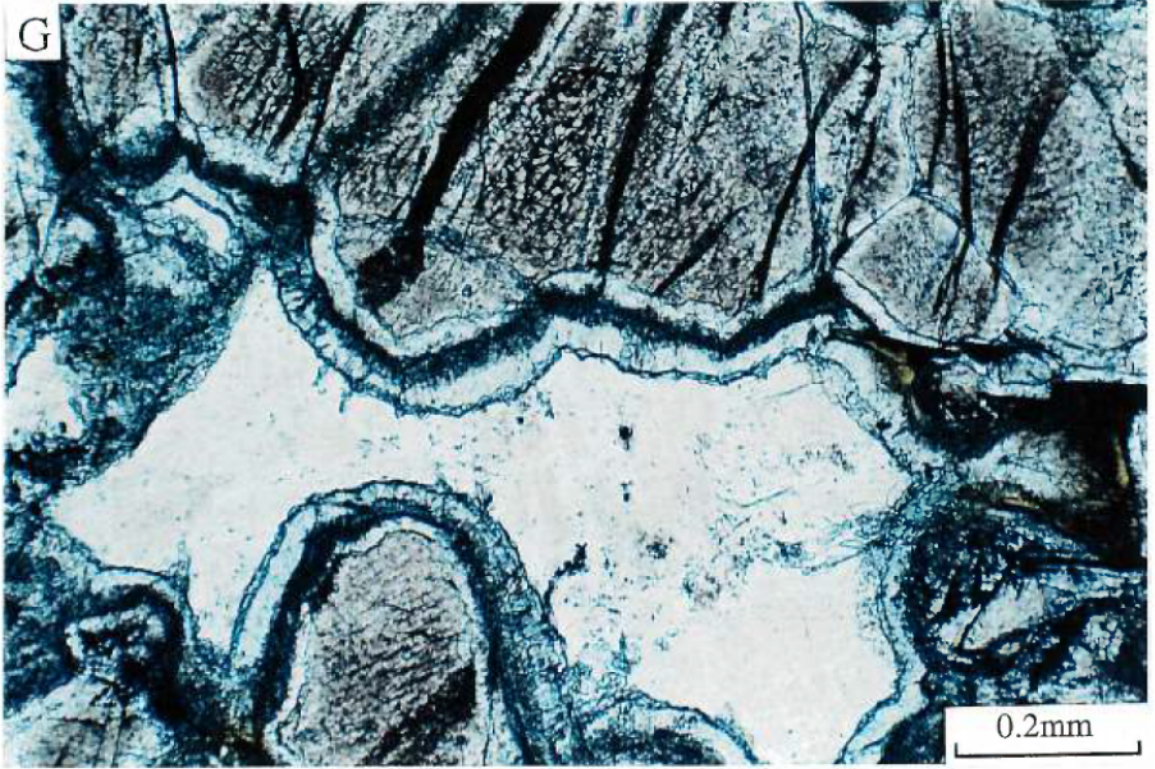
La partie interne des couronnes de réaction autour des olivines se compose d'orthopyroxène incolore, fibreux et orienté perpendiculairement à la bordure de l'olivine (photo 2.5). La partie externe de la couronne se compose d'amphibole vert pâle, fibreuse et disposée orthogonalement à la bande d'orthopyroxène. Dans les deux cas les couronnes sont minéralogiquement continues et semblent monominérales. La bande d'orthopyroxène est d'une largeur moyenne de 0,3 mm, tandis que la couche d'amphibole a une largeur de 0,5 mm. Une autre couronne de réaction est parfois observable entre les couronnes d'amphibole et d'orthopyroxène. Cette couronne est très mince et ne peut être bien observée qu'avec l'aide de la microsonde et les "images d'électrons retrodiffusés" (*backscatter electron imagery*)

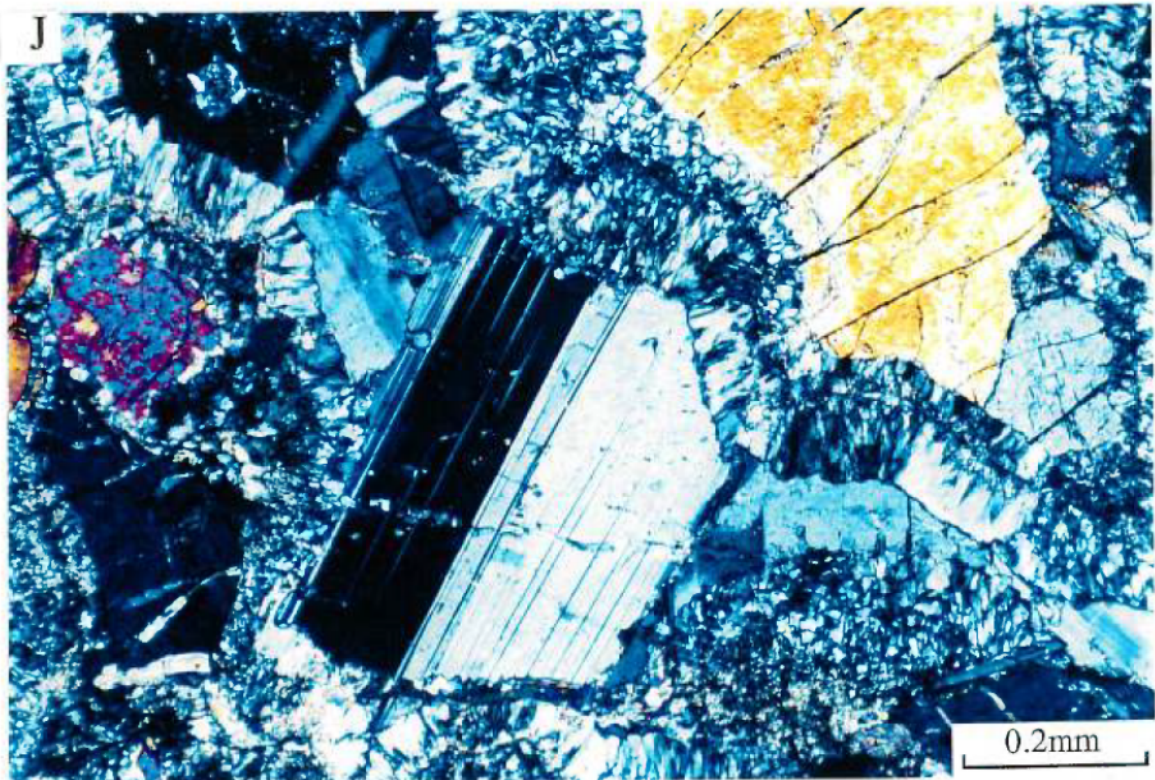
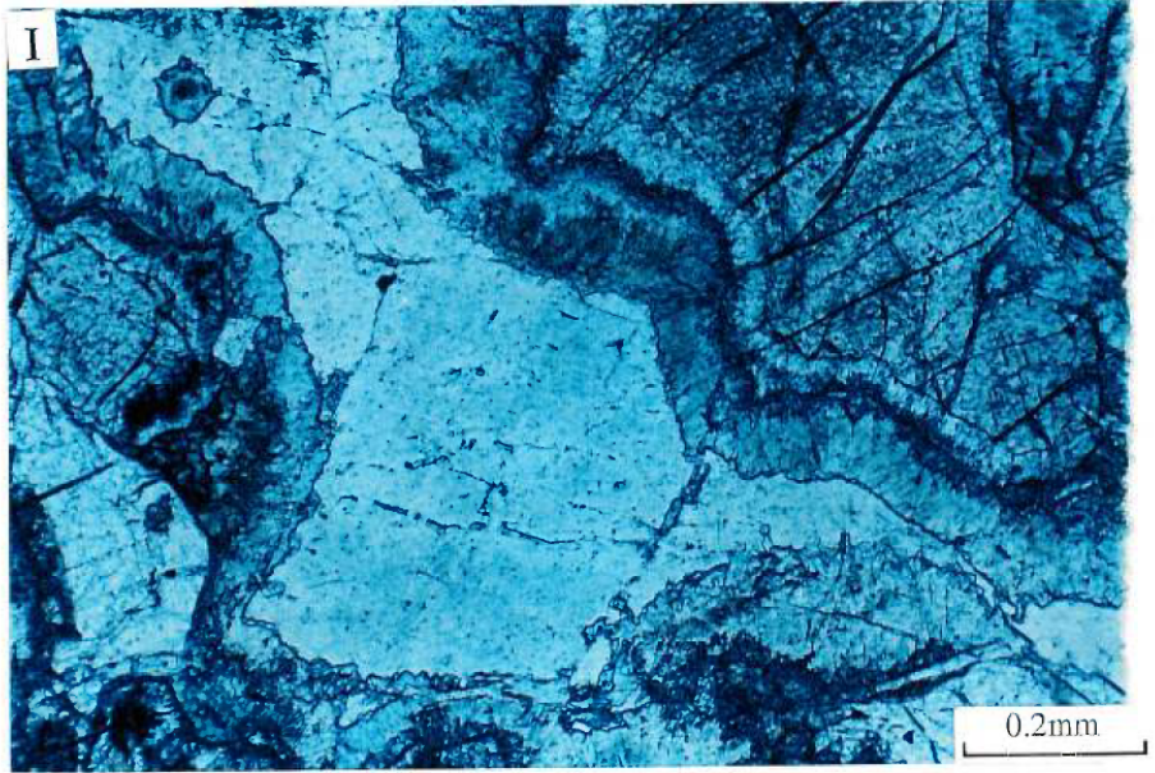
Photo 2.3 (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 8-4-3. Les couronnes autour des olivines sont très peu développées. Bas dans la séquence, échantillon près du lac Le Doré. (c) Lumière naturelle. (d) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 8-4-3. Les couronnes autour des olivines commencent à être un peu mieux formées. Bas de la séquence, échantillon près du lac Le Doré. (e) Lumière naturelle. (f) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 4202-A. Les couronnes entourant l'olivine sont bien développées. On remarque bien la première couche d'orthopyroxène et la dernière couche d'amphibole. (g) Lumière naturelle. (h) Lumière polarisée. Métagabbros à olivine, échantillon 4202-A. Les couronnes autour des olivines sont de plus en plus développées. Les couronnes sont de plus en plus larges. Plus haut dans la séquence. (i) Lumière naturelle. (j) Lumière polarisée. Métagabbros à olivine, échantillon 4214-B. La bande d'amphibole est très large. Encore plus haut dans la séquence, échantillon à l'est du lac Le Doré. (k) Lumière naturelle. (l) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette, échantillon 4202-B2. Les rosettes d'amphibole sont maintenant bien formées. L'olivine est complètement disparue.

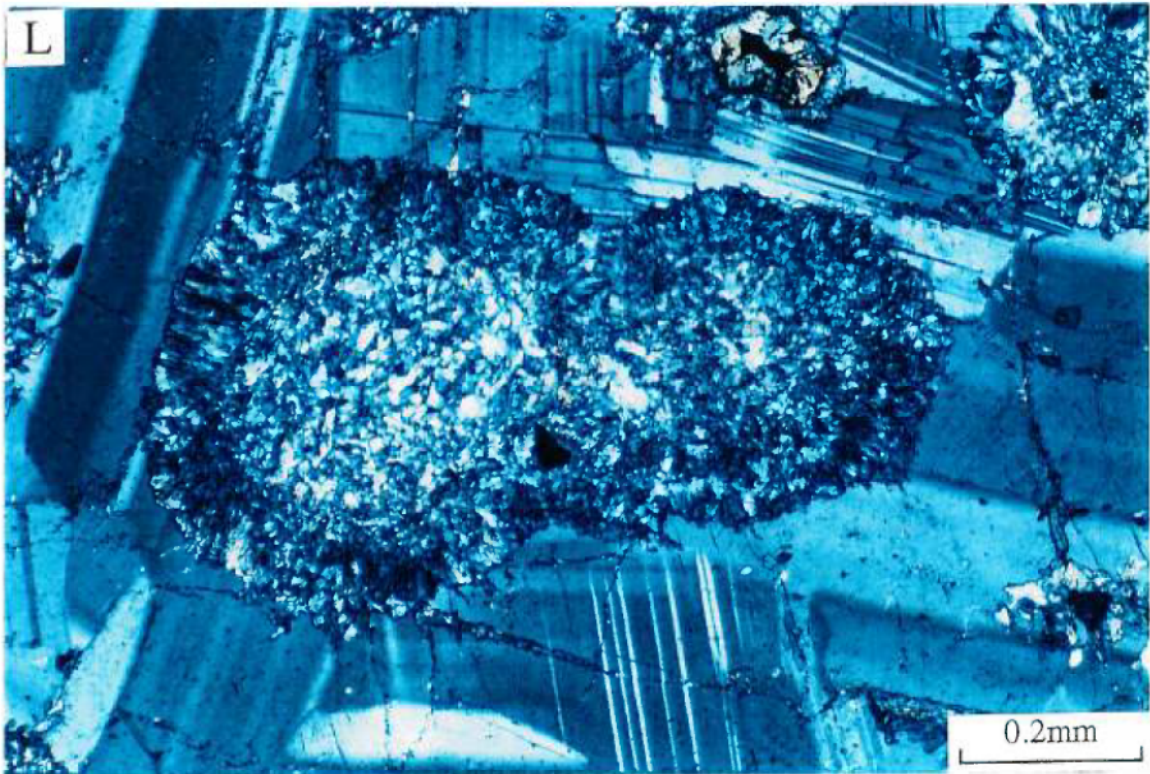
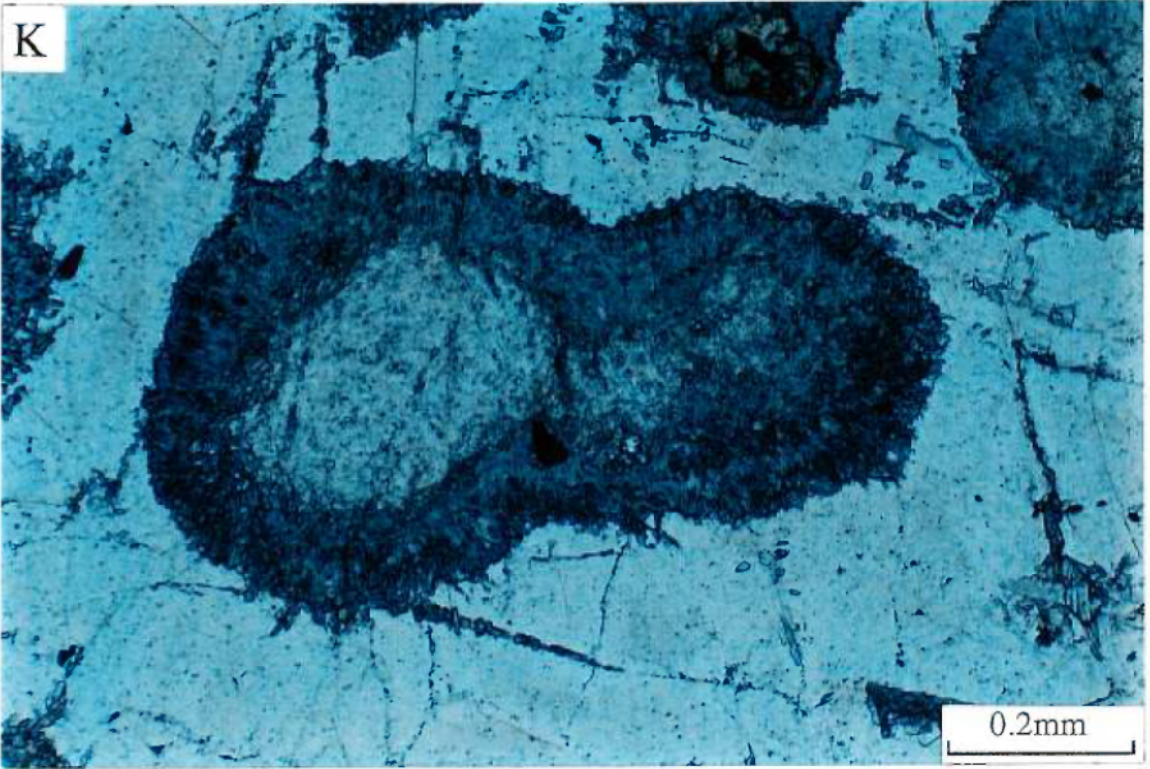












(photo 2.6a). Les images et les analyses obtenues nous indiquent que ce minéral est la biotite. Comme on peut le voir sur la photo, la bande de biotite n'est pas continue.

La partie du dyke de Le Doré qui comprend des rosettes de hornblende se compose de clinopyroxène (< 5%), d'environ 45% d'amphibole, de biotite, de chlorite, avec des traces de quartz, de calcite et d'épidote. Les minéraux accessoires retrouvés dans ces échantillons sont la titanite, l'apatite et le zircon. Le zircon est retrouvé principalement en inclusion dans la biotite. Malgré le métamorphisme, les métagabbros à rosette ont préservé leur texture ignée sub-ophitique (photo 2.2c-d et 2.7b).

On observe des grains de clinopyroxène frais, mais dans la majorité des localités, les clinopyroxènes sont remplacés par l'amphibole (photo 2.8). Les plagioclases sont zonés et certains d'entre eux sont altérés en séricite. Les minéraux opaques se retrouvent en inclusion dans les plagioclases et les amphiboles. A quelques endroits ils semblent être en amas comme ceux qui sont observés dans les métagabbros à olivine du dyke de Le Doré (photo 2.9). Tout comme dans le métagabbro à olivine, les minéraux opaques sont entourés de couronnes de réaction composées d'amphibole et de biotite (photo 2.10). Les rosettes semblent mieux développées lorsqu'elles sont en contact avec le plagioclase (photo 2.11).

2.4.3 Suite Mafique de Lillian

Les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian se composent d'amphibole verte, de plagioclase, de clinopyroxène, de biotite, de chlorite, de quartz et moins de trois pourcent de minéraux opaques. Les minéraux ferro-magnésiens composent

Photo 2.4 (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 4214-B. Couronne d'amphibole et de biotite autour des oxydes.

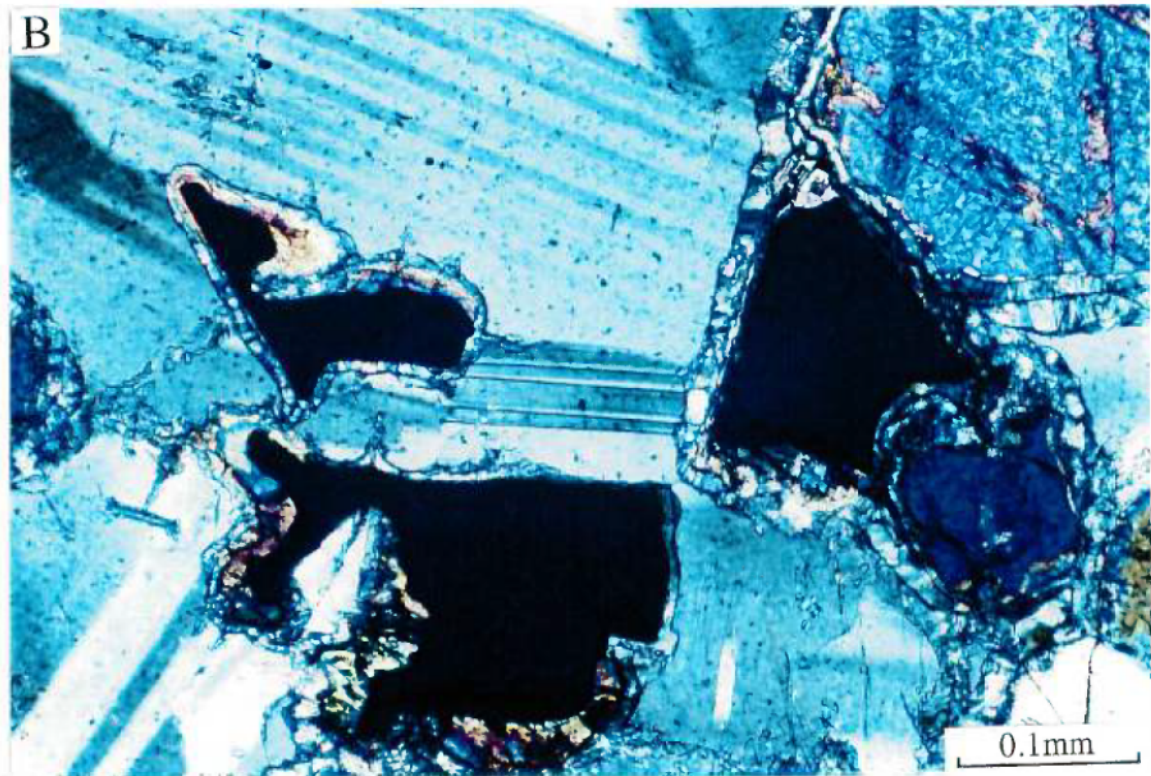
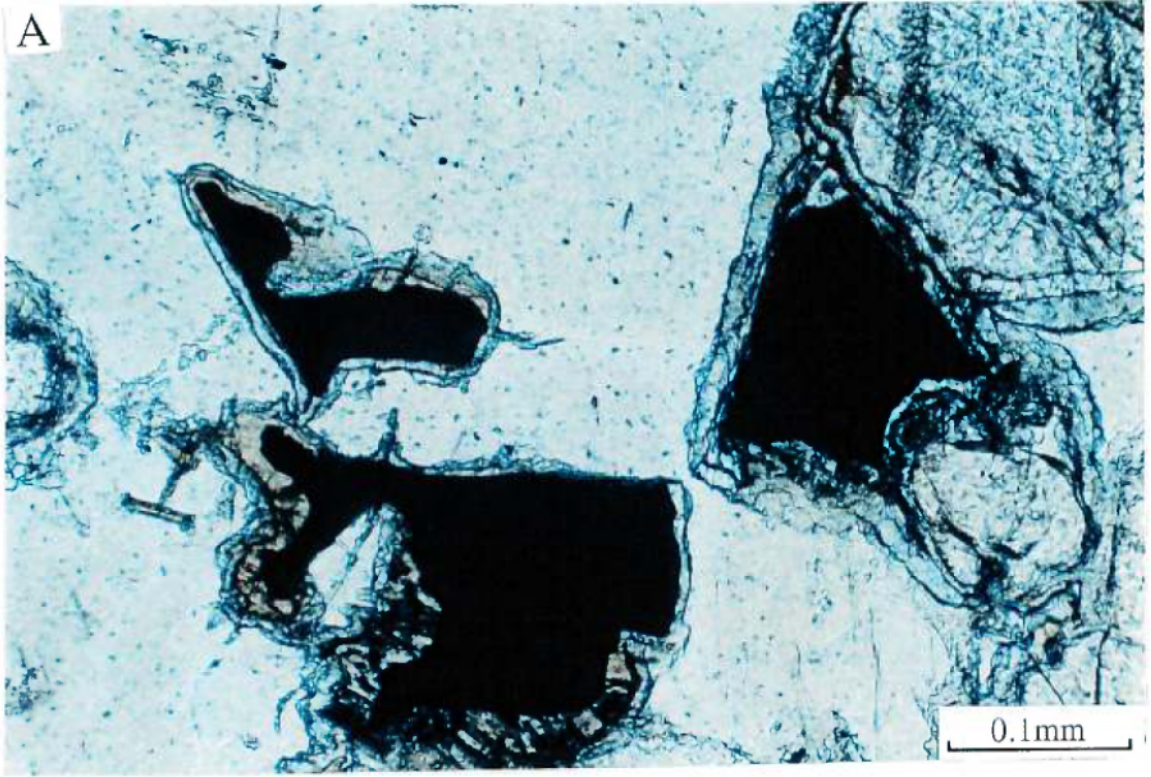


Photo 2.5 (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 4214-B. On voit bien les bandes d'orthopyroxène et d'amphibole.

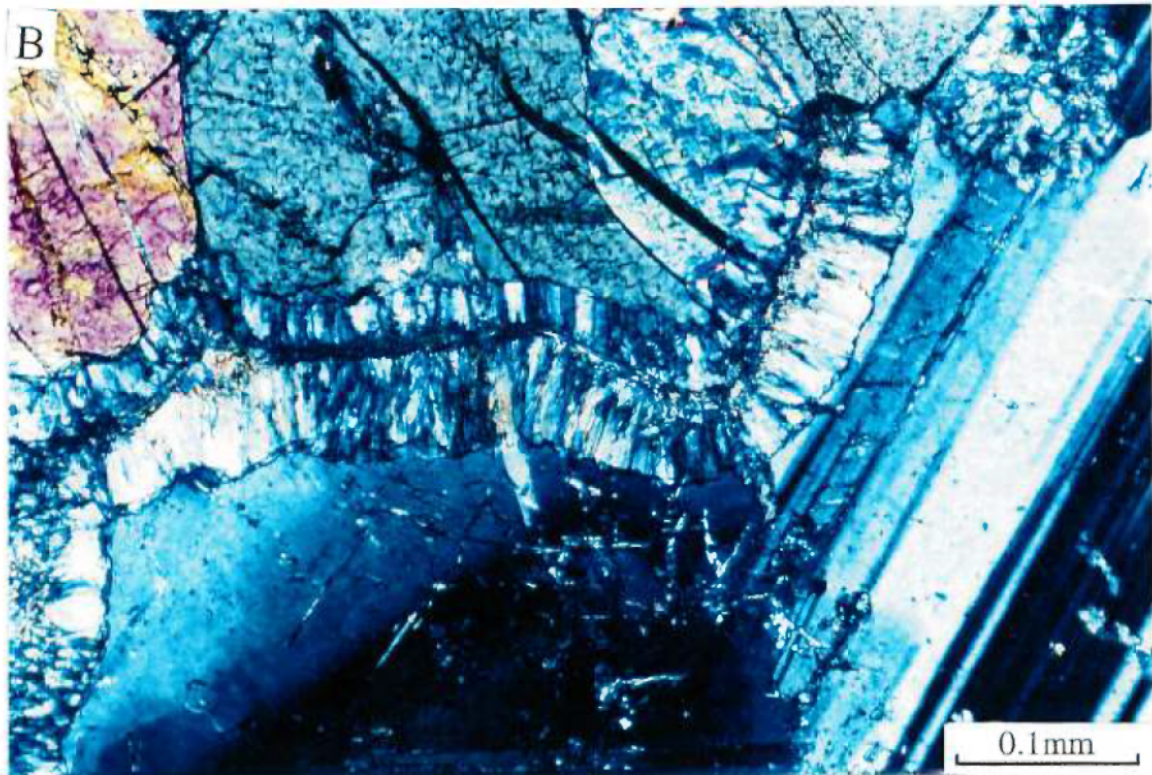
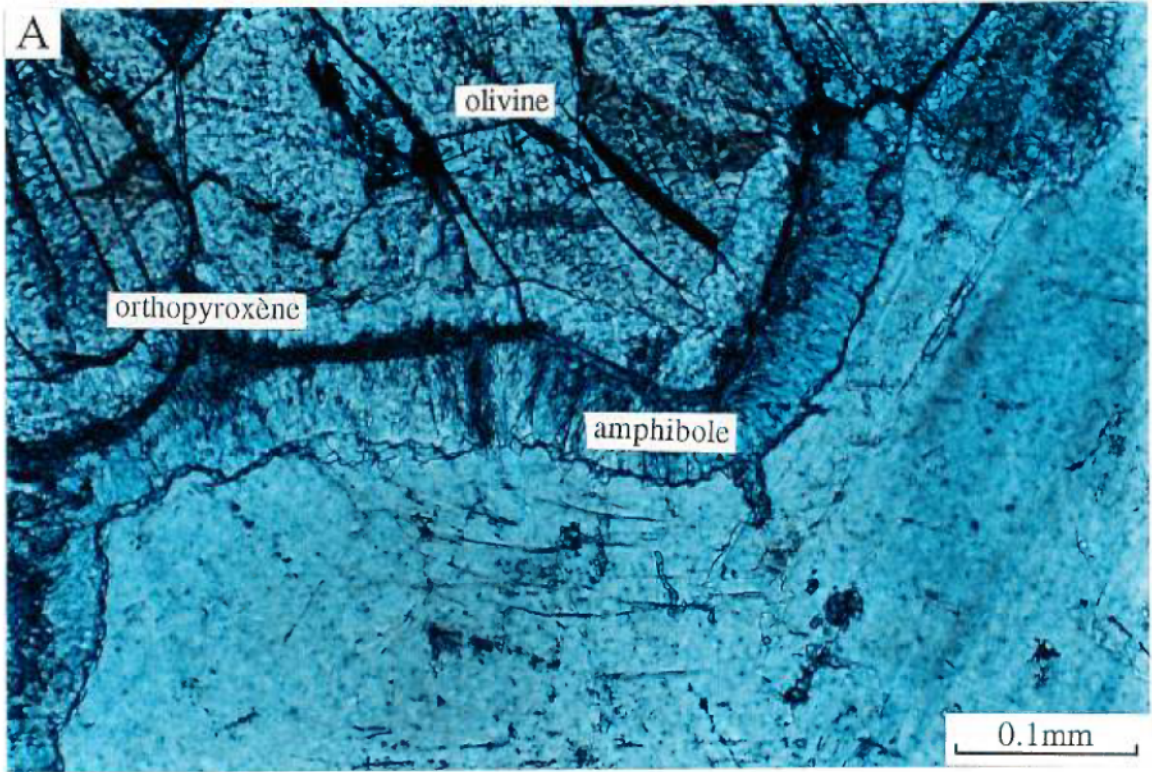


Photo 2.6 Métagabbros du dyke de Le Doré. Photo “backscatter electron”. (a) Bande de biotite en couleur foncée entre les bandes d’orthopyroxène et d’amphibole en gris. Echantillon 4202-A (b) Bande d’orthopyroxène en gris pâle. Echantillon 4202-A (c) Rosette d’amphibole avec au centre des grains individuel de biotite. Echantillon 4215.

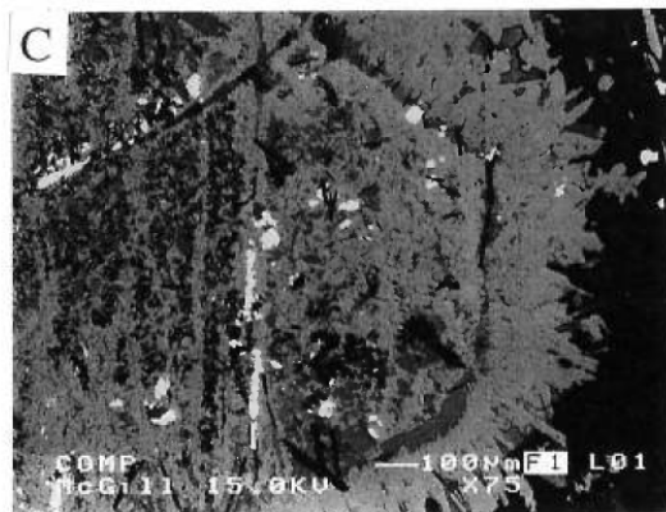
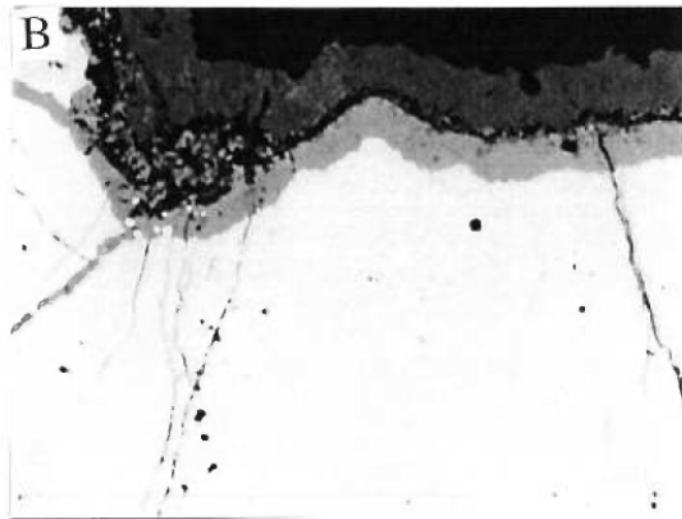
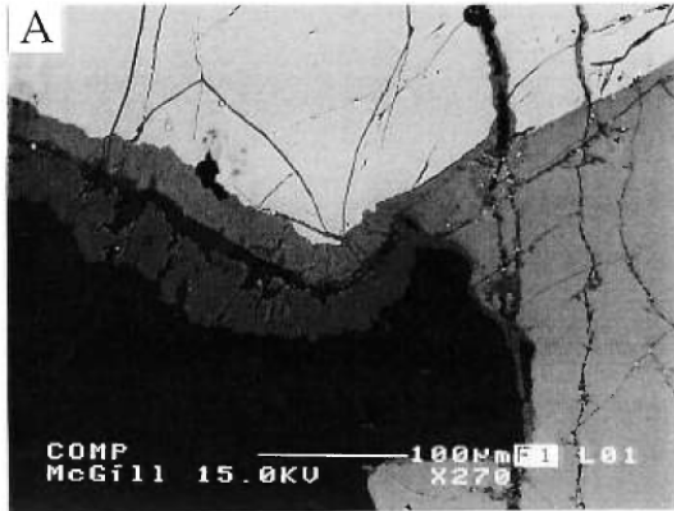


Photo 2.7 (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette, échantillon 4202-B2. Les rosettes d'amphibole sont bien développées. En lumière polarisée on peut observer la texture sub-ophitique qui est bien préservée.

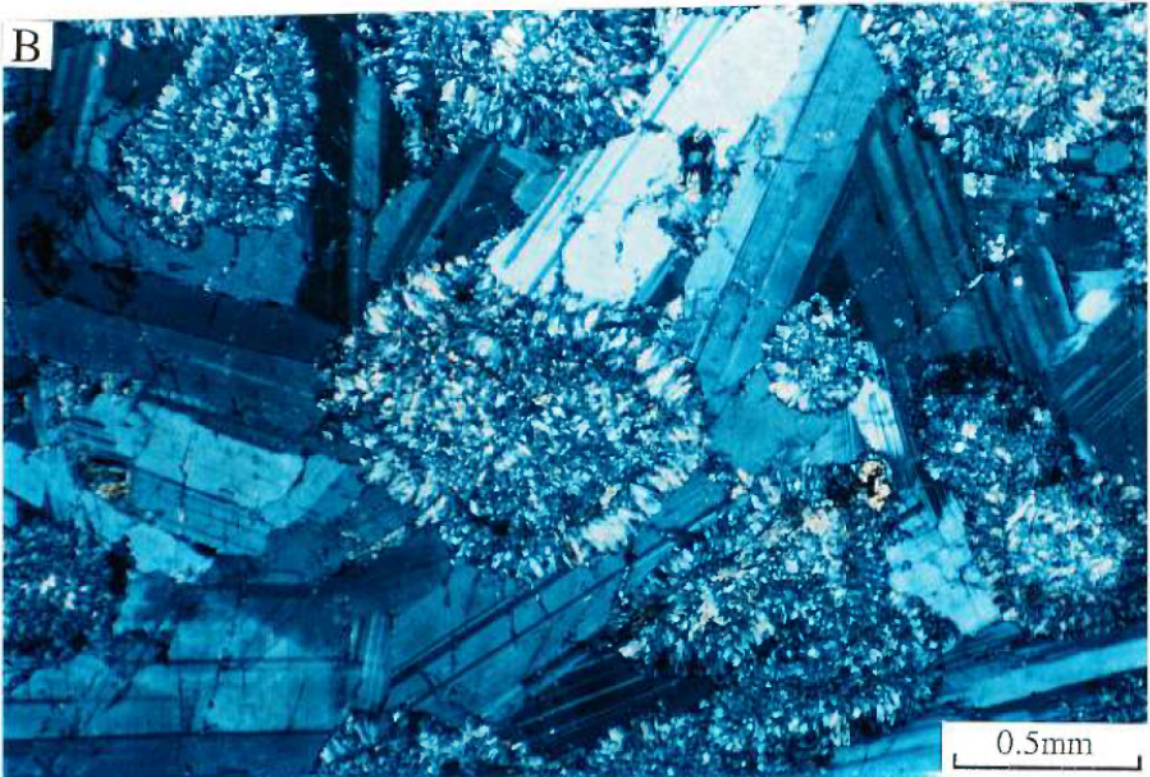
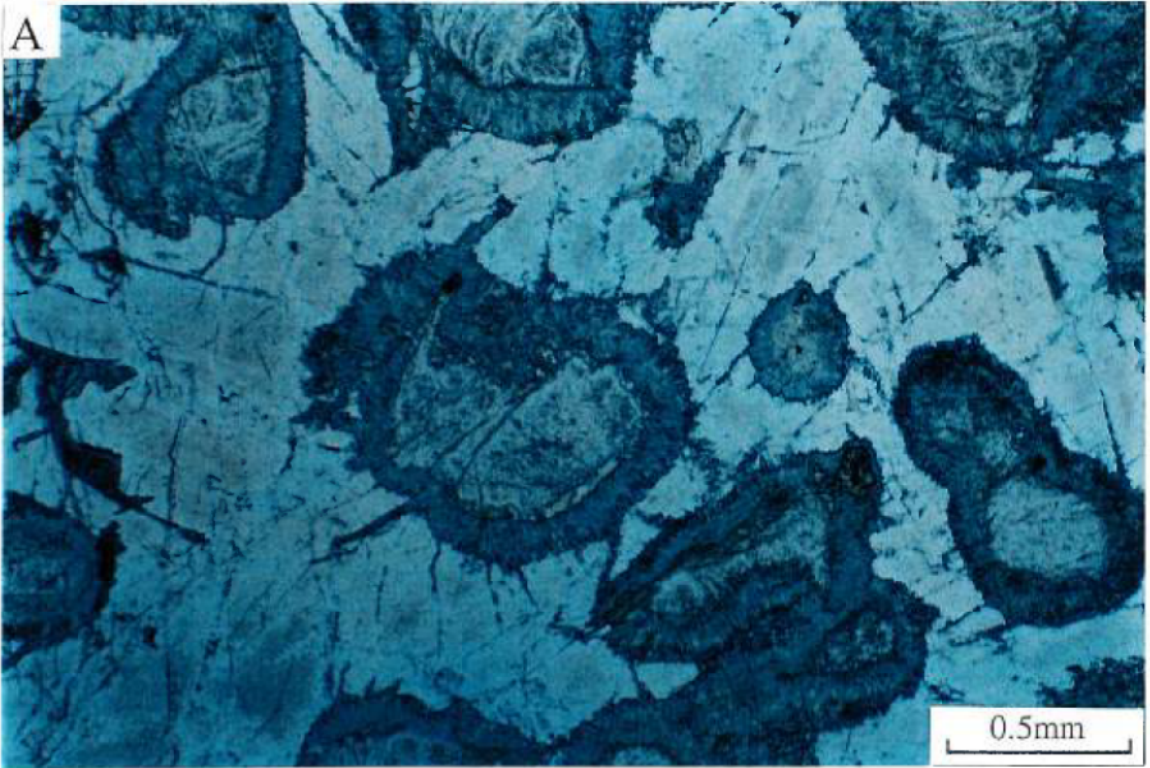
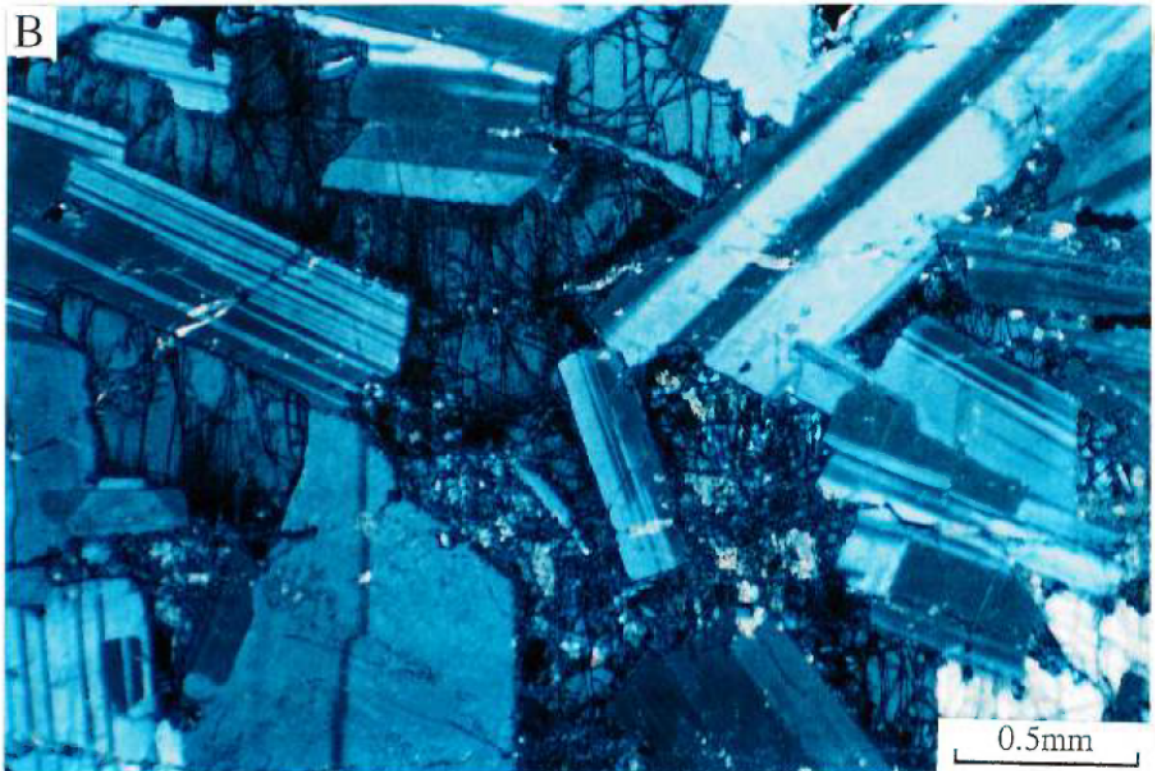


Photo 2.8 (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbros à rosette, échantillon 4202-B2. Les clinopyroxènes commencent à s'altérer en amphibole.



environ 45% de la roche et sont de taille moyenne à grossière (photo 2.12). La titanite et le zircon sont les minéraux accessoires retrouvés en traces dans ces métagabbros. Tout comme dans le dyke de Le Doré, le zircon est en inclusion dans la biotite et quelques fois dans l'amphibole et le plagioclase. Comme les roches du dyke de Le Doré, les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian comprennent eux aussi des rosettes polyminéraliques. Le centre de ces rosettes se compose communément de cristaux de biotite enchevêtrés de chlorite, bien que localement on retrouve des amphiboles (photo 2.12). Les bordures sont composées d'amphiboles orientées radialement au coeur des rosettes. Ces rosettes semblent mieux développées lorsqu'elles sont en contact avec les cristaux de plagioclase (photo 2.11a). Dans certains cas, une bande incolore est retrouvée vers l'intérieur des rosettes. Cette bande ressemble à la couche d'orthopyroxène retrouvée dans les couronnes de réaction entourant les olivines contenues dans le métagabbro du dyke de Le Doré. Les plagioclases sont zonés et partiellement altérés en séricite. Lorsque les plagioclases sont à grain grossiers, il semble y avoir moins de minéraux opaques. Les opaques sont en inclusion dans les amphiboles et quelques fois dans les plagioclases. Même si ces métagabbros semblent avoir subi un certain métamorphisme, ils semblent préserver leur texture ignée sub-ophitique (photo 2.13).

Photo 2.9 (a) Métagabbro à olivine, échantillon 4214-B (b) Métagabbro à rosette, échantillon 4201. Photo en lumière naturelle des opaques dans les deux sortes de métagabbros.

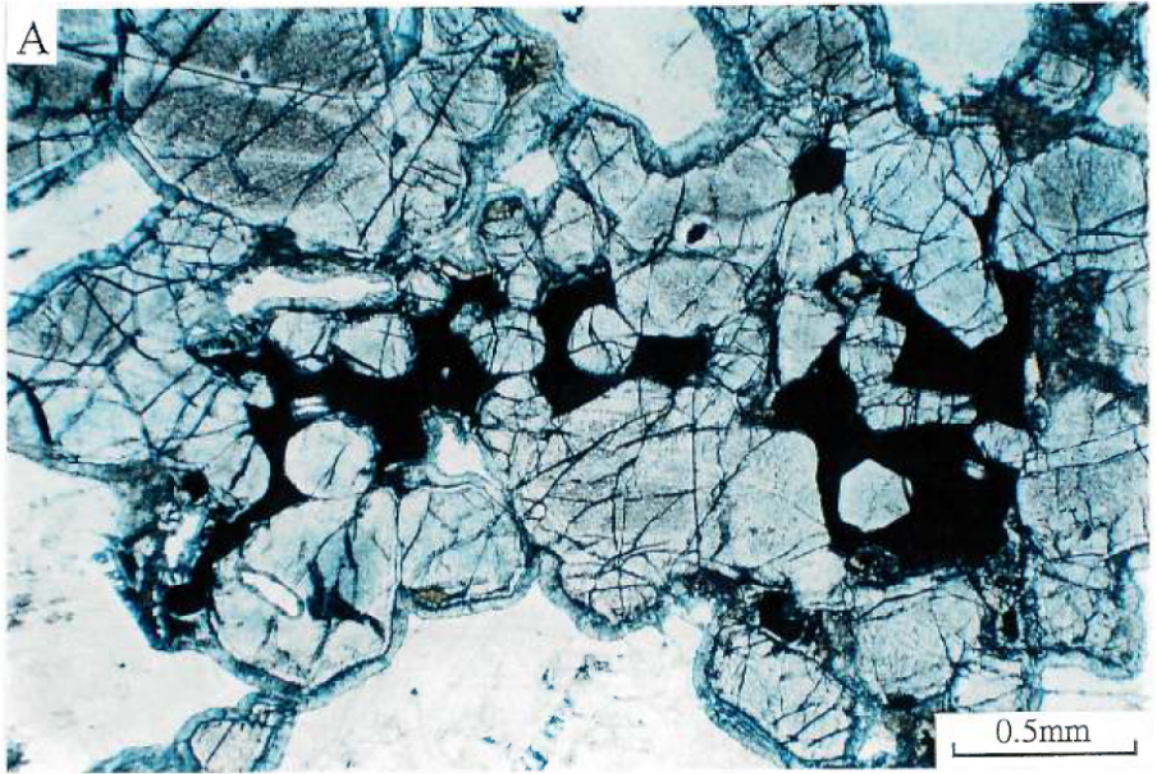


Photo 2.10 (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette, échantillon 4202-B2. La bande de biotite autour de l'oxyde est très large.

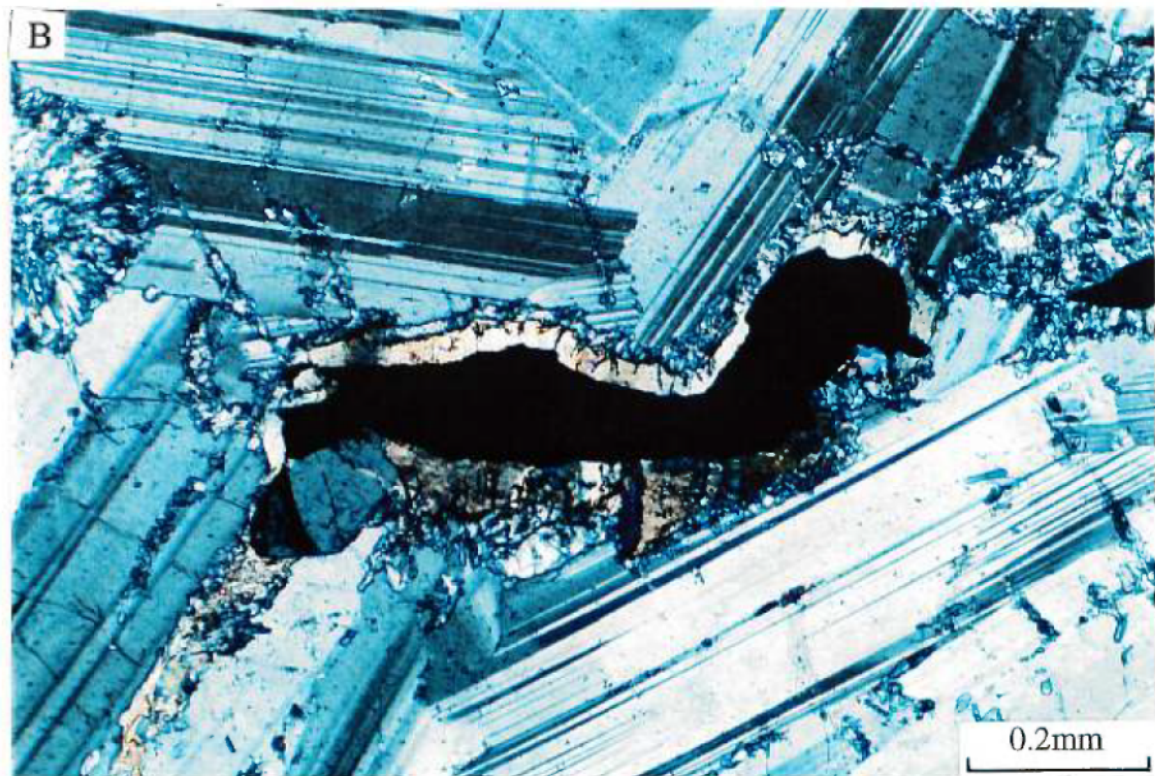
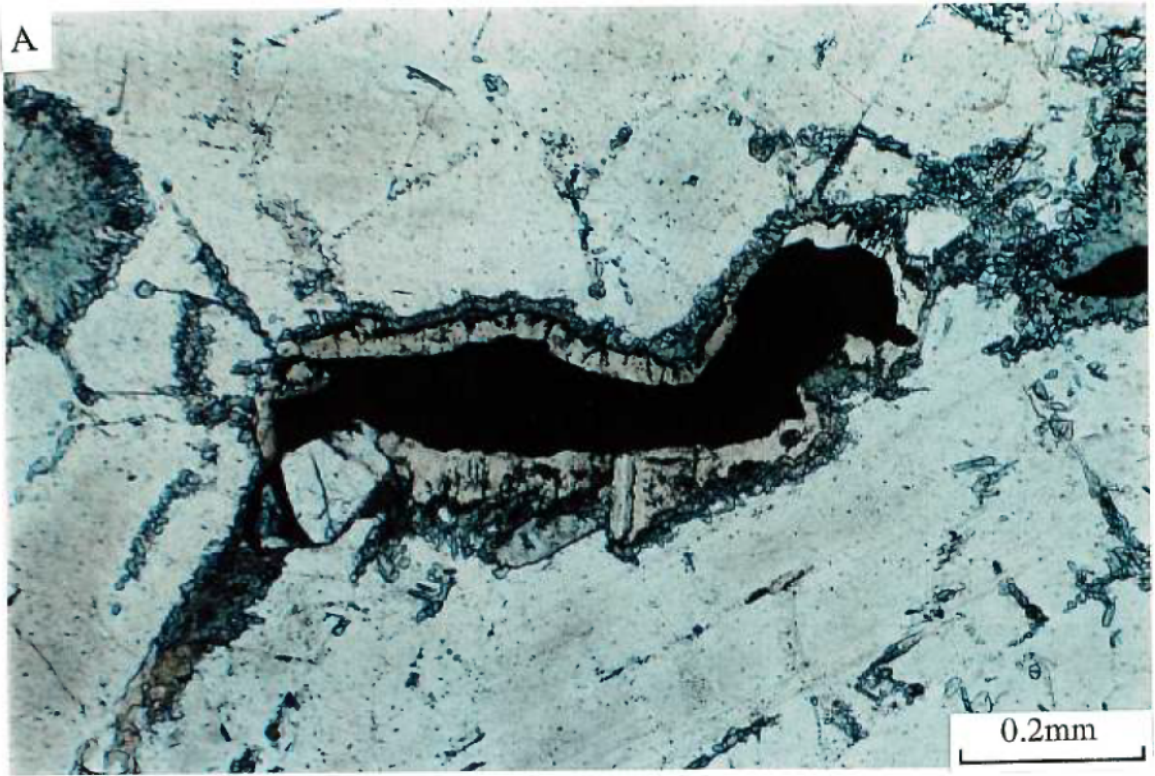


Photo 2.11 Métagabbro à rosette, échantillon 4202-B2. (a) Lumière naturelle. Les rosettes sont mieux développées au contact avec les plagioclases. (b) Lumière naturelle. Les rosettes sont bien développées.

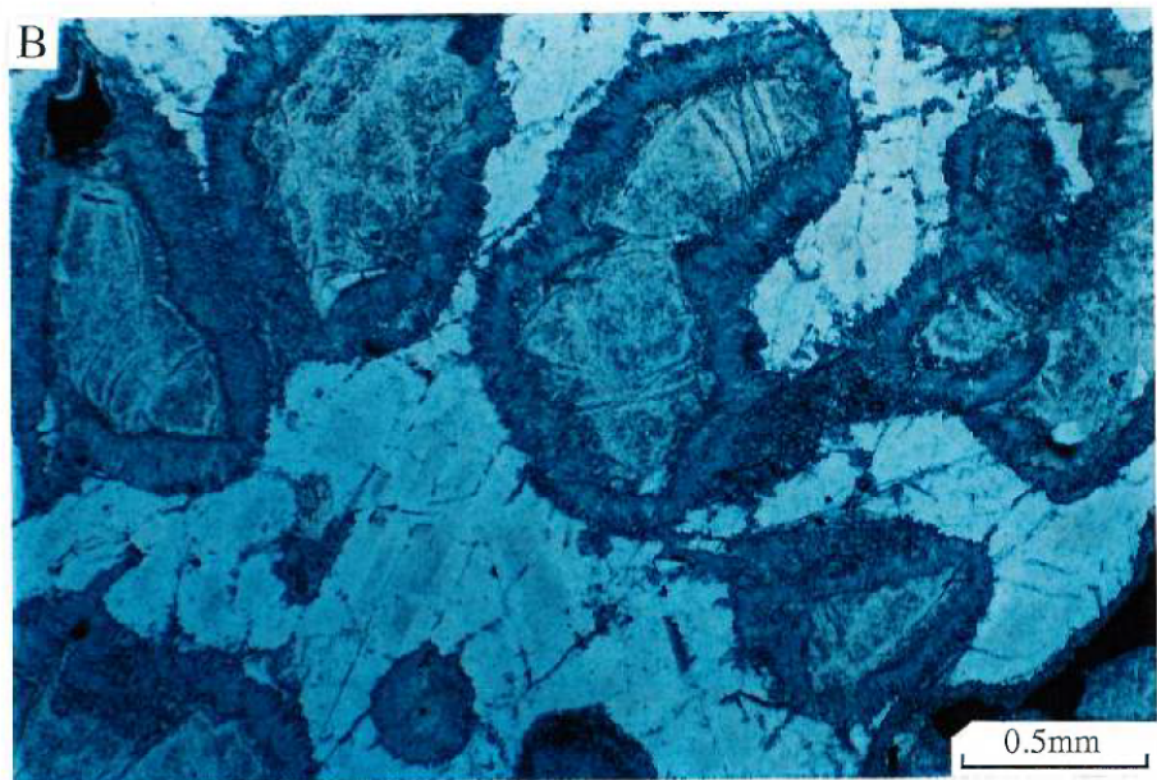
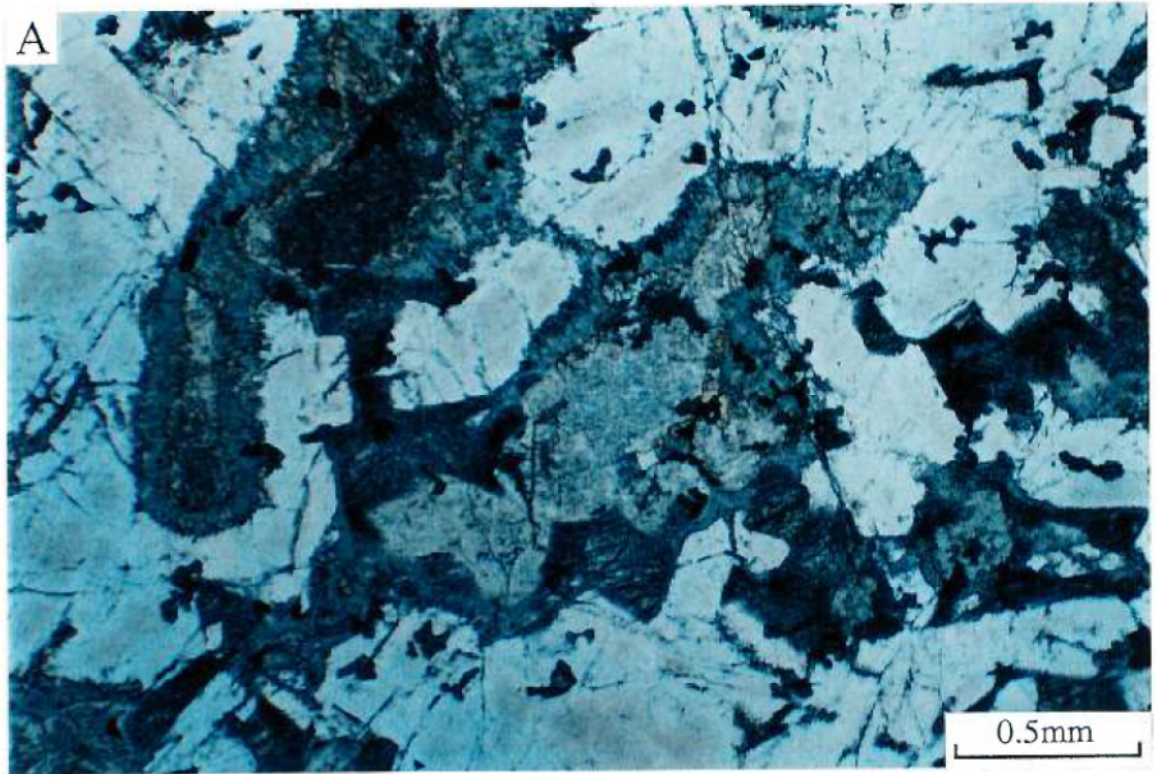
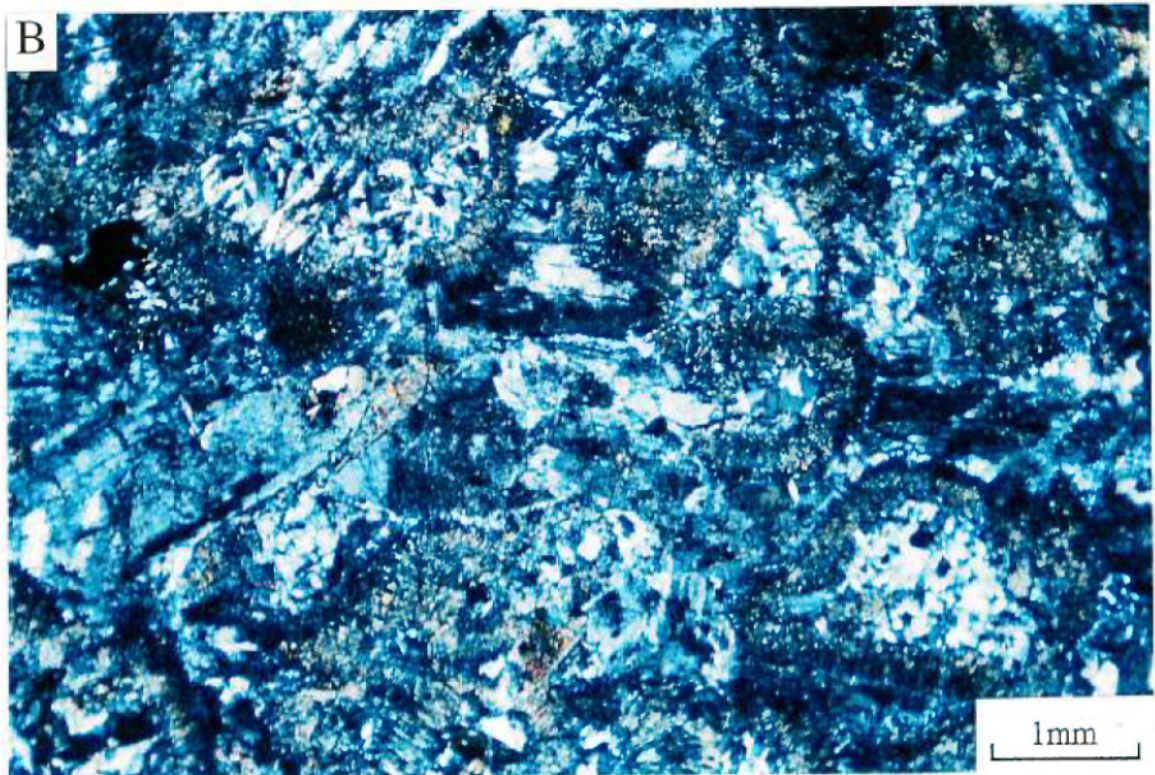
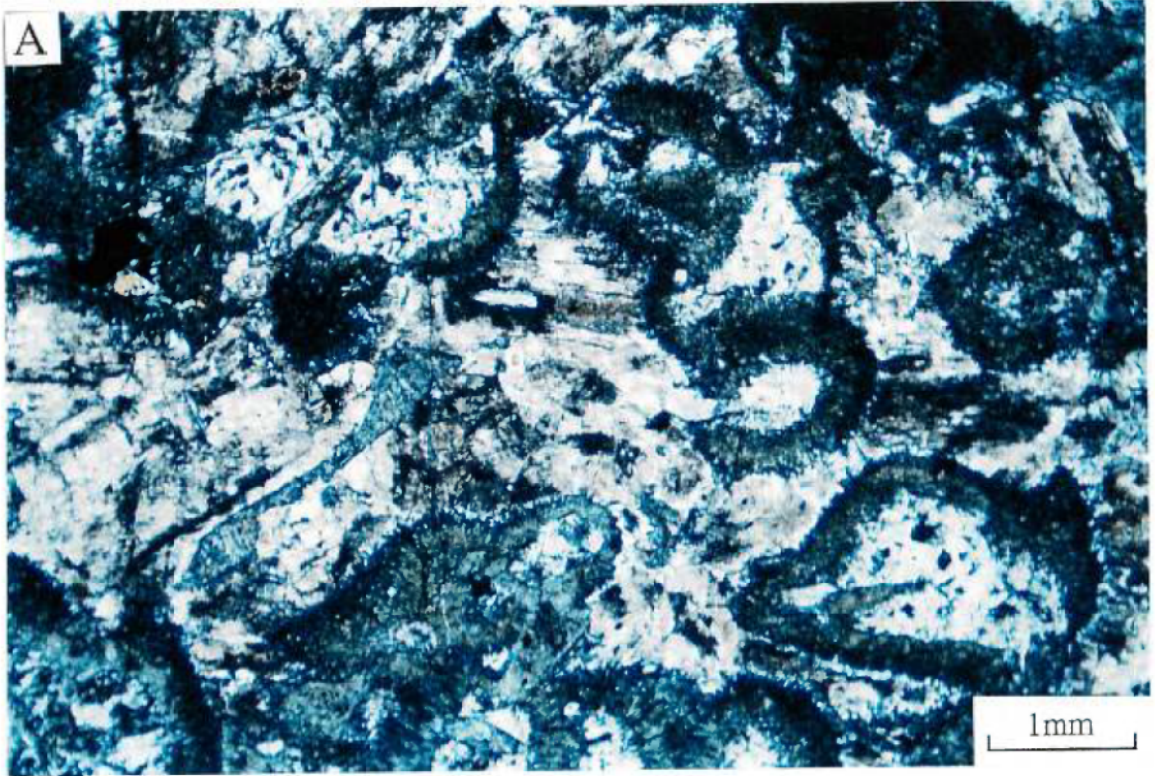


Photo 2.12 (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette. Suite Mafique de Lillian, échantillon 4221. Les rosettes sont composées d'amphibole et de chlorite. Les plagioclases sont très altérés. (c) Lumière naturelle. (d) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4205-C. Le coeur des rosettes est un enchevêtrement de biotite et de chlorite.



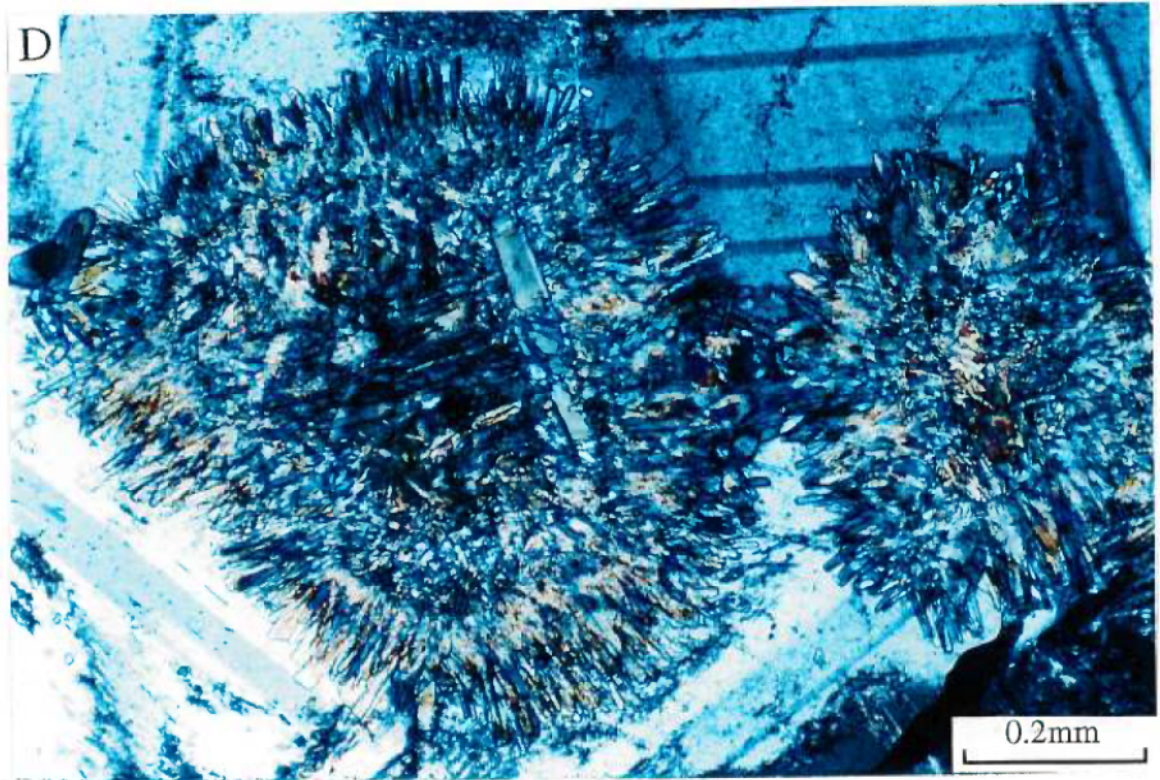
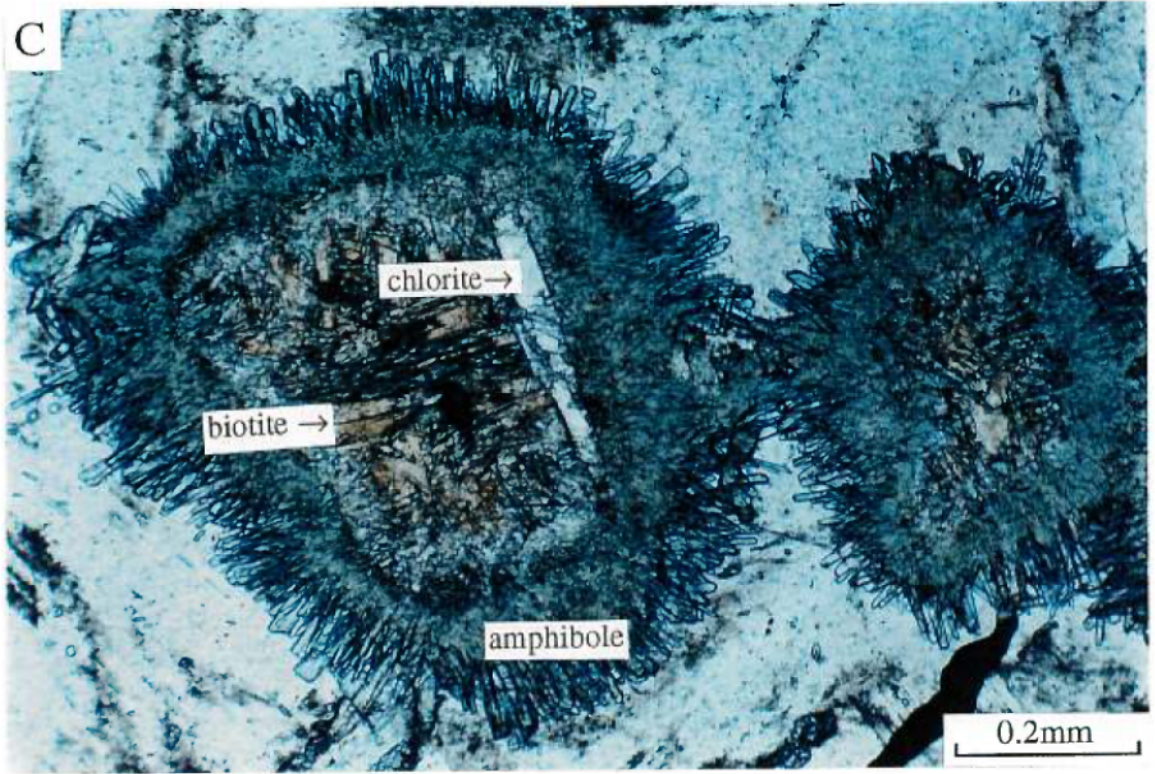
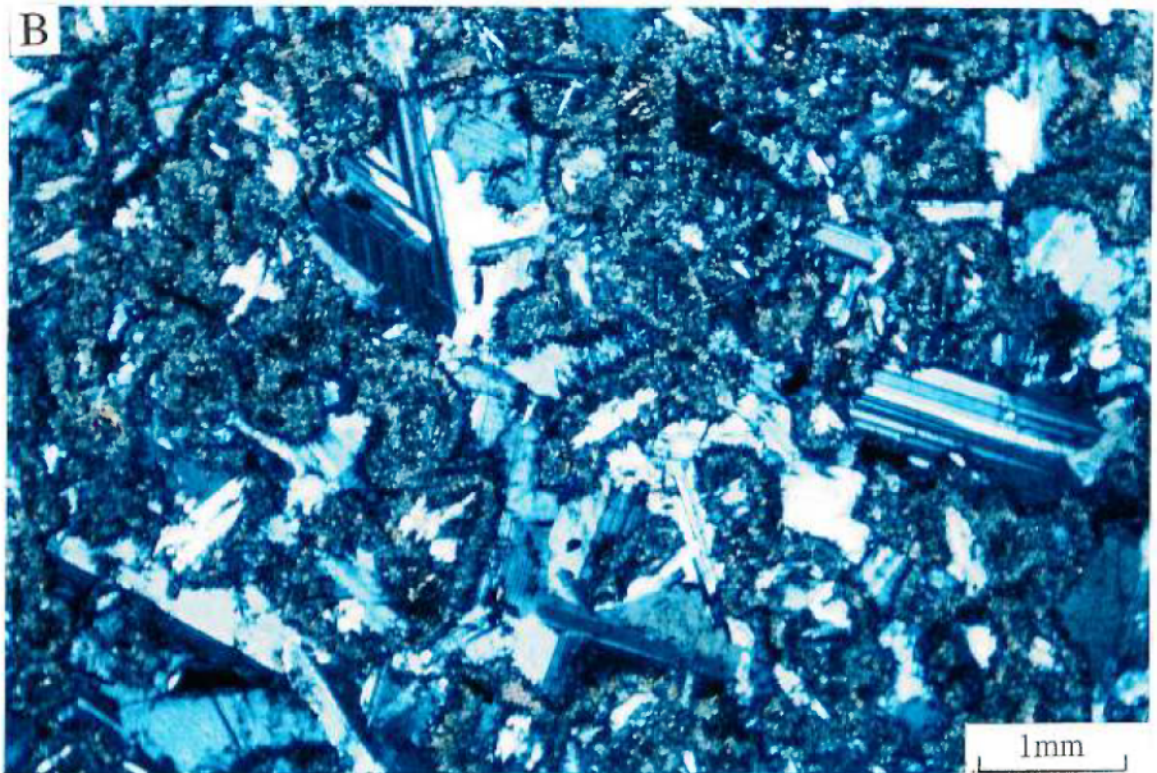
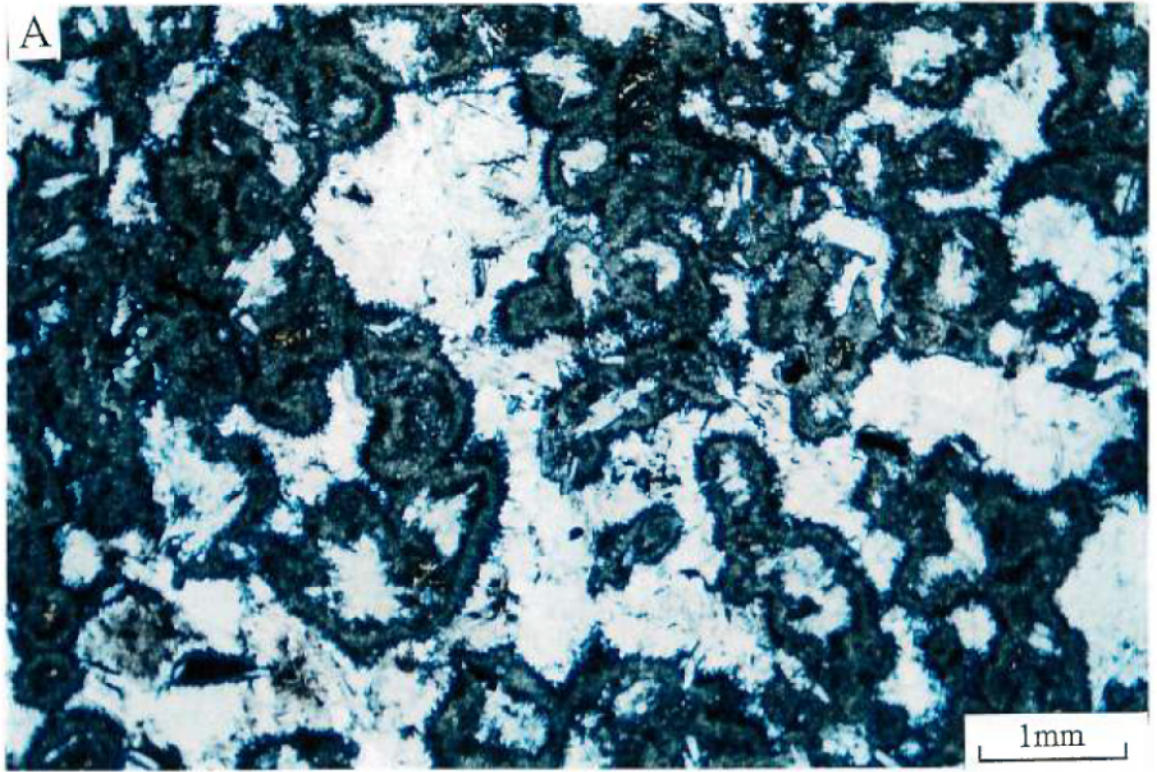


Photo 2.13 (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4205-C. Les métagabbros ont préservés leur texture sub-ophitique.



2.5 Géochimie des minéraux

2.5.1 Méthodologie d'analyse à la microsonde

Les analyses de la composition chimique des minéraux ont été obtenue au laboratoire de la microsonde électronique JEOL 8900L à l'université McGill. Les conditions d'analyses étaient les suivantes: un voltage d'accélération de 15 kV, un courant d'échantillon de 20 nA et un temps de comptage de 20 s par éléments analysés. Les étalons appropriés ont été utilisés pour les minéraux. (tableau III). Pour l'analyse de l'olivine et des pyroxènes, un faisceau de un micromètre a été utilisé, tandis que pour les autres minéraux le diamètre de la sonde était de 5 micromètres. Le diamètre de la sonde était plus petit pour les minéraux non hydratés et non alcalins. Le facteur de correction ZAF a été appliqué pour tous les minéraux analysés (Glen Poirier, McGill Electron Microprobe Laboratory Manual). Des traverses ont été effectuées dans chaque minéral examiné pour vérifier si les grains d'olivine et de plagioclase étaient zonés ou si les couronnes autour des olivines avait une variation significative dans leur composition. Les points étaient espacés de quelques micromètres.

L'analyse géochimique détaillée des minéraux permettra d'observer les variations des composantes dans les minéraux composant les bandes de réaction.

Tableau III Etalons utilisés lors des analyses à la microsonde

Etalons	Éléments analysés
Albite	Na
Diopside	Mg-Si-Ca
Orthose	Al-K
MnTiO ₃	Ti-Mn
Andradite	Fe
Chromite	Cr
Fe ₂ O ₃	Fe
Olivine	Fe-Mg-Si

2.5.2 Minéraux contenus dans le métagabbro du dyke de Le Doré

Olivine.

La composition des grains d'olivine varie selon les minéraux qui l'entourent. Généralement, les grains d'olivine ne sont pas significativement zonés; ils sont habituellement homogènes du centre à la bordure (tableaux IV-V). Par contre, lorsque les olivines sont entourées de couronnes ou touchent au clinopyroxènes une variation dans leur composition est observée. Leur contenu en MgO est différent lorsqu'elles sont entourées soit par le clinopyroxène ou lorsqu'elles touchent à la fois au clinopyroxène et aux couronnes de réaction (photo 2.14). Le contenu en MgO est en moyenne de 30,43% pour les grains d'olivine entourés de clinopyroxène; de

Tableau IV Analyses de la composition des olivines retrouvées dans le métagabbro du dyke de Le Doré

	4202-A				4214-b				8-4-3	
	photo-A		photo-B		photo-A		photo-B		photo-B	
	Spot 1 cc	Spot 2 bc	Spot 4 b2	Spot 6 c2	Spot 19 bcpx	Spot 21 ccpx	Spot 24 cc	Spot 26 ccpx	Spot 7 bcpx	Spot 8 ccpx
SiO ₂	34,82	34,93	35,26	35,30	36,29	36,22	35,38	35,71	35,82	35,72
Al ₂ O ₃	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
FeO	35,20	35,53	33,17	33,66	33,85	33,68	38,04	35,77	30,34	31,95
MgO	28,94	29,19	30,69	30,74	29,38	29,47	25,68	27,34	32,94	32,20
MnO	0,43	0,42	0,44	0,43	0,45	0,46	0,55	0,50	0,43	0,47
TiO ₂	0,07	0,06	0,10	0,05	0,00	0,00	0,06	0,04	0,03	0,12
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,08	0,07	0,09	0,07	0,07	0,04	0,04	0,04	0,07	0,05
CaO	0,03	0,02	0,01	0,13	0,03	0,02	0,04	0,00	0,16	0,01
total	99,57	100,23	99,76	100,38	100,10	99,89	99,84	99,41	99,79	100,51
Si	0,98	0,97	0,98	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,97
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	1,21	1,21	1,27	1,26	1,21	1,21	1,08	1,14	1,34	1,31
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr										
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe	0,82	0,83	0,77	0,78	0,78	0,78	0,90	0,83	0,69	0,73
Na					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg/Mg+Fe	0,59	0,59	0,62	0,62	0,61	0,61	0,55	0,57	0,66	0,64

cc: point au centre des olivines entourées de couronnes de réaction.

bc: point à la bordure des olivines entourées de couronnes de réaction.

c2: point au centre des olivines avec une couronne et touchant aux clinopyroxènes.

b2: point à la bordure des olivines avec une couronne et touchant aux clinopyroxènes.

ccpx: point au centre des olivines entourées complètement de clinopyroxènes.

bcpx: point à la bordure des olivines entourées complètement de clinopyroxènes.

29,64% pour les grains d'olivine touchant au clinopyroxène et aux bandes de réaction; de 27,23% pour les olivines entièrement entourées de couronnes de réaction (tableau IV). Ces teneurs en MgO (Fo₅₆₋₆₁) se manifestent aussi dans le rapport Mg/Mg+Fe (tableau V). Outre la variation de MgO la concentration des autres éléments analysés est peu significative (0,20%).

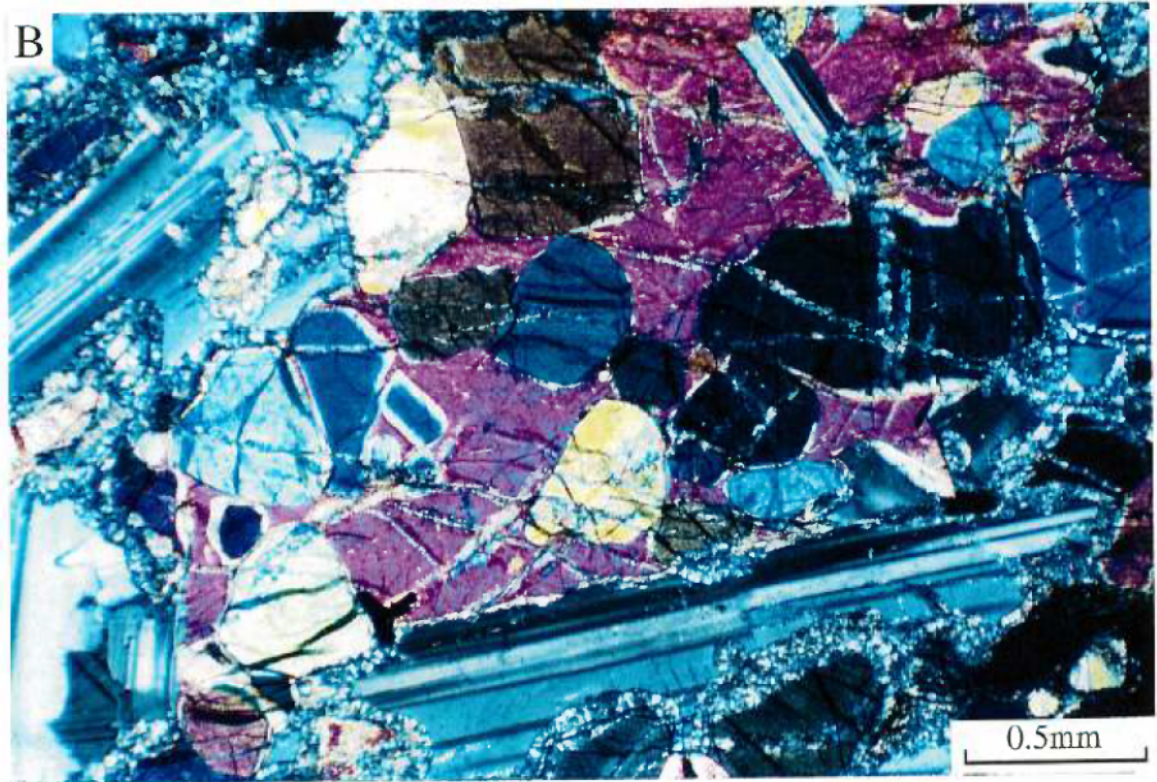
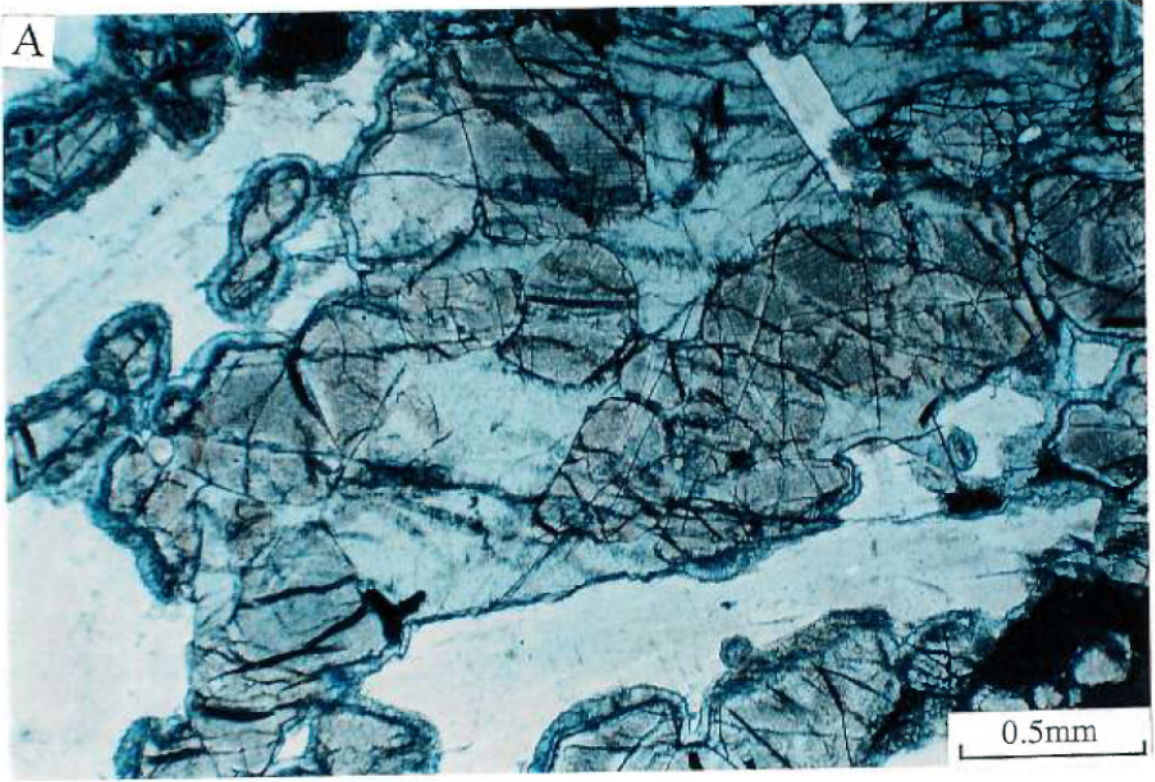
Tableau V Le rapport Mg/Mg+Fe et la composition des olivines

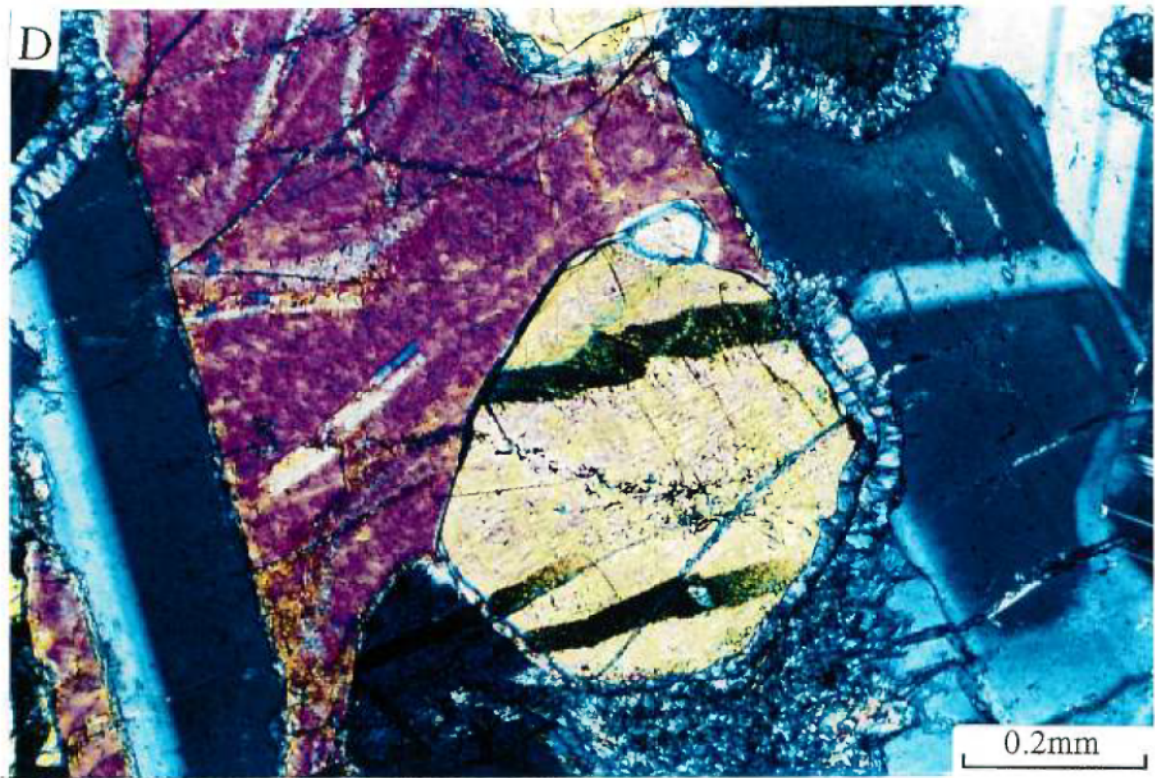
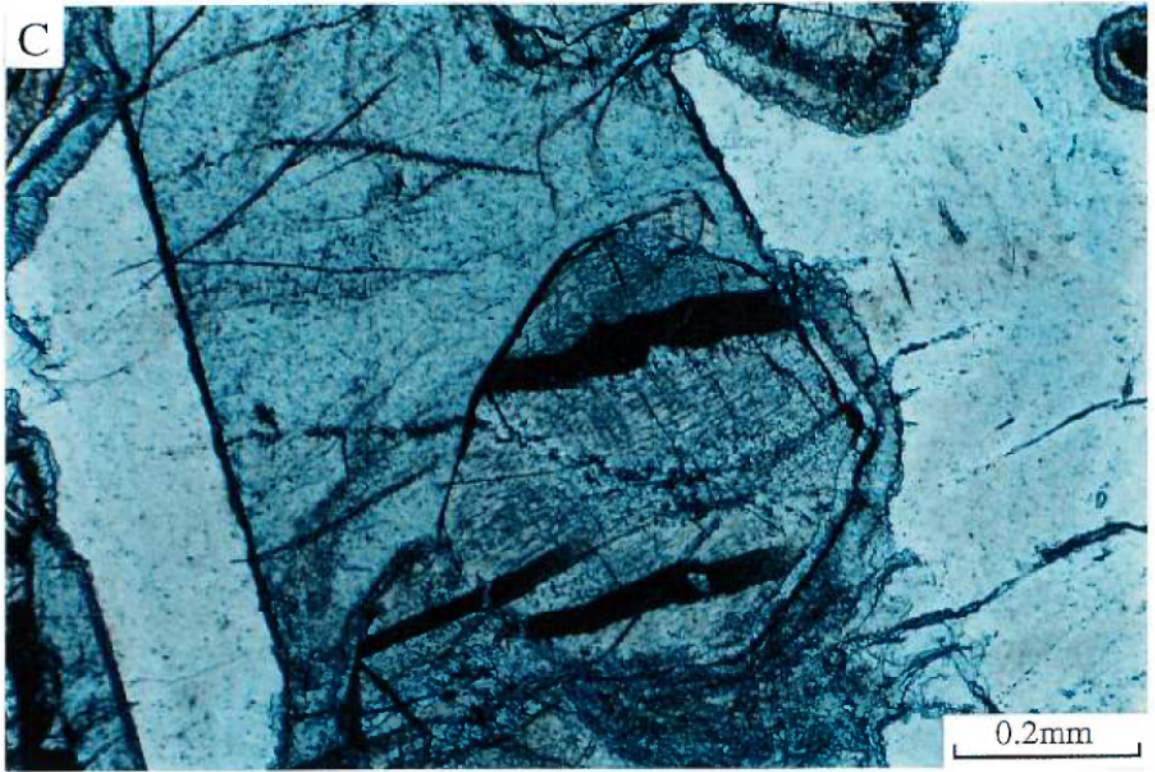
	Rapport Mg/Mg+Fe	Nom
olivine entourée de clinopyroxène	entre 0,58 et 0,66	Fo ₆₁ Fa ₃₈ Tp _{0.5}
olivine touchant aux clinopyroxènes et couronnes	entre 0,57 et 0,64	Fo ₆₀ Fa ₃₉ Tp _{0.5}
olivine entouré de couronne	entre 0,54 et 0,59	Fo ₅₆ Fa ₄₃ Tp _{0.5}

Orthopyroxène

L'orthopyroxène forme la première bande de réaction. Cette couronne est continue, généralement monominérale (à quelques endroits les images obtenues à la microsonde ont montré une intercroissance biotite/amphibole) et d'une largeur constante d'environ 30 µm (photo 2.6b). Ce pyroxène contient entre 22,04% et 26,27% de MgO (moyenne de 24,20%); le contenu en TiO₂ est plus petit que 1% (tableau VI). La composition moyenne de l'orthopyroxène est de En₇₀ Fs₃₂ Ae_{0.05} CaTi_{0.04}. À travers la bande de réaction, le rapport Mg/Mg+Fe varie de la façon suivante: 1) près de l'olivine, le rapport Mg/Mg+Fe varie entre 0,64 et 0,66 (moyenne de 0,65); 2) dans le centre de la bande, le rapport Mg/Mg+Fe oscille entre

Photo 2.14 (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 4202-A. Les olivines sont complètement entourées de clinopyroxène. Le rapport $Mg/Mg+Fe$ varie entre 0.58 et 0.66. (c) Lumière naturelle. (d) Lumière polarisée. Métagabbro à olivine, échantillon 4202-A. L'olivine touche à la fois au clinopyroxène et au plagioclase. Le rapport $Mg/Mg+Fe$ varie entre 0.57 et 0.64. (e) Lumière naturelle. (f) Lumière polarisée. Métagabbros à olivine, échantillon 4202-A. L'olivine est totalement entourée par les couronnes de réaction. Le rapport $Mg/Mg+Fe$ varie entre 0.54 et 0.59.





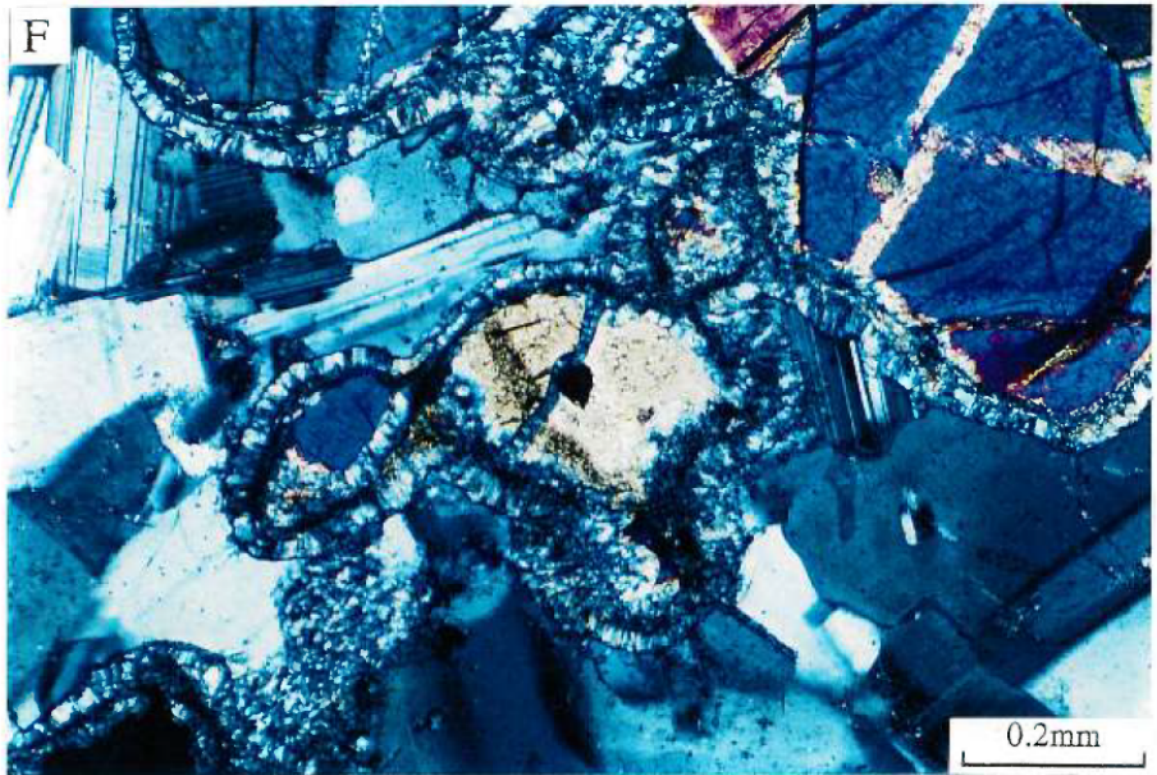
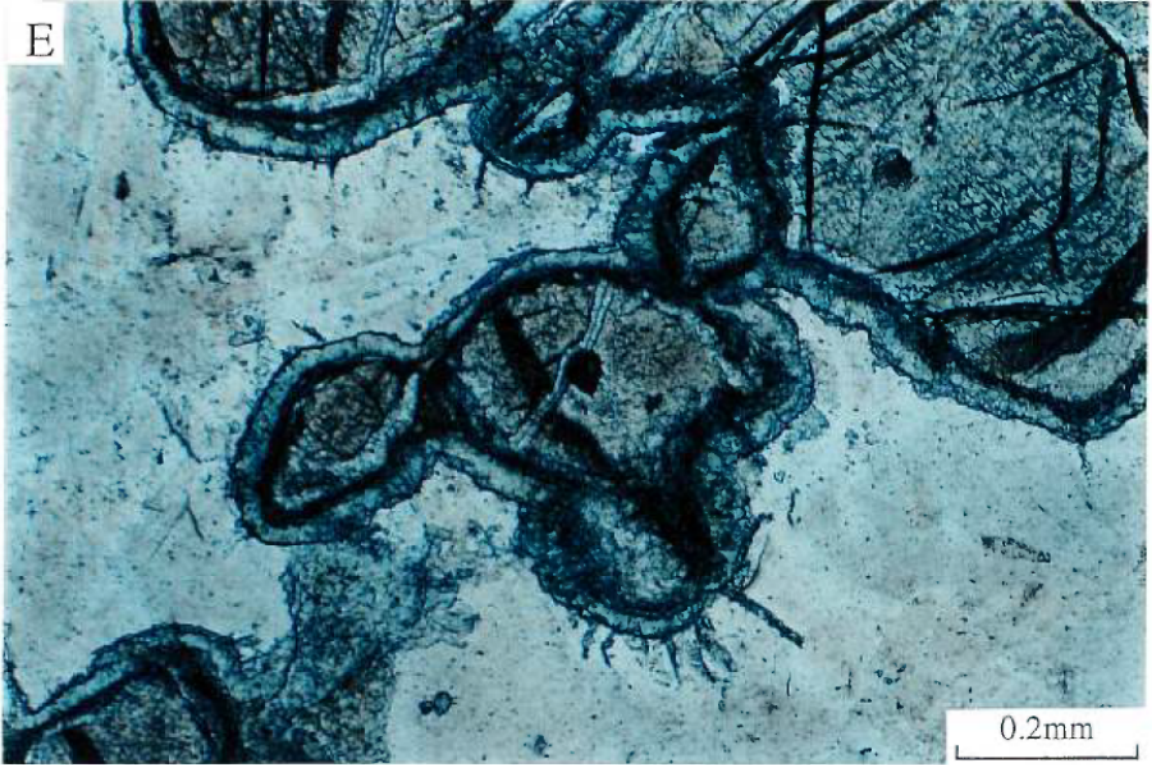


Tableau VI Analyses de la composition des orthopyroxènes dans les bandes de réaction

	4202-A		4214-b		photo-A1		photo-A		photo-BB		photo-A1		photo-4		photo-3		photo-5		
	photo-AA	photo-A1	photo-A1	photo-A	photo-BB	photo-A1	photo-A1	photo-4	photo-4	photo-4	photo-4	photo-4	photo-4	photo-4	photo-4	photo-4	photo-4	photo-4	photo-4
	Spot 42 c	spot 23	Spot 14 c	Spot 28 c	spot 49	Spot 4 a	Spot 4 o	Spot 5 a	Spot 6 o	Spot 2 c	spot 49	Spot 4 a	Spot 4 o	Spot 5 a	Spot 6 o	Spot 2 c	Spot 2 c	Spot 2 c	Spot 2 c
SiO ₂	53,27	53,90	54,19	53,57	53,93	52,47	53,42	53,14	53,25	52,47	52,47	53,42	53,42	53,14	53,25	52,47	52,47	52,47	52,47
Al ₂ O ₃	0,57	0,33	0,22	0,22	0,42	0,36	0,37	0,66	0,22	0,42	0,36	0,37	0,37	0,66	0,22	0,68	0,68	0,68	0,68
FeO	20,30	21,66	23,14	23,88	22,60	22,55	22,35	22,88	22,27	22,60	22,55	22,35	22,35	22,88	22,27	21,76	21,76	21,76	21,76
MgO	25,78	24,89	24,19	23,18	24,24	23,27	24,05	23,52	23,95	24,24	23,27	24,05	24,05	23,52	23,95	23,80	23,80	23,80	23,80
MnO	0,41	0,39	0,47	0,50	0,47	0,49	0,45	0,47	0,50	0,47	0,49	0,45	0,45	0,47	0,50	0,45	0,45	0,45	0,45
TiO ₂	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	nd	nd	nd	0,00	0,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
CaO	0,34	0,18	0,13	0,31	0,17	0,21	0,08	0,11	0,08	0,17	0,21	0,08	0,08	0,11	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06
Na ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,07	0,02	0,00	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Total	100,76	101,36	102,36	101,69	101,86	99,38	100,73	100,92	100,39	101,69	99,38	100,73	100,73	100,92	100,39	99,30	99,30	99,30	99,30
Si IV	1,95	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,96	1,96	1,96	1,96
Al IV	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
T site	1,98	1,98	1,98	1,98	1,99	1,99	1,99	1,99	1,98	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,98	1,99	1,99	1,99	1,99
Al VI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe +3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe +2	0,62	0,66	0,70	0,74	0,69	0,71	0,69	0,71	0,69	0,69	0,71	0,69	0,69	0,71	0,69	0,68	0,68	0,68	0,68
Mn +2	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	1,41	1,36	1,31	1,27	1,32	1,30	1,32	1,30	1,32	1,32	1,30	1,32	1,32	1,30	1,32	1,33	1,33	1,33	1,33
Ca	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M1,M2	2,06	2,04	2,04	2,04	2,03	2,04	2,03	2,03	2,04	2,03	2,04	2,03	2,03	2,03	2,04	2,03	2,03	2,03	2,03
O	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Mg/Mg+Fe	0,69	0,67	0,65	0,63	0,66	0,65	0,66	0,65	0,66	0,66	0,65	0,66	0,66	0,65	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66

c: points retrouvés au centre de la bande

a: points situés près de la bande d'amphibole

o: points situés près de l'olivine.

0,63 et 0,70 (moyenne de 0,67) et 3) près de la bordure de l'amphibole ou de la biotite, le rapport $Mg/Mg+Fe$ varie entre 0,62 et 0,66 (moyenne de 0,64). Pour l'orthopyroxène près de la couche de biotite, le contenu en Al_2O_3 est plus élevé que pour l'orthopyroxène en contact avec la bordure de l'olivine (tableau VI). La relation inverse est observée pour le MgO ; le contenu en MgO est plus élevé pour l'orthopyroxène en contact avec l'olivine et il est plus faible lorsque l'orthopyroxène est en contact avec la biotite ou l'amphibole. L'orthopyroxène qui est en contact avec l'amphibole ou la biotite a une concentration de CaO et de K_2O plus élevée par rapport à l'orthopyroxène qui est en contact avec l'olivine (tableau VI).

Biotite

Dans le métagabbro du dyke de Le Doré, la biotite se retrouve sous deux formes: premièrement entre la bordure d'orthopyroxène et d'amphibole, sous forme de bande de réaction (photo 2.6a-b), et deuxièmement dans le coeur des rosettes en grains individuels (photo 2.6c). La biotite qui se retrouve dans la couronne n'est pas continue optiquement comme les autres minéraux dans les couronnes; elle est de petite taille, variant entre 1 et 10 μm (photo 2.6a-b). A quelques endroits, des inclusions d'ilménite et de magnétite ont été observées dans la bande de biotite. Le contenu en Na_2O est en moyenne de 1,03% (tableau VII) et le rapport $Mg/Mg+Fe$ oscille entre 0,63 et 0,82 (moyenne de 0,76). La biotite retrouvée dans le coeur des rosettes se retrouve sous forme de cristaux assez bien développés. Elle est souvent en intercroissance avec la chlorite et l'amphibole. Le contenu en Na_2O de ces biotites est plus faible que celui de la biotite retrouvée dans la bande de réaction, soit de 0,87% (tableau VII). Finalement, le rapport $Mg/Mg+Fe$ varie entre 0,45 et 0,69 (moyenne

Tableau VII Analyses de la composition des biotites dans les métagabbros de la région du Lac Le Doré

	4202-A				4214-B				4215					
	photo-AA		photo-3		photo-1		photo-1A		photo-AA		photo-3		photo-1A	
	point 32 c	point 33 c	point 34 c	point 19 c	point 4 r	point 1 r	point 8 r	point 5 r	point 8 r	point 8 r	point 5 r	point 8 r	point 8 r	point 8 r
SiO ₂	38,35	37,75	37,44	37,86	36,77	36,30	35,72	35,21	34,92					
Al ₂ O ₃	16,83	17,39	17,62	18,39	17,88	17,72	18,12	18,47	18,05					
FeO	8,27	9,43	9,58	10,05	13,51	15,49	15,32	15,75	15,36					
MgO	21,33	20,93	21,09	19,43	17,22	15,68	15,27	15,39	15,25					
MnO	0,04	0,01	0,04	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,06					
TiO ₂	0,21	0,19	0,25	0,16	0,73	0,88	0,87	0,72	0,72					
Cr ₂ O ₃	0,03	0,00	0,00	nd	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01					
CaO	0,16	0,09	0,11	0,07	0,94	0,24	0,04	0,13	0,22					
Na ₂ O	1,19	1,50	1,37	1,14	0,49	0,68	0,78	0,78	0,78					
K ₂ O	8,59	7,95	7,66	8,88	5,99	7,49	8,65	8,26	7,93					
Total	95,01	95,25	95,16	95,97	93,54	94,48	94,82	94,72	93,29					
Si IV	5,54	5,45	5,41	5,46	5,45	5,42	4,78	5,29	5,32					
Al IV	2,46	2,55	2,59	2,54	2,55	2,58	2,86	2,71	2,68					
Fe IV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
Ti IV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00					
T site	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	7,72	8,00	8,00					
Al VI	0,40	0,42	0,41	0,58	0,57	0,54	0,00	0,56	0,56					
Ti VI	0,02	0,02	0,03	0,02	0,08	0,10	0,00	0,08	0,08					
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,59	0,00	0,00					
Fe +3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
Fe +2	1,00	1,14	1,16	1,21	1,67	1,93	1,71	1,98	1,95					
Mn +2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01					
Mg	4,59	4,51	4,54	4,17	3,80	3,49	3,04	3,45	3,46					
O site	6,02	6,09	6,15	5,98	6,13	6,07	6,35	6,07	6,06					
Ca	0,02	0,01	0,02	0,01	0,15	0,04	0,01	0,02	0,04					
Na	0,33	0,42	0,38	0,32	0,14	0,20	0,20	0,23	0,23					
K	1,58	1,47	1,41	1,63	1,13	1,43	1,48	1,58	1,54					
A site	1,94	1,90	1,81	1,96	1,42	1,66	1,69	1,83	1,81					
O	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00					
OH	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00					
Mg/Mg+Fe	0,82	0,80	0,80	0,78	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64					

métagabbros à olivine du dyke de Le Doré: 4214-B, 4202-A métagabbros à rosette du dyke de Le Doré: 4215 c: couronne r: rosette

de 0,64) pour les biotites retrouvées dans le coeur des rosettes.

Amphibole

L'amphibole est retrouvée sous trois formes différentes dans le dyke de Le Doré: 1) dans la troisième bande de réaction autour de l'olivine; 2) dans la bordure des rosettes; 3) dans le centre des rosettes sous forme de petits grains individuels (photo 2.15a). Les amphiboles composant la couche externe des couronnes de réaction sont continues, d'une largeur moyenne de 60 μm . Dans cette bande, des inclusions de spinelle et de biotite ont été observées. Les concentrations majeures de CaO et de Na₂O pour ces amphiboles sont de 0,15% et de 2,97% respectivement (tableau VIII). Le contenu en Al₂O₃ varie en fonction du minéral qui est en contact avec l'amphibole (tableau VIII). Là où l'amphibole est en contact avec la biotite, le contenu en Al₂O₃ est fréquemment de 15-16%, tandis que pour l'amphibole à proximité du plagioclase, la concentration en Al₂O₃ varie entre 18 et 19%. Cette relation peut probablement dépendre de la composante d'anorthite dans les plagioclases (tableau VIII). Le rapport Mg/Mg+Fe dans la bande d'amphibole varie entre 0,67 et 0,96 (moyenne de 0,81). Ce sont donc des amphiboles Na-Ca qui sont riches en composantes tschermackites.

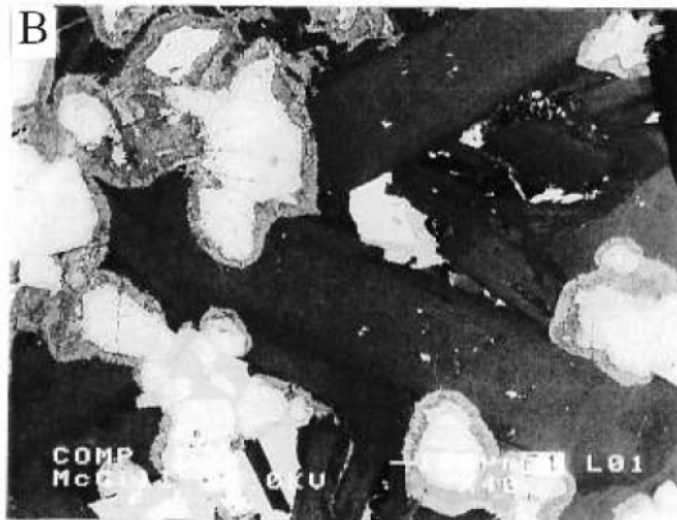
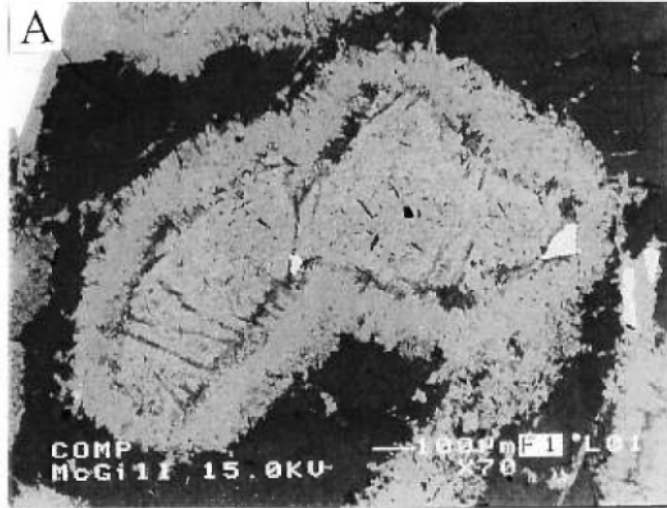
Les amphiboles retrouvées dans la bordure de réaction des rosettes (photo 2.15a) ont une épaisseur moyenne de 200 μm . Le contenu moyen en Na₂O qui est de 2,66% est élevé (tableau VIII). La concentration en Al₂O₃ est en moyenne de 18,54% (tableau VIII). De plus, une variation de ce contenu est observée: près du plagioclase, le contenu en Al₂O₃ est plus élevé que près du coeur de la rosette. Le contenu en CaO est en moyenne de 10,57%. Le rapport Mg/Mg+Fe oscille entre 0,51 et 0,67

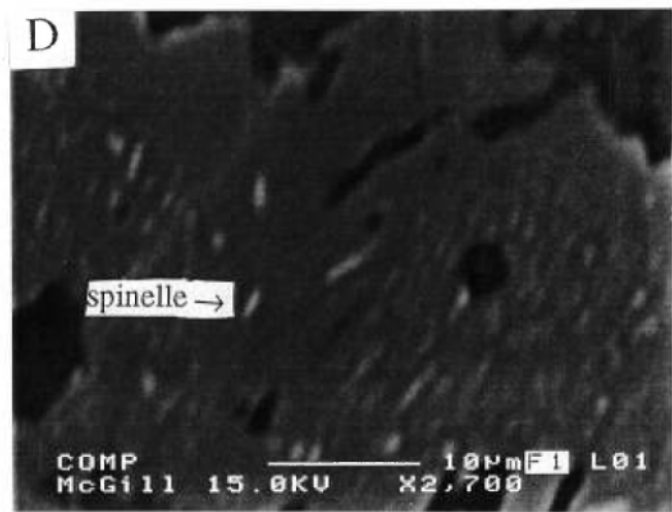
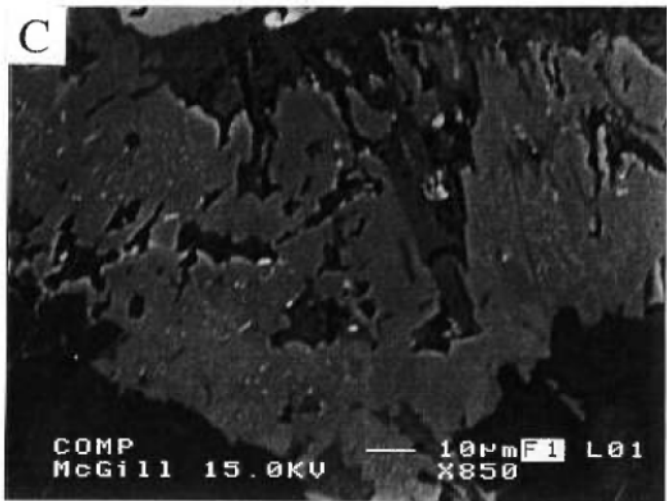
Tableau VIII Analyses de la composition chimique des amphiboles des métagabbros du dyke de Le Doré

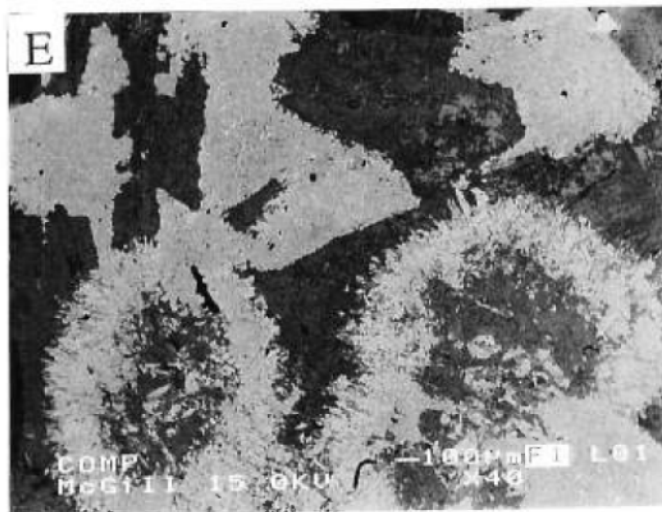
	4214-B			4202-B2			4215		
	photo-A1 point 27 c.b.	photo-A point 16 c. b.	photo-BB point 35 c.p.	photo-C point 6 c	photo-1 point 5 c	photo-1 point 12 b	photo-1 point 5 c	photo-1 point 12 b	photo-1 point 5 c
SiO ₂	41,44	40,34	39,92	37,70	53,32	40,13	54,35	38,45	53,29
Al ₂ O ₃	16,87	18,23	18,34	20,64	1,70	17,93	0,54	19,87	0,30
FeO	10,68	12,34	12,51	12,94	22,09	16,13	23,03	16,36	23,10
MgO	14,48	12,54	12,11	12,19	19,37	9,43	19,76	8,45	19,35
MnO	0,16	0,17	0,16	0,13	0,45	0,18	0,52	0,20	0,45
TiO ₂	0,11	0,02	0,11	0,07	0,05	0,09	0,00	0,13	0,03
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
CaO	10,75	10,83	11,24	10,84	0,53	10,73	0,26	10,89	0,27
Na ₂ O	3,52	3,14	3,01	2,80	0,17	2,69	0,05	2,81	0,02
K ₂ O	0,22	0,34	0,52	0,50	0,37	0,23	0,01	0,32	0,04
Total	98,24	97,99	97,93	97,84	98,05	97,55	98,52	97,48	96,88
Si	5,92	5,83	5,80	5,44	7,71	5,92	7,86	5,71	7,85
AlIV	2,08	2,17	2,20	2,56	0,29	2,08	0,00	2,29	0,00
Al total	2,84	3,11	3,14	3,51	0,29	3,12	0,09	3,48	0,05
AlVI	0,76	0,94	0,94	0,95	0,00	1,04	0,00	1,19	0,00
Ti	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00
Fe3+	0,68	0,64	0,56	1,05	0,17	0,53	0,00	0,50	0,00
Cr3+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Mg	3,08	2,70	2,62	2,62	4,18	2,07	4,26	1,87	4,25
Fe2+	0,59	0,86	0,96	0,51	2,50	1,47	2,78	1,53	2,85
Mn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,02	0,06	0,03	0,06
Sum FM	13,15	13,15	13,12	13,16	14,91	13,14	15,05	13,12	15,07
Ca	1,65	1,68	1,75	1,68	0,08	1,70	0,04	1,73	0,04
Na(M4)	0,20	0,17	0,13	0,17	0,01	0,16	0,00	0,14	0,00
Na total	0,98	0,88	0,85	0,78	0,05	0,77	0,01	0,81	0,01
Na(A)	0,77	0,71	0,71	0,62	0,04	0,61	0,00	0,67	0,00
K	0,04	0,06	0,10	0,09	0,07	0,04	0,00	0,06	0,01
Sum(A)	0,81	0,77	0,81	0,71	0,11	0,65	0,00	0,73	0,00
OH	2,00	1,97	1,99	1,98	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Mg/Mg+Fe	0,84	0,76	0,73	0,84	0,63	0,61	0,60	0,55	0,60

c. b.: points dans couronne près de la biotite c. p.: points dans couronne près du plagioclase c. coeur b. bord

Photo 2.15 Photo “backscatter electron”. (a) Métagabbro à rosette du dyke de Le Doré, échantillon 4202-B2. Dans le coeur des rosettes, les amphiboles se retrouvent sous forme de petits grains individuels. La largeur de la bande d’amphibole dans la rosette est plus ou moins constante. (b) Métagabbro à olivine du dyke de Le Doré, échantillon 4214-B. Les plagioclases sont zonés. La bordure des grains est plus riche en albite que le centre des grains. (c) Métagabbro à olivine du Dyke de Le Doré, échantillon 4214-B. Sur cette photo on voit la bande d’amphibole. (d) Métagabbro à olivine du Dyke de Le Doré, échantillon 4214-B. Sur cette photo on voit les inclusions de spinelles dans la bande d’amphibole. (e) Métagabbro à rosette de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4221. La bordure des rosettes est de largeur constante. (f) Métagabbro à rosette de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4221. Au centre de la rosette il y a des cristaux de chlorite.







(moyenne de 0,61).

Finalement, les amphiboles retrouvées dans le coeur des rosettes se distinguent des autres amphiboles par leur faible concentration de Na_2O (0,08%), Al_2O_3 (1,29%), CaO (0,04%) et leur concentration plus élevée en MgO (19%). Cette faible concentration (Na_2O , CaO , Al_2O_3) peut s'expliquer facilement si on présume que dans la bordure de la rosette il y a des échanges d'atomes de Na^{2+} , Al^{3+} et Ca entre l'amphibole et le plagioclase. Cette faible variation peut aussi s'expliquer par le remplacement par l'amphibole des minéraux plus ferromagnésien comme le clinopyroxène qui compose habituellement les deuxième couronnes de réaction (ceci sera discuté au chapitre 4). La concentration élevée de MgO s'explique par la remplacement de l'olivine (qui était située au centre des rosettes) par l'amphibole (retrouvée maintenant dans le centre des rosettes). Dans les amphiboles retrouvées au centre des rosettes le rapport $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ varie entre 0,59 et 0,65(moyenne de 0,62). Le rapport $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ dans les amphiboles composant les rosettes (autant la bordure que le coeur) varie entre 0,51 et 0,80 (moyenne de 0.62).

Plagioclase

Le plagioclase qui a été observé dans la dyke de Le Doré est plus ou moins zoné. La composition moyenne des plagioclases est de An_{49} pour les métagabbros contenant de l'olivine, tandis que pour les métagabbros avec des rosettes, la composition moyenne est de An_{54} . La bordure des plagioclases est généralement plus sodique que le centre des grains de plagioclase (photo 2.15b et tableau IX). Dans les métagabbros à olivine, la bordure est composée de An_{40} et d'un centre de An_{54} . De façon similaire, la bordure des plagioclases dans les métagabbros à rosettes est plus

Tableau IX Analyses de la composition des plagioclases retrouvés dans les métagabbros à olivine et à rosette du dyke de le Doré

	4202-A		4214-B		4202-B2				
	photo-D1	photo-A	photo-A	photo-A	photo-A	photo-3			
	point 15 b	point 16 c	point 8 c	point 9 c	point 10 b	point 12 b	point 13 c	point 3 c	point 4 b
Na2O	7,22	5,98	3,67	3,86	6,74	6,34	4,50	4,67	6,30
MgO	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,39	0,02	0,01
Al2O3	26,34	27,95	30,51	30,30	25,84	27,85	28,97	29,77	27,53
SiO2	57,69	54,83	51,11	50,83	57,68	54,92	50,33	51,58	54,67
K2O	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,07	0,04	0,05
CaO	7,80	9,87	13,69	13,32	7,95	9,07	12,29	12,00	9,45
TiO2	nd	nd	0,18	0,12	0,07	nd	nd	nd	nd
Cr2O3	nd	nd	0,00	0,01	0,02	nd	nd	nd	nd
MnO	nd	nd	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00
FeO	0,07	0,13	0,23	0,17	0,18	0,14	0,54	0,34	0,12
BaO	0,00	0,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Total	99,16	98,82	99,52	98,69	98,52	98,39	97,09	98,43	98,14

c: centre

b: bordure

Tableau X Analyses de la composition des clinopyroxènes retrouvés dans le dyke de Le Doré

	4202-A		4214-B		8-4-3		4202-B2	
	photo-A point 23	photo-A point 2	photo-1 point 11	photo-2 point 14	photo-B point 36	photo-A point 8	photo-A point 9	photo-2 point 3
SiO ₂	49,16	50,57	50,24	50,91	48,54	48,21	48,49	49,78
Al ₂ O ₃	3,03	3,05	3,28	2,54	4,60	4,67	4,71	2,80
FeO	9,63	10,08	9,85	9,98	10,30	11,10	10,38	10,45
MgO	14,02	14,34	13,82	14,14	13,72	12,78	12,20	13,79
MnO	0,20	0,22	0,16	0,22	0,18	0,26	0,27	0,23
TiO ₂	1,24	1,29	1,30	1,05	1,91	2,02	1,92	1,33
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	nd	nd	0,01	0,02	nd	nd	nd	nd
CaO	20,56	20,25	20,71	20,18	20,08	20,38	20,63	20,14
Na ₂ O	0,66	0,50	0,63	0,60	0,56	0,53	0,72	0,51
K ₂ O	0,03	0,03	0,01	0,04	0,02	0,01	0,03	0,02
Total	98,53	100,31	100,02	99,67	99,90	99,95	99,35	99,05
Si IV	1,87	1,89	1,88	1,91	1,83	1,82	1,84	1,89
Al IV	0,13	0,11	0,12	0,09	0,17	0,18	0,16	0,11
T site	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Al VI	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,01
Ti	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,06	0,05	0,04
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe +3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe +2	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,35	0,33	0,33
Mn +2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,80	0,80	0,77	0,79	0,77	0,72	0,69	0,78
Ca	0,84	0,81	0,83	0,81	0,81	0,83	0,84	0,82
Na	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M1,M2	2,05	2,03	2,03	2,02	2,04	2,03	2,03	2,03
O	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00

métagabbros à olivine: 4214-B, 4202-A et 8-4-3 métagabbros à rosette: 4202-B2

sodique que le centre (bordure An_{45} et centre An_{52}).

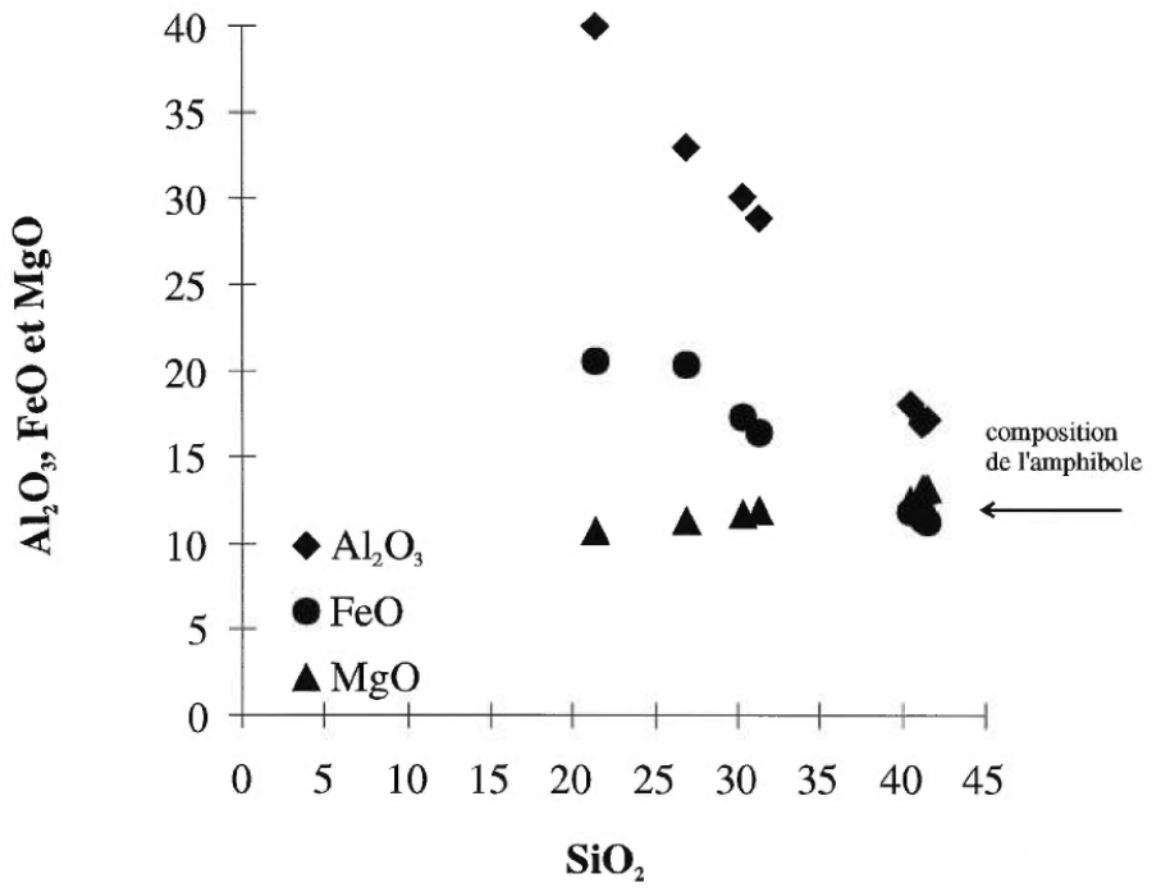
Clinopyroxène

Les clinopyroxènes observés dans le dyke de Le Doré sont interprétés comme étant une phase ignée primaire qui a préservé la texture ignée originale. Les clinopyroxènes retrouvés dans les métagabbros contenant des rosettes semblent plus altérés et contenir plus d'inclusions de minéraux opaques que ceux observés dans les métagabbros contenant des olivines. La composition moyenne des clinopyroxènes contenus dans les métagabbros contenant des olivines est de $Di_{61} Hd_{16} En_{10}$, tandis que dans les métagabbros contenant des rosettes, la composition moyenne est de $Di_{36} En_{20} Hd_{10} CaTs_7 Fs_3 Ae_1$. Le contenu en MgO est plus élevé dans les clinopyroxènes du métagabbro à olivine (13,91%) que dans le métagabbro à rosette (13,37%) (tableau X). Cette différence est probablement une conséquence du remplacement des clinopyroxènes par les amphiboles, qui semble plus avancé dans le métagabbro à rosette ou de la cristallisation fractionnée du dyke. Le contenu en TiO_2 semble varier entre 0,18% et 2,34% dans les deux types de métagabbros ce qui peut être une conséquence de la cristallisation fractionnée du dyke de Le Doré. Cette variation est certainement occasionnée par le grand nombre d'inclusions d'ilménite à l'intérieur des clinopyroxènes. Le rapport $Mg/Mg+Fe$ dans les clinopyroxènes des métagabbros à olivine varie entre 0,69 et 0,74 (moyenne de 0,72). Dans les métagabbros à rosettes, ce rapport varie plutôt entre 0,53 et 0,78.

Spinelle

Des inclusions de spinelles ont été observées dans la couronne d'amphibole (photo 2.15c-d). Ces inclusions sont de petite taille. Leur largeur moyenne de $1\mu m$

Figure 2.2 Variation de Al_2O_3 , MgO et FeO dans les grains de spinelle et les amphiboles où se retrouve le spinelle.



**Tableau XI Analyses de la composition des inclusions de spinelles
retrouvés dans la bande d'amphibole des métagabbros
à olivine du dyke de Le Doré**

	4214-B		
	photo-6 point 4	point 1	photo-7 point 2
SiO ₂	26,861	31,317	30,279
Al ₂ O ₃	33,008	28,809	30,107
FeO	20,316	16,382	17,27
MgO	11,284	11,891	11,663
			point 6 21,384
			39,977
			20,568
			10,751

a rendu les analyses à la microsonde très difficiles. La composition moyenne du spinelle a été trouvée en utilisant le principe de construction d'un diagramme de Harker (figure 2.2) (McBirney, 1984, page 163). Sur ce diagramme, les compositions en Al_2O_3 , MgO et FeO des grains de spinelle et d'amphibole ont été tracées et reliées par une droite pour nous permettre de calculer la composition du spinelle. Nous avons ainsi calculé la pente entre les compositions de spinelle et d'amphibole permettant ainsi d'avoir la composition moyenne des grains de spinelle. Le spinelle se compose d'environ 64,66% de Al_2O_3 , de 33,11% de FeO et de 8,22% de MgO (tableau XI). La marge d'erreur est certainement grande à cause de la petite taille des inclusions de spinelle. Le faisceau de la microsonde a probablement analysé, en partie, l'amphibole entourant le spinelle, augmentant ainsi le contenu en FeO et en MgO des grains de spinelle.

Chlorite

Les cristaux de chlorite sont généralement observés dans le coeur des rosettes (photo 2.15a). Leur composition chimique est présentée dans le tableau XII. Le rapport $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ oscille entre 0,67 et 0,70 (moyenne de 0.70).

2.5.3 Minéraux contenus dans la Suite Mafique de Lillian

Amphibole.

Les amphiboles observées dans les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian se retrouvent sous deux formes: 1) dans la bordure des rosettes; 2) au centre des rosettes sous forme de grains individuels. Les amphiboles composant la bordure des rosettes sont continues et d'une largeur moyenne de 250 μm (photo 2.15e). Le

Tableau XII Analyses de la composition des chlorite retrouvées au centre des rosettes des métagabbros du dyke de Le Doré

	4202-B2			4215	
	point 2	photo-C point 7	point 9	photo-1 point 3	photo-1 point 6
SiO ₂	26,55	28,18	27,25	0,61	26,85
Al ₂ O ₃	22,53	21,77	21,93	0,19	21,11
FeO	16,83	16,35	16,40	0,89	17,16
MgO	21,56	20,94	21,90	0,59	20,52
MnO	0,08	0,05	0,05	0,44	0,04
TiO ₂	0,08	0,08	0,04	0,00	0,13
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,07	0,30	0,11	51,80	0,08
Na ₂ O	0,04	0,06	0,02	0,01	0,03
K ₂ O	0,26	0,61	0,34	0,09	0,87
F	nd	nd	nd	nd	nd
Total	88,00	88,32	88,04	54,61	86,79
Si IV	2,66	2,81	2,72	0,14	2,75
Al IV	1,34	1,19	1,28	0,05	1,25
T site	4,00	4,00	4,00	0,20	4,00
Al VI	1,33	1,36	1,31	0,00	1,29
Ti	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
Fe +3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe +2	1,41	1,36	1,37	0,18	1,47
Mn +2	0,01	0,00	0,00	0,09	0,00
Mg	3,22	3,11	3,26	0,21	3,13
Ca	0,01	0,03	0,01	13,14	0,01
Na	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
K	0,03	0,08	0,04	0,03	0,11
O site	6,02	5,96	6,01	13,65	6,03
O	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
OH	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Mg/Mg+Fe	0,70	0,70	0,70		0,68

4221
Tableau XIII Analyses de la composition chimique des amphiboles des métagabbros de la Suite Mafique de Lillian.

	photo-12			photo-10			photo-11			photo-12-A		
	point 13 c	point 17 c	point 2 b	point 4 b	point 5 c	point 7 c	point 1 c	point 2 c	point 7 c	point 1 c	point 2 c	point 7 c
SiO ₂	44,12	44,38	47,01	46,65	47,37	44,75	45,88	45,89	44,80	45,88	45,89	44,80
Al ₂ O ₃	13,37	13,24	9,94	9,99	10,04	12,70	11,72	11,68	12,63	11,72	11,68	12,63
FeO	12,66	12,23	11,27	11,27	11,18	11,25	10,90	11,18	12,27	10,90	11,18	12,27
MgO	12,53	12,79	14,53	14,47	14,73	13,85	14,46	14,29	12,90	14,46	14,29	12,90
MnO	0,23	0,16	0,17	0,16	0,24	0,19	0,20	0,21	0,18	0,20	0,21	0,18
TiO ₂	0,39	0,63	0,40	0,40	0,42	0,47	0,35	0,50	0,57	0,35	0,50	0,57
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,03	0,01
CaO	11,35	11,72	11,82	12,03	11,50	11,07	11,31	11,30	11,76	11,31	11,30	11,76
Na ₂ O	1,92	1,80	1,38	1,34	1,54	1,98	1,84	1,78	1,75	1,84	1,78	1,75
K ₂ O	0,18	0,19	0,14	0,15	0,10	0,11	0,10	0,11	0,20	0,10	0,11	0,20
Total	96,73	97,14	96,66	96,48	97,18	96,38	96,75	96,96	97,07	96,75	96,96	97,07
Si	6,45	6,46	6,81	6,78	6,82	6,50	6,63	6,62	6,53	6,63	6,62	6,53
AlIV	1,55	1,54	1,19	1,22	1,18	1,50	1,37	1,38	1,47	1,37	1,38	1,47
Al total	2,30	2,27	1,70	1,71	1,70	2,18	2,00	1,99	2,17	2,00	1,99	2,17
AlVI	0,75	0,73	0,51	0,49	0,52	0,68	0,62	0,61	0,70	0,62	0,61	0,70
Ti	0,04	0,07	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
Fe3+	0,37	0,32	0,36	0,37	0,37	0,44	0,41	0,41	0,30	0,41	0,41	0,30
Cr3+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	2,73	2,77	3,14	3,13	3,16	3,00	3,11	3,07	2,80	3,11	3,07	2,80
Fe2+	1,18	1,17	1,01	1,00	0,98	0,93	0,91	0,94	1,20	0,91	0,94	1,20
Ni	0,00	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02
Sum FM	13,10	13,08	13,08	13,06	13,10	13,12	13,12	13,12	13,08	13,12	13,12	13,08
Ca	1,78	1,83	1,84	1,87	1,77	1,72	1,75	1,75	1,84	1,75	1,75	1,84
Na(M4)	0,12	0,09	0,09	0,07	0,12	0,15	0,13	0,14	0,09	0,13	0,14	0,09
Na total	0,54	0,51	0,39	0,38	0,43	0,56	0,52	0,50	0,49	0,52	0,50	0,49
Na(A)	0,43	0,42	0,30	0,31	0,31	0,41	0,38	0,36	0,41	0,38	0,36	0,41
K	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04
Sum(A)	0,46	0,45	0,33	0,34	0,33	0,43	0,40	0,38	0,44	0,40	0,38	0,44
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Mg/Mg+Fe			0,76	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77	0,70	0,77	0,77	0,70

c: couronne
b: bordure de la rosette

contenu en Na_2O et Al_2O_3 est respectivement de 1,86% et 13,23%, ce qui est plus faible que dans les amphiboles du dyke de Le Doré. Par contre, le contenu en CaO est de 11,28%, ce qui est légèrement plus élevé que dans les amphiboles du dyke de Le Doré (tableau XIII). Le rapport $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ pour les amphiboles composant la bordure des rosettes varie entre 0,64 et 0,76 (moyenne de 0,72).

Les grains d'amphiboles qui se retrouvent au centre des rosettes ont une composition en Na_2O et Al_2O_3 de 1,76% et 11,71% respectivement. Ces amphiboles ont une concentration en Na_2O et Al_2O_3 plus élevée que les amphiboles retrouvées dans le centre des rosettes du dyke de Le Doré (tableau XIII). Leur contenu en CaO est de 11,31%, ce qui est comparable à la bordure, mais plus élevé que dans les amphiboles comprises dans le centre des rosettes du dyke de Le Doré. Le rapport $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ oscille entre 0,69 et 0,83 (moyenne de 0,75).

Chlorite

Tout comme dans le dyke de Le Doré, les cristaux de chlorite sont généralement observés dans le coeur des rosettes (photos 2.15f et 2.16). Leur composition chimique est présentée dans le tableau XIV. Le rapport $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ varie de 0,72 et 0,74 (moyenne de 0,73).

Clinopyroxène

Les clinopyroxènes retrouvés dans les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian (échantillon 4221, photo 2.17) ont presque tous été remplacés par l'amphibole, ce qui fait que les analyses pour ce minéral sont inexistantes.

Plagioclase

Les plagioclases observés dans les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian

Photo 2.16 Métagabbros à rosette de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4221. (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. La chlorite se retrouve au coeur des rosettes.

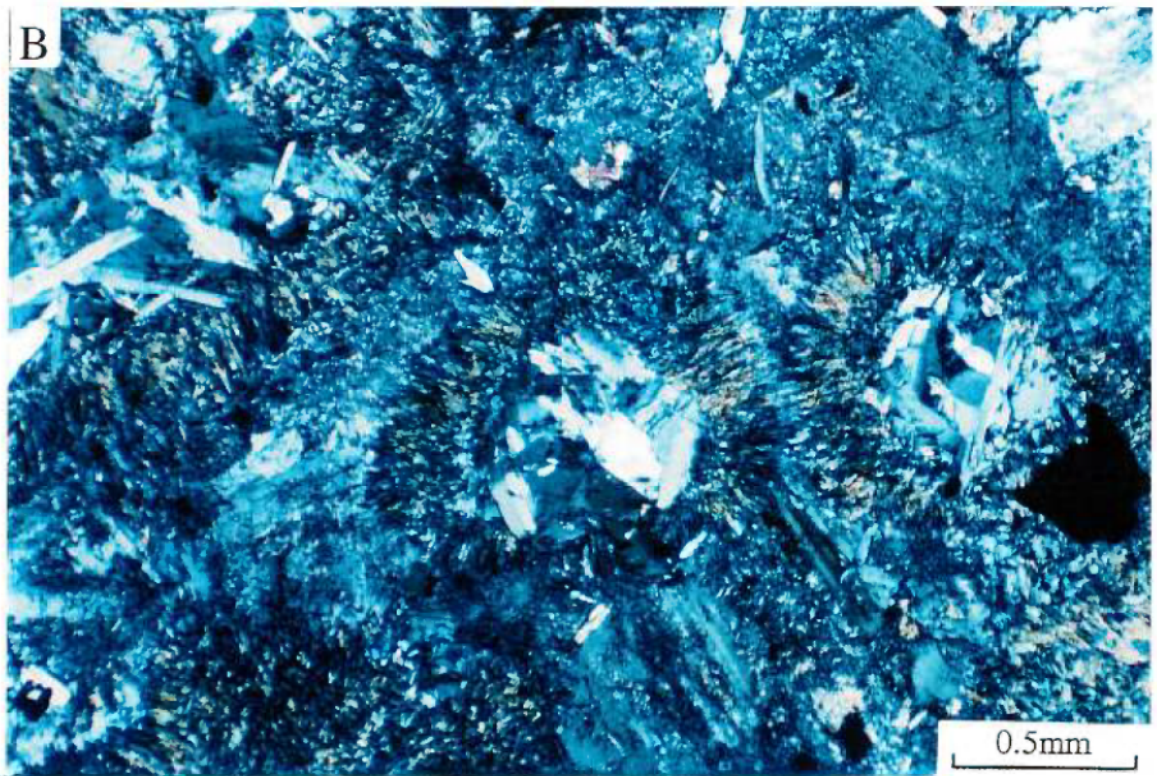
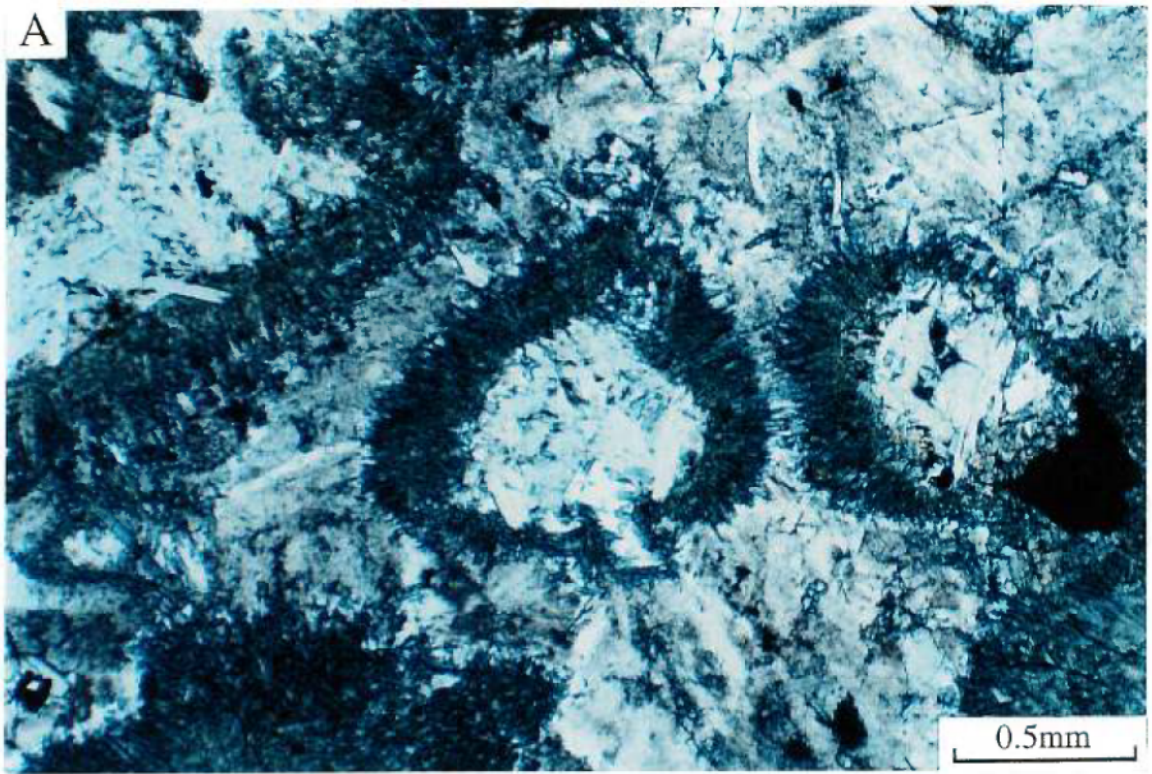


Photo 2.17 (a) Lumière naturelle. (b) Lumière polarisée. Métagabbro à rosette de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4205-C. Le clinopyroxène a presque tout été remplacé par l'amphibole.

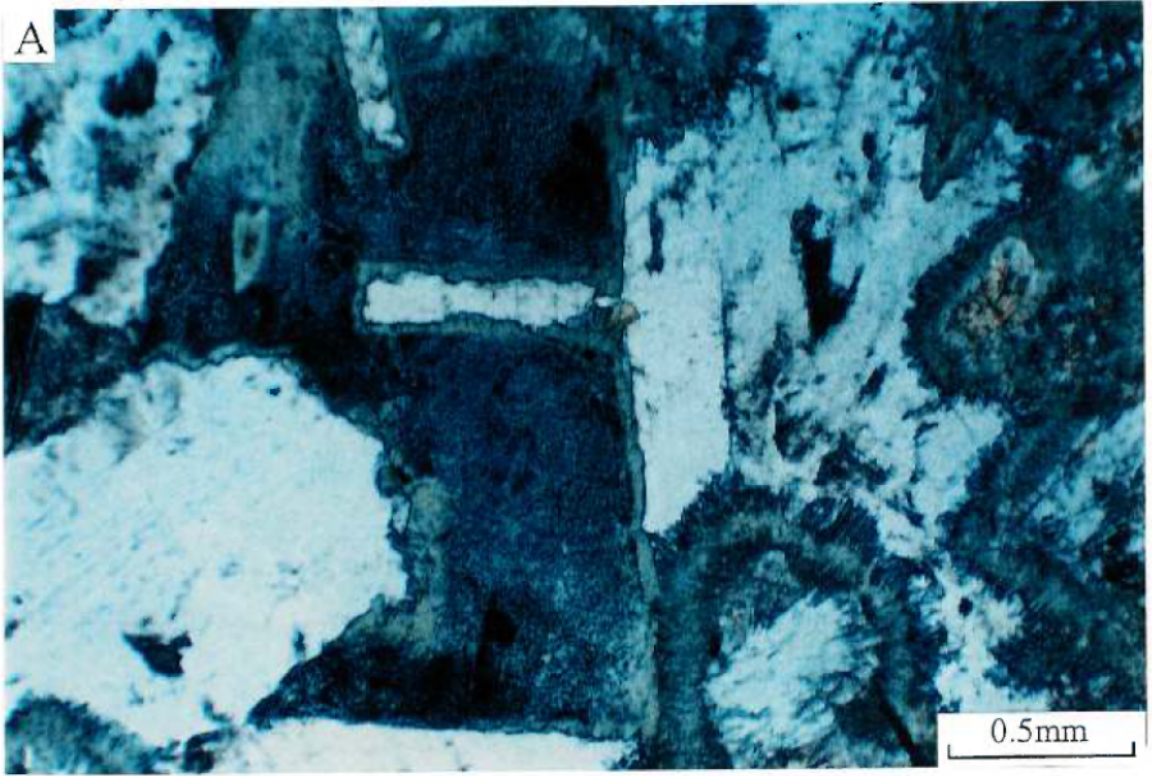


Tableau XIV Analyses de la composition des chlorites retrouvées dans les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian.

4221

	photo-11				photo-12			
	point 1	point 3	point 9	point 10	point 3	point 3	point 4	point 4
SiO ₂	26,72	26,73	26,23	26,84	26,80	26,80	26,77	26,77
Al ₂ O ₃	22,12	21,98	22,08	22,21	21,94	21,94	22,06	22,06
FeO	15,28	15,03	15,24	15,21	15,06	15,06	14,89	14,89
MgO	23,18	22,52	22,48	22,92	22,78	22,78	22,96	22,96
MnO	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08
TiO ₂	0,04	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06
Cr ₂ O ₃	0,03	0,04	0,05	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04
CaO	0,01	0,05	0,08	0,01	0,03	0,03	0,00	0,00
Na ₂ O	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Total	87,53	86,55	86,36	87,39	86,86	86,86	86,88	86,88
Si IV	2,69	2,72	2,67	2,70	2,70	2,70	2,69	2,69
Al IV	1,31	1,28	1,33	1,31	1,30	1,30	1,31	1,31
T site	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al VI	1,28	1,23	1,28	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Fe +3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe +2	1,25	1,26	1,27	1,27	1,27	1,27	1,25	1,25
Mn +2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	3,44	3,51	3,45	3,42	3,42	3,42	3,44	3,44
Ca	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O site	6,01	6,02	6,02	6,02	6,00	6,00	6,00	6,00
O	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
OH	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Mg/Mg+Fe	0,73	0,73	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73

Tableau XV Analyses de la composition des plagioclases retrouvés dans les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian.

	4221		4221		4221	
	photo-7	photo-8	photo-8	photo-9	photo-9	photo-9
	point 2 b	point 3 b	point 11 b	point 12 c	point 4 c	point 5 c
SiO ₂	57,62	59,37	58,015	51,989	56,592	52,478
Al ₂ O ₃	25,85	25,22	25,97	30,076	26,73	29,491
FeO	0,14	0,28	0,311	0,286	0,022	0,045
MgO	0,00	0,00	0,013	0,002	0,02	0,002
MnO	0,00	0,00	0	0,042	0	0
TiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd
CaO	7,20	6,24	7,393	11,947	8,094	11,45
Na ₂ O	7,47	8,13	7,487	4,684	6,992	5,011
K ₂ O	0,05	0,02	0,049	0,043	0,044	0,054
BaO	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Total	98,32	99,25	99,238	99,069	98,494	98,531

c: centre

b: bordure

sont plus ou moins zonés. Leur composition est en moyenne de An₄₀. Le centre des plagioclases est plus calcique (An₅₆) que la bordure (An₃₂) (tableau XV).

2.6 Assemblages métamorphiques

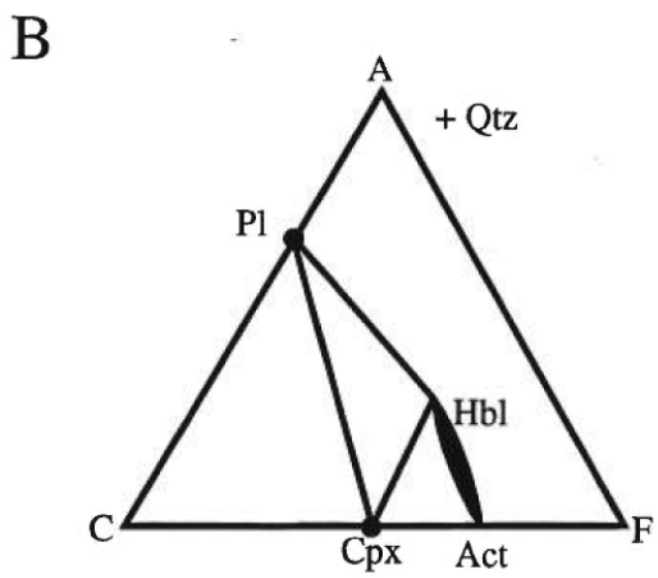
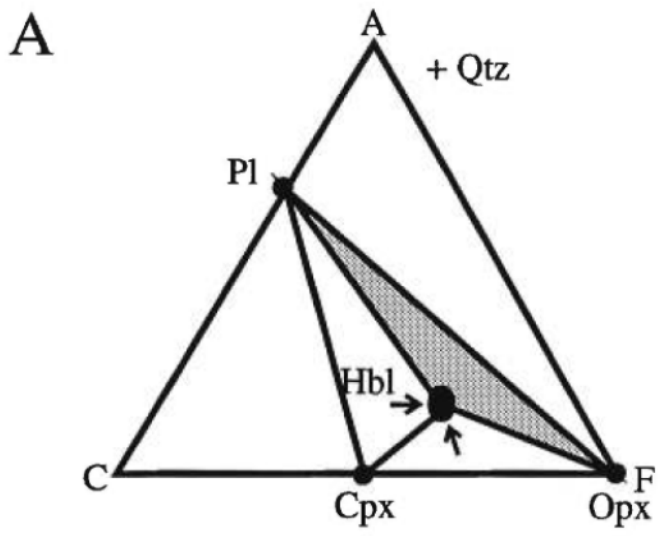
2.6.1 Métagabbros à olivine du dyke de Le Doré

Selon Spear (1993), le faciès granulite se définit par l'apparition première des orthopyroxènes dans les roches qui sont typiquement metabasiques. Toujours selon Spear, l'assemblage des roches mafiques typiques dans la transition entre les faciès amphibolite et granulite comprend l'orthopyroxène + clinopyroxène + plagioclase + hornblende ± biotite ± quartz ± rutile ± ilménite. Cet assemblage minéralogique correspond à ce qui a été observé dans les métagabbros à olivine de Le Doré.

Le diagramme ACF (figure 2.3a) montre les différents assemblages pouvant exister dans les métagabbros à olivine. Les assemblages présentés sont typiques de la transition entre le faciès amphibolite supérieur et le faciès granulite inférieur pour les roches riches en MgO et avec un rapport Na₂O/CaO assez faible (Spear, 1993). Si la roche est pauvre en Al₂O₃ et CaO, l'orthopyroxène peut être stable (Spear, 1993). Dans ce graphique, il faut remarquer que le champ de l'amphibole est moins grand qu'au faciès amphibolite supérieur. Le champ de l'amphibole tend à diminuer avec la déshydratation lors de l'augmentation de la température et de la pression.

Un assemblage univariant de quatre phases est possible: hornblende + clinopyroxène + orthopyroxène + plagioclase. De plus, il est possible d'avoir trois assemblages bivariant de trois phases: plagioclase + hornblende + clinopyroxène,

Figure 2.3. Diagramme ACF montrant la transition entre les assemblages des faciès amphibolite supérieur et granulite inférieur. (a) Faciès granulite inférieur. On remarque l'assemblage observé dans le métagabbro à olivine en gris. De plus, on peut voir que le champ de la hornblende est plus petit qu'au faciès amphibolite supérieur. Ce champ diminue ou grandit en fonction de la température. Plus la température est élevée, plus le champ est petit. Les flèches indiquent l'axe principale du changement. (b) Faciès amphibolite supérieur. Spear, 1993.



plagioclase + hornblende + orthopyroxène et hornblende + clinopyroxène + orthopyroxène. Finalement, deux assemblages bivariants de deux phases sont possibles: clinopyroxène + hornblende et orthopyroxène + hornblende. Dans la plupart des metabasites, on peut voir les assemblages suivants: plagioclase + hornblende (celui qui est utilisé pour calculer les températures à l'aide du thermomètre de Holland et Blundy, 1994) et plagioclase + hornblende + clinopyroxène.

2.6.2 Métagabbros à rosettes du dyke de Le Doré et de la Suite Mafique de Lillian

Dans les métagabbros du dyke de Le Doré comprenant des rosettes, l'assemblage métamorphique du faciès amphibolite est observé. Les métagabbros se composent principalement d'amphibole, de plagioclase calcique, de biotite et de chlorite, ce qui est typique des faciès amphibolites.

Selon Yardley (1989), dans la zone de la chlorite et de la biotite, les roches semblent préserver leur texture ignée tout en étant composées entièrement de minéraux métamorphiques comme la chlorite, l'épidote, l'albite, l'actinote et le quartz. De plus, la calcite et la biotite sont souvent observées. Les métagabbros à rosettes préservent eux aussi leur texture sub-ophitique ignée malgré leur métamorphisme. Par contre, dans les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian et du dyke de Le Doré, l'actinote n'existe pas. C'est plutôt la hornblende qui est observée, ce qui est assez rare dans les faciès de faible grade (Yardley, 1989). De plus, Spear (1993) dit que les chlorites retrouvées dans le faciès amphibolite sont généralement riches en Mg; c'est ce qui a été observé dans les chlorites retrouvées dans les deux types de métagabbros

(tableau XII et XIV). Les métagabbros contenant des rosettes seraient donc métamorphisés au faciès des amphibolites.

Le diagramme ACF (figure 2.3b) montre les différents assemblages métamorphiques pouvant exister dans les metabasites au faciès amphibolite supérieur. Selon Spear (1993), l'assemblage hornblende + clinopyroxène + plagioclase calcique \pm quartz est possible pour les roches ayant un rapport $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$ faible et étant riches en magnésium.

Dans ce diagramme, on remarque que l'assemblage de deux phases est plagioclase + hornblende \pm quartz (celui qui est utilisé pour le thermomètre de Holland et Blundy), tandis que l'assemblage de trois phases est plagioclase + hornblende + clinopyroxène.

2.7 Discussion

Les différences du rapport $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ dans les grains d'olivine entourées de clinopyroxène ou de couronne s'expliquent par la diffusion (ce phénomène sera discuté au chapitre 4) du magnésium vers le plagioclase, lors de la formation des couronnes de réaction. En conséquence, le magnésium se concentre plus dans les bandes d'amphibole qui sont plus proche du plagioclase que dans la bande d'orthopyroxène. Dans la couronne d'orthopyroxène, le rapport $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ est plus élevé au centre de la couronne et au contact avec l'olivine qu'au contact avec la bande d'amphibole. Cette différence de composition s'explique encore par la diffusion du Mg vers la bordure d'amphibole. La concentration en MgO est plus élevée au contact avec

l'olivine car celle-ci est riche en MgO. La concentration au centre est plus élevée parce que la diffusion se fait dans la direction du plagioclase, tandis que près du contact de la biotite et de l'amphibole, le rapport Mg/Mg+Fe est plus faible parce que la couronne d'orthopyroxène échange le magnésium avec la biotite ou l'amphibole.

Malgré leur grande ressemblance pétrographique, les rosettes retrouvées dans les deux types de métagabbros, ont des différences dans le rapport Mg/Mg+Fe dans la composition des différentes amphiboles. La bande de réaction d'amphibole est plus riche en MgO que la bordure des rosettes. Cette différence est certainement causée par la présence de l'olivine dans les métagabbros à olivine, cette dernière apporte donc le Mg à la bordure d'amphibole.

Le bande de réaction d'amphibole et les bordures d'amphibole des rosettes sont riches en Na₂O et en CaO, ce qui est probablement le résultat de la diffusion du Na⁺ et du Ca²⁺ du plagioclase vers l'amphibole. Les amphiboles retrouvées dans le coeur des rosettes du dyke de Le Doré sont pauvres en Na₂O et en CaO parce que les amphiboles remplacent les olivines, qui au départ, sont peu concentrées dans ces éléments. Par contre, la relation inverse s'observe dans les amphiboles retrouvées dans le coeur des rosettes des métagabbros de la Suite Mafique de Lillian. Ces amphiboles sont riches en Na₂O et en CaO ce qui peut s'expliquer par le remplacement avancé de l'olivine ou du clinopyroxène par les amphiboles, contrairement aux amphiboles observées dans le coeur des rosettes du métagabbro de Le Doré.

Les clinopyroxènes sont plus concentrés en MgO dans les métagabbros contenant des couronnes de réaction autour des olivines que dans les métagabbros avec des rosettes. Cette variation dans la concentration de MgO s'explique par

l'altération en amphibole des clinopyroxènes dans les métagabbros à rosette.

Dans les deux types de métagabbros, les plagioclases ont une composition plus faible en anorthite dans la bordure que dans le centre. La bordure des plagioclases est plus riche en sodium tandis que le centre des plagioclases est plus riche en calcium. Cette différence de concentration s'explique par la diffusion CaAl-NaSi se produisant lors de la formation des couronnes. Cette diffusion a pu être facilitée par la présence d'un fluide externe (St-Onge et Ijewliw (1996)). Les plagioclases, une fois produits ne peuvent pas changer facilement de composition par diffusion. Ils peuvent par contre se rééquilibrer avec les minéraux coexistants (St-Onge et Ijewliw (1996) et Spear et Florence (1992)).

2.8 Conclusion

Le métagabbro du Dyke de Le Doré se distingue facilement des métagabbros de la Suite mafique de Lillian lorsqu'il est situé au bas de la séquences (échantillon 4202-A par exemple sur la figure 2.1). Par contre, lorsque nous avons un échantillon pris plus haut dans la séquence (par exemple 4298) cette distinction se fait moins bien entre les deux types de métagabbros, car dans les deux cas nous retrouvons des rosettes d'amphiboles. Le même genre de relation est aussi observée lorsqu'une comparaison est faite entre les clinopyroxènes. Ils sont moins altérés dans les métagabbros contenant des olivines que dans ceux contenant des rosettes d'amphiboles.

Chapitre 3

Géochimie

3.1 Introduction

Le chapitre 2 traitait de la pétrographie des minéraux retrouvés dans les métagabbros du dyke de Le Doré. Le présent chapitre a pour objectif de présenter les caractéristiques géochimiques des métagabbros à olivine et à rosette du dyke de Le Doré. Seul les métagabbros à olivine et à rosette du dyke de Le Doré seront traités. Les comportements des éléments majeurs, des traces et des terres rares seront exposés dans le but de mieux les comprendre. Des diagrammes de discrimination tectonique seront utilisés pour mieux comprendre l'environnement de formation de ces métagabbros et pour ainsi vérifier les hypothèses déjà émises.

3.2 Méthode d'analyse

3.2.1 Méthodes analytiques

Les échantillons des deux types de métagabbros ont été analysés par le Centre de Recherche Minéral (CRM) à Québec. Ces échantillons sont localisés près de la pointe du lac Le Doré dans le dyke de Le Doré de même que plus à l'est dans ce même dyke (figure 2.1). Les échantillons sont représentatifs de la séquence minéralogique du dyke de Le Doré. Ils ont été broyé avec une meule de céramique d'alumine pour l'analyse des éléments en traces, tandis que pour les analyses des éléments majeurs, les échantillons ont été pulvérisés avec des billes de carbure de tungstène.

Les éléments majeurs ont été analysés par la méthode de la fluorescence-X. La

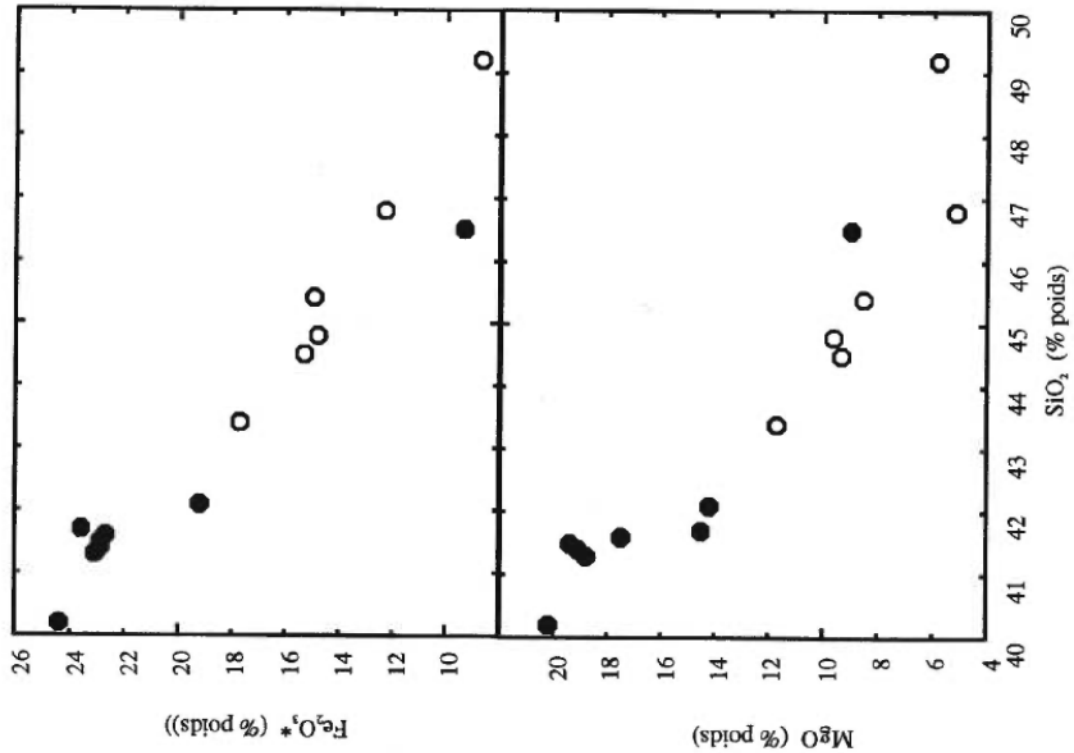
précision de cette méthode pour ces éléments est de 5%. Les éléments traces ont été analysés par activation neutronique avec une précision de 10% pour la teneur de chaque élément. Par contre, certains éléments comme Nb, Rb, Sr, Y et Zr ont eux aussi été analysés par fluorescence-X avec des précisions de 13% (Nb), 15% (Rb), 12% (Sr), 10% (Y) et 7% (Zr). Les échantillons qui ont été analysés spécifiquement pour le Ni et le Co l'ont été à l'aide de la spectrométrie atomique au plasma avec une précision de 5%. Le CRM utilise des étalons géologiques internes de diverses roches pour les calculs de concentration. Les seuils de détection pour certains éléments sont: 5ppm (Ta) 200ppm (Zr) (pour les analyses des métagabbros à olivine), 2ppb (Th), ppb (Ho) et 50ppm (Ir).

3.3 Comportement des éléments majeurs et traces

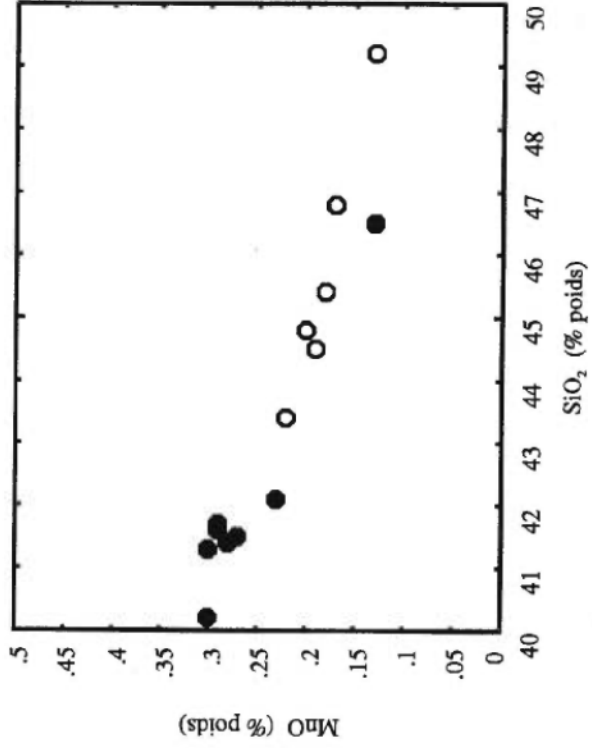
Les analyses des éléments majeurs dans les métagabbros du dyke de Le Doré sont présentées dans les diagrammes de Harker avec en abscisse la silice (SiO_2) (figure 3.1). On peut remarquer que les métagabbros à olivine (cercles pleins sur les figures) sont enrichis en magnésium et appauvris en silice par rapport aux métagabbros à rosette (cercles vides sur les figures). Les teneurs en MgO, en Fe_2O_3 (figure 3.1), en Ni, en Cr et en Co (figure 3.2) sont plus élevées principalement dans les métagabbros à olivine. Ce comportement est assez prévisible puisque ces éléments ont une certaine affinité pour l'olivine et le pyroxène lesquels sont bien représentés dans les métagabbros contenant des olivines.

Figure 3.1 Variation des éléments majeurs Fe_2O_3 , MnO et MgO en fonction de SiO_2 (pourcentage poids). (cercles pleins: métagabbros à olivine; cercles vides: métagabbros à rosette)

A

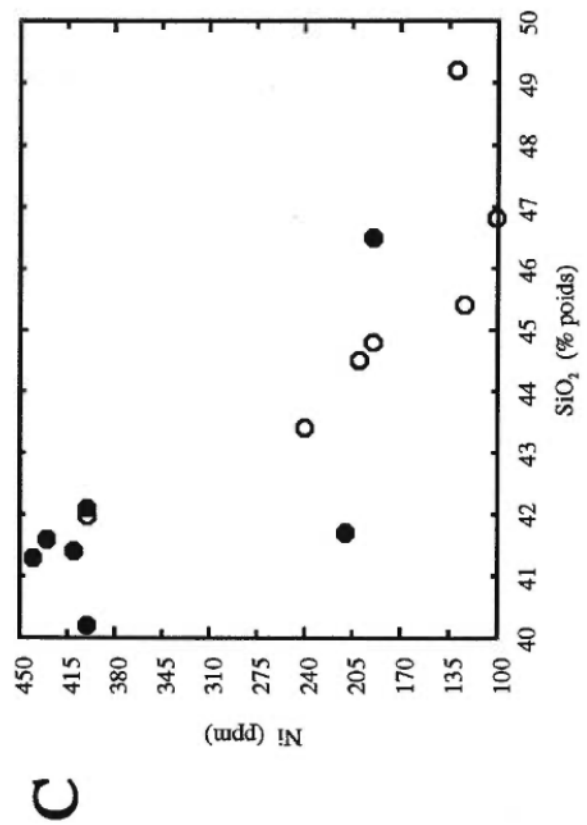
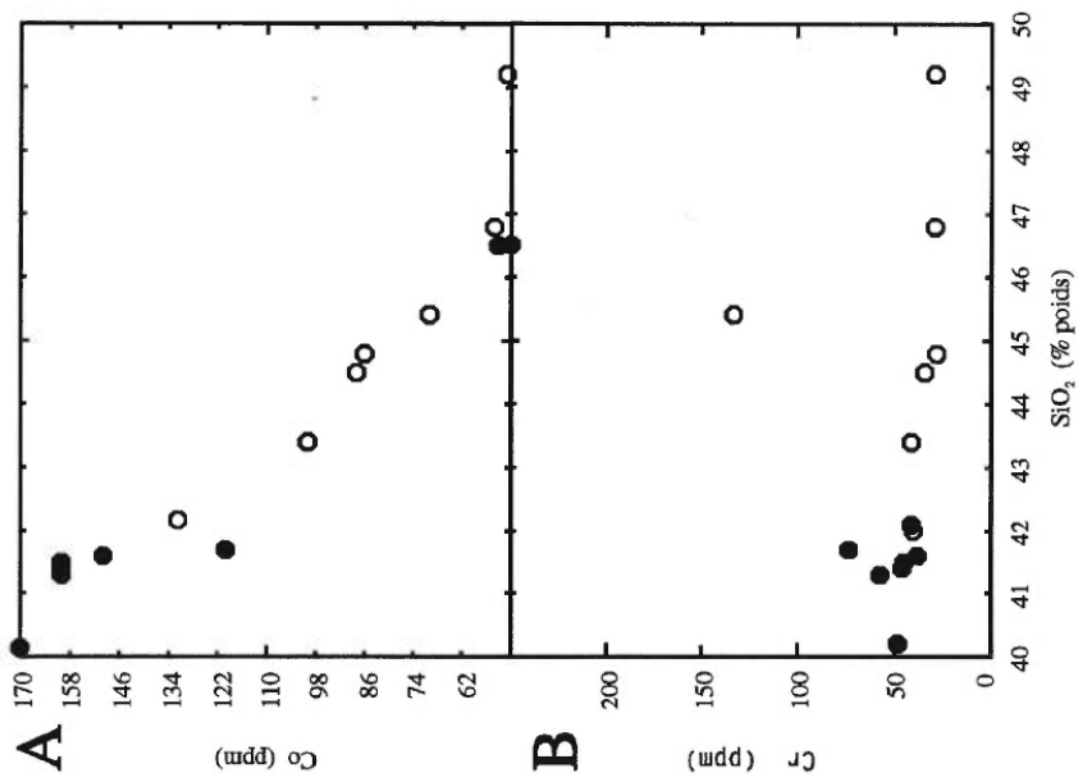


B



C

Figure 3.2 Variation des éléments traces compatibles Co, Ni et Cr (en ppm) en fonction de SiO₂ (pourcentage poids). (cercles pleins: métagabbros à olivine; cercles vides: métagabbros à rosette)



Les teneurs en Co, en Ni et en Cd sont inférieures au seuil défini pour les indices minéralisés. Mais selon Verpaelst *et al.* (1996), elles sont nettement anormales pour la région du lac Le Doré.

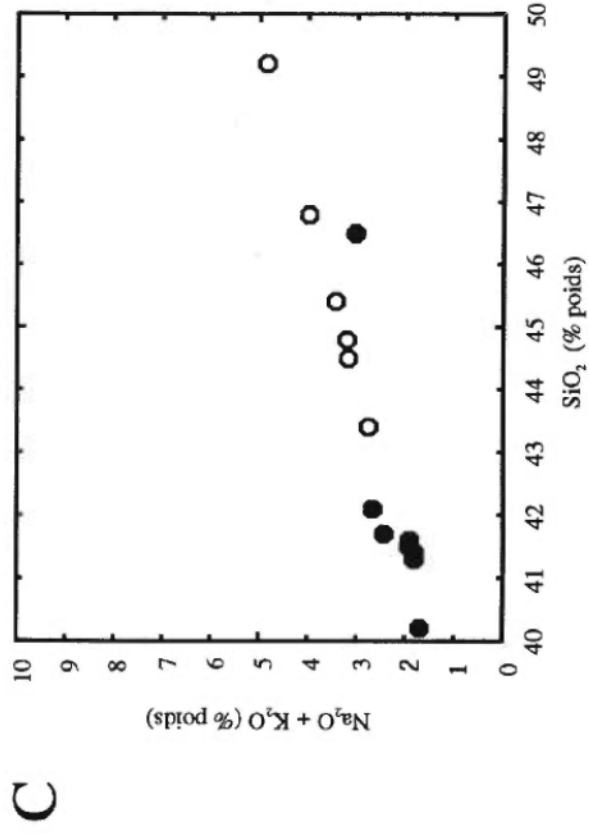
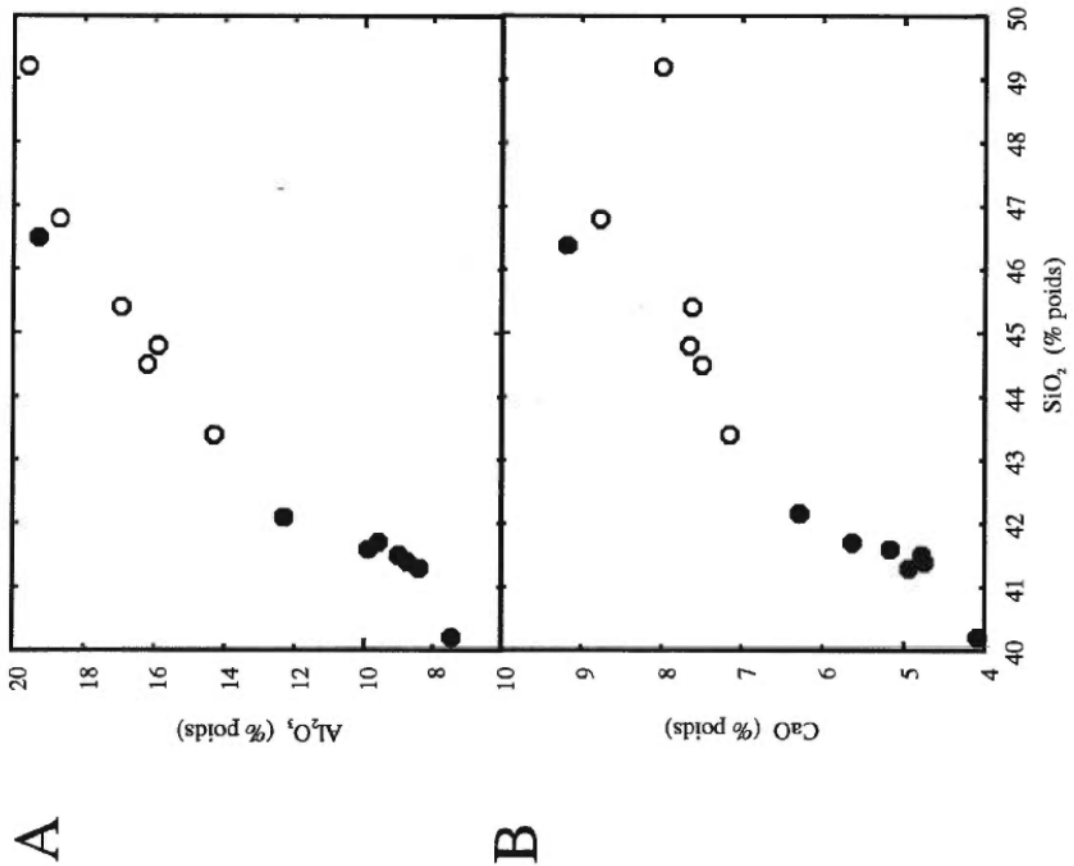
Les éléments alcalins Na_2O et K_2O ont des teneurs très faibles (figure 3.3) dans les métagabbros à olivine, tandis que dans les métagabbros à rosette les éléments alcalins sont plus abondants (figure 3.3). Cette relation peut certainement s'expliquer par la présence plus grande des plagioclases et des amphiboles dans les métagabbros à rosette.

Le calcium (CaO) et l'aluminium (Al_2O_3) sont plus concentrés dans les métagabbros à rosette que dans les métagabbros à olivine (figure 3.3). La variation de ces composantes est habituellement contrôlée par la présence de plagioclase dans les roches. En effet, les métagabbros à rosette contiennent plus de plagioclase que les métagabbros à olivine. Cette variation aurait donc pu être contrôlée par la cristallisation du plagioclase.

Pour la majorité des éléments retrouvés dans les figures 3.1 à 3.3 on peut remarquer une tendance linéaire régulière avec une différence nette entre les métagabbros à olivine et les métagabbros à rosette. Cette linéarité entre les différents métagabbros peut laisser croire à une certaine tendance cogénétique entre les métagabbros à rosettes et les métagabbros à olivine.

Lors de la cristallisation fractionnée, les éléments ayant un petit rayon ionique, comme le Mg, le Ni, le Cr et le Co se concentrent principalement dans les premières phases de la cristallisation, tandis que les éléments incompatibles (Y et Zr), avec un grand rayon ionique ou des charges élevées, se retrouvent habituellement

Figure 3.3 Variation de Al_2O_3 , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ et CaO (pourcentage poids) en fonction de SiO_2 (pourcentage poids). Figure 5.8. (cercles pleins: métagabbros à olivine; cercles vides: métagabbros à rosette)



dans le liquide résiduel. Les métagabbros à olivine sont enrichis en MgO, en Ni, en Cr et en Co, tandis que les métagabbros comprenant des rosettes ont des compositions plus élevées pour Y (figure 3.4). Par contre, les teneurs en Y pour le métagabbro du dyke de Le Doré ne sont pas présentes dans la majorité des analyses (tableau XVI). De plus, aucune variation significative dans la teneur en zirconium (Zr) n'a été observée (figure 3.4). Il faut noter que la grande majorité des analyses de Zr se retrouvent sous le seuil de détection de la méthode d'analyse. Il est donc possible de croire que les métagabbros à olivine ont cristallisé avant les métagabbros à rosette.

Les métagabbros du dyke de Le Doré ne montrent aucun enrichissement significatif en phosphore (P_2O_5) (figure 3.5). Le pourcentage de phosphore varie entre 0,13% et 0,35% dans les deux types de métagabbros. Cette oscillation est certainement l'évidence de la variation en apatite dans les métagabbros.

Le diagramme ternaire de AFM (figure 3.6a) de Irvine et Baragar (1971) nous montre une tendance tholéitique des métagabbros du dyke de Le Doré. Ces métagabbros montrent un enrichissement en fer tout comme ce qui a été observé par Verpaelst *et al.* (1996) dans les métagabbros de la région du lac Le Doré. L'échantillon 4216-B a un comportement un peu différent des autres métagabbros; il est moins enrichi en fer et plus riche en éléments alcalins que les autres échantillons. En effet, cet échantillon contient plus de plagioclase et d'amphibole que les autres métagabbros. Les métagabbros ont été placés dans un diagramme ACF (figure 3.6b) et il est possible de remarquer leur tendance linéaire avec un enrichissement en fer et en magnésium des métagabbros à olivine. De plus, les métagabbros à rosette montrent une certaine

Figure 3.4 Variation des éléments traces incompatibles Y et Zr (en ppm) en fonction de SiO₂ (pourcentage poids). (cercles pleins: métagabbros à olivine; cercles vides: métagabbros à rosette)

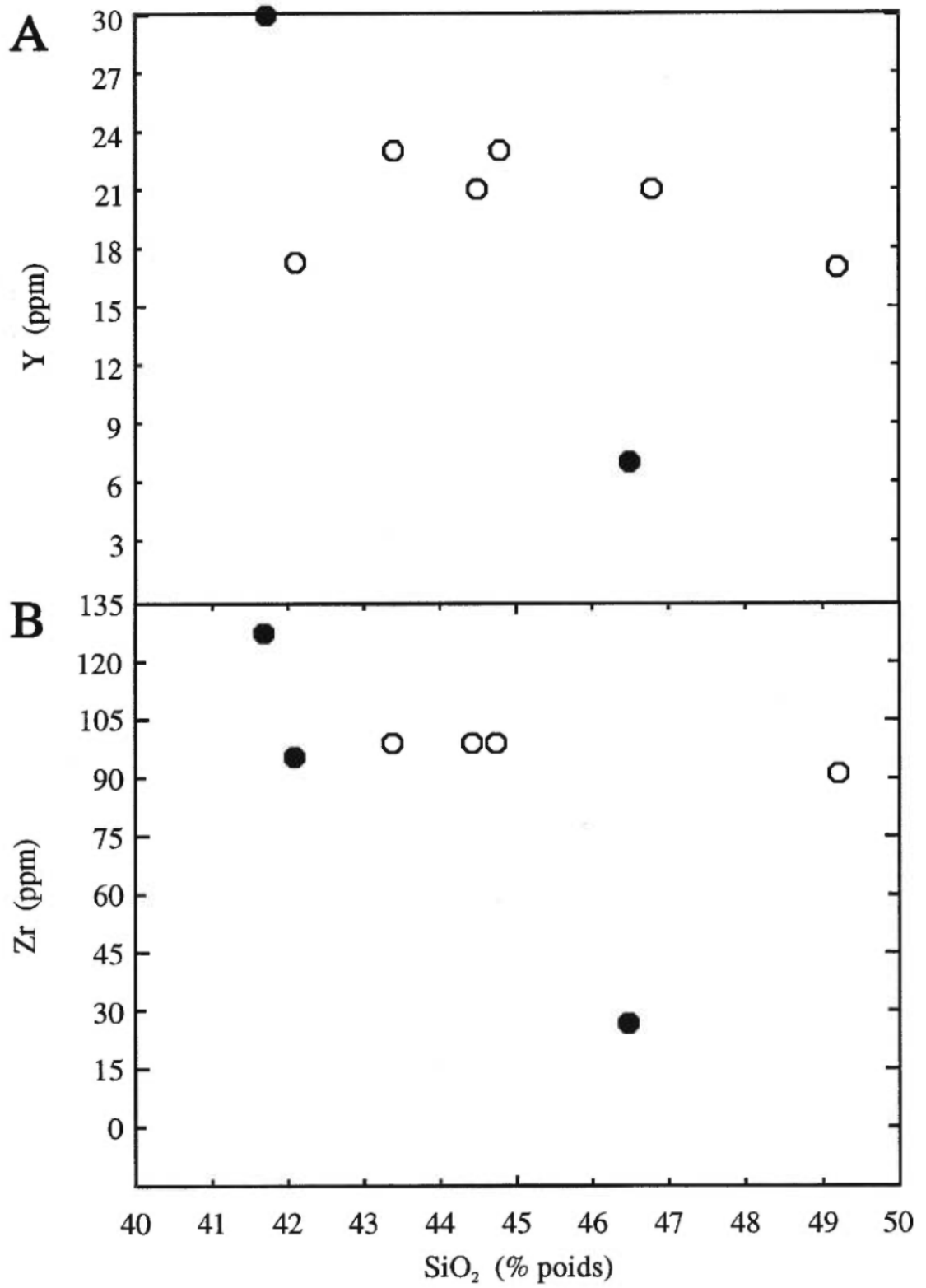


Figure 3.5 Variation de P_2O_5 (pourcentage poids) en fonction de TiO_2 et SiO_2 (pourcentage poids). (cercles pleins: métagabbros à olivine; cercles vides: métagabbros à rosette)

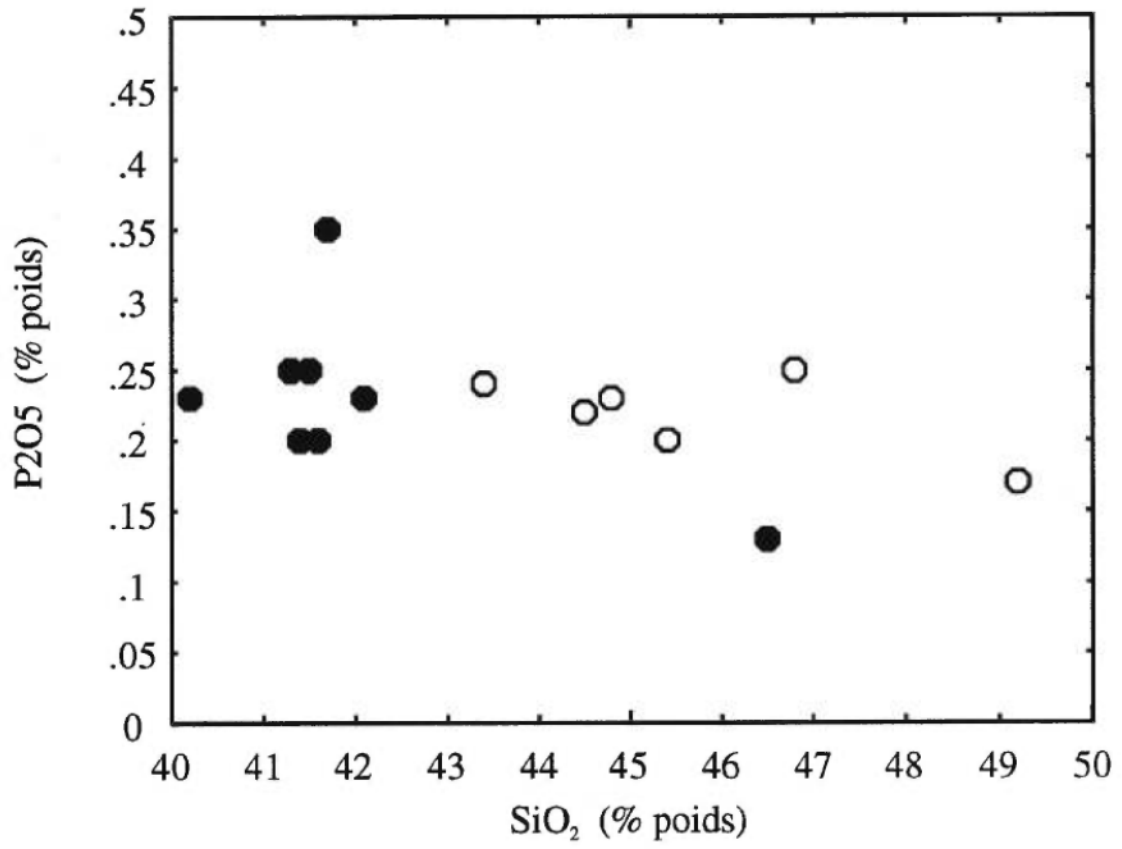


Tableau XVI Analyses chimiques des métagabbros du dyke de LeDoré

Échantillon	95-IL-4202	95-IL-4203	95-IL-4204-A	95-IL-4204-B	95-IL-4301
	G.O	G.O	G.O	G.O	G.O
SiO ₂	40,20	41,60	41,30	41,40	41,50
TiO ₂	1,45	1,36	1,61	1,25	1,30
Al ₂ O ₃	7,47	9,86	8,40	8,75	8,99
Fe ₂ O ₃ *	24,40	22,70	23,10	22,90	22,90
MnO	0,30	0,29	0,30	0,28	0,27
MgO	20,20	17,50	18,80	19,10	19,40
CaO	4,09	5,17	4,94	4,75	4,78
Na ₂ O	1,29	1,57	1,45	1,44	1,55
K ₂ O	0,42	0,34	0,37	0,37	0,38
P ₂ O ₅	0,23	0,20	0,25	0,20	0,25
LOI	-0,09	-1,14	-1,03	-0,93	-0,95
Cr	48	38	57	46	45
Ni	400	430	440	410	450
Co	170	150	160	160	160
Sc	19	18	20	16	17
V	132	11n.a.	144	111	119
Cu	26	27	25	21	21
Pb	<12	<12	<12	<12	<12
Zn	176	172	174	166	164
Cd	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Sn	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
W	1,00	2,00	2,00	2,00	1,00
Mo	<4	<4	<4	<4	<4
As	1,80	0,60	0,90	0,50	0,50
Se	<5	<5	<5	<5	<5
Sb	0,40	<1	0,20	<1	<1
Te	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ag	<2	<2	<2	<2	<2
Ir	<50	<50	<50	<50	<50
Au	<2	<2	<2	<2	<2
Rb	22	14	23	20	9
Cs	0,50	0,50	0,60	0,60	0,70
Ba	149	136	147	147	148
Sr	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ga	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Li	6,00	5,00	7,00	7,00	7,00
Ta	<0.5	1,00	0,60	<0.5	<0.5
Nb	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Hf	2,20	2,30	2,20	2,00	1,90
Zr	<200	<200	<200	<200	<200
Y	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Th	1,10	1,10	1,00	0,90	1,00
U	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
La	11,00	10,00	11,00	10,00	10,00

Tableau XVI Analyses chimiques des métagabbros du dyke de LeDoré

Échantillon	95-IL-4202	95-IL-4203	95-IL-4204-A	95-IL-4204-B	95-IL-4301
	G.O	G.O	G.O	G.O	G.O
Ce	22,00	20,00	22,00	19,00	21,00
Pr	<10	<10	<10	<10	<10
Nd	14,00	15,00	15,00	12,00	14,00
Sm	3,60	3,30	3,60	3,20	3,20
Eu	1,20	1,20	1,20	1,00	1,10
Tb	0,50	0,50	0,40	0,30	0,50
Dy	<1	<1	<1	<1	<1
Ho	0,70	0,70	<0.5	<0.5	<0.5
Yb	1,80	1,50	1,60	1,60	1,50
Lu	0,70	0,20	0,20	0,20	0,20
Br	0,60	0,50	0,70	1,20	0,60
Be	170,00	180,00	160,00	180,00	170,00

n.a.: non analysé

< : plus petit que la limite de détection

Tableau XVI Analyses chimiques des métagabbros du dyke de LeDoré

Échantillon	95-IL-4198	95-IL-4199a	95-IL-4215	95-IL-4216b	95-IL-4214a
	G.R.	G.R.	G.R.	G.R.	G.R.
SiO ₂	46,80	44,80	44,50	49,20	43,40
TiO ₂	2,38	1,47	1,57	1,29	1,82
Al ₂ O ₃	18,70	15,90	16,20	19,60	14,30
Fe ₂ O ₃ *	12,30	14,80	15,30	8,69	17,70
MnO	0,17	0,20	0,19	0,13	0,22
MgO	5,16	9,63	9,33	5,84	11,70
CaO	8,77	7,65	7,49	8,00	7,15
Na ₂ O	3,21	2,48	2,47	3,97	2,34
K ₂ O	0,77	0,72	0,70	0,89	0,41
P ₂ O ₅	0,25	0,23	0,22	0,17	0,24
LOI	0,59	1,13	1,18	1,61	1,10
Cr	29	28	34	29	41
Ni	100	190	200	130	240
Co	54	86	88	51	100
Sc	22	16	17	14	17
V	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Cu	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Pb	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Zn	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Cd	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Sn	<10	<10	<10	<10	<10
W	<1	<1	<1	<1	<1
Mo	<1	<1	<1	<1	<1
As	1,40	3,00	3,20	2,60	25,00
Se	<5	<5	<5	<5	<5
Sb	1,70	3,70	3,60	1,40	4,90
Te	<10	<10	<10	<10	<10
Ag	<2	<2	<2	<2	<2
Ir	<50	<50	<50	<50	<50
Au	<2	<2	<2	<2	<2
Rb	18	25	33	34	20
Cs	1,30	1,40	1,30	1,80	1,00
Ba	330	200	190	390	210
Sr	420	340	340	510	300
Ga	18	16	17	20	20
Li	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ta	<5	<5	<5	<5	<5
Nb	13,0	13,0	12,0	6,0	14,0
Hf	3,30	2,70	2,80	2,80	2,70
Zr	290	100	100	92	100
Y	21	23	21	17	23
Th	1,70	1,30	1,30	3,40	1,10
U	<0.5	<0.5	<0.5	1,30	<0.5
La	15,00	13,00	13,00	17,00	13,00

Tableau XVI Analyses chimiques des métagabbros du dyke de LeDoré

Échantillon	95-IL-4198	95-IL-4199a	95-IL-4215	95-IL-4216b	95-IL-4214a
	G.R.	G.R.	G.R.	G.R.	G.R.
Ce	36,00	31,00	30,00	40,00	31,00
Pr	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Nd	19,00	14,00	16,00	15,00	15,00
Sm	4,60	4,00	4,00	4,30	3,90
Eu	2,00	1,70	1,80	1,60	1,60
Tb	0,30	0,60	0,60	0,70	0,70
Dy	0,00	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ho	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Yb	2,30	1,90	1,90	2,10	1,90
Lu	0,30	0,20	0,30	0,30	0,20
Br	1,10	0,90	1,20	61,00	2,20
Be	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a.: non analysé

< : plus petit que la limite de détection

Tableau XVI Analyses chimiques des métagabbros du dyke de LeDoré

Echantillon	95-IL-4214b	95-IL-4201	95-ab-3004-a	95-il-4203-a	95-lm-2008a
	G.R.	G.R.	G.O	G.O	G.O
SiO ₂	42,10	45,41	41,70	41,60	46,50
TiO ₂	1,55	1,65	2,48	1,36	0,76
Al ₂ O ₃	12,30	16,95	9,58	9,86	19,30
Fe ₂ O ₃ *	19,20	14,96	23,60	22,70	9,32
MnO	0,23	0,18	0,29	0,29	0,13
MgO	14,20	8,53	14,50	17,50	8,98
CaO	6,38	7,62	5,63	5,17	9,18
Na ₂ O	2,12	2,72	1,97	1,57	2,49
K ₂ O	0,55	0,71	0,46	0,34	0,54
P ₂ O ₅	0,23	0,20	0,35	0,20	0,13
LOI	0,92	0,70	1,09	1,14	2,79
Cr	41	133	73	38	260
Ni	400	124	210	430	190
Co	130	70	120	150	53
Sc	20	0	23	18	16
V	n.a.	n.a.	246	11n.a.	n.a.
Cu	n.a.	86	46	27	n.a.
Pb	n.a.	4	n.a.	n.a.	n.a.
Zn	n.a.	144	178	172	n.a.
Cd	n.a.	n.a.	n.a.	5,00	n.a.
Sn	<10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
W	<1	n.a.	n.a.	2,00	n.a.
Mo	<1	3,00	<1	n.a.	n.a.
As	22,00	4,90	n.a.	n.a.	n.a.
Se	<5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Sb	1,40	2,70	n.a.	n.a.	<1
Te	<10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ag	<2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ir	<50	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Au	<2	5,0	n.a.	n.a.	n.a.
Rb	18	n.a.	14	14	11
Cs	0,50	n.a.	n.a.	n.a.	3,00
Ba	210	290	230	180	310
Sr	280	410	250	n.a.	560
Ga	15	n.a.	14	n.a.	13
Li	n.a.	n.a.	9,00	5,00	n.a.
Ta	<5	n.a.	n.a.	1,00	n.a.
Nb	12,0	n.a.	30,0	n.a.	8,0
Hf	2,90	n.a.	3,00	2,00	1,00
Zr	97	n.a.	130	n.a.	27
Y	17	n.a.	30	n.a.	7
Th	1,20	n.a.	1,00	1,10	n.a.
U	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
La	13,00	n.a.	16,00	10,00	5,00

Tableau XVI Analyses chimiques des métagabbros du dyke de LeDoré

Échantillon	95-IL-4214b	95-IL-4201	95-ab-3004-a	95-il-4203-a	95-lm-2008a
	G.R.	G.R.	G.O	G.O	G.O
Ce	33,00	0,00	30,00	20,00	9,00
Pr	n.a.	n.a.	n.a.	<10	n.a
Nd	14,00	0,00	20,00	15,00	7,00
Sm	4,10	0,00	4,00	3,00	2,00
Eu	1,80	0,00	1,00	1,00	0,00
Tb	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy	n.a.	n.a.	n.a.	<1	n.a.
Ho	<0.5	n.a.	1,00	<0.5	n.a.
Yb	1,80	n.a.	2,00	1,00	1,00
Lu	0,30	n.a.	n.a.	0,20	n.a.
Br	4,30	n.a.	n.a.	0,50	n.a.
Be	n.a.	n.a.	n.a.	180,00	n.a.

n.a.: non analysé

< : plus petit que la limite de détection

Le diagramme $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (figure 3.6c) de Irvine et Baragar (1971) montre que les métagabbros du dyke de Le Doré se situent juste dans les domaines alcalins. Par contre, il faut considérer que le K et le Na sont des éléments très mobiles lors du métamorphisme.

Dans le graphique Cr/Ti de Pearce (1975) (figure 3.7a), on peut voir que les métagabbros du dyke de Le Doré chevauchent les domaines des basaltes de fonds océaniques et des tholéites faibles en potassium. Les métagabbros à olivine sont plus enrichis en Cr que les métagabbros à rosette. De plus la variation en titane ne semble pas tellement grande entre les deux types de métagabbros.

Le diagramme Cr/Ni (figure 3.7b) nous montre que les métagabbros à olivine sont plus enrichis en nickel que les métagabbros à rosette.

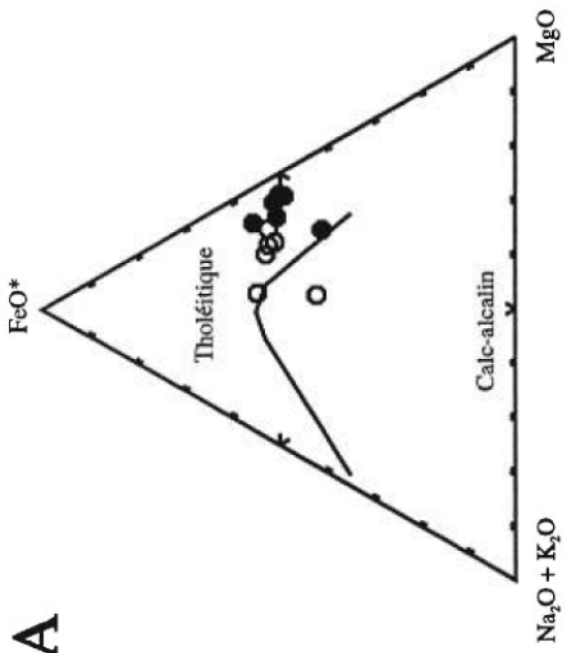
3.4 Comportement des terres rares

Les terres rares présentes dans les roches sont au nombre de quinze avec des numéros atomiques variant entre 57 pour le La et 71 pour le Lu. Ces éléments sont très utiles pour l'étude pétrogénétique des roches car ils ont tous un comportement géochimique similaire. Chaque élément a une valence de +3 sous la plupart des conditions géologiques, à l'exception de Eu qui peut être trivalent ou bivalent et Ce qui peut être tétravalent selon les conditions d'oxydation (Thibert, 1994).

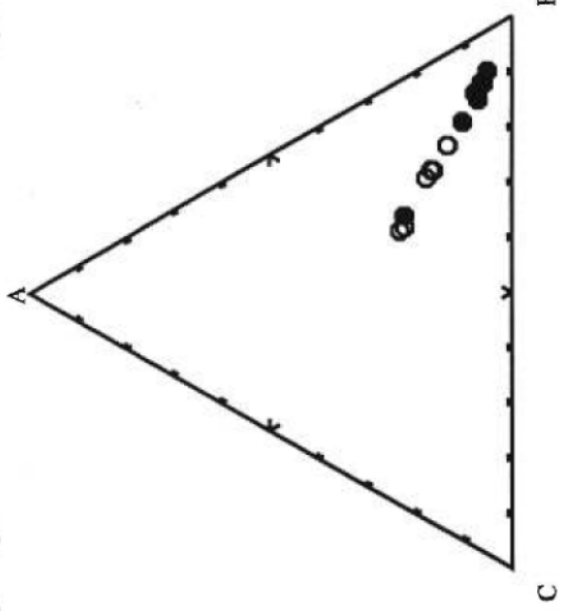
Comme les terres rares ont différentes grandeurs de rayon atomique, certains éléments se retrouveront dans des phases minérales particulières, par exemple l'Eu est plus compatible avec le plagioclase qu'avec l'olivine (figure 3.8 et tableau XVII). L'abondance d'un minéral dans la roche et l'amplitude de son coefficient de partage

Figure 3.6 (a) Diagramme de discrimination entre une suite tholéitique et calc-alcaline de Irvine et Baragar (1971). (b) Diagramme ACF. (c) Diagramme de discrimination entre une suite alcaline et sub-alcaline de Irvine et Baragar (1971). (cercles pleins: métagabbros à olivine; cercles vides: métagabbros à rosette)

A



B



C

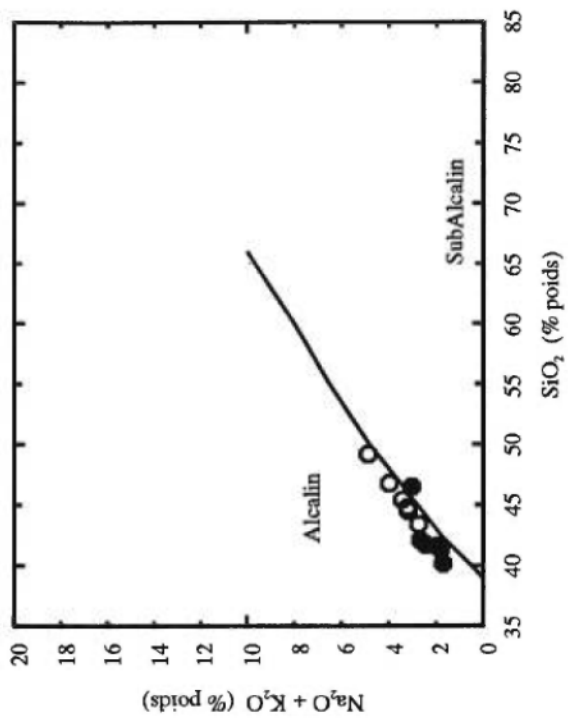
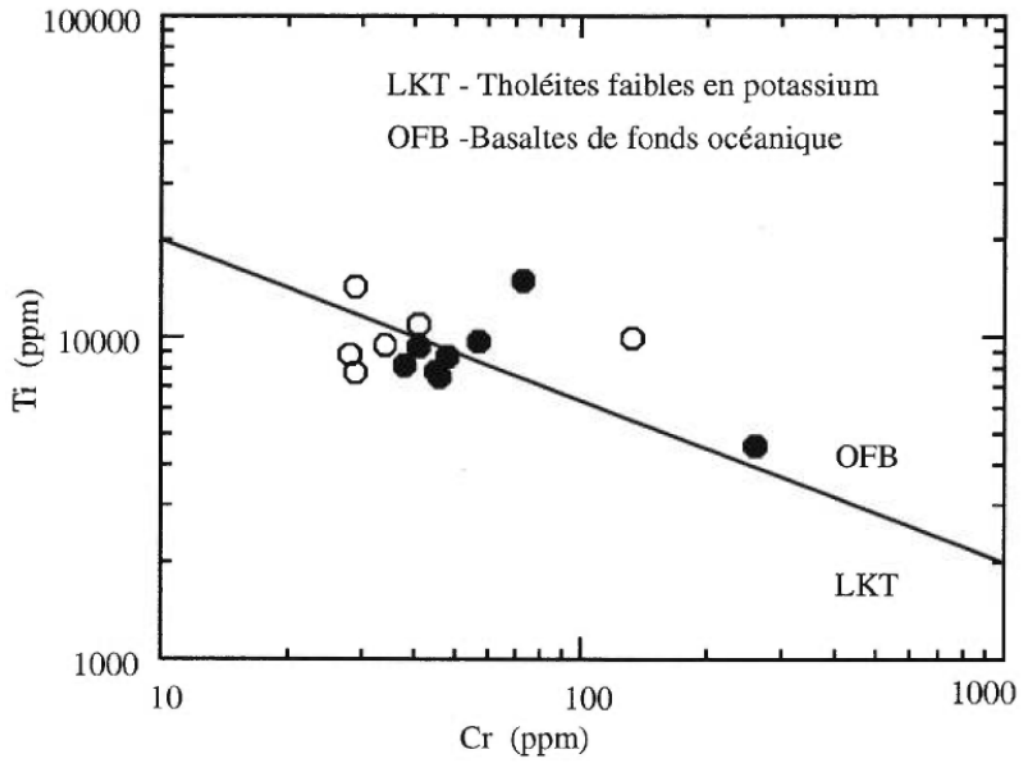
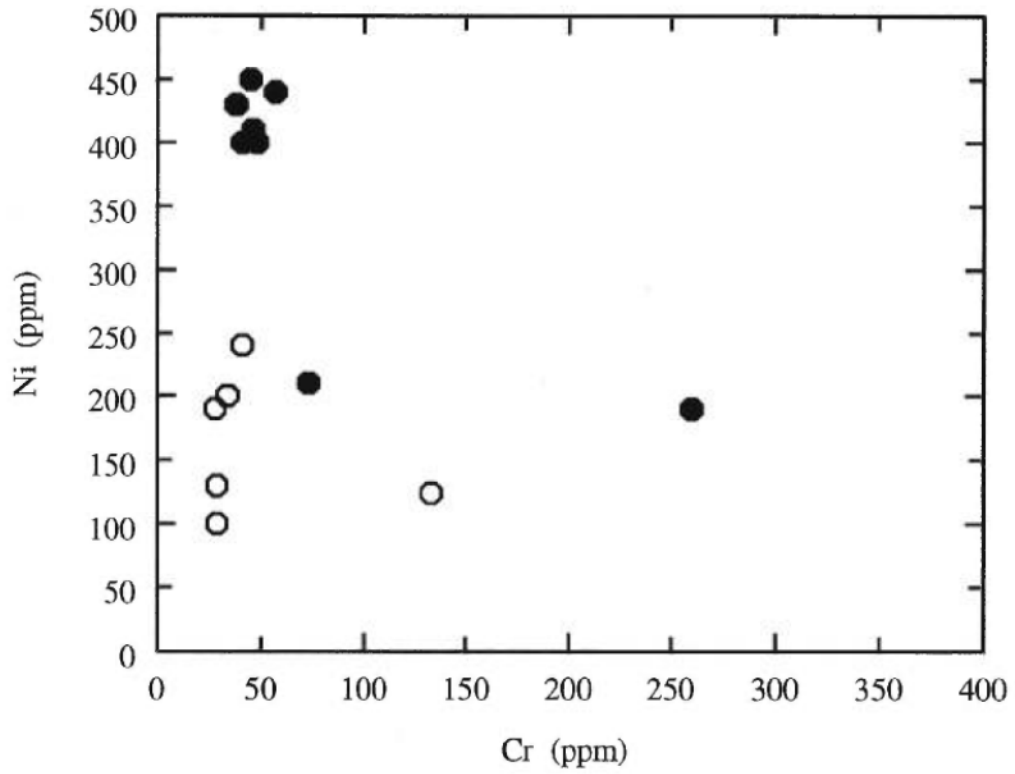


Figure 3.7 (a) Variation du Cr (en ppm) en fonction de Ni (en ppm). (b) Variation de V (en ppm) en fonction de Ti/1000 (en ppm) (diagramme de discrimination de Shervais (1982)). (cercles pleins: métagabbros à olivine; cercles vides: métagabbros à rosette)

A**B**

pour un élément particulier auront un effet caractéristique sur la forme du patron de terres rares du liquide provenant de la fusion partielle ou résultant de la cristallisation fractionnée (Thibert, 1994). Par exemple s'il y a fusion partielle d'une source située dans le manteau, son patron de terres rares sera caractéristique de la composition de cette source et du taux de fusion partielle présent au moment de la formation de la roche. D'un autre côté, une suite de roches reliées par un processus de cristallisation fractionnée aura des patrons de terres rares plus ou moins parallèles si aucun changement n'est survenu durant la cristallisation. Cette relation est une cause de l'augmentation des abondances normalisées avec la différenciation (Thibert, 1994).

Finalement, le degré d'enrichissement des éléments du groupe des terres rares par rapport aux abondances chondritiques sera fonction de leur abondance à la source et du degré de fusion partielle de la source. De plus, la cristallisation fractionnée peut aussi changer le comportement des terres rares. Les phénomènes d'immiscibilité magmatique, de contamination par les roches encaissantes ou de mélange suite à l'injection successive de magma peuvent altérer significativement le patron de distribution des terres rares d'une suite de roches qu'on croit être reliées génétiquement (Thibert, 1994).

La figure 3.9a, nous montre la relation linéaire existante pour les métagabbros à olivine et certains échantillons de métagabbros contenant des rosettes dans le graphique La en fonction de La/Yb. Le même genre de tendance est observé dans la figure 3.9b (La/Yb). Dans ces deux diagrammes, on peut remarquer une tendance linéaire.

La figure illustrant la variation Ce/Nd (figure 3.9c) nous montre que les

Figure 3.8 Variation des terres rares dans le plagioclase, clinopyroxène et olivine, d'après Henderson, 1984.

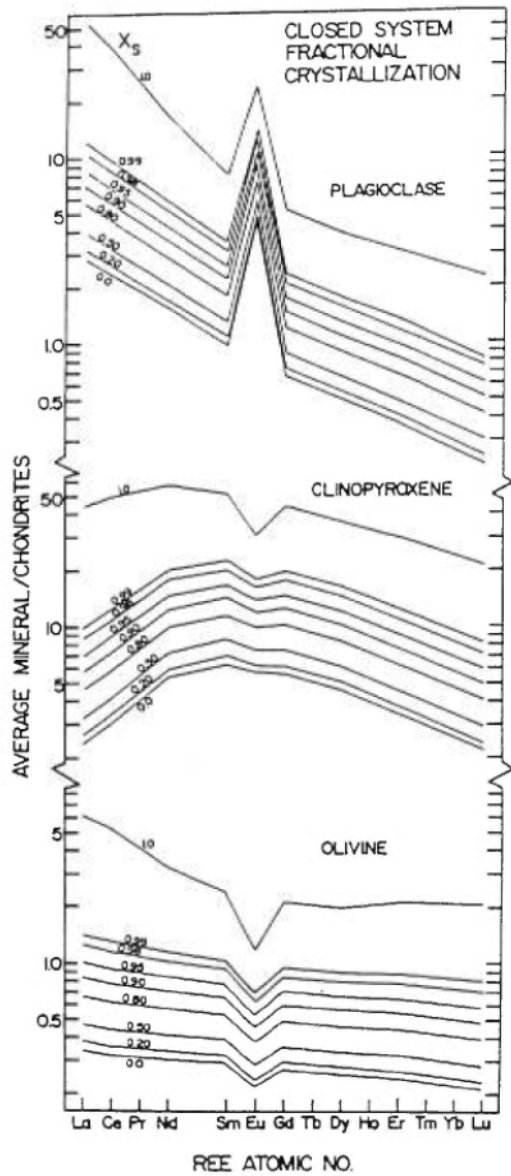


Tableau XVII Variation des terres rares dans les minéraux d'après Henderson (1984)

	Olivine	Ortho- pyroxene	Clino- pyroxene	Amphibole	Plagioclase	Phlogopite ^a	Garnet
La			0.08 ^a	0.27	0.14 ^a		0.05 ^a
Ce	0.009 ^a	0.02	0.34	0.34	0.14 ^a	0.03	0.05 ^a
Nd	0.009 ^a	0.05 ^a	0.6	0.19 ^a	0.08	0.03	
Sm	0.009	0.05	0.9	0.91	0.08	0.03	0.6
Eu	0.008 ^a	0.05 ^a	0.9	1.0	0.32	0.03	0.9
Gd	0.012 ^a		0.9 ^a	1.1	0.10		3.7 ^a
Tb		0.05 ^a	1.0 ^a	1.4			5.6 ^a
Dy	0.012 ^a	0.20 ^a	1.1	0.64 ^a	0.09	0.03	
Ho							19
Er	0.013 ^a	0.31 ^a	1.0	0.48 ^a	0.08		
Tm			1.1 ^a			0.03	
Yb		0.34	1.0	0.97	0.07		30
Lu		0.11 ^a	0.8 ^a	0.89	0.08	0.04	35

^aOnly one or two determinations available.

métagabbros à olivine sont moins riches en Ce que les métagabbros à rosette. Cette relation peut s'expliquer par le fait que dans les métagabbros à rosette il y a plus de plagioclase et d'amphibole que dans les métagabbros à olivine. Ces deux minéraux ont plus d'affinité pour le Ce que l'olivine qui compose les métagabbros à olivine.

Le patron des terres rares obtenu pour le dyke de Le Doré est présenté à la figure 3.10. Les terres rares ont été normalisées sur les valeurs de chondrite de Leedy (Taylor et McLennan, 1985). Comme on peut le voir, les métagabbros du dyke de Le Doré semblent avoir un comportement parallèle, avec une différence entre les métagabbros comportant des olivines et les métagabbros contenant des rosettes. Les métagabbros à rosette sont plus concentrés en terres rares légères que les métagabbros contenant des olivines (figure 3.10a). Les métagabbros à olivine montrent un patron de terres rares relativement plus plat que les métagabbros à rosette (figure 3.10b).

Si on examine de plus près le comportement des terres rares dans les métagabbros à olivine, on peut remarquer une légère anomalie négative en Ce et en Sm. Ces anomalies sont certainement causées par la présence d'olivine et de pyroxène dans ces métagabbros. Le tableau XVII nous montre que ces éléments sont incompatibles dans ces minéraux (Henderson, 1984). De plus, une légère anomalie positive en Nd et en Eu est aussi observable. Habituellement, les anomalies en Eu sont expliquées par la cristallisation du plagioclase; on peut donc penser que l'anomalie en Eu retrouvée dans les métagabbros à rosette du dyke de Le Doré est causée par la présence de plagioclase dans les roches. Par contre, l'anomalie en Nd est certainement causée par la présence de minéraux comme le clinopyroxène (figure 3.8).

Figure 3.9 (a) Variation de La/Yb en fonction de La (en ppm). (b) Variation de Yb (en ppm) en fonction de La (en ppm). (c) Variation de Nd (en ppm) en fonction de Ce (ppm). (cercles pleins: métagabbros à olivine; cercles vides: métagabbros à rosette)

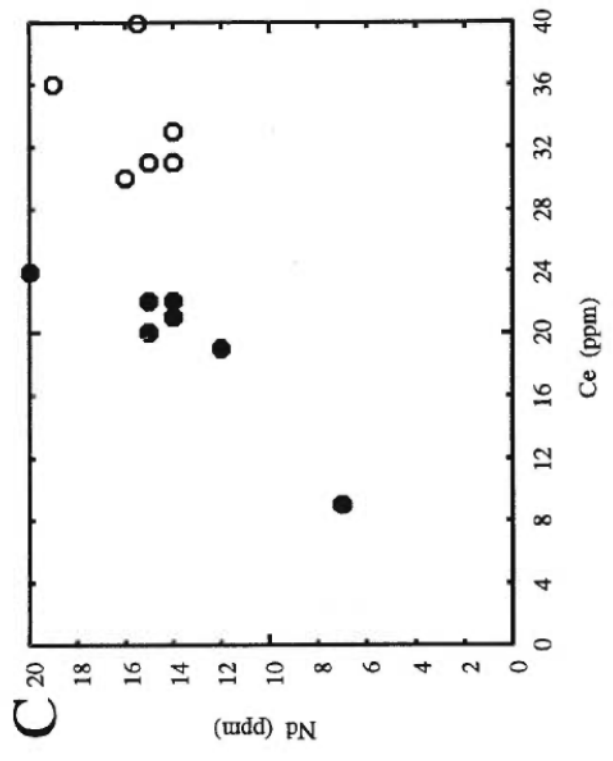
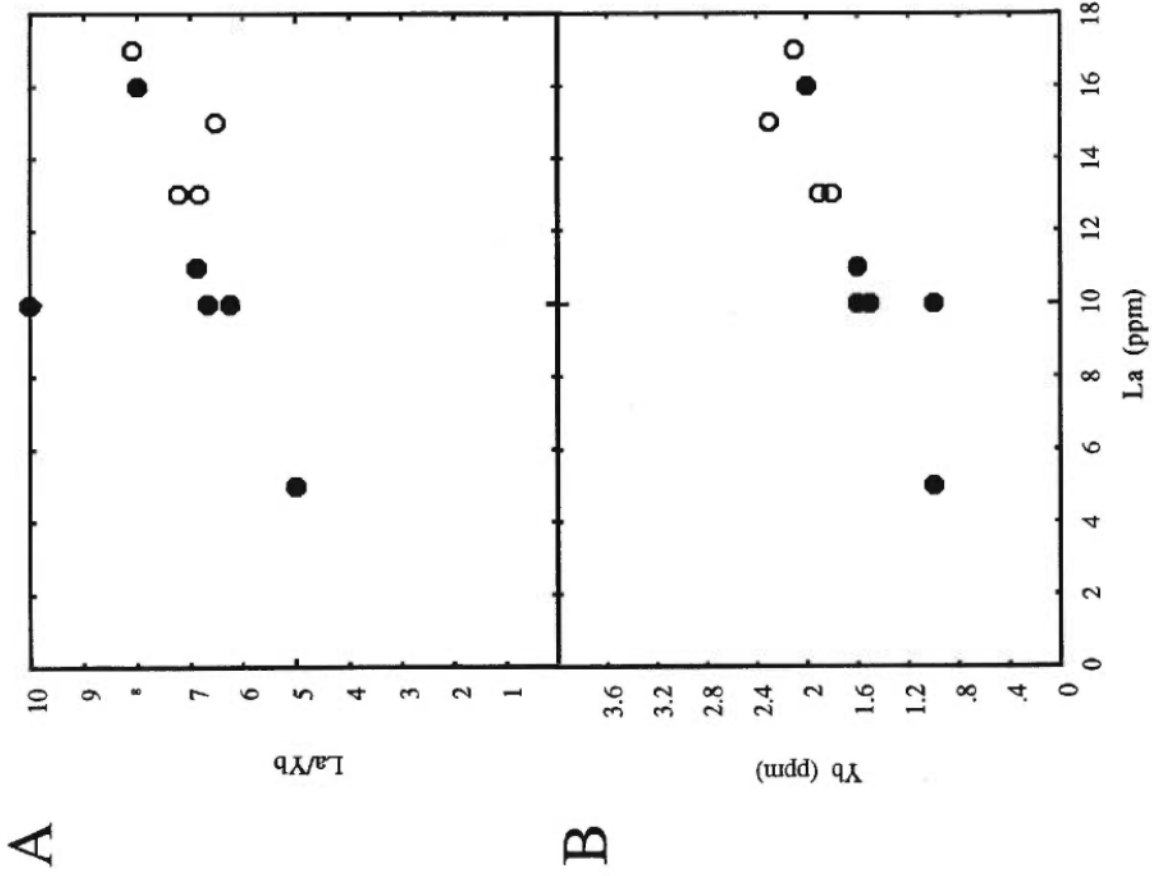
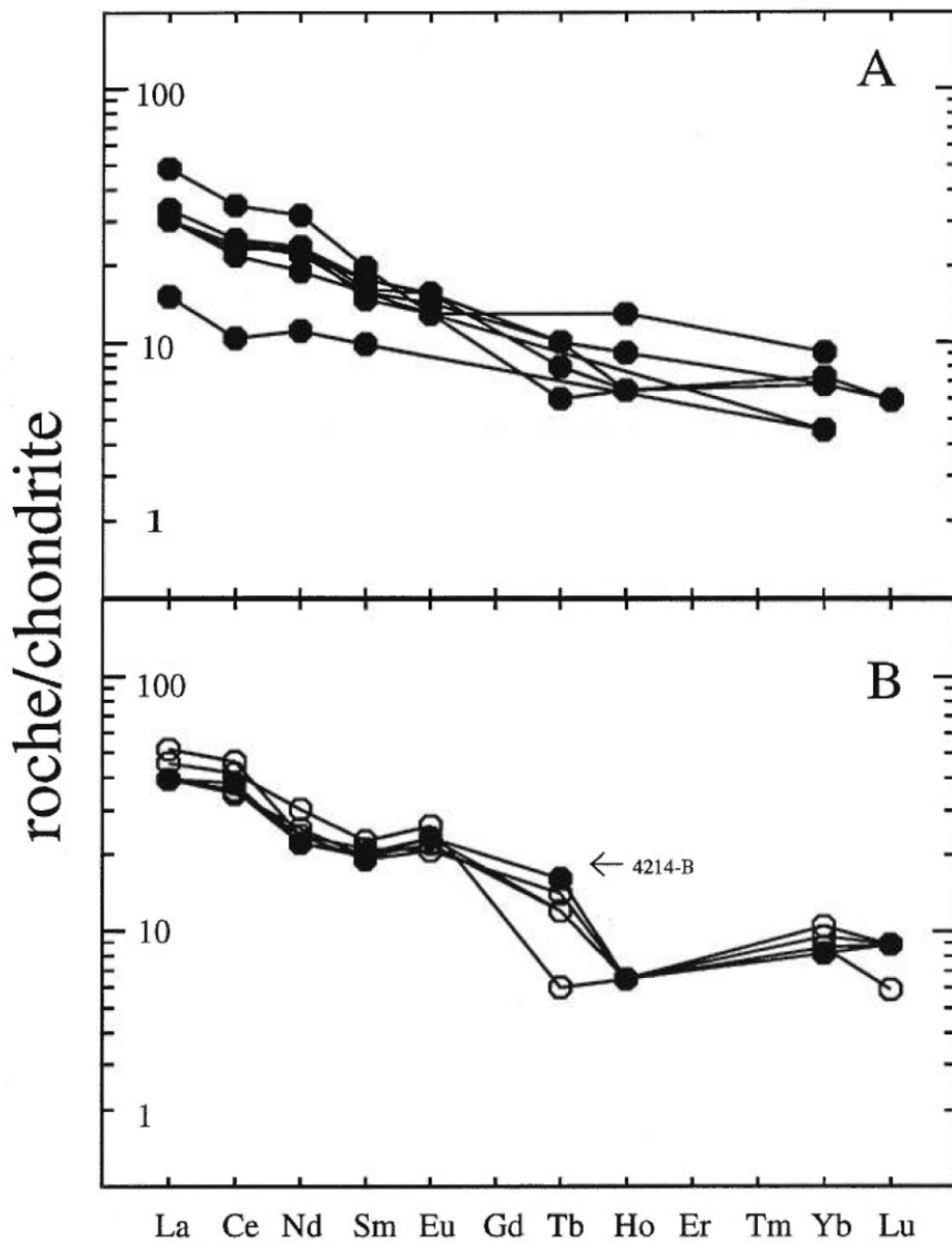


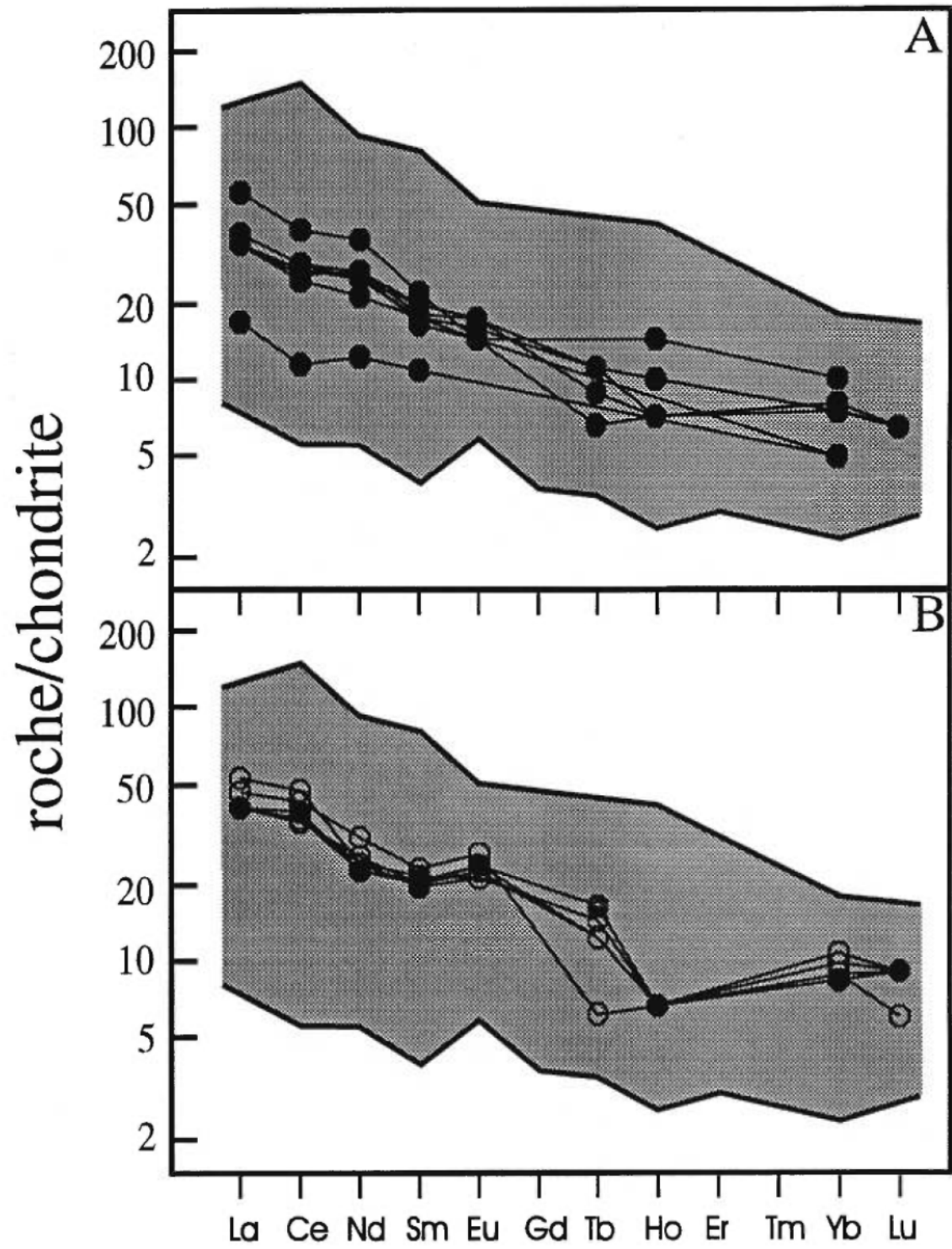
Figure 3.10 Diagramme de normalisation des terres rares sur les valeurs des chondrites de Leedy. (a) Métagabbros à olivine du dyke de Le Doré. (b) Métagabbros à rosette du dyke de Le Doré. (cercles pleins: métagabbros à olivine; cercles vides: métagabbros à rosette)



Contrairement aux métagabbros à olivine, les métagabbros à rosette ont des anomalies négatives en Nd et en Ho. Ces anomalies en Nd et en Ho sont causées par la présence de plagioclase et d'amphiboles dans ces métagabbros (figure 3.8 et tableau XVII). Des anomalies positives en Ce et en Eu ont aussi été observées dans les patrons des terres rares des métagabbros à rosette. On peut expliquer ces anomalies par la présence plus grande de plagioclase (Eu) et d'amphibole (Ce) dans ces métagabbros comparativement aux métagabbros à olivine ou encore par la cristallisation du plagioclase. Dans la figure 3.10b, on peut voir que l'échantillon 4214-B (métagabbros à olivine) se comporte comme un métagabbro à rosette. Cette différence de comportement peut s'expliquer par le fait que cet échantillon se retrouve plus haut dans la séquence et que les bandes d'amphibole sont plus larges. De plus, dans la lame 4214-B, on retrouve une bande d'altération en amphibole, ce qui pourrait donc changer le comportement des terres rares.

La figure 3.11 nous présente le patron des terres rares des métagabbros à olivine et à rosette dans le champ des tholéiites continentales normalisées sur les valeurs des chondrites (Henderson, 1984). Comme on peut le voir sur cette figure, les métagabbros du dyke de Le Doré se retrouvent entre les limites inférieure (enrichie en terres rares légères) et supérieure (enrichie en terres rares lourdes) de la plupart des tholéiites continentales. Cette relation nous permet donc de supposer que les métagabbros du dyke de Le Doré sont d'origine intra-plaque.

Figure 3.11 Diagramme des terres rares normalisées des métagabbros du dyke de Le Doré dans les valeurs habituelles pour les tholéïtes intra-plaques, d'après Henderson, 1984. Les zones ombragées représentent les valeurs pour la plupart des tholéïtes. (cercles pleins: métagabbros à olivine; cercles vides: métagabbros à rosette)



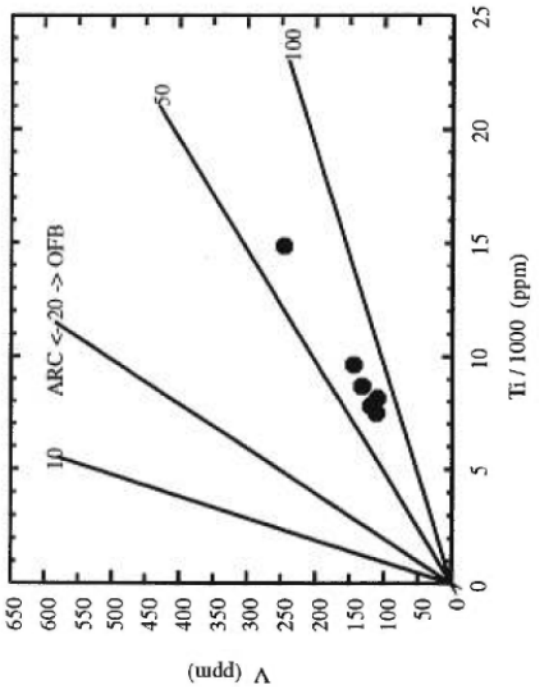
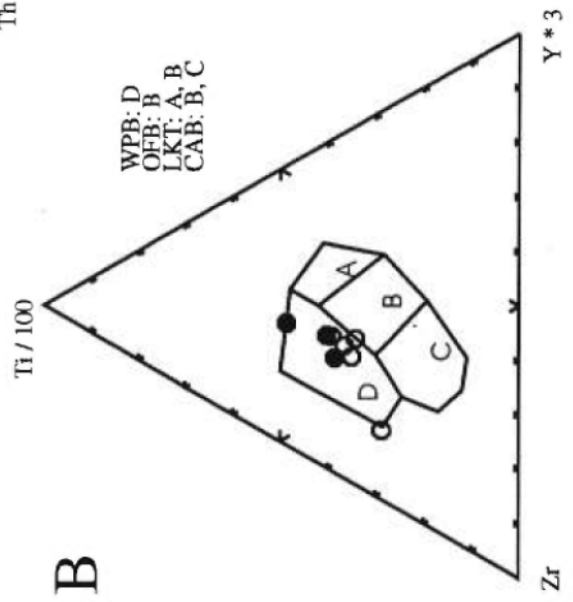
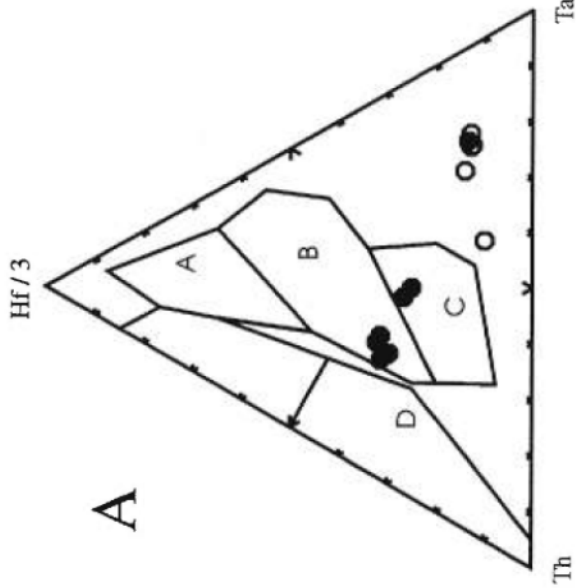
3.5 Diagrammes de discrimination tectonique

La figure 3.12a montre la position tectonomagmatique des métagabbros du dyke de Le Doré dans le diagramme ternaire de discrimination tectonomagmatique de Wood. Les métagabbros du dyke de Le Doré (principalement les métagabbros à olivine) se retrouvent dans les champs B et C du diagramme ternaire Th-Hf-Ta. Ces champs représentent respectivement les basaltes tholéitiques intra-plaques ou des MORB de type E (enrichis) et les basaltes alcalins intra-plaques. Dans ce diagramme, les métagabbros à rosette sont à l'extérieur des champs discriminants, car leur composante en Ta est inférieure à la limite de détection (5 ppm) de l'analyse choisie.

Le diagramme ternaire Th-Hf-Ta de Wood (1980) peut être utilisé pour la discrimination tectonomagmatique des laves basiques et siliciques retrouvées dans la plupart des environnements tectoniques. Par contre, les diagrammes ternaires Th-Hf-Ta ne donnent pas la possibilité de faire une discrimination satisfaisante entre les laves tholéitiques intra-plaques et les MORB de type E. Ces deux environnements tectonomagmatiques peuvent toutefois être distingués avec d'autres diagrammes ternaires, comme par exemple le diagramme ternaire de Ti-Zr-Y de Pearce et Cann (Wood, 1980).

La figure 3.12b nous présente les métagabbros du dyke de Le Doré dans le diagramme ternaire Ti-Zr-Y de Pearce et Cann (1973). Ce diagramme est utilisé pour discriminer les basaltes intra-plaques (champ D sur la figure 3.12b) des autres types de magmas (champs A à C sur la figure 3.12b).

Figure 3.12 (a) Diagramme de discrimination tectonique Th-Hf-Ta de Wood, (1980) montrant le comportement intra-plaque ou MORB des métagabbros du dyke de Le Doré. (A: basaltes de ride mid-océanique de type N; B: basaltes de ride mid-océanique de type E et basaltes tholéitiques intra-plaque; C: basaltes alcalins intra-plaque; D: basaltes de marges destructives) (b) Diagramme de discrimination tectonique Zr-Ti-Y de Pearce et Cann (1973), montrant le comportement intra-plaque des métagabbros du dyke de Le Doré. (WPB (D): basaltes intra-plaque, OFB (B): basaltes de fond océanique LKT (A et B): tholéites faibles en potassium; CAB (B et C): basaltes continentaux alcalins) (c) Diagramme de discrimination de Shervais (1981) montrant la variation de V en fonction du Ti (ARC basaltes d'arrière arc et OFB: basaltes de fond océanique). (cercles pleins: métagabbros à olivine; cercles vides: métagabbros à rosette)



Les métagabbros se retrouvent dans le champ D (figure 3.12b) du diagramme, lequel représente les environnements intra-plaques comme les fonds océaniques ou les plateaux continentaux. Selon Pharaoh et Pearce (1984), les composantes enrichies, telles les plumes mantelliques et la lithosphère sous-continentale enrichie, génèrent les basaltes intra-plaques. Tout comme Verpaelst *et al.* (1996), on peut donc croire que cet enrichissement est dû soit à une provenance d'une zone du manteau légèrement enrichie, soit à une contamination de la croûte lors de la montée du magma. Ceci correspond bien à ce qui a été observé par Verpaelst *et al.* (1996) et Bourne *et al.* (1977) pour les granites de la région du lac Le Doré, c'est-à-dire que les granites et les roches du Supergroupe du Wakeham se seraient mis en place dans un environnement de rift continental. Par contre, puisque la relation entre les granites de la Suite Felsique d'Olomane, les métagabbros du dyke du lac Le Doré et les sédiments du Wakeham est mal connue, il est impossible de conclure que ces deux terrains se sont mis en place dans la même zone de rift (Verpaelst *et al.*, 1996).

Les concentrations Ti, Zr et Y ne changent pas significativement avec la fusion partielle quand le degré de fusion est large (Pearce et Nory, 1979). On peut donc utiliser le graphique de discrimination des environnements tectoniques $Ti/100-Zr-Y^3$. Selon Pharaoh et Pearce (1984), le même principe devrait s'appliquer pour les roches protérozoïques inférieures et il n'y a aucune raison de croire que les lignes discriminantes entre les champs D et A-C auraient varié au cours des 2 milliards d'années passées. Par contre, si le degré de fractionnement était plus petit, ceci impliquerait la contraction des limites externes de ces champs, mais ne changerait pas l'efficacité de la discrimination tectonomagmatique elle-même.

La figure 3.12c nous montre la variation du vanadium (V) en fonction du titane (Ti) (Shervais, 1982). Sur cette figure, on ne voit que les échantillons de métagabbros à olivine, car pour les métagabbros à rosette aucune analyse de vanadium n'est disponible. En conséquence sur ce graphique, les métagabbros à olivine du dyke de Le Doré tombent tous entre les valeurs de 50 et 100 du rapport V sur Ti/1000. Selon Shervais (1982), cette relation signifie que les métagabbros à olivine sont du type basaltes de fonds océaniques ou de type alcalin. Les basaltes tholéitiques et alcalins des domaines continentaux et océaniques ont un rapport Ti/V plus grand que 50 (Shervais, 1982).

Toujours selon Shervais, on peut se fier au graphique utilisant les analyses de V et Ti, car ces deux éléments restent immobiles lors du changement de la température et du rapport eau/roche (même dans les échantillons qui ont été totalement convertis en chlorite et en quartz).

3.6 Discussion

L'analyse des patrons de terres rares ainsi que les diagrammes tectoniques de discrimination nous amènent donc à conclure que les métagabbros composant le dyke de Le Doré ont été formés dans un environnement intra-plaque comme les fonds océaniques ou les plateaux continentaux et sont de composition tholéitique avec un enrichissement en fer. La source du magma formant les anciens gabbros à olivine se trouvait probablement dans une zone du manteau enrichie ou alors a été contaminée par la croûte lors de la montée du magma (Pharhao et Pearce, 1984 et Verpaelst *et al.*,

1996). Ceci laisse donc supposer que ces gabbros auraient pu se former dans un environnement de rift continental. Par contre il faut tout de même faire attention en ce qui concerne les diagrammes de discrimination tectonique. En effet, ces diagrammes ont été calibrés avec de vrais basaltes et non des roches plutoniques et nous savons bien que les gabbros sont ici des roches plutoniques qui quelques fois ressemblent beaucoup à des cumulats.

Chapitre 4

Les couronnes de réaction

4.1 Introduction

Comme la composition géochimique des minéraux et des roches a été discutée dans les chapitres précédents, il serait maintenant intéressant de regarder en détail les couronnes de réaction retrouvées autour des olivines dans le métagabbro du dyke de Le Doré. Une révision des travaux précédents concernant les théories de formation de ces couronnes permettra ainsi de mieux comprendre le processus de formation favorisé pour la formation de ces couronnes. De plus, nous parlerons des deux hypothèses émises pour la formation des couronnes et nous tenterons d'expliquer pourquoi nous favorisons plutôt l'une que l'autre. Finalement, il sera question des réactions formant ces couronnes et du mouvement des atomes lors du processus de diffusion amenant à la formation des couronnes de réaction.

4.2 Etudes précédentes sur les couronnes

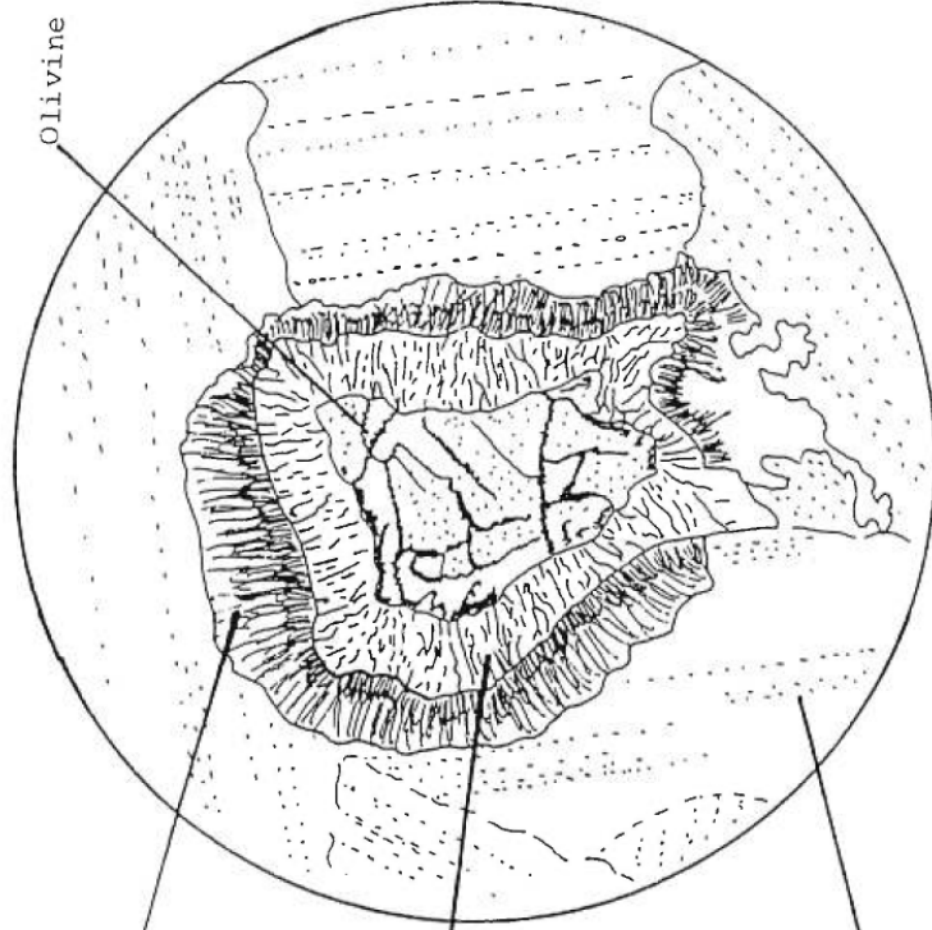
Les couronnes autour des olivines sont souvent interprétés comme étant le produit d'une réaction entre le plagioclase et l'olivine. Cette réaction est de loin une des plus connues et la plus étudiée pour les types de couronnes présentes dans les roches de faciès métamorphique élevé (Shand, 1945; Griffin et Heir, 1973; Grieve et Gittins, 1974; Emslie, 1983; Davidson et Grant, 1986; Mørk, 1986; Ashworth, 1986; Davidson et van Breeman, 1988; Kretz *et al.*, 1989; Grant, 1988; Johnson et Carlson, 1990; Carlson et Johnson, 1992; St-Onge et Ijewliw, 1996). Malgré toutes ces études, l'origine des couronnes (ainsi que cette réaction) reste encore une controverse.

Généralement, les coronites sont observées dans les terrains de faciès métamorphique élevé (faciès amphibolite supérieur à faciès granulite) et sont encaissées par des roches granitiques ou des gneiss (Mørk, 1986; Davidson et Grant, 1986; Kretz *et al.*, 1989; Grant, 1988; Davidson et van Breeman, 1988; Carlson et Johnson, 1991).

Selon Best (1982), les couronnes se composent d'une première couche d'orthopyroxène en contact avec l'olivine et d'une deuxième couche de diopside et de spinelle qui est en contact avec le plagioclase (figure 4.1). Une deuxième sorte de couronne décrite par Kretz *et al.* (1989) et Kretz (1994) se compose d'une première couche d'orthopyroxène et d'une seconde couche de hornblende et de spinelle. Cette dernière ressemble d'assez près à ce qui a été observé dans les couronnes des métagabbros du dyke du lac Le Doré. Lorsque le grade métamorphique est plus élevé que celui qui a été décrit plus haut, il arrive que les couronnes de réaction aient une couche de grenat (Johnson et Carlson, 1990). Dans ce cas, on retrouve le spinelle en inclusion à l'intérieur des plagioclases sous forme de petites lamelles microscopiques.

Plusieurs auteurs ont favorisé, pour la formation des couronnes de réaction autour des olivines, une origine subsolidus de stade simple requérant un refroidissement lent durant la cristallisation ou un métamorphisme rétrograde statique (Whitney et McLelland, 1973, 1983; Mongkoltip et Ashworth, 1983; Grant, 1988). Toutefois, Joesten (1986 a,b) interprète les détails texturaux dans les métagabbros coronitiques comme étant l'évidence que ces couronnes sont d'origine magmatique et il propose que les bandes de minéraux se forment séquentiellement par des réactions

Figure 4.1 Couronne autour de l'olivine dans les métagabbros de la Norvège et l'État de New-York. La première couche se compose d'orthopyroxène et la seconde couche de clinopyroxène et spinel, d'après Best, 1982.



Olivine

Diopside + Spinel

Orthopyroxene

Plagioclase

successives supersolides. De plus, Ashworth (1986) propose un processus de diffusion subsolidus pour la formation de ces couronnes.

L'évidence qui semble la plus convaincante pour la diffusion lors du métamorphisme est celle apportée par Davidson et van Breeman (1988) dans leur étude des métagabbros de la Province de Grenville. Ces auteurs ont observés dans ces métagabbros des couronnes composées de baddeleyite entourée par du zircon. Ils ont aussi observé les couronnes habituellement trouvées autour des olivines et des oxydes originellement en contact avec le plagioclase. Un âge U-Pb d'environ 1170 Ma a été obtenu pour la baddeleyite par opposition à un âge de 1045 Ma pour la couronne de zircon. Davidson et van Breeman interprètent l'âge le plus vieux (âge de la couronne de baddeleyite) comme étant celui de l'intrusion du métagabbro et l'âge du plus jeune (âge de la couronne de zircon) comme étant celui de la recristallisation dans les épisodes métamorphiques tardifs. Si on présume que les trois types de textures coronales, observés dans les gabbros étudiés par Davidson et van Breeman, sont formées durant le même épisode, ces âges ne peuvent laisser supposer une origine par interaction magmatique ou par un refroidissement après la cristallisation ignée. Il faut donc considérer un processus nécessitant une croissance durant le métamorphisme tardif.

Finalement, les travaux de Johnson et Carlson (1990) et Carlson et Johnson (1991) concluent que les couronnes de réaction autour des olivines sont le produit d'une réaction contrôlée par la diffusion; durant laquelle quelques composantes de la réaction (par exemple Na et Ca) diffusent assez rapidement. De plus, le gradient de potentiel chimique de ces composantes n'exerce pas de contrôle dans la formation de

la bande de réaction. Les couronnes ne peuvent donc pas être formées lors d'un phénomène isochimique, c'est-à-dire par une réaction isolée, parce qu'un tel processus nécessite un important transport des composantes à travers la bordure de la bande de réaction. Toujours selon ces auteurs, ces couronnes ne peuvent pas être formées par un processus purement de stade stable, car les évidences texturales, tels les changements dans la composition des couronnes, suggèrent que les assemblages minéralogiques à l'intérieur de la bande de réaction ont changé lors de la progression de la réaction. Selon eux, les couronnes évoluent dans un système complexe ouvert où les réactions sont contrôlées par la diffusion, amenant ainsi des changements dans les produits d'assemblage tout au long de la progression de la réaction.

4.3 Hypothèses

Deux hypothèses ont été proposées par les différents auteurs pour la formation des textures kélyphitiques. La première hypothèse est celle d'une origine magmatique qui est défendue par Whitney et McLelland (1973, 1983), Mongkoltip et Ashworth (1983), Grant (1988) et Joesten (1986a,b). Selon ces auteurs, les couronnes autour des olivines se seraient formées durant un lent refroidissement ignée ou durant un métamorphisme statique rétrograde. Le développement des couronnes serait donc le résultat d'une réaction de subsolidus durant la rééquilibration après la cristallisation ignée.

La seconde hypothèse est celle proposée par Grieve et Gittins (1975), Emslie (1983), Kretz *et al.* (1989), Davidson et van Breeman (1988) et Johnson et Carlson

(1990). Cette hypothèse propose un processus de diffusion dans un système ouvert lors du métamorphisme, pour la formation des couronnes de réaction autour des olivines. Ces couronnes se seraient développées dans un environnement de métamorphisme prograde.

Les évidences suivantes pourraient nous laisser croire à une formation ignée pour les couronnes retrouvées autour des olivines:

1) Le contact entre l'orthopyroxène et la biotite est droit, suggérant plus ou moins l'équilibre, tandis que le contact entre l'orthopyroxène et l'olivine ne l'est pas. L'orthopyroxène semble remplacer l'olivine en conservant la forme idiomorphe de celle-ci (photo 4.1);

2) la présence de biotite entre les couches d'orthopyroxène et d'amphibole;

3) le contact est droit entre les cristaux de plagioclase et de clinopyroxène. De plus, les cristaux de clinopyroxène se retrouvent toujours autour du plagioclase et de l'olivine;

4) les plagioclases semblent se retrouver autour des olivines dans la plupart des cas.

Ces évidences texturales suggèrent donc qu'il y a eu une réaction entre le plagioclase, l'olivine et un liquide pour former la biotite et l'orthopyroxène lors du processus de cristallisation magmatique.

Par contre les évidences texturales suivantes sont plutôt en faveur d'une croissance métamorphique pour les couronnes réactionnelles.

1) Les couronnes se développent seulement au contact entre les olivines et les plagioclases et elles sont absentes quand les grains d'olivine ne touchent pas aux

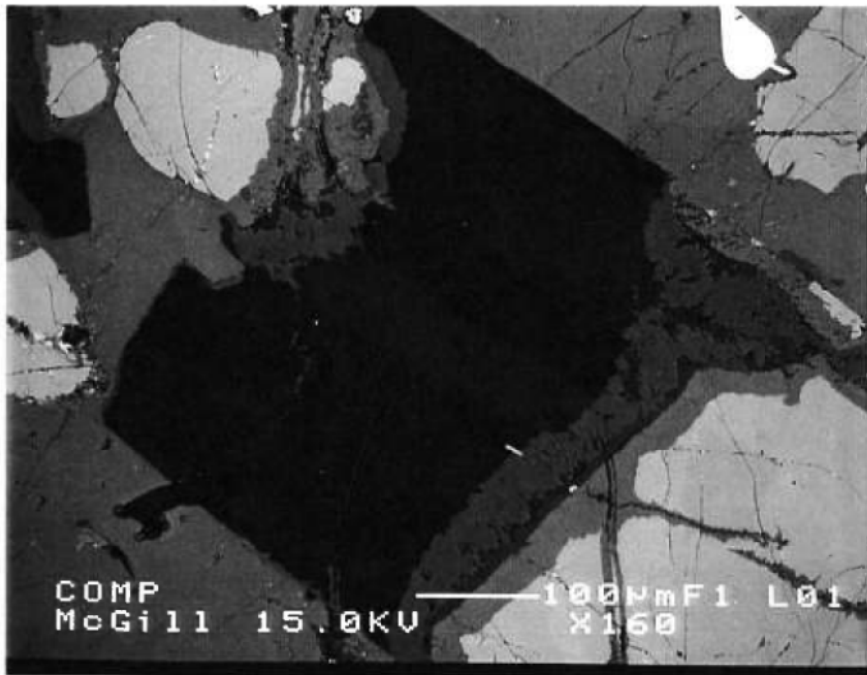
plagioclases. Selon Grieve et Gittins (1975), la réaction se produit donc entre l'olivine et le plagioclase. De plus, toujours selon Grieve et Gittins (1975), cette seule évidence texturale est assez suffisante pour rejeter l'hypothèse d'une origine magmatique;

2) Dans les couronnes observées par Emslie (1983) dans les gabbros Michael, au nord-est de la Province de Grenville, l'amphibole remplace la bande de clinopyroxène et de spinelle tout comme dans le métagabbro du dyke de Le Doré. Selon Emslie (1983), ce remplacement par l'amphibole suggère que des fluides de basse pression ont joué un rôle dans la formation des couronnes. L'amphibole présent dans ces gabbros indique que les conditions métamorphiques sont au moins celles des faciès amphibolites;

3) Selon Kretz, Jones et Hartree (1989), les cristaux peuvent garder leur morphologie ignée même s'ils ont subi des changements de composition chimique par diffusion durant le métamorphisme, maintenant ainsi le solvus et l'échange Fe-Mg avec les minéraux déjà présents et les nouveaux minéraux formés. Selon Kretz *et al.* (1989) ce changement ne peut se faire que par diffusion lors du métamorphisme;

4) On sait que la composition des olivines dans les roches ultramafiques varie entre Fo₉₅₋₈₅ et que dans les gabbros venant des complexes lités la composition de l'olivine varie entre Fo₈₀₋₅₀ (Brown, 1982). Les gabbros à olivine du Dyke de Le Doré sont enrichis en fer, ces roches sont donc près de la limite entre mafique et ultramafique (voir tableau XVI). La composition en forstérite devrait donc être plus près de Fo₈₀ que de Fo₅₀. Ce qui n'est pas le cas pour les olivines entourées de couronne de réaction (Fo₅₆). Cette relation nous fait donc suggérer que les olivines contenues dans le dyke de Le Doré ont subi un certain métamorphisme;

Photo 4.1 Photo “backscatter electron” du contact entre l’olivine et la couronne d’orthopyroxène dans les gabbros à olivine du dyke de Le Doré.



COMP ——— 100mmF1 L01
McGill 15.0KV X150

5) Finalement, dans certains plagioclases retrouvés dans les métagabbros à olivine que nous avons observée un début de recristallisation. Les nouveaux plagioclases semblent recouper les macles des anciens plagioclases (photos 2.3f-h-j, 2.5b et 2.14f). Cette évidence texturale nous fait donc exclure une origine ignée pour la formation des couronnes.

4.4 Réactions formant les couronnes

4.4.1 Hypothèse magmatique

Nous tenterons d'expliquer la formation de la couronnes d'orthopyroxène à l'aide des diagrammes de phase de la figure 4.2a et b. La figure 4.2a nous montre la projection à partir de l'olivine du liquide saturé en olivine du système olivine-clinopyroxène-plagioclase-quartz (tiré de Morse, 1980).

Après la cristallisation de l'olivine, le liquide magmatique se situait au point 1, sur la figure 4.2a, où le plagioclase cristallise. Le plagioclase a continué de cristalliser jusqu'à ce le liquide soit assez riche en silice pour cristalliser l'orthopyroxène (il touche la ligne cotectique au point 2 où apparaît l'orthopyroxène). Les grains de plagioclase et d'olivine sont probablement séparés par un mince filet de liquide, qui à son tour réagit avec l'olivine pour cristalliser l'orthopyroxène (réaction péritectique: olivine + liquide = orthopyroxène). L'orthopyroxène se forme jusqu'à ce que le liquide arrive au point 3 où le clinopyroxène commence à cristalliser. A ce point, la cristallisation fractionnée est presque achevée.

Le même genre de raisonnement peut aussi être observé à la figure 4.2b

schéma, la migration des atomes dans les bandes de réaction entre l'olivine et le plagioclase pour former ces couronnes. Pour ces auteurs, ces réactions mettent clairement en évidence le mouvement des atomes durant les réactions métamorphiques. Selon eux, tous les atomes de Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca et Na sont maintenant présents dans l'orthopyroxène, la hornblende et le spinelle, tandis que les atomes de K, Ti, Zn, F, Cl, H et un peu de O, retrouvés à l'intérieur des zones de réaction, ont été introduits dans les sites de réaction durant le métamorphisme (figure 4.3):

A → les atomes de Fe, Mg, Mn et O partent de l'interface olivine-orthopyroxène vers l'interface plagioclase-hornblende.

B → les atomes de Si, Al, Ca, Na se dirigent dans la direction opposée.

C → les atomes de Ca et Al laissent le cristal de plagioclase pour se diriger vers l'interface plagioclase-hornblende en échange de Na et de Si.

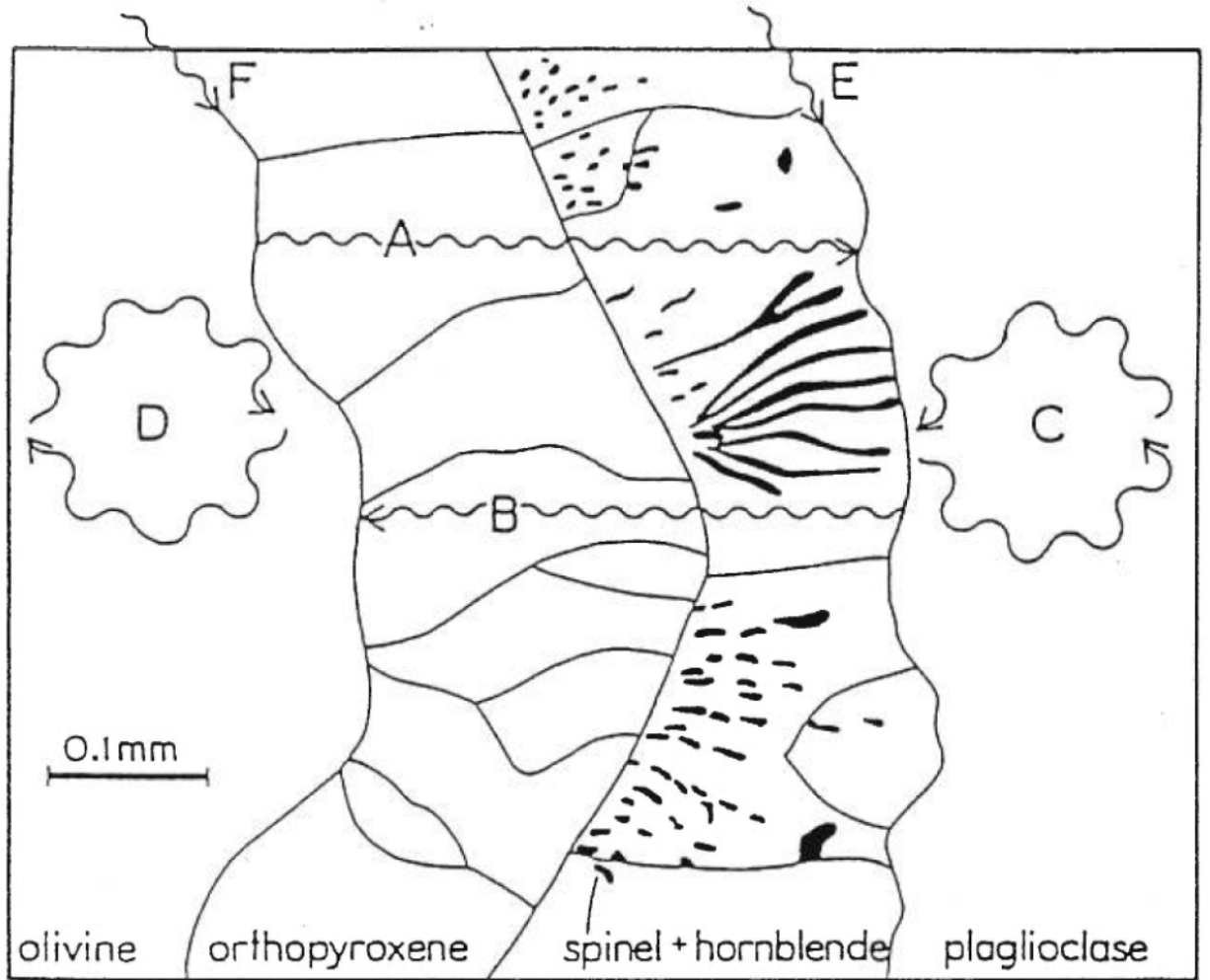
D → les atomes de Mg qui se trouvaient à l'intérieur du cristal d'olivine se retrouvent maintenant dans l'interface olivine-orthopyroxène; ce transfert s'effectue en échange du Fe.

E → les atomes de Ti, K, Zn, F, Cl, H et O sont maintenant retrouvés dans l'interface plagioclase-hornblende dans la bordure du site de réaction.

F → les atomes de Ti partent de l'interface olivine-orthopyroxène pour se diriger vers le site de réaction.

Selon Best (1982), les atomes de Ca diffusent dans la direction de l'olivine où le diopside se forme, tandis que les atomes de Mg et Fe diffusent vers le plagioclase pour ainsi former les inclusions de spinelle.

Figure 4.3 Zone de réaction d'orthopyroxène et d'hornblende et de spinelle entre l'olivine et le plagioclase montrant la migration des atomes lors des réaction, d'après Kretz, Jones et Hartree, 1989.



4.5 Discussion

Contrairement à l'exemple de Kretz, Jones et Hartree (1988), les couronnes de réaction autour des olivines dans le dyke de Le Doré comprennent une bande supplémentaire de biotite entre les bandes d'orthopyroxène et d'amphibole. Ceci laisse supposer que les atomes de K diffusaient des plagioclases (la composante en orthose) vers l'olivine. Il est aussi possible que la biotite soit le produit de la réaction entre l'amphibole et l'orthopyroxène (c'est ce qui a été supposé au début de la présente section). Elle pourrait aussi être le produit de la réaction entre l'orthopyroxène et un fluide riche en potassium ou même encore être le fruit de la réaction entre l'orthopyroxène et le plagioclase contenant une certaine quantité de potassium. Les cartes de distributions des éléments montrent clairement que les plagioclases contiennent du potassium (annexe H). La source du potassium, ayant formé les biotites, peut donc aussi être le plagioclase.

De plus, la variation du magnésium dans l'olivine, selon le minéral qui l'entoure, est aussi un bel exemple de la diffusion des éléments lors de la formation des couronnes due à la réaction entre l'olivine et le plagioclase. On peut voir clairement que le magnésium se déplace vers le plagioclase dans le cas où l'olivine est entourée de bandes de réaction.

Les amphiboles composant les bandes de réaction témoignent, elles aussi, du processus de diffusion, par leur contenu en sodium et calcium assez élevé. Ce contenu provient du plagioclase, dû au phénomène de diffusion, lors de sa réaction avec l'olivine, pour former les couronnes.

Malgré leur différence avec les coronites observées dans la documentation, les coronites du dyke de Le Doré sont un autre exemple de diffusion observée entre le plagioclase et l'olivine lors du métamorphisme.

Par contre, avec certaines évidences texturales observables à la photo 4.1, on pourrait aussi croire que la bande d'orthopyroxène c'est formée lors d'une réaction discontinue (réaction péritectique) entre le liquide enrichi en éléments différenciés et l'olivine.

On pourrait donc penser que les bandes de biotite et d'orthopyroxène ont été formées par le processus magmatique (réaction péritectique) lors du refroidissement des gabbros. En effet, la température de mise en place des gabbros est de plus ou moins 1200°C. Le magma se solidifie totalement à 900°C. Ensuite, la couronne d'amphibole c'est probablement formée lors du refroidissement du gabbro à 900°C vers les températures de mise en place des roches encaissantes. Cette réaction est contrôlée par la diffusion à l'état solide (métamorphisme à l'état solide). Donc les couronnes de réaction seraient formées lors d'un processus continu.

Chapitre 5

Thermobarométrie

5.1 Introduction

Comme les couronnes de réaction ont été traité au chapitre précédant, nous allons maintenant regarder les températures et les pressions retrouvées dans les métagabbros retrouvés dans les environs du lac Le Doré. Pour estimer la température et la pression de formation des couronnes de réaction, le logiciel TWEEQU (Thermobarometry With Estimation EQUilibration Sate) de Berman (1990) et le thermomètre hornblende-plagioclase de Holland et Blundy (1994) ont été utilisés.

5.1.1 Méthodologie

Les analyses à la microsonde ont préalablement été choisies pour l'utilisation des logiciels. Pour les estimations de température obtenues à l'aide du logiciel TWEEQU de Berman (1991), les analyses sélectionnées sont des points, qui sont en contact, sur les minéraux tels les orthopyroxènes, les biotites, les amphiboles, les chlorites et les plagioclases. Ces assemblages minéralogiques ont permis d'estimer la pression et la température de formation de ces couronnes de réaction. Pour le logiciel utilisant le thermomètre de Holland et Blundy (1994), des points analysés sur des amphiboles et des plagioclases en contact ont été préalablement choisis. Ces points correspondent aux critères d'utilisation du thermomètre hornblende-plagioclase (voir la section 5.1.2). Le choix des points qui se touchent permet de trouver des assemblages minéralogiques qui sont le plus près possible de l'équilibre thermodynamique, permettant ainsi d'obtenir le maximum de nos données recoltées par la microsonde pour les calculs thermodynamiques.

5.1.2 Logiciel TWEEQU (Thermobarometry With Estimation EQUilibration State) de Berman

Le logiciel TWEEQU utilise la position de toutes les courbes d'équilibres possibles pour les assemblages de minéraux afin de les placer dans l'espace P-T-X(CO₂) (Berman, 1991). Ce logiciel utilise une banque de données thermodynamiques composée des propriétés des solutions et des composantes pures (*end members*) de chaque minéraux. Pour obtenir de meilleurs résultats, Berman suggère d'avoir des données thermodynamiques parfaites, des compositions parfaites et que chaque minéral soit équilibré à la même pression et à la même température. Dans ce cas, et en supposant que les modèles de solution sont correctes, toutes les courbes qui sont à l'équilibres s'intercepteront en un seul point pour la pression et la température. D'autres auteurs pensent que les données de ce logiciel ne sont de qualité appropriée que dans quelques systèmes pour permettre le test d'équilibre chimique (Lieberman et Patrakatis, 1991)

TWEEQU effectue une extrapolation claire et consistante avec les données du logiciel, incluant des modèles utilisant l'activité dépendant de la pression et de la température à partir des données d'équilibre de phase des assemblages naturels (St-Onge et Ijewliw, 1996). Cette technique est limitée par la qualité des données thermodynamiques, la précision des analyses à la microsonde et la validité des modèles d'activités (Berman, 1991. et Ketchum et al, 1994).

L'utilisation de toutes les courbes d'équilibres permet de déterminer si la composition de la phase utilisée dans les calculs est suffisamment bonne par rapport

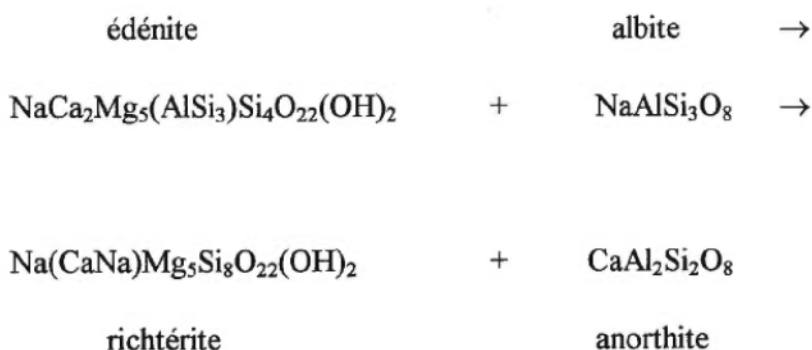
aux hypothèses posées. Si les compositions sont mauvaises, il faut les rejeter pour les calculs.

Les différentes valeurs de pressions et de températures ainsi obtenues, sont le résultat des bases de données différentes, ce qui est la base de ces calculs. Le résultat final sera affecté par le choix des données indépendantes. Il faut aussi prendre en considération les erreurs causées par les processus géologiques. Par exemple le rééquilibrage durant le refroidissement ou l'interaction des fluides peuvent perturber la composition de l'équilibre de phase. Dans ce cas une banque de données performante devient pratiquement impossible à prédire.

Selon Berman (1991), cette méthode est très utile car elle permet de déterminer quel minéral est le plus compatible dans chaque calcul. De plus elle permet d'illustrer la précision des résultats des différents modèles de solutions et permet de corréler ces différences avec les observations pétrographiques. Finalement, elle nous donne un moyen de choisir des échantillons qui sont bien en équilibre.

5.1.3 Le thermomètre hornblende-plagioclase de Holland et Blundy

Le thermomètre de Holland et Blundy utilise l'équation suivante



Cette équation ne nécessite qu'une seule molécule de plagioclase pour une molécule d'amphibole comparativement à celle de Spear qui en utilise deux (Holland and Blundy (1994), p.439) . De plus, cette réaction peut être utilisée pour des roches sous-saturées en silice et des assemblages qui ne nécessitent pas de quartz.

Ce thermomètre est performant dans l'intervalle de 500 °C à 900 °C et sous une pression de 1 kbar à 15 kbar. Il est très utile pour les roches ou les magmas qui sont sous-saturé en silice. Par contre il ne faut utiliser ce thermomètre que sous des conditions spécifiques. Le plagioclase doit se situer dans l'intervalle de composition $0,1 < X_{an} < 0,9$. Les amphiboles doivent avoir un $X_{Na}^{M4} > 0,03$, un $Al^{vi} < 1,8$ pfu (*per formula unit*) et un Si dans les limites de 6.0 à 7.7 pfu.

Le thermomètre édénite-richtériite utilise un mélange d'amphibole et de plagioclase non idéal et est calibré avec des données extensives pour les amphiboles naturelles et synthétiques. Pour calibrer ce thermomètre, Holland et Blundy ont utilisé un grand nombre d'échantillons où les températures et la pression de formation se retrouvaient dans la documentation. Leur analyse de toute ces données résulte dans l'équation suivante pour la température:

$$T_B = \frac{78,44 + Y_{ab-an} - 33,6 X_{Na}^{M4} - (66,8 - 2,92 P) \cdot X_{Al}^{M2} + 78,5 X_{Al}^{T1} + 9,4 X_{Na}^A}{0,0721 - R \cdot \ln \left(\frac{27 \cdot X_{Na}^{M4} \cdot X_{Si}^{T1} \cdot X_{an}^{plag}}{64 \cdot X_{Ca}^{M4} \cdot X_{Al}^{T1} \cdot X_{ab}^{plag}} \right)}$$

où:

$$Y_{ab-an} = 3,0 \text{ kJ pour } X_{ab} > 0,5, \text{ autrement } Y_{ab-an} = 12,0(2X_{ab}-1) + 3,0 \text{ kJ.}$$

T représente la température en kelvin

P la pression en kbar

X_{Na}^{M4} dénote la fraction molaire de Na dans le site $M4$.

L'incertitude typique pour ce thermomètre est de l'ordre de 35-40 °C. Cette incertitude peut être plus grande si l'amphibole est riche en fer ou possède un état d'oxydation différent par rapport aux données ayant servi au calibrage ou à l'estimation du rapport ferreux/ferrique.

Pour calculer la température, le logiciel de Holland et Blundy (1994) utilise une méthode de calcul de la formule chimique des amphiboles similaire à celle utilisée par Spear et Kimball (1984) et Robinson *et al.* (1989).

5.2 Résultats thermobarométriques

5.2.1 Thermomètre hornblende-plagioclase

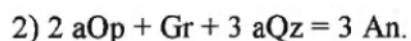
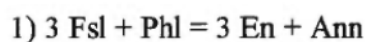
Les résultats obtenus à l'aide du thermomètre de Holland et Blundy, pour les métagabbros à olivine du dyke de Le Doré sont présentés à la figure 5.1a-b. Les températures ont été estimées à une pression fictive de 5 kbar, ce qui est en accord avec la pression maximum obtenue à l'aide de TWEEQU (discutée à la section 5.3.2). Les températures obtenues pour les métagabbros à olivine de Le Doré se situent entre 705°C et 841°C. La température est plus élevée dans les couronnes provenant de l'échantillon 4202-A (775°C-841°C) comparativement aux couronnes provenant de la lame mince 4214-B (705°C-778°C) (figure 5.1a-b). Cette différence de température reflète une différence de l'intensité métamorphique entre les deux localités pour les deux échantillons. Ces échantillons sont séparés par environ deux kilomètres. De plus

elle est probablement due à une composition un peu plus riche en albite dans les plagioclases de l'échantillon 4214-B (annexe 1). L'albite est en effet une fonction de la température. On peut le voir à la figure 2.1 que l'échantillon 4214-B est situé plus haut dans la séquence du métagabbro à olivine. Ceci permet donc de penser que le métamorphisme a pu se produire à plus basse température à l'est du lac Le Doré.

Les températures obtenues pour les métagabbros à rosettes du dyke de Le Doré se retrouvent entre 674°C et 737°C (figure 5.2a). Par contre, pour les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian, le thermomètre hornblende-plagioclase donne, pour les rosettes d'amphibole, des températures entre 645°C et 731°C (figure 5.2b), ce qui est assez comparable aux températures obtenues pour les rosettes du dyke de Le Doré, si on tient compte de l'incertitude de 35°C-40°C pouvant se présenter lors des calculs de la température.

5.2.2 Calculs obtenus à l'aide de TWEEQU

Dans le métagabbros à olivine du dyke de Le Doré nous avons étudié deux réactions:



Fsl = ferrosilite

aOp = orthopyroxène alumineux

Phl = phlogopite

Gr = grenat

En = enstatite

An = anortithe

aQz

=

quartz

Figure 5.1 Figure montrant les températures obtenues à l'aide du thermomètre de Holland et Blundy (1994). Température en °C et pression en kbar. (a) Températures obtenues pour les métagabbros à olivine du dyke de Le Doré, échantillon 4202-A. (b) Températures obtenues pour l'échantillon 4214-B seulement (dyke de Le Doré). On remarque que la température est plus élevée que dans l'échantillon 4214-B.

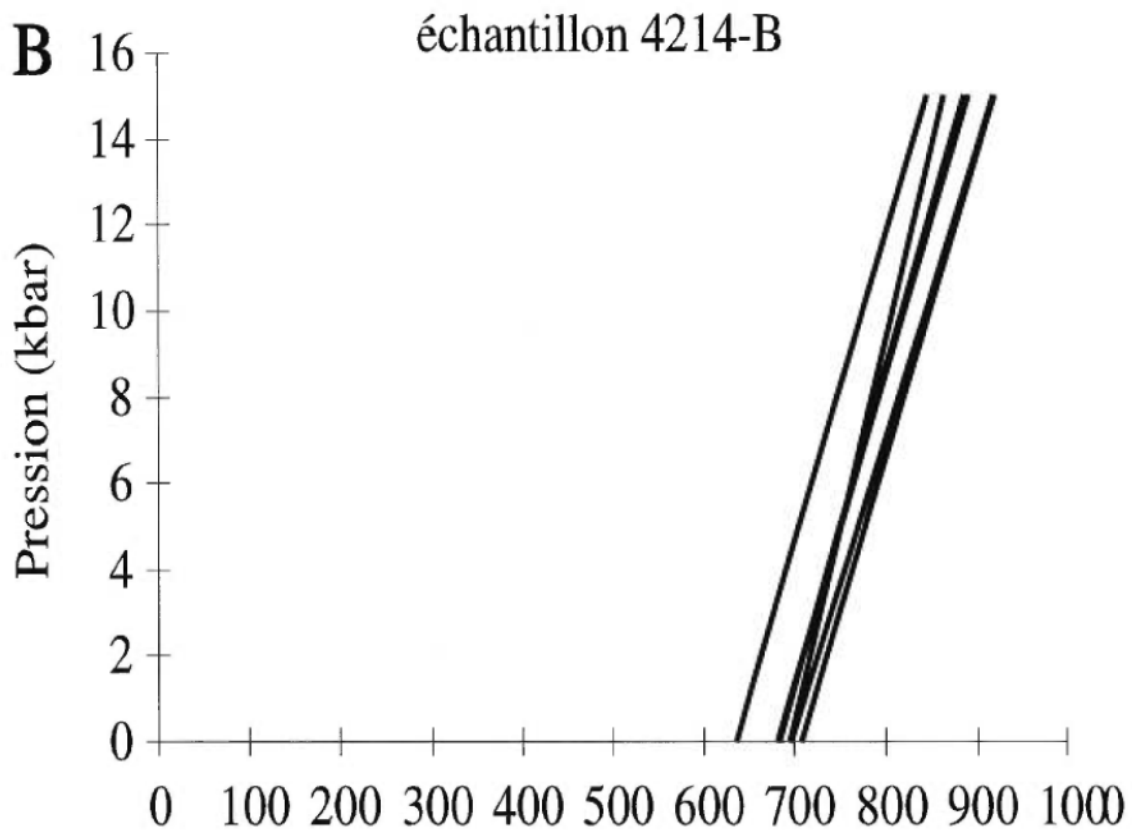
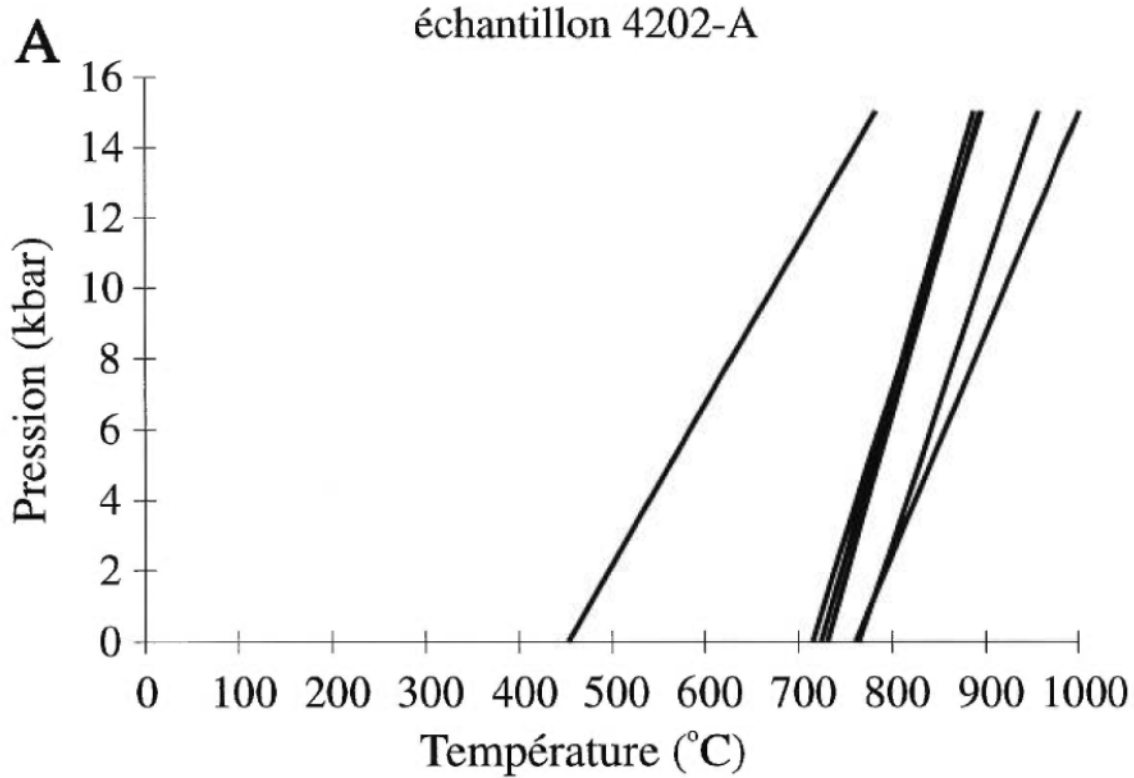
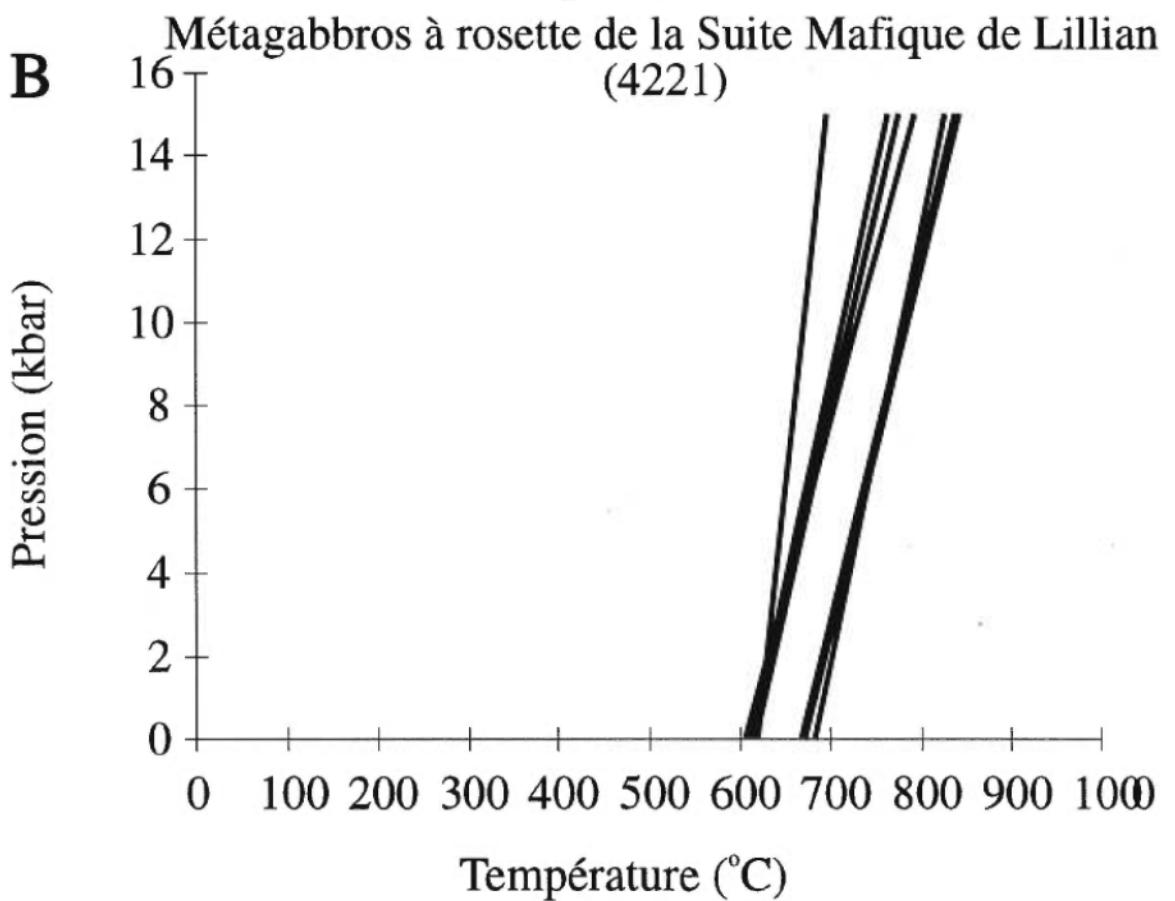
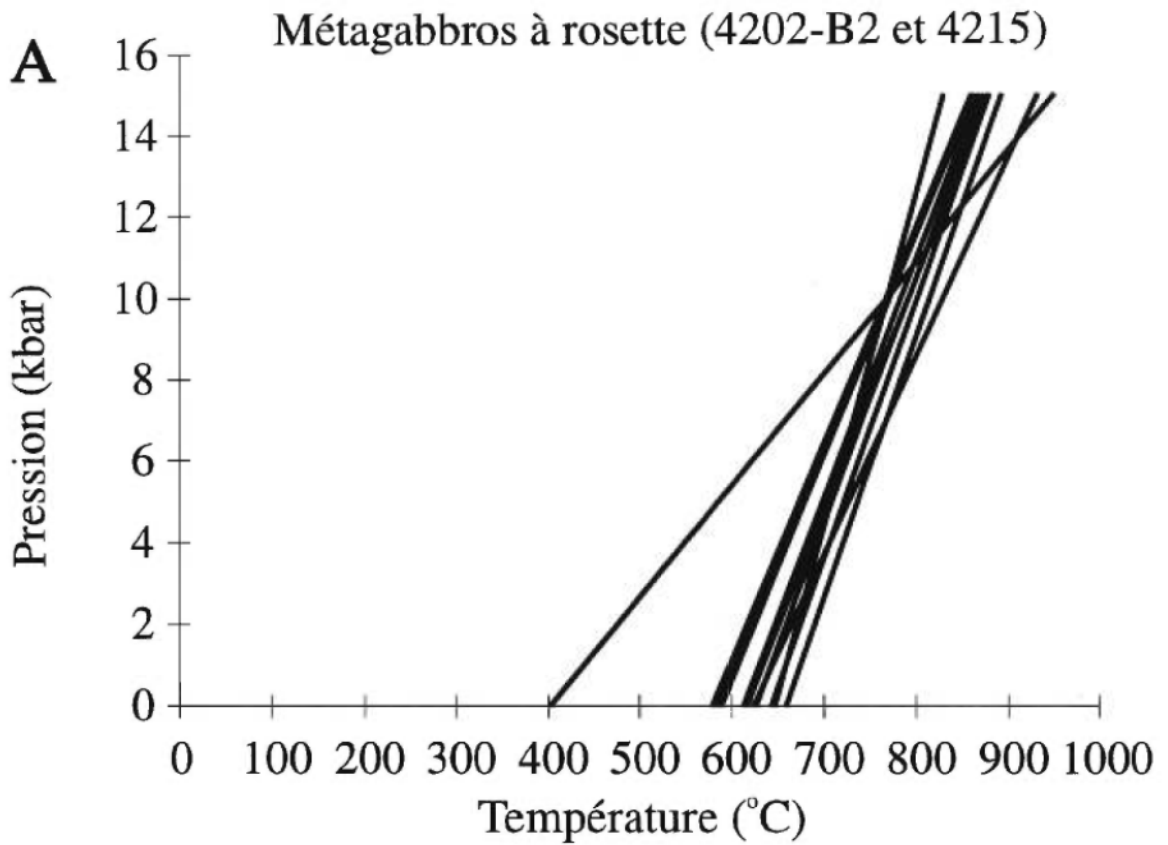


Figure 5.2 Figure montrant les températures obtenues à l'aide du thermomètre de Holland et Blundy (1994). Température en °C et pression en kbar. (a) Températures obtenues pour les métagabbros à rosettes du dyke de Le Doré, échantillon 4202-B2 et 4215. (b) Températures obtenus pour les métagabbros de la Suite Mafique de Lillian, échantillon 4221.



La première équation est une réaction d'échange de fer et de magnésium entre l'orthopyroxène et la biotite. Cette réaction est un bon thermomètre et a été utilisée dans les métagabbros à olivine du dyke de Le Doré. Les résultats obtenus se situent entre 639°C et 755°C (figure 5.3a-b). Tout comme avec le thermomètre de Holland et Blundy, une différence de température entre les métagabbros à olivine de l'échantillon 4214-B (638°C-682°C) et 4202-A (641°-654°et 740°C-755°C) a été observée (figure 5.3a-b). Le contenu en fer et en magnésium influence la température, car les thermomètres utilisés par TWEEQU sont basés sur les échanges Fe-Mg lors des calculs thermobarométriques. Par contre, cette différence de température respecte bien la marge d'erreur de plus ou moins 50°C. Les températures obtenues avec TWEEQU concordent avec celles de Holland et Blundy.

Les assemblages métamorphiques présents dans les métagabbros du dyke de Le Doré, autant ceux contenant des couronnes d'olivine que ceux contenant des rosettes, ne présentent aucun bon baromètre. Si on suppose que la pression avait été assez élevée, le grenat serait apparu dans les métagabbros à olivine du dyke de Le Doré. Ceci permettrait de supposer que le anorthite se déstabiliserait en grossulaire. Comme l'anorthite est présente dans les métagabbros du dyke de Le Doré, nous pouvons estimer la pression maximale des métagabbros. L'équation 2 nous permet de supposer que le grossulaire se déstabilise en anorthite pour ainsi estimer la pression maximale de ces roches. En effet, si les composantes fictives dans ces roches se retrouvent du côté supérieur de la courbe de réaction, cette hypothèse est valide (figure 5.4a). La pression maximale, dans l'assemblage anorthite-grossulaire-quartz-

Figure 5.3 Figure montrant les températures obtenus à l'aide des calculs thermobarométriques de TWEEQU. La température est en °C et la pression en bar. (a) Températures obtenus pour l'échantillon 4214-B (dyke de Le Doré). On remarque que la est généralement plus basse que pour l'échantillon 4202-A. (b) Températures obtenus pour l'échantillon 4202-A (dyke de Le Doré). Les températures obtenues sont plus élevées que pour l'échantillon 4214-B.

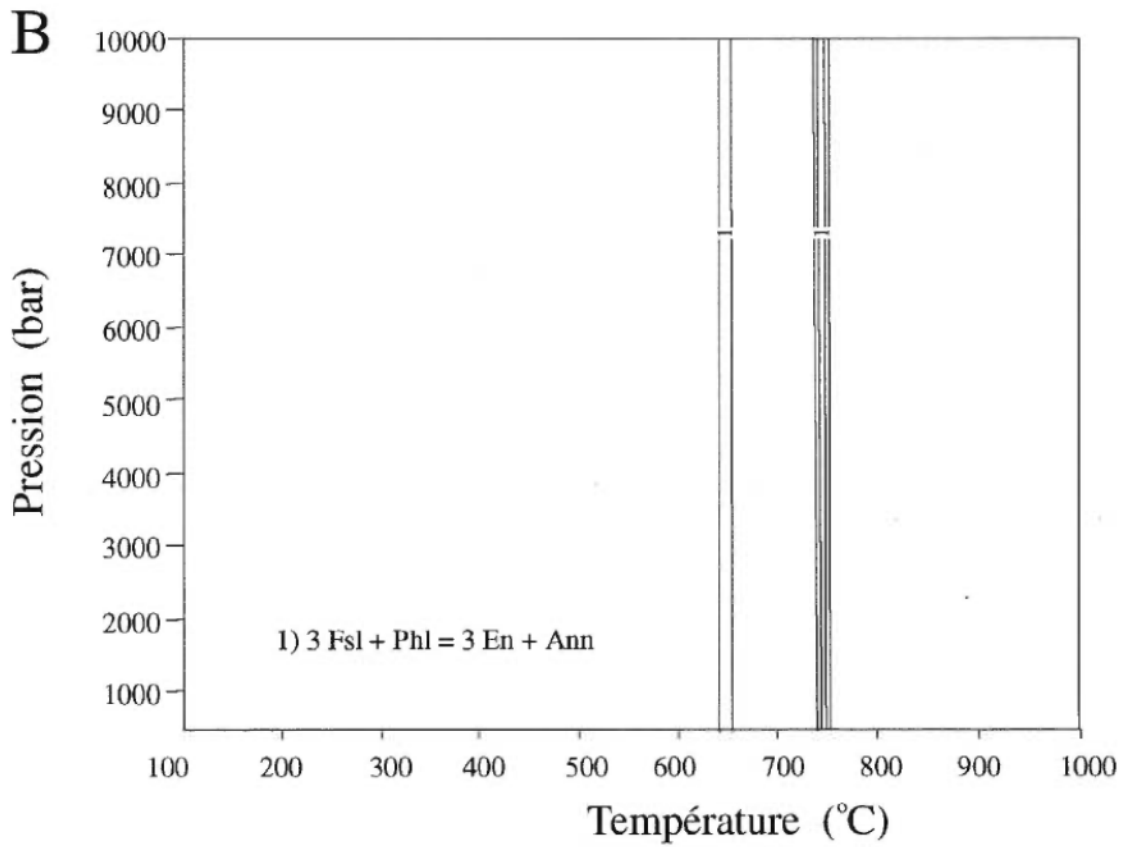
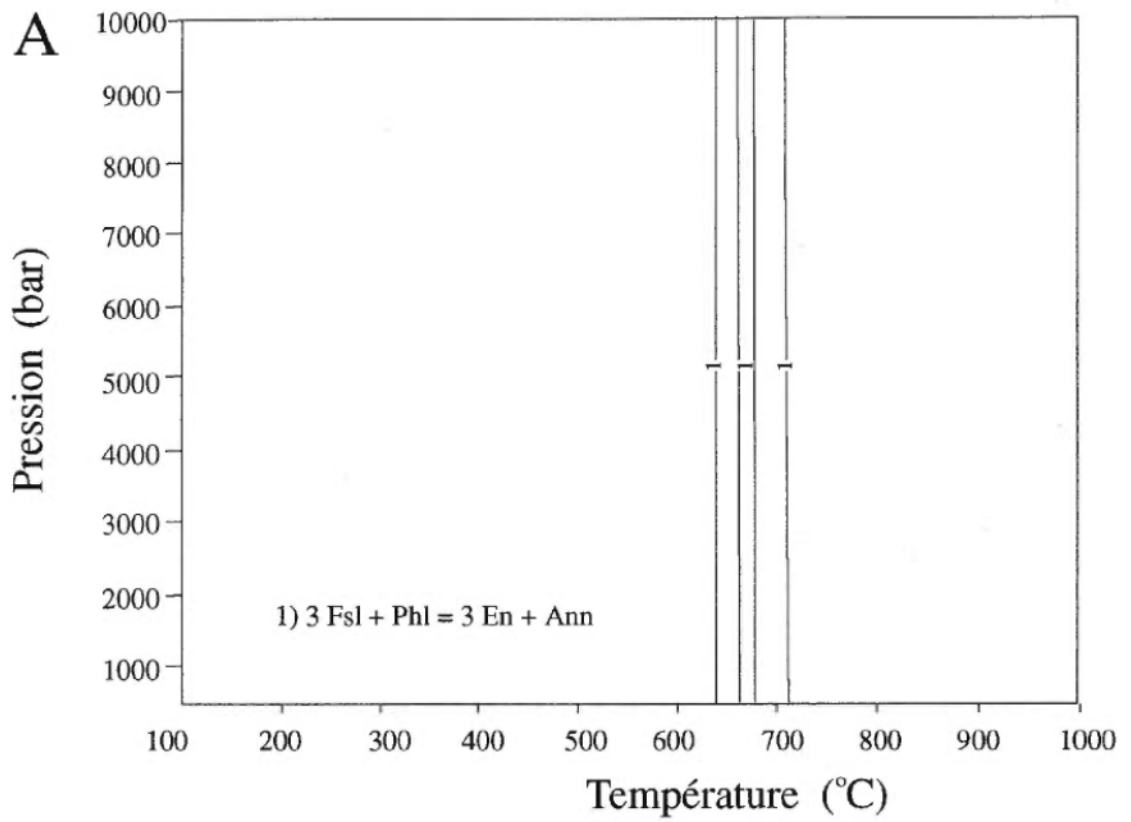
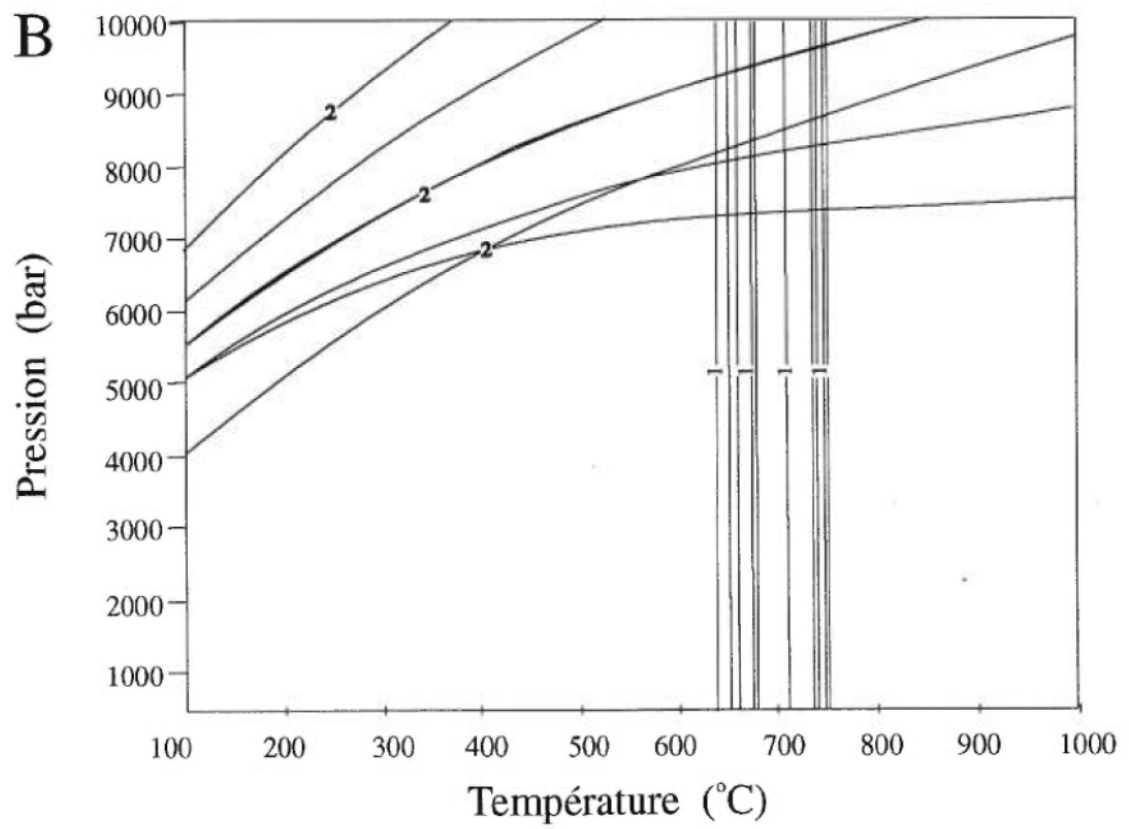
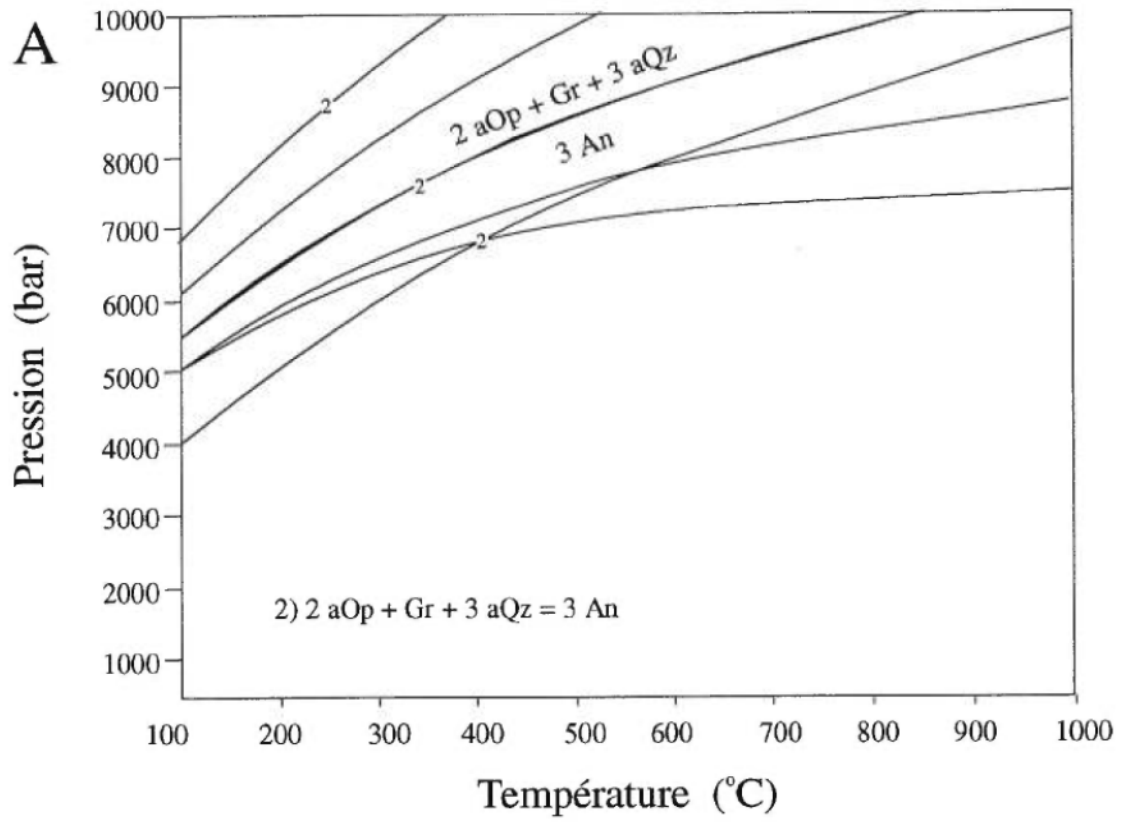
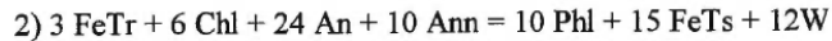
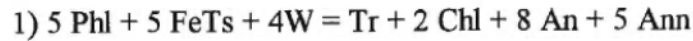


Figure 5.4 Figure montrant les pression obtenues à l'aide des calculs de TWEEQU. La température est exprimée en °C et la pression est en bar. (a) Baromètre montrant la déstabilisation deu grossulaire en anorthite dans les échantillon du dyke de Le Doré. (b) Figure représentant la superposition du thermomètre et du baromètre obtenue pour les échantillons du dyke de Le Doré. La varie donc entre 650 et 750°C et la pression maximale est de 7268 bar.



pyroxène, obtenue est donc de 7268 bar (figure 5.4b).

Pour les rosettes observées dans le dyke de Le Doré plusieurs réactions ont été obtenues:



Phl = phlogopite

FeTr = ferrotrémolite

FeTs = ferrotschermakite

Ann = annite

W = eau

An = anorthite

Tr = trémolite

Chl = chlorite

Dans les figures 5.5a-b, les courbes représentant ces réactions sont présentées. Elles représentent les différentes températures (ou intervalles de température) que peuvent prendre les minéraux composant ces rosettes. Bien que les réactions soient les mêmes les courbes semblent avoir une orientation différente. Cette différence de courbure est certainement due à la composition en MgO et FeO des biotites, des chlorites et des amphiboles utilisées pour les calculs thermobarométriques. En effet, le thermomètre utilisé par TWEEQU est basé sur l'échange fer et magnésium pour calculer les courbes de réaction.

Trois autres réactions ont été obtenues lors des calculs avec le logiciel TWEEQU:

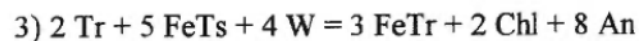
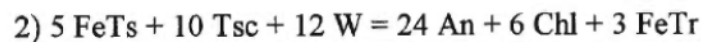
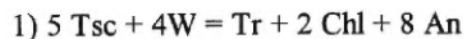
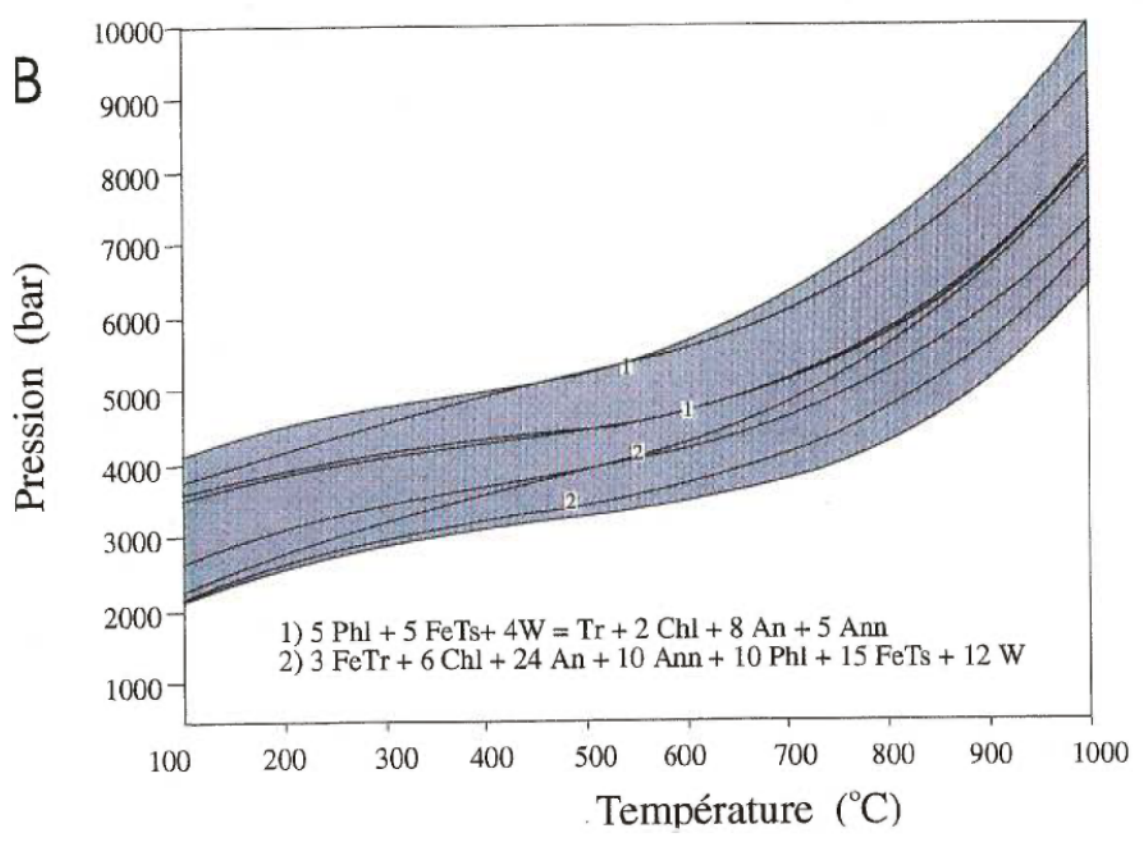
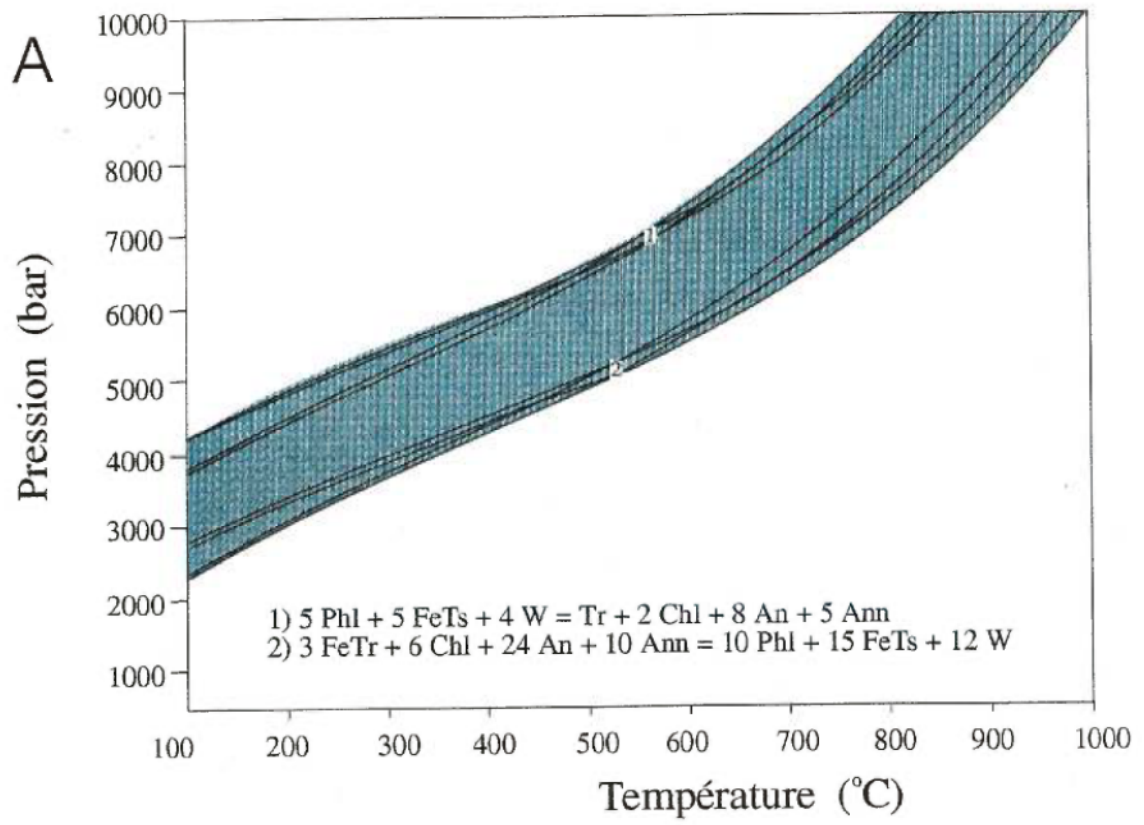


Figure 5.5 Figure montrant les températures obtenus à l'aide des calculs thermobarométriques de TWEEQU. La température est en °C et la pression en bar. (a) Températures obtenus pour les métagabbros à rosette du dyke de Le Doré. (b) Températures obtenus pour les métagabbros à rosette du dyke de Le Doré. Même si sont les mêmes réactions les courbes semblent avoir un comportement légèrement différent.



Tsc = tschermakite

W = eau

Tr = trémolite

Chl = chlorite

Tr = trémolite

FeTr = ferrotrémolite

FeTs = ferrotschermakite

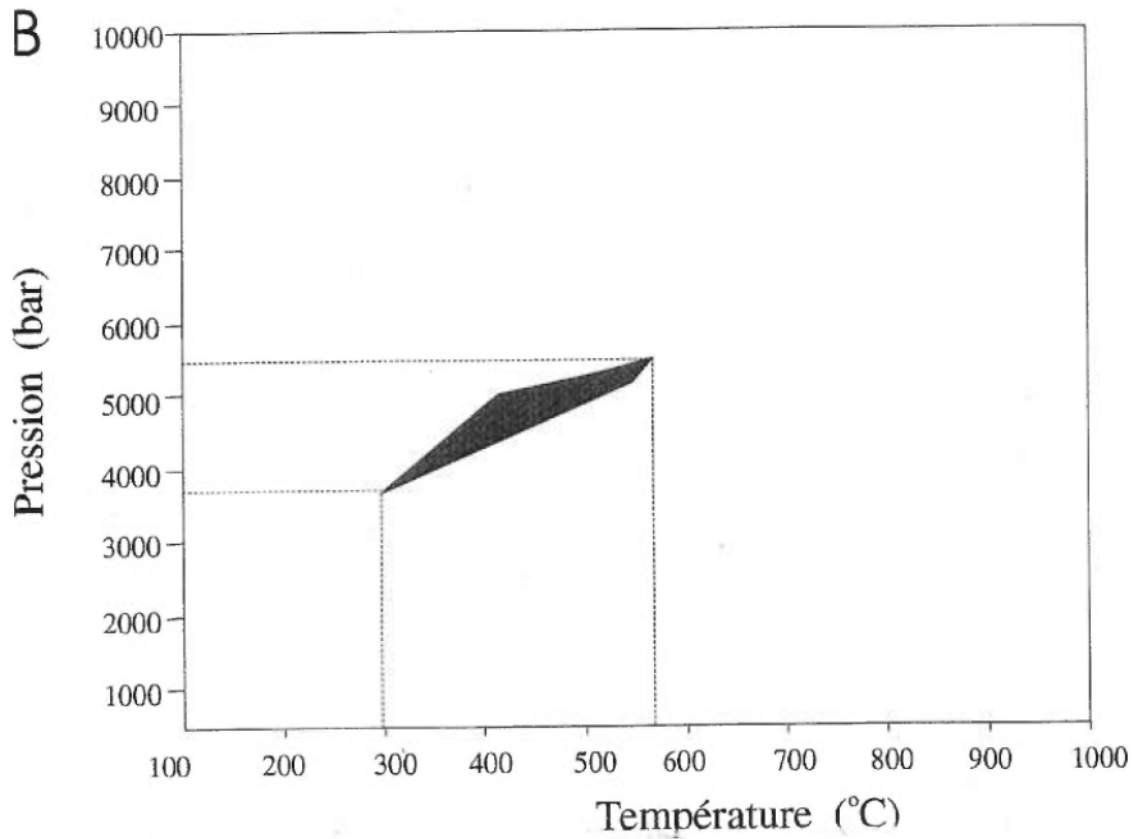
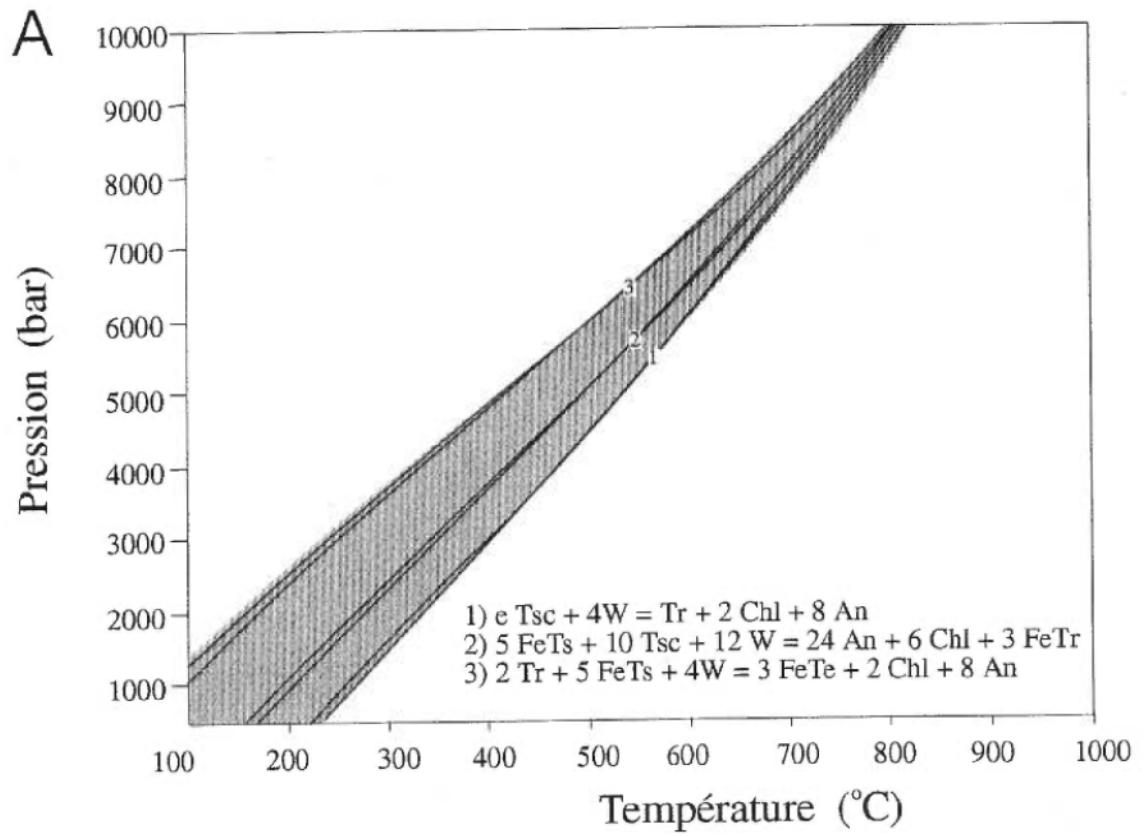
An = anorthite

La figure 5.6a nous montre les trois réactions présentées ci-dessus. Les réactions 2 et 3 sont peu fiables parce que sur un même côté de l'équation on retrouve deux amphiboles. Par contre, la réaction 1 est assez fiable, car elle est basée sur l'échange fer-magnésium entre l'amphibole et la chlorite. Encore une fois, on observe l'intervalle des températures que peuvent avoir prises les rosettes lors du métamorphisme.

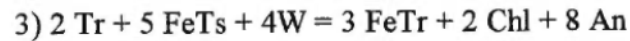
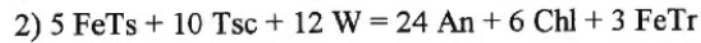
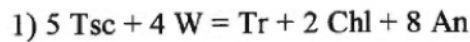
Si les figures 5.5a-b et 5.6a sont superposées, nous obtenons alors la figure 5.7b qui donne les champs de température moyenne pour la formation des rosettes dans le dyke de Le Doré. Les températures se situeraient donc entre 300°C et 680°C, ce qui à première vue semble assez différent des températures obtenues avec le thermomètre de Holland et Blundy, soit entre 674°C et 737°C. La variation des températures obtenues avec le logiciel TWEEQU est plus grande du fait de la grande variation dans la composition des minéraux (les biotites commencent à s'altérer en chlorite changeant la composition de la biotite et agissant ainsi énormément sur la précision du thermomètre).

La pression indiquée sur cette figure n'est pas représentative de ce qui s'est passé lors du métamorphisme, car aucun bon baromètre n'a pu être obtenu dans les assemblages minéralogiques de ces roches.

Figure 5.6 Figure montrant les températures obtenus à l'aide des calculs thermobarométriques de TWEEQU. La température est en °C et la pression en bar. (a) Températures obtenus pour les métagabbros à rosette du dyke de Le Doré. (b) Figure montrant la superposition des trois dernières figures (4.6a, 4.6b et 4.7a). Le champs des températures obtenu pour les métagabbros à rosette est donc entre 300 et 560°C.



Les mêmes trois réactions ont à nouveau été obtenues avec le logiciel TWEEQU pour les rosettes de la Suite Mafique de Lillian:



Tsc = tschermackite

An = anorthite

W = eau

FeTs = ferro-tschermackite

Tr = trémolite

FeTr = ferro-trémolite

Chl = chlorite

La figure 5.7 montre que, pour les différents assemblages minéralogiques observés, les réactions 1, 2 et 3 tombent toutes dans le même corridor, illustrant ainsi l'intervalle des températures que peuvent prendre les rosettes de la Suite Mafique de Lillian. Il faut noter que seule la réaction 1 est fiable, car il y a échange de fer et de magnésium entre la chlorite et l'amphibole. Aucune autre réaction n'a pu être obtenue sur ces rosettes étant donné la faible quantité de biotite dans les rosettes (les biotites n'étaient pas en contact avec les chlorites ou les amphiboles ou les deux à la fois).

5.3 Discussion

Les métagabbros du dyke de Le Doré sont à des températures représentatives de la transition entre le faciès amphibolite et granulite et représenterait une profondeur d'environ 25 km (figure 5.8). Certains métagabbros à olivine se retrouvent dans le faciès granulite tandis que d'autres se retrouvent davantage dans la transition (650 à

750°C). Les métagabbros à rosettes, pour leur part, se retrouvent plutôt dans le champ de température du faciès amphibolite (500-600°C), tout près de la transition vers le faciès granulite.

Les températures observées pour les réactions entre la biotite et l'orthopyroxène sont plus élevées que les températures observées entre le plagioclase et l'amphibole. Les températures plus élevées pourraient donc être des températures représentant la formation des couronnes lors de la cristallisation ignée. Tandis que les températures plus faibles observées avec les réactions entre le plagioclase et l'amphibole pourraient représenter les températures de formation de la couronne d'amphibole, lors du refroidissement du gabbro vers la température des roches encaissantes, par la diffusion à l'état solide.

On pourrait penser que les métagabbros à olivine se sont formés à des températures plus élevées et c'est pour cette raison qu'ils se composent en majorité de minéraux non hydratés, tels le pyroxène et l'olivine. Par la suite, il y a certainement eu hydratation (entrée de fluide probablement riche en potassium) du système; ce qui a transformé le diopside en amphibole et créé la couche de biotite qui existe dans les couronnes autour des olivines. Cette hydratation a pu être causée par un genre de carapace bien hydratée (par exemple le chevauchement de roches sédimentaires par dessus les gabbros). Ces fluides venaient certainement du haut de la séquence car à la base de cette séquence dans le dyke de Le Doré, on retrouve très peu de minéraux hydratés, tandis que vers le haut de cette séquence, les rosettes se composent de minéraux hydratés tels la chlorite et l'amphibole. Il serait intéressant de connaître la source de ces fluides pour pouvoir mieux comprendre le métamorphisme qui a

Figure 5.7 Figure montrant les températures obtenus à l'aide des calculs thermobarométriques de TWEEQU pour les métagabbros à rosette de la Suite Mafique de Lillian. La température est en °C et la pression en bar.

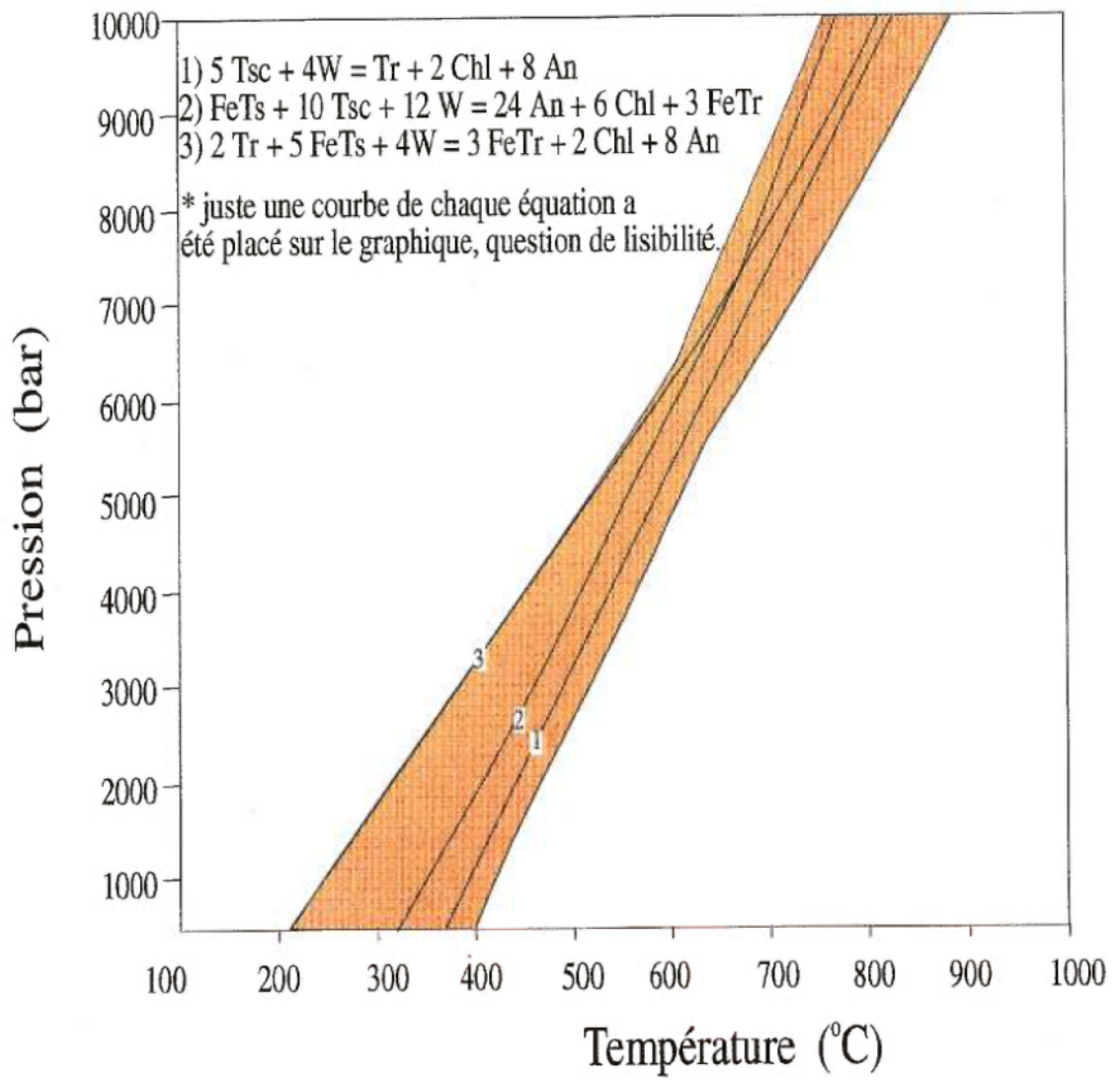


Figure 5.8 Diagramme de la pression et température montrant les champs des divers faciès métamorphiques, d'après Yardley, 1989. La température est en °C et la pression en Kbar. Les abréviations utilisées sont: Hfls = hornfels, AE = albite-épidote, HBL = hornblende, PX = pyroxène et PREH-PUMP = prehnite-pumpelleite.

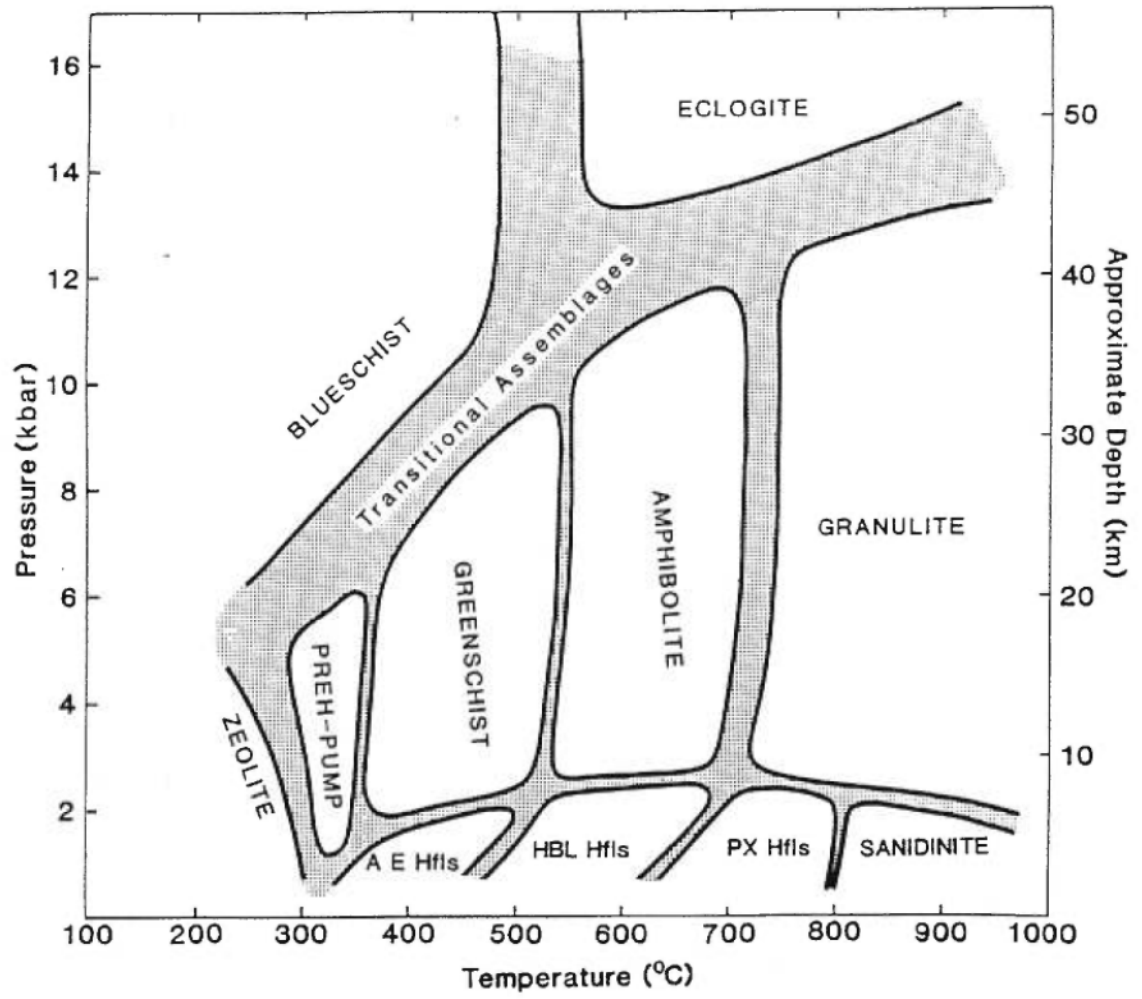
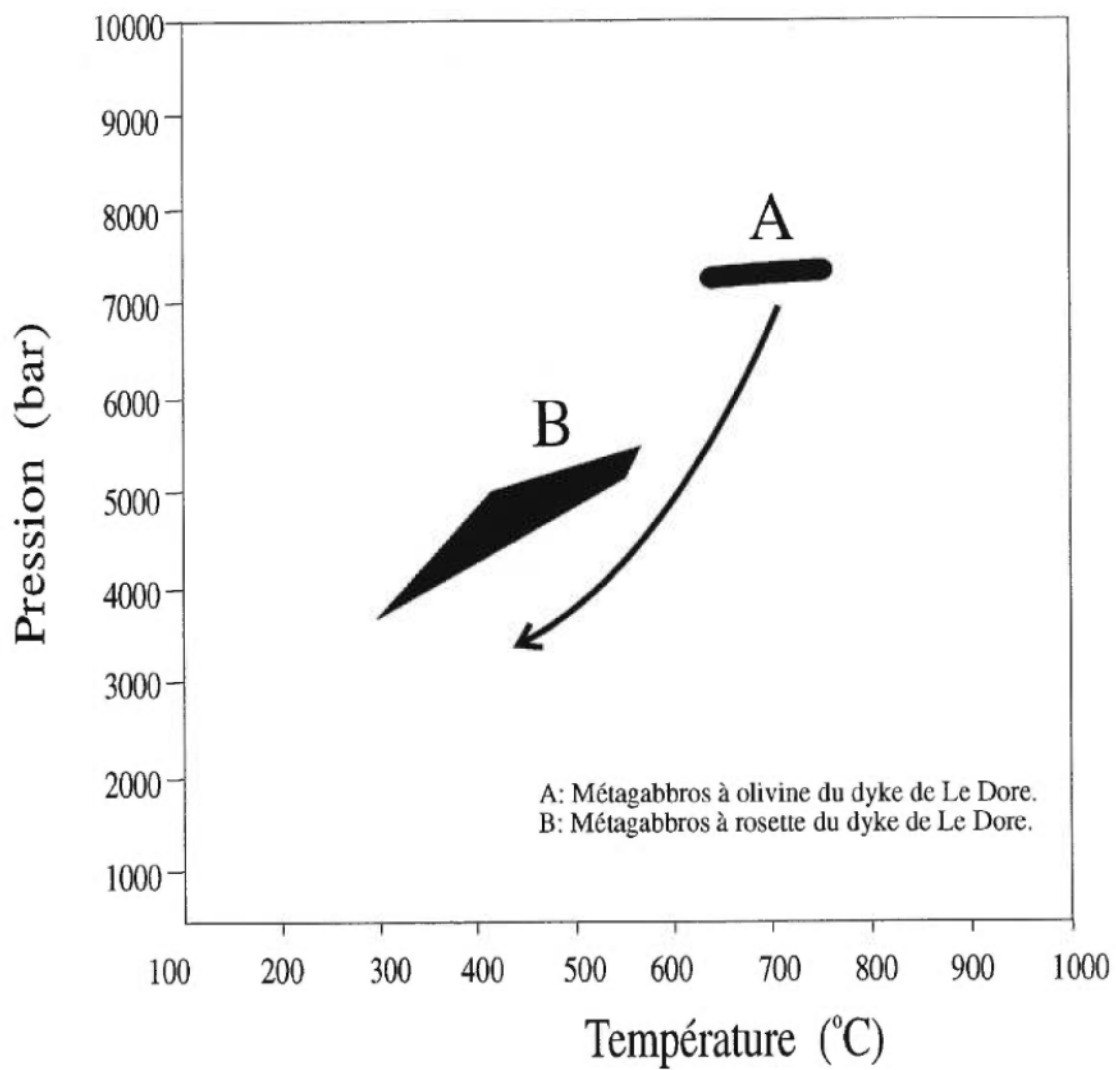


Figure 5.9 Diagramme montrant la relation métamorphique existant entre les différents méta-gabbros. La température est en °C et la pression en bar.



transforme ces gabbros à olivine. La température était donc plus élevée vers le bas de la séquence, c'est -à-dire dans les métagabbros à olivine, que vers le haut de la séquence, dans les métagabbros à rosette d'amphibole (figure 5.9). Ou encore, peut-être que tous les gabbros ont été métamorphisés au même degré dans un premier temps. Ensuite il y aurait peut-être eu un métamorphisme retrograde à plus basses températures et pressions dans les secteurs plus perméables, qui aurait donné les chlorite et les amphiboles que l'on retrouve au centre des rosettes de hornblende. Ce qui fait que les zones non perméables ont conservées leurs assemblages. Il pourrait ainsi s'agir non pas de un métamorphisme à températures et pressions variables, mais plutôt de deux périodes de métamorphisme.

Conclusion

Du point de vue pétrographique les métagabbros de la région du lac Le Doré se ressemblent beaucoup par la présence, dans les deux types de roches, de rosettes d'amphibole. Par contre, des variations dans le contenu en Na_2O et en CaO des amphiboles ont été observées. Ces éléments sont plus concentrés dans la bordure des rosettes, tandis que dans le cœur des rosettes un comportement différent de ces éléments a été observé. C'est-à-dire que les amphiboles retrouvées au centre des rosettes de la Suite Mafique de Lillian sont plus riches en Na_2O et en CaO que les amphiboles retrouvées au centre des rosettes du dyke de Le Doré.

Sur le plan géochimique, les métagabbros du dyke de Le Doré ont une tendance tholéitique montrant un enrichissement en fer. Les analyses des terres-rares ont montré que les deux types de métagabbros retrouvés dans le dyke de Le Doré tombent dans le champ de la plupart des tholéites continentales. De plus, les diagrammes de discrimination tectoniques laissent suggérer que les métagabbros du dyke de Le Doré ont été formés dans un environnement intra-plaque comme les fonds océaniques ou les plateaux continentaux. Les métagabbros du dyke de Le Doré se seraient donc formés dans un environnement de rift continental. Le magma produisant ces gabbros provenait d'une zone enrichie comme les plumes mantelliques ou la lithosphère continentale. Le magma pouvait aussi avoir été contaminé par la croûte lors de sa montée. Les métagabbros du dyke de Le Doré pourraient provenir d'une zone de 10 à 20 km sous une zone de rift. Ils pourraient représenter une partie de la chambre magmatique à ces profondeurs. Avec une plus grande banque de données géochimiques, il serait intéressant de comparer les différents métagabbros du lac Le Doré avec ceux retrouvés dans le Wakeham. Ceci permettrait de voir si ces gabbros se

sont formés dans le même contexte géologique.

Suite aux observations pétrologiques et aux résultats thermobarométriques, nous proposons donc que les deux premières couronnes sont le fruit du processus magmatique, lors de la solidification du magma. En effet, le logiciel TWEEQU de Berman, nous a donné des températures de 700°C et de 750°C pour les réaction entre l'orthopyroxène et la biotite.

La dernière couronne est le résultat d'un processus métamorphique lors d'une réaction continue durant le du refroidissement du dyke vers les températures de la roche encaissante. Les résultats thermobarométriques de 500 °C, obtenus à l'aide du logiciel TWEEQU pour la réaction entre l'amphibole et plagioclase, nous laissent croire à un processus métamorphique. Les bandes d'amphibole se seraient formées par un processus de diffusion à l'état solide (métamorphisme à l'état solide).

En effet, le contact entre les bandes d'olivine et d'orthopyroxène n'est pas droit, tandis que le contact entre les bandes de biotite et d'amphibole est droit. Cette texture donne l'impression que l'orthopyroxène c'est formé dans l'olivine, pour ainsi conserver sa forme idiomorphe (photo 4.1). Ce qui nous laisse suggérer un processus de cristallisation magmatique pour la formation de l'orthopyroxène.

De plus, la présence d'amphibole dans les bandes de réaction, observables seulement au contact plagioclase-olivine, et les plagioclases qui semblent recristallisés sont des éléments qui nous font croire à un processus métamorphique plutôt qu'igné pour la formation de la bande d'amphibole.

Finalement, cette interprétation est aussi celle qui correspond le mieux avec le métamorphisme régional qui est de schiste vert à amophibolite.

Il serait en effet intéressant de mieux connaître et comprendre le type de source qui a formée les métagabbros du dyke de Le Doré. Par exemple on pourrait vérifier la composition des roches encaissante pour mieux voir la relation qui existe entre ces deux types de roches.

Finalement, il serait très intéressant de pouvoir faire la datation de ces métagabbros pour ainsi mieux comprendre leur relation géologique avec les roches encaissantes. De plus une meilleure connaissance des granites de la région du lac Le Doré serait très utile pour l'interprétation du processus de formation des métagabbros. Il serait intéressant de voir les température de formation de ces granites pour ainsi les comparées avec celles obtenues pour les métagabbros du lac Le Doré.

serait le produit de la cristallisation ignée lors de la solidification du magma, donnant ainsi des températures élevées pour la réaction entre la biotite et l'orthopyroxène. Ensuite, lors du refroidissement du dyke vers les températures de la roches encaissantes la bande d'amphiboles se serait formé par un processus de diffusion à l'état solide (métamorphisme à l'état solide). Nous proposons donc que les deux premières couronnes sont le fruit du processus magmatique, tandis que la dernière couronne est le résultat d'un processus métamorphique, formées lors d'une réaction continue. Cette interprétation est aussi celle qui correspond le mieux avec le métamorphisme régionale, soit de schiste vert à amphibolite.

Il serait en effet intéressant de mieux connaître et comprendre le type de source qui a formée les métagabbros du dyke de Le Doré. Par exemple on pourrait vérifier la composition des roches encaissantes pour mieux voir la relation qui existe entre ces deux types de roches.

Finalement, il serait très intéressant de pouvoir faire la datation de ces métagabbros pour ainsi mieux comprendre leur relation géologique avec les roches encaissantes. De plus une meilleure connaissance des granites de la région du lac Le Doré serait très utile pour l'interprétation du processus de formation des métagabbros. Il serait intéressant de voir les températures de formation de ces granites pour ainsi les comparées avec celles obtenues pour les métagabbros du lac Le Doré.

Références

- Ashworth J.R.**, 1986, The Role of Magmatic Reaction, Diffusion, and Annealing in the Evolution of Coronitic Microstructure in the Troctolite Gabbro from Risør, Norway: A Discussion, *Mineralogical Magazine*, vol. 50: 469-473.
- Berman R.G.**, 1991, Thermobarometry Using Multi-Equilibrium Calculations: A New Technique, with Petrological Applications, *Canadian Mineralogist*, vol. 29: 833-855.
- Best M.G.**, 1982, *Igneous and Metamorphic Petrology*, Brigham Young University, W.H. Freeman and Company, 630p.
- Bourne J.H., Stott G., Borduas B. and Lalonde A.**, 1977, Lac de Morhiban and Natashquan River Map-Areas, Quebec, Geological Survey of Canada, Paper 77-1A: 199-204.
- Brown G.E. Jr**, 1982, Olivines and Silicate spinels in Orthosilicates; Review in *Mineralogy*, vol 5, Ribbe P.H. editor, p275-365.
- Carlson W.D. and Johnson C.D.**, 1991, Coronal Reaction Textures in the Garnet Amphibolites of the Llano Uplift, *American Mineralogist*, vol. 76: 756-772.
- Claveau J.**, 1949, La région du lac Wakeham, comté de Saguenay, Ministère des Mines, RG-37, 58p.
- Davidson A. and Grant S.M.**, 1986, Reconnaissance Geology of Western and Central Algonquin Park and Detail Study of Coronitic Olivine Metagabbro, Central Gneiss Belt, Grenville Province of Ontario; in *Current Research, Part B*, Geological Survey of Canada, Paper 86-1B: 837-848.

- Davidson A. and van Breemen O.**, 1988, Baddeleyite-Zircon Relationships in Coronitic Metagabbro, Grenville Province, Ontario: Implications for Geochronology, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 100: 291-299
- Emslie R.F.**, 1983, The Coronitic Michael Gabbros, Labrador: Assesment of Grenvillian Metamorphism in Northeastern Grenville Province; in *Current Research, Part A, Geological Survey of Canada, Paper 83-1A*: 139-145.
- Grant S.M.**, 1988, Diffusion Models for Corona Formation in Metagabbros from the Western Grenville Province, Canada, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 98: 49-63.
- Grieve R.A.F. and Gittins J.**, 1975, Composition and Formation of Coronas in the Hadlington Gabbro, Ontario, Canada, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 12:289-299.
- Griffin W.L. and Heier K.S.**, 1973, Petrological Implications of Some Corona Structures, *Lithos* 6: 315-335.
- Henderson P.**, 1984, *Rare-Earth-Element Geochemistry*, Elsevier Science Publisher B.V., 510 p.
- Holland T. and Blundy J.**, 1994, Non-ideal Interactions in Calcic Amphiboles and their Bearing on Amphibole-Plagioclase Thremometry, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 116: 433-447.
- Indarès A. and Martignole J.**, 1993, Etude régionale du Supergroupe de Wakeham, Province de Grenville, Ministère de l'Énergie et des ressources, Québec, MB91-21, 73p.

- Irvine T.N. and Baragar W.R.A.**, 1971, A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548.
- Joesten R.**, 1986a, The Role of Magmatic Reaction, Diffusion and Annealing in the Evolution of Coronitic Microstructure in the Troctolitic Gabbro from Risør, Norway. *Mineralogical Magazine*, 50: 441-467.
- Joesten R.**, 1986b, Reply, *Mineralogical Magazine*, vol 50: 474-479.
- Johnson C.D. and Carlson W.D.**, 1990, The Origin of Olivine-Plagioclase Coronas in Metagabbros from the Adirondack Mountains, New York. *Journal of Metamorphic Geology*, 8: 607-717.
- Ketchum J.W.F., Jamieson R.A., Heaman L.M., Culshaw N.G. and Krogh T.E.**, 1994, 1.45 Ga Granulites in the Southwestern Grenville Province: Geologic Setting, P-T conditions, and U-Pb Geochronology, *Geology*, 22: 215-218.
- Kretz R., Jones P. and Hartree R.**, 1989, Grenville Metagabbro Complexes of the Otter Lake Area, Quebec, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26: 215-230.
- Kretz R.**, 1994, *Metamorphic Crystallisation*, John Wiley and Sons.
- Lieberman J. and Patrakatis K.**, 1991, TWEEQU Thermobarometry: Analysis of Uncertainties and Applications to Granulites from Western Alaska and Australia, *Canadian Mineralogist* 29: 857-887
- Loveridge W.D.**, 1986, U-Pb Ages on Zircon from Rocks of the Lac de Morhiban Map Area, Quebec; in *Current Research*, Part A, Geological Survey of Canada, Paper 86-1A: 523-530.

Madore L., Verpaelst P., Choinière J., Hocq M., Dion D.J., Lefebvre D., David J. et Marquis R., 1996, Géologie de la région du lac Briend (12N/05) Moyenne-Côte-Nord, M-368, RG96-01.

Madore L., Verpaelst P., Choinière J., Hocq M., Dion D.J., Lefebvre D., David J. et Marquis R., 1997, Géologie de la région du lac Cormier (12N04), lac Bohier (12N/03), lac Cormier (12N/04), lac Briend (12N/05) et lac Le Doré (12N/06), Moyenne-Côte-Nord, Ministère des Ressources Naturelles, RG 97-08, sous presse.

Martignole J., Indarès A. et Desjardins D., 1992, Géologie de la région des Lacs Arthur et Ruffin, Moyenne Côte-Nord, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, MB 91-20:1-74.

Martignole J., Machado N and Indarès A., 1994, The Wakeham Terrane: A Mesoproterozoic Rift in the Eastern Part of the Grenville Province, *Precambrian Research*, 68: 291-306.

McBirney A.R., 1984, *Igneous Petrology*, Freeman, Cooper and Comany, 504p.

Mongkoltip P. and Ashworth J.R., 1983, Quantitative Estimation of an Open-system symplectite-Forming Reaction: Restricted Diffusion of Al and Si in Coronas around Olivine, *Journal of Petrology*, 24: 635-661.

Mørk M.B., 1986, Coronite and Eclogite Formation in Olivine Gabbro (Western Norway): Reaction Paths and Garnet Zoning, *Mineralogical Magazine*, vol. 50: 417-426.

- Morse S.A.**, 1980, Basalts and Phases Diagrams: An Introduction to the Quantitative Use of Phase Diagrams in Igneous Petrology. Springer-Verlag, New York Inc.
- Pearce J.A.**, 1975, Basalt Geochemistry Used to Investigated Post Tectonic Environments in Cyprus, *Tectonophysics*, 25: 41-68.
- Pearce J.A. and Cann J.R.**, 1973, Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks Determining Using Trace Element Analyses, *Earth and Planetary Science Letters*, 19:290-300.
- Pearce and Nory**, 1979, Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Volcanic Rocks, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69, 33-47.
- Pharaoh T.C. and Pearce J.A.**, 1984, Geochemical Evidence for the Geotectonic Setting of Early Proterozoic Metavolcanic Sequence in Lapland, *Precambrian Research*, 25: 283-308.
- Poirier G.**, McGill Electron Microprobe Laboratory Manual
- Rivers T., Martignole J., Gower C.F. and Davidson A.**, 1989, New Tectonic Divisions of the Grenville Province, Southeast Canadian Shield, *Tectonics*, vol. 8, no.1: 63-84.
- Sharma K.N.M.**, 1973, Géologie de la région du lac Victor, comté de Duplessis. Ministère des Richesses Naturelles, Québec, Rp-607, 11p.
- Sharma K.N.M. et Franconi A.**, 1975, Régions des rivières Magpie, Saint-Jean, Romaine, Ministère des Richesses Naturelles, R.G. 163, 73p.

- Shand S.J.**, 1945, Coronas and Coronites, *Bulletin of the Geological Society of America*, vol.56: 247-266.
- Shervais J.W.**, 1982, Ti-V Plots and the Petrogenesis of Modern and Ophiolitic Lavas, *Earth and Planetary Science Letters*, 59: 101-118.
- St-Onge M.R. and Ijewliw O.J.**, 1996, Mineral Corona Formation During High-P Retrogression of Granulitic Rocks, Ungava Orogen, Canada, *Journal of Petrology*, 37: 553-582.
- Spear F.S.**, 1993, Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time-Paths; in *Mineralogical Society of America, Monograph Series*, 799p.
- Spear F.S. and Florence F.P.**, 1992, Thermobarometry in granulites: Pitfalls and new approaches. *Journal of Precambrian Research* 55: 209-241
- Taylor S.R. and McLennan S.M.**, 1985, *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Oxford, Blackwell Scientific, 312 p.
- Thibert F.**, 1994, Pétrogénèse du Filon-Couche Différencié Roméo 1 Situé dans la Ceinture Plissée-Faillée du Cap Smith, Nouveau-Québec, Msc, Université de Montréal, Montréal, Québec, 145 p.
- Verpaelst P. et Madore L.**, 1997, *Géologie de la région du lac Le Doré (12N/06)*
- Verpaelst P., Madore L., Brisebois D., David J., Hocq M., Dion D.J., Choinière J., Lépine I., et Trzcienski W.**, 1996, *Géologie de la partie nord-est du groupe de Wakeham, Province de Grenville. Projet Abitibi-Grenville, Lithoprobe. Atelier 96. Résumé des présentations, Québec p.36*

- Whitney P.R. and McLelland J.M.**, 1973, Origin of Coronas in Metagabbros of the Adirondack Mts., N.Y., Contributions to Mineralogy and Petrology, 39: 81-98.
- Whitney P.R. and McLelland J.M.**, 1983, Origin of biotite-hornblende-garnet coronas between oxide and plagioclase olivine metagabbros, Adirondack region, New York. Contributions to Mineralogy and Petrology, 82, 34-41.
- Wood D.A.**, 1980, The application of Th-Hf-Ta Diagram to Problem of Tectonomagmatic Classification and to Establishing the Nature of Crustal Contamination of Basaltic Lavas of the British Tertiary Volcanic Province, Earth and Planetary Science Letters, 50:11-30.
- Wynne-Edwards H.R.**, 1972, The Grenville Province, Geological association of Canada, Special Paper, 11: 263-334.
- Yardley B.W.D.**, 1989, An Introduction to Metamorphic Petrology, Longman Earth Science Series, 248 p.

Annexe A

Analyses à la microsonde des amphiboles

	photo A1					photo-AA					photo-A1	
	point51	point 27	point 28	point 29	point 30	point 31	point 35	point 27	point 28			
SiO ₂	40,53	41,44	41,26	40,35	40,24	39,13	39,01	51,10	50,32			
Al ₂ O ₃	17,21	16,87	17,52	18,67	18,12	20,43	18,87	30,70	3,21			
FeO	11,74	10,68	10,27	12,17	10,39	13,69	11,10	0,25	10,38			
MgO	13,44	14,48	14,33	15,61	13,96	15,61	13,63	0,01	13,84			
MnO	0,16	0,16	0,14	0,25	0,18	0,30	0,15	0,00	0,22			
TiO ₂	0,04	0,11	0,11	0,08	0,14	0,06	0,07	0,06	1,41			
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04			
CaO	10,81	10,75	10,69	6,92	10,84	5,48	10,69	13,70	20,37			
Na ₂ O	3,23	3,52	3,63	3,59	3,58	3,51	3,47	3,88	0,59			
K ₂ O	0,32	0,22	0,23	0,15	0,25	0,11	0,30	0,01	0,04			
Total	97,49	98,24	98,18	97,79	97,71	98,31	97,28	99,73	100,52			
Si	5,87	5,92	5,89	5,75	5,78	5,55	5,64					
Aliv	2,13	2,08	2,11	2,25	2,22	2,45	2,36					
Al total	2,94	2,84	2,95	3,14	3,07	3,42	3,21					
Alvi	0,81	0,76	0,84	0,89	0,85	0,97	0,85					
Ti	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01					
Fe3+	0,70	0,68	0,65	0,81	0,69	0,93	0,86					
Cr3+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
Mg	2,90	3,08	3,05	3,32	2,99	3,30	2,94					
Fe2+	0,72	0,59	0,58	0,65	0,56	0,70	0,48					
Mn	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02					
Sum FM	13,15	13,15	13,14	13,70	13,13	13,94	13,15					
Ca	1,68	1,65	1,64	1,06	1,67	0,83	1,66					
Na(M4)	0,17	0,20	0,22	0,24	0,20	0,23	0,19					
Na total	0,91	0,98	1,01	0,99	1,00	0,97	0,97					
Na(A)	0,73	0,77	0,78	0,75	0,80	0,74	0,78					
K	0,06	0,04	0,04	0,03	0,05	0,02	0,06					
Sum(A)	0,79	0,81	0,82	0,78	0,84	0,76	0,83					
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00					

4214-B

4214-B

	photo-A1			photo-A			photo-BB			photo-3
	point 29	point 30	point 31	point 12	point 16	point 30	point 35	point 36	point 13	
SiO ₂	37,45	38,48	39,66	38,27	40,34	40,39	39,92	37,70	40,67	
Al ₂ O ₃	21,21	19,57	18,94	20,71	18,23	17,31	18,34	20,64	17,89	
FeO	11,80	11,31	11,14	11,45	12,34	12,42	12,51	12,94	12,34	
MgO	13,36	13,49	13,77	12,84	12,54	13,19	12,11	12,19	12,19	
MnO	0,18	0,17	0,12	0,11	0,17	0,17	0,16	0,13	0,18	
TiO ₂	0,11	0,07	0,15	0,12	0,02	0,03	0,11	0,07	0,06	
Cr ₂ O ₃	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
CaO	10,06	10,53	10,55	10,75	10,83	10,69	11,24	10,84	10,70	
Na ₂ O	2,94	3,01	2,89	3,03	3,14	2,85	3,01	2,80	3,26	
K ₂ O	0,26	0,32	0,30	0,33	0,34	0,51	0,52	0,50	0,29	
Total	97,39	96,95	97,52	97,63	97,99	97,56	97,93	97,84	97,57	
Si	5,39	5,57	5,69	5,51	5,83	5,84	5,80	5,44	5,91	
Aliv	2,61	2,43	2,31	2,49	2,17	2,16	2,20	2,56	2,09	
Al total	3,60	3,34	3,21	3,51	3,11	2,95	3,14	3,51	3,07	
Alvi	0,99	0,91	0,90	1,02	0,94	0,79	0,94	0,95	0,98	
Ti	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	
Fe3+	1,00	0,91	0,84	0,87	0,64	0,84	0,56	1,05	0,51	
Cr3+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mg	2,87	2,91	2,95	2,75	2,70	2,84	2,62	2,62	2,64	
Fe2+	0,42	0,46	0,50	0,51	0,86	0,67	0,96	0,51	0,99	
Mn	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
Sum FM	13,31	13,22	13,22	13,18	13,15	13,16	13,12	13,16	13,14	
Ca	1,55	1,63	1,62	1,66	1,68	1,66	1,75	1,68	1,67	
Na(M4)	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,13	0,17	0,19	
Na total	0,82	0,85	0,81	0,85	0,88	0,80	0,85	0,78	0,92	
Na(A)	0,68	0,69	0,64	0,68	0,71	0,62	0,71	0,62	0,73	
K	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,09	0,10	0,09	0,05	
Sum(A)	0,73	0,75	0,70	0,74	0,77	0,71	0,81	0,71	0,78	
OH	2,00	2,00	2,00	1,98	1,97	2,00	1,99	1,98	2,00	

	photo-A					photo-B				
	point 18	point 18	point 19	point 21	point 2	point 4	point 6	point 7	point 13	
SiO ₂	41,55	41,25	51,84	43,89	40,08	40,63	26,99	40,42	40,28	
Al ₂ O ₃	16,07	16,61	5,15	13,39	18,19	16,58	20,79	16,39	16,13	
FeO	14,77	14,76	10,02	13,64	16,44	16,32	16,23	16,17	16,38	
MgO	10,54	10,21	16,90	12,10	8,98	9,59	21,69	9,71	10,01	
MnO	0,11	0,08	0,09	0,10	0,13	0,15	0,07	0,19	0,15	
TiO ₂	0,58	0,56	0,48	0,52	0,35	0,44	0,15	0,65	0,79	
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,26	0,40	0,31	0,43	
CaO	11,96	12,05	12,36	12,17	10,96	10,74	0,04	10,79	10,64	
Na ₂ O	2,09	2,14	0,67	1,74	2,68	2,64	0,02	2,71	2,79	
K ₂ O	0,60	0,50	0,12	0,34	0,31	0,30	0,03	0,20	0,23	
Total	98,26	98,14	97,64	97,94	98,12	97,65	86,42	97,54	97,83	
Si	6,09	6,06	7,36	6,39	5,91	6,01		5,99	5,95	
Aliv	1,91	1,94	0,64	1,61	2,09	1,99		2,01	2,05	
Al total	2,78	2,88	0,86	2,30	3,16	2,89		2,86	2,81	
Alvi	0,87	0,93	0,23	0,69	1,07	0,90		0,85	0,76	
Ti	0,06	0,06	0,05	0,06	0,04	0,05		0,07	0,09	
Fe3+	0,34	0,30	0,23	0,36	0,42	0,47		0,47	0,56	
Cr3+	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03		0,04	0,05	
Mg	2,30	2,23	3,58	2,63	1,97	2,11		2,14	2,20	
Fe2+	1,47	1,51	0,96	1,30	1,60	1,55		1,53	1,47	
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02		0,02	0,02	
Sum FM	13,06	13,05	13,06	13,05	13,12	13,13		13,13	13,15	
Ca	1,88	1,90	1,88	1,90	1,73	1,70		1,71	1,69	
Na(M4)	0,07	0,06	0,06	0,06	0,15	0,16		0,15	0,17	
Na total	0,59	0,61	0,19	0,49	0,77	0,76		0,78	0,80	
Na(A)	0,53	0,55	0,12	0,44	0,62	0,59		0,62	0,63	
K	0,11	0,09	0,02	0,06	0,06	0,06		0,04	0,04	
Sum(A)	0,64	0,65	0,14	0,50	0,68	0,65		0,66	0,67	
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00		2,00	2,00	

4202-B2

	photo-D							photo-1						
	point 1	point 5	point 7	point 4	point 5	point 6	point 7	point 8	point 9	point 6	point 7	point 8	point 9	
SiO ₂	40,10	39,88	39,87	36,77	41,59	37,92	39,86	37,83	39,18					
Al ₂ O ₃	19,12	18,56	18,88	17,88	16,01	21,52	17,86	20,13	18,34					
FeO	15,73	15,69	15,90	13,51	14,99	14,73	15,36	15,60	15,43					
MgO	8,84	9,46	9,03	17,22	10,96	9,42	9,98	8,99	9,93					
MnO	0,17	0,18	0,20	0,01	0,17	0,21	0,16	0,19	0,16					
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00					
Cr ₂ O ₃	0,17	0,09	0,20	0,73	0,25	0,06	0,18	0,06	0,12					
CaO	10,86	10,79	10,98	0,94	10,59	10,29	10,75	10,78	10,74					
Na ₂ O	2,56	2,61	2,66	0,49	2,53	2,70	2,71	2,71	2,82					
K ₂ O	0,28	0,32	0,26	5,99	0,19	0,24	0,25	0,32	0,25					
Total	97,83	97,58	97,97	93,54	97,30	97,15	97,12	96,60	96,97					
Si	5,90	5,87	5,87		6,10	5,56	5,89	5,63	5,80					
Aliv	2,11	2,13	2,14		1,90	2,44	2,11	2,37	2,20					
Al total	3,31	3,22	3,27		2,77	3,72	3,11	3,53	3,20					
Alvi	1,21	1,10	1,14		0,87	1,28	1,00	1,16	1,00					
Ti	0,02	0,01	0,02		0,03	0,01	0,02	0,01	0,01					
Fe3+	0,42	0,52	0,44		0,58	0,75	0,56	0,65	0,63					
Cr3+	0,00	0,00	0,00		0,00	0,01	0,00	0,00	0,00					
Mg	1,94	2,08	1,98		2,40	2,06	2,20	1,99	2,19					
Fe2+	1,51	1,41	1,52		1,26	1,06	1,34	1,29	1,28					
Mn	0,02	0,02	0,03		0,02	0,03	0,02	0,02	0,02					
Sum FM	13,12	13,14	13,12		13,16	13,18	13,14	13,13	13,14					
Ca	1,71	1,70	1,73		1,67	1,62	1,70	1,72	1,70					
Na(M4)	0,17	0,16	0,15		0,18	0,21	0,16	0,15	0,16					
Na total	0,73	0,75	0,76		0,72	0,77	0,78	0,78	0,81					
Na(A)	0,56	0,59	0,61		0,54	0,56	0,62	0,63	0,65					
K	0,05	0,06	0,05		0,04	0,05	0,05	0,06	0,05					
Sum(A)	0,61	0,65	0,66		0,58	0,61	0,66	0,69	0,70					
OH	2,00	2,00	2,00		2,00	2,00	2,00	2,00	2,00					

	photo-1			photo-2				photo-3			
	point 10	point 1	point 2	point 6	point 7	point 8	point 6	point 7	point 8		
SiO ₂	37,18	48,87	50,29	49,92	51,09	35,45	50,96	47,61	39,24		
Al ₂ O ₃	22,49	2,94	3,49	3,95	3,44	2,09	4,39	7,91	16,46		
FeO	14,32	14,66	14,02	12,19	12,91	8,92	11,06	12,24	15,81		
MgO	9,46	15,31	14,90	14,40	15,78	9,87	16,73	14,75	9,27		
MnO	0,16	0,21	0,14	0,13	0,13	0,21	0,08	0,11	0,13		
TiO ₂	0,06	2,72	1,91	2,12	0,39	0,16	0,57	0,60	0,71		
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,01	0,06		
CaO	10,02	11,02	12,13	13,02	12,17	24,08	11,78	11,79	11,47		
Na ₂ O	2,66	0,29	0,42	0,41	0,47	0,28	0,69	1,10	2,39		
K ₂ O	0,24	0,06	0,05	0,05	0,03	0,04	0,07	0,11	0,54		
Total	96,57	96,08	97,37	96,20	96,42	81,12	96,34	96,22	96,09		
Si	5,46	7,28	7,36	7,35	7,43		7,34	6,94	5,94		
Aliv	2,55	0,00	0,00	0,00	0,57		0,66	1,06	2,06		
Al total	3,89	0,52	0,60	0,69	0,59		0,75	1,36	2,94		
Alvi	1,35	0,00	0,00	0,00	0,02		0,09	0,30	0,87		
Ti	0,01	0,31	0,21	0,24	0,04		0,06	0,07	0,08		
Fe3+	0,84	0,00	0,00	0,00	0,40		0,44	0,47	0,37		
Cr3+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,01		
Mg	2,07	3,40	3,25	3,16	3,42		3,59	3,20	2,09		
Fe2+	0,92	1,83	1,72	1,50	1,17		0,90	1,02	1,63		
Mn	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02		0,01	0,01	0,02		
Sum FM	13,20	13,35	13,16	12,95	13,07		13,08	13,07	13,07		
Ca	1,58	1,76	1,90	2,05	1,90		1,82	1,84	1,86		
Na(M4)	0,23	0,00	0,00	0,00	0,04		0,10	0,09	0,08		
Na total	0,76	0,08	0,12	0,12	0,13		0,19	0,31	0,70		
Na(A)	0,53	0,00	0,00	0,00	0,10		0,10	0,23	0,63		
K	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01		0,01	0,02	0,10		
Sum(A)	0,57	0,00	0,00	0,00	0,10		0,11	0,25	0,73		
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00		2,00	2,00	2,00		

	4202-B2				4217-A				
	photo-3				photo-AA				
	point 9	point 10	point 11	point 12	point 14	point 1	point 2	point 3	point 4
SiO ₂	38,86	46,53	39,62	40,42	39,20	55,26	55,60	56,25	55,83
Al ₂ O ₃	17,31	7,28	16,65	15,47	17,02	1,07	0,34	0,47	1,82
FeO	16,28	13,92	15,85	16,58	15,88	8,15	19,70	17,10	8,12
MgO	8,83	14,63	9,25	9,70	9,18	19,76	21,56	22,76	19,74
MnO	0,12	0,16	0,12	0,13	0,08	0,19	0,72	0,57	0,20
TiO ₂	1,03	2,60	0,62	0,41	0,73	0,05	0,00	0,01	0,07
Cr ₂ O ₃	0,02	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	11,35	11,35	11,53	11,58	11,51	12,37	0,57	0,26	12,23
Na ₂ O	2,50	1,08	2,34	2,26	2,36	0,10	0,04	0,04	0,20
K ₂ O	0,49	0,12	0,45	0,48	0,54	0,04	0,03	0,02	0,04
Total	96,80	97,67	96,50	97,03	96,50	96,99	98,55	97,48	98,25
Si	5,85	6,77	5,96	6,04	5,90				
Aliv	2,15	1,23	2,04	1,96	2,10				
Al total	3,07	1,25	2,95	2,73	3,02				
Alvi	0,92	0,02	0,91	0,77	0,92				
Ti	0,12	0,29	0,07	0,05	0,08				
Fe3+	0,36	0,39	0,37	0,50	0,38				
Cr3+	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00				
Mg	1,98	3,17	2,07	2,16	2,06				
Fe2+	1,69	1,31	1,62	1,57	1,62				
Mn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01				
Sum FM	13,08	13,19	13,07	13,07	13,07				
Ca	1,83	1,77	1,86	1,86	1,86				
Na(M4)	0,09	0,04	0,08	0,08	0,08				
Na total	0,73	0,31	0,68	0,66	0,69				
Na(A)	0,64	0,27	0,61	0,58	0,61				
K	0,09	0,02	0,09	0,09	0,10				
Sum(A)	0,73	0,29	0,69	0,67	0,72				
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00				

4217-A

	photo-AA					photo-A				
	point 5	point 6	point 7	point 8	point 9	point 10	point 11	point 12	point 15	
SiO ₂	55,27	54,75	55,49	55,39	54,50	54,67	54,54	54,71	55,22	
Al ₂ O ₃	2,10	1,15	1,34	0,19	0,47	1,52	1,79	0,32	0,49	
FeO	8,94	19,39	7,94	20,47	19,17	8,47	8,18	19,87	19,30	
MgO	19,63	20,57	20,37	21,19	22,07	19,66	19,93	21,40	22,30	
MnO	0,22	0,63	0,17	0,73	0,64	0,15	0,22	0,68	0,56	
TiO ₂	0,01	0,06	0,03	0,01	0,09	0,04	0,06	0,04	0,01	
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CaO	11,49	1,58	12,18	0,60	0,39	12,28	12,26	0,63	0,39	
Na ₂ O	0,21	0,15	0,14	0,00	0,04	0,17	0,20	0,03	0,02	
K ₂ O	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	
Total	97,90	98,30	97,69	98,60	97,39	97,00	97,22	97,69	98,32	

4217-A

	photo-A						photo-B					
	point 16	point 19	point 20	point 21	point 22	point 23	point 24	point 25	point 26			
SiO ₂	55,758	55,311	55,576	54,982	55,376	55,341	54,025	54,978	55,266			
Al ₂ O ₃	1,267	0,194	1,233	0,426	1,091	0,407	1,734	1,618	0,42			
FeO	8,314	19,494	8,1	19,849	7,785	19,79	8,524	10,59	19,611			
MgO	19,989	21,367	19,821	21,562	20,251	21,691	19,83	20,247	21,459			
MnO	0,188	0,681	0,144	0,683	0,145	0,629	0,192	0,298	0,65			
TiO ₂	0,03	0,008	0,053	0	0	0,024	0,056	0,106	0			
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
CaO	12,323	0,632	12,449	0,645	12,296	0,662	11,636	9,894	0,817			
Na ₂ O	0,13	0,028	0,11	0,017	0,129	0,007	0,205	0,183	0,029			
K ₂ O	0,023	0,045	0,029	0,029	0,048	0,027	0,034	0,039	0,033			
Total	98,022	97,76	97,515	98,193	97,121	98,578	96,236	97,953	98,285			

4221

	photo-8					photo-9				
	point 8	point 9	point 10	point 11	point 12	point 13	point 14	point 15	point 16	
SiO ₂	49,65	54,32	46,00	41,96	39,87	44,12	41,78	29,25	44,11	
Al ₂ O ₃	7,08	0,49	11,15	15,87	15,54	13,37	15,75	18,35	13,68	
FeO	9,95	19,93	12,05	13,37	13,30	12,66	13,33	18,49	12,33	
MgO	16,02	19,97	13,61	11,10	14,01	12,53	11,00	20,02	12,54	
MnO	0,18	1,02	0,24	0,23	0,20	0,23	0,21	0,13	0,23	
TiO ₂	0,43	0,12	0,48	0,51	0,52	0,39	0,75	0,04	0,41	
Cr ₂ O ₃	0,10	0,00	0,23	0,01	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00	
CaO	12,29	1,73	11,51	11,07	8,30	11,35	11,31	0,23	11,33	
Na ₂ O	0,93	0,09	1,68	2,39	1,72	1,92	2,27	0,03	2,02	
K ₂ O	0,08	0,02	0,10	0,21	0,19	0,18	0,24	0,04	0,13	
Total	96,72	97,68	97,05	96,71	93,68	96,73	96,65	86,61	96,77	
Si	7,14	7,86	6,68	6,18		6,45	6,17		6,44	
Aliv	0,86	0,00	1,32	1,82		1,55	1,83		1,56	
Al total	1,20	0,08	1,91	2,76		2,30	2,74		2,35	
Alvi	0,34	0,00	0,58	0,93		0,75	0,91		0,79	
Ti	0,05	0,01	0,05	0,06		0,04	0,08		0,05	
Fe3+	0,26	0,00	0,35	0,36		0,37	0,31		0,35	
Cr3+	0,01	0,00	0,03	0,00		0,00	0,00		0,00	
Mg	3,43	4,31	2,94	2,44		2,73	2,42		2,73	
Fe2+	0,94	2,41	1,12	1,29		1,18	1,34		1,16	
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	
Sum FM	13,05	14,80	13,10	13,10		13,10	13,09		13,10	
Ca	1,89	0,27	1,79	1,75		1,78	1,79		1,77	
Na(M4)	0,06	0,00	0,11	0,15		0,12	0,12		0,13	
Na total	0,26	0,03	0,47	0,68		0,54	0,65		0,57	
Na(A)	0,20	0,00	0,36	0,53		0,43	0,53		0,44	
K	0,02	0,00	0,02	0,04		0,03	0,05		0,02	
Sum(A)	0,22	0,00	0,38	0,57		0,46	0,57		0,47	
OH	2,00	2,00	2,00	2,00		2,00	2,00		2,00	

Annexe B

Analyses à la microsonde des Biotites

Annexe C

Analyses à la microsonde des chlorites

	photo-10			photo-11			photo-12			
	Spot 28	Spot 31	Spot 5	Spot 6	Spot 7	Spot 1	Spot 3	Spot 9	Spot 10	Spot 3
SiO ₂	27,91	27,24	26,69	26,76	26,68	26,72	26,73	26,23	26,84	26,80
Al ₂ O ₃	21,43	22,09	21,80	20,97	22,07	22,12	21,98	22,08	22,21	21,94
FeO	13,64	13,72	14,85	14,80	15,16	15,28	15,03	15,24	15,21	15,06
MgO	24,21	23,99	22,87	23,18	23,10	23,18	22,52	22,48	22,92	22,78
MnO	0,07	0,06	0,11	0,11	0,14	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10
TiO ₂	0,11	0,11	0,08	0,13	0,09	0,04	0,09	0,08	0,08	0,08
Cr ₂ O ₃	0,00	0,04	0,06	0,02	0,01	0,03	0,04	0,05	0,01	0,05
CaO	0,04	0,05	0,08	0,05	0,03	0,01	0,05	0,08	0,01	0,03
Na ₂ O	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,04	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Total	87,48	87,33	86,60	86,04	87,30	87,53	86,55	86,36	87,39	86,86
Si IV			2,69	2,72	2,67	2,69	2,72	2,67		2,70
Al IV			1,31	1,28	1,33	1,31	1,28	1,33		1,30
T site			4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00		4,00
Al VI			1,28	1,23	1,28	1,28	1,23	1,28		1,30
Tl			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		0,01
Fe +3			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
Fe +2			1,25	1,26	1,27	1,25	1,26	1,27		1,27
Mn +2			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		0,01
Mg			3,44	3,51	3,45	3,44	3,51	3,45		3,42
Ca			0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00		0,00
Na			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
K			0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00		0,00
O site			6,01	6,02	6,02	6,01	6,02	6,02		6,00
O			10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00		10,00
OH			8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00		8,00

4221

Annexe D

Analyses à la microsonde des clinopyroxènes

	4202-A					4214-B				
	photo-A			photo-AA		photo-A1				
	Spot 22	Spot 23	Spot 24	Spot 25	Spot 26	Spot 39	Spot 40	Spot 40.1	Spot 41	
SiO2	49,46	49,16	48,49	49,40	48,77	50,64	49,55	50,90	50,86	
Al2O3	3,58	3,03	3,31	3,01	3,01	3,05	3,56	2,49	2,53	
FeO	9,87	9,63	9,96	9,70	9,45	9,61	10,71	10,19	10,35	
MgO	13,73	14,02	14,06	14,11	14,08	13,66	13,76	14,26	14,29	
MnO	0,19	0,20	0,22	0,17	0,19	0,18	0,21	0,19	0,23	
TiO2	1,52	1,24	1,39	1,33	1,35	1,19	1,61	1,19	1,08	
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,02	
NiO	nd	nd	nd	nd	nd					
Na2O	0,69	0,66	0,56	0,68	0,68	0,63	0,59	0,54	0,51	
CaO	20,49	20,56	20,46	20,67	20,85	21,37	20,46	20,63	20,62	
K2O	0,02	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	
Total	99,54	98,53	98,49	99,08	98,38	100,35	100,49	100,41	100,50	
Si IV	99,54	98,53	98,49	99,08	1,86	1,89	1,86	1,90	1,90	
Al IV	1,87	1,87	1,85	1,87	0,14	0,11	0,14	0,10	0,10	
T site	0,13	0,13	0,15	0,13	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
Al VI	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	
Ti	0,03	0,01	0,00	0,01	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	
Cr	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fe +3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fe +2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	0,34	0,32	0,32	
Mn +2	0,31	0,31	0,32	0,31	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Ni	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,76	0,77	0,79	0,80	
Ca	0,77	0,80	0,80	0,80	0,85	0,86	0,82	0,83	0,83	
Na	0,83	0,84	0,84	0,84	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	
K	0,05	0,05	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
M1,M2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	2,03	2,04	2,03	2,03	
O	2,04	2,05	2,05	2,05	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	

4202-B2

	photo-2				
	Spot 2	Spot 3	Spot 4	Spot 5	
SiO ₂	50,29	49,78	47,71	49,67	
Al ₂ O ₃	3,49	2,80	4,18	2,66	
FeO	14,02	10,45	11,27	10,44	
MgO	14,90	13,79	13,37	14,03	
MnO	0,14	0,23	0,22	0,20	
TiO ₂	1,91	1,33	1,92	1,34	
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	
CaO	12,13	20,14	19,51	20,17	
Na ₂ O	0,42	0,51	0,53	0,55	
K ₂ O	0,05	0,02	0,03	0,03	
Total	97,37	99,05	98,73	99,08	
Si IV	1,92	1,89	1,83	1,88	
Al IV	0,08	0,11	0,17	0,12	
T site	2,00	2,00	2,00	2,00	
Al VI	0,08	0,01	0,02	0,00	
Ti	0,05	0,04	0,06	0,04	
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fe +3	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fe +2	0,45	0,33	0,36	0,33	
Mn +2	0,00	0,01	0,01	0,01	
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mg	0,85	0,78	0,76	0,81	
Ca	0,50	0,82	0,80	0,82	
Na	0,03	0,04	0,04	0,04	
K	0,00	0,00	0,00	0,00	
M1,M2	1,96	2,03	2,04	2,04	
O	6,00	6,00	6,00	6,00	

Annexe E

Analyses à la microsonde des olivines

	4214-B								
	photo-A1			photo-A					
	point 33	point 34	point 35	point 36	point 37	point 39	point 19	point 20	point 21
SiO ₂	34,73	34,56	34,75	34,65	34,85	35,11	36,29	36,09	36,22
Al ₂ O ₃	0,15	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
FeO	37,79	38,01	37,86	37,76	36,69	36,11	33,85	33,37	33,68
MgO	25,36	25,26	25,47	25,49	26,50	27,35	29,38	29,58	29,47
MnO	0,51	0,51	0,50	0,53	0,50	0,49	0,45	0,49	0,46
TiO ₂	0,04	0,02	0,05	0,06	0,03	0,04	0,00	0,09	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,07	0,06	0,07	0,06	0,08	0,03	0,07	0,04	0,04
CoO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
CaO	0,14	0,00	0,18	0,04	0,07	0,01	0,03	0,03	0,02
Total	98,77	98,42	98,89	98,58	98,72	99,14	100,10	99,72	99,89
Si							1,00	1,00	1,00
Ti								0,00	
Al							0,00		
Mg							1,21	1,22	1,21
Ca							0,00	0,00	0,00
Cr									
Mn							0,01	0,01	0,01
Fe							0,78	0,77	0,78
Na							0,00	0,00	0,00
K							0,00	0,00	0,00

	4214-B								
	photo-A		photo-B		photo-1				
	point 22	point 23	point 24	point 26	point1	point2	point3	point 4	point 5
SiO ₂	35,65	36,00	35,38	35,71	35,98	35,73	35,72	35,68	35,87
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,33	32,87	38,04	35,77	36,59	36,84	36,73	36,29	36,25
MgO	27,89	29,93	25,68	27,34	27,57	27,65	27,94	27,66	27,88
MnO	0,49	0,44	0,55	0,50	0,48	0,51	0,43	0,48	0,47
TiO ₂	0,02	0,08	0,06	0,04	0,06	0,08	0,03	0,10	0,07
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,06	0,07	0,04	0,04	0,08	0,12	0,05	0,08	0,06
CoO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
CaO	0,03	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,50	99,42	99,84	99,41	100,74	100,94	100,90	100,28	100,59
Si	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	1,00
Ti	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al						0,00			
Mg	1,16	1,23	1,08	1,14	1,14	1,15	1,15	1,15	1,15
Ca	0,00	0,00	0,00						
Cr									
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe	0,83	0,76	0,90	0,83	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84
Na		0,00	0,00						
K	0,00	0,00	0,00	0,00					

	8-4-3			
	photo-B			
	point 5	point 6	point 7	point 8
SiO ₂	35,65	35,67	35,82	35,72
Al ₂ O ₃	0,01	0,02	0,00	0,00
FeO	31,41	31,22	30,34	31,95
MgO	32,44	32,63	32,94	32,20
MnO	0,43	0,44	0,43	0,47
TiO ₂	0,11	0,06	0,03	0,12
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,04	0,05	0,07	0,05
CoO	nd	nd	nd	nd
CaO	0,10	0,09	0,16	0,01
Total	100,19	100,17	99,79	100,51
Si	0,97	0,97	0,98	0,97
Ti	0,00	0,00	0,01	0,00
Al	0,00	0,00		
Mg	1,32	1,33	1,34	1,31
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr				
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe	0,72	0,71	0,69	0,73
Na				
K				

Annexe F

Analyses à la microsonde des orthopyroxènes

	photo 4					photo 3				
	Spot 5	Spot 6	Spot 7	Spot 4	Spot 5	Spot 6	Spot 7	Spot 8	Spot 9	Spot 10
SiO2	52,80	52,58	53,44	53,42	53,14	53,25	53,09	53,09	53,08	51,98
Al2O3	0,66	1,20	0,44	0,37	0,66	0,22	0,35	0,29	0,45	1,20
FeO	22,49	21,91	22,30	22,35	22,88	22,27	22,17	22,65	22,00	23,62
MgO	23,81	23,45	23,37	24,05	23,52	23,95	23,89	23,64	23,88	22,04
MnO	0,48	0,45	0,51	0,45	0,47	0,50	0,47	0,50	0,43	0,48
TiO2	0,03	0,05	0,02	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,07
Cr2O3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
CaO	0,11	0,08	0,13	0,08	0,11	0,08	0,11	0,09	0,12	0,26
Na2O	0,01	0,08	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
K2O	0,02	0,47	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,06
Total	100,45	100,28	100,25	100,73	100,92	100,39	100,12	100,34	100,02	99,75
Si IV	1,96	1,95	1,98	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,95
Al IV	0,03	0,05	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,05
T site	1,99	2,00	2,00	1,99	1,99	1,98	1,99	1,99	1,99	2,00
Al VI	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe +3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe +2	0,70	0,68	0,69	0,69	0,71	0,69	0,69	0,70	0,68	0,74
Mn +2	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Mg	1,32	1,30	1,29	1,32	1,30	1,32	1,32	1,31	1,32	1,24
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Na	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M1,M2	2,04	2,03	2,01	2,03	2,03	2,04	2,03	2,04	2,03	2,02
O	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00

4214-B

4214-B

	Photo 5		
	Spot 1	Spot 2	Spot 2
SiO2	52,75	52,47	51,87
Al2O3	0,62	0,68	0,35
FeO	21,71	21,76	21,72
MgO	23,78	23,80	24,09
MnO	0,50	0,45	0,45
TiO2	0,02	0,03	0,04
Cr2O3	nd	nd	nd
CaO	0,11	0,06	0,09
Na2O	0,00	0,00	0,00
K2O	0,04	0,02	0,04
Total	99,57	99,30	98,65
Si IV	1,97	1,96	1,96
Al IV	0,03	0,03	0,02
T site	2,00	1,99	1,97
Al VI	0,00	0,00	0,00
Ti	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	0,00	0,00
Fe +3	0,00	0,00	0,00
Fe +2	0,68	0,68	0,69
Mn +2	0,02	0,01	0,01
Ni	0,00	0,00	0,00
Mg	1,32	1,33	1,36
Ca	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00
K	0,00	0,00	0,00
M1,M2	2,02	2,03	2,06
O	6,00	6,00	6,00
Charge	0,00	0,00	0,00

Annexe G

Analyses à la microsonde des plagioclases

4202-A

	photo-B1			photo-A1			photo-C1		
	point15	point16	point17	point24	point25	point15	point16	point17	point21
SiO ₂	52,08	58,84	57,53	53,68	52,15	53,16	53,39	51,79	52,31
Al ₂ O ₃	29,97	25,02	25,80	28,79	29,59	29,19	28,96	30,35	29,95
FeO	0,14	0,17	0,24	0,36	0,36	0,01	0,17	0,21	0,36
MgO	0,01	0,04	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02
MnO	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00
TiO ₂	0,08	0,04	0,11	0,10	0,09	0,04	0,10	0,11	0,22
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
CaO	12,58	7,02	8,03	11,43	12,61	11,86	11,33	12,90	12,56
Na ₂ O	4,22	7,34	6,67	4,99	4,47	4,75	4,99	4,16	4,31
K ₂ O	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02
Total	99,28	98,52	98,46	99,42	99,33	99,38	99,00	99,53	99,75

4202-A

	photo-C1			photo-D1						
	point22	point23		point 8	point 9	point 10	point 11	point 12	point 13	point 14
SiO ₂	57,03	65,07		51,91	57,50	62,01	52,45	53,09	52,51	56,03
Al ₂ O ₃	26,59	19,91		30,45	26,95	23,94	30,27	29,66	30,34	27,43
FeO	0,26	1,04		0,21	0,08	0,18	0,21	0,31	0,17	0,11
MgO	0,01	0,16		0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,00
MnO	0,00	0,06		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TiO ₂	0,14	0,49		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr ₂ O ₃	0,00	0,01		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
CaO	8,86	1,53		12,70	8,47	5,08	12,51	12,21	12,40	9,37
Na ₂ O	6,70	10,36		4,34	6,90	8,84	4,42	4,77	4,58	6,33
K ₂ O	0,04	0,03		0,03	0,02	0,04	0,04	0,02	0,05	0,03
Total	99,41	98,65		99,65	99,93	100,08	99,91	100,06	100,08	99,31

4202-A

	photo-D1					photo-AA				
	point 15	point 16	point 18	point 19	point 36	point 37	point 38	point 39-1	point 39-2	
SiO ₂	57,69	54,83	52,95	57,44	51,20	50,98	55,63	57,66	57,25	
Al ₂ O ₃	26,34	27,95	29,60	26,39	30,41	30,51	27,33	26,57	26,62	
FeO	0,07	0,13	0,28	0,21	0,29	0,25	0,17	0,30	0,14	
MgO	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,07	0,00	0,02	0,01	
MnO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
TiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
CaO	7,80	9,87	11,87	7,69	12,86	12,81	9,06	7,87	8,20	
Na ₂ O	7,22	5,98	4,87	7,27	4,41	4,22	6,37	7,15	6,87	
K ₂ O	0,05	0,06	0,02	0,05	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03	
Total	99,16	98,82	99,60	99,06	99,21	98,88	98,58	99,61	99,11	

	4202-A				4214-B										
	photo-AA		photo-A1		photo-A1										
	point 39-3	point 40	point 17	point 43	point 44	point 45	point 47	point 50	point 24	point 43	point 44	point 45	point 47	point 50	point 24
SiO ₂	57,37	57,65	57,12	52,17	51,88	58,04	56,79	56,35	52,82	52,17	51,88	58,04	56,79	56,35	52,82
Al ₂ O ₃	26,50	26,57	26,60	29,88	29,84	25,87	26,64	26,79	29,51	29,88	29,84	25,87	26,64	26,79	29,51
FeO	0,18	0,18	0,23	0,25	0,17	0,37	0,25	0,29	0,33	0,25	0,17	0,37	0,25	0,29	0,33
MgO	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,06	0,01	0,06	0,03	0,00	0,01	0,06	0,01	0,06	0,03
MnO	nd	nd	nd	0,00	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00
TiO ₂	nd	nd	nd	0,10	0,13	0,10	0,11	0,14	0,14	0,10	0,13	0,10	0,11	0,14	0,14
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	8,06	8,18	8,31	13,03	12,91	7,97	8,86	9,25	11,83	13,03	12,91	7,97	8,86	9,25	11,83
Na ₂ O	6,77	6,41	6,91	4,24	4,19	6,97	6,31	6,32	4,49	4,24	4,19	6,97	6,31	6,32	4,49
K ₂ O	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,07	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,07
Total	98,92	99,04	99,21	99,71	99,15	99,43	99,04	99,22	99,23	99,71	99,15	99,43	99,04	99,22	99,23

	photo-A1				photo-A				
	point 25	point 4	point 5	point 7	point 8	point 9	point 10	point 17	point 18
SiO ₂	56,52	55,19	52,44	54,73	51,11	50,83	57,68	52,71	56,32
Al ₂ O ₃	26,99	27,79	29,27	28,04	30,51	30,30	25,84	29,55	26,92
FeO	0,18	0,22	0,29	0,20	0,23	0,17	0,18	0,27	0,20
MgO	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03
MnO	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03	0,00	0,00	0,02	0,02
TiO ₂	0,20	0,20	0,12	0,09	0,18	0,12	0,07	0,12	0,15
Cr ₂ O ₃	0,00	0,03	0,18	0,10	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00
CaO	9,14	10,09	12,14	10,60	13,69	13,32	7,95	12,44	9,17
Na ₂ O	6,22	5,70	4,62	5,42	3,67	3,86	6,74	4,43	6,07
K ₂ O	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,04	0,04	0,05
Total	99,29	99,30	99,15	99,28	99,52	98,69	98,52	99,59	98,92

4214-B

4214-B

	photo-BB					photo-8				
	point 31	point 32	point 37	point 6	point 7	point 8	point 9	point 10	point 11	
SiO ₂	58,00	51,65	51,86	68,36	67,41	67,50	59,95	56,90	53,83	
Al ₂ O ₃	26,08	30,50	30,04	20,61	20,21	20,35	25,46	27,14	29,08	
FeO	0,34	0,32	0,24	0,24	0,27	0,14	0,12	0,16	0,14	
MgO	0,01	0,02	0,04	0,01	0,13	0,02	0,01	0,00	0,02	
MnO	0,00	0,01	0,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
TiO ₂	0,19	0,13	0,10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
CaO	7,82	13,19	12,87	0,93	0,93	0,92	6,65	9,16	11,26	
Na ₂ O	0,07	0,05	0,05	0,04	0,03	0,01	0,04	0,04	0,04	
K ₂ O	6,87	3,93	4,12	11,17	11,14	11,11	7,79	6,45	4,99	
Total	99,38	99,80	99,31	101,35	100,12	100,05	100,01	99,85	99,36	

	photo-8			photo-9			photo-3		
	point 12	point 13	point 1	point 2	point 3	point 4	point 30	point 31	point 32
SiO ₂	52,20	51,73	46,29	38,55	52,83	59,36	53,16	56,87	53,72
Al ₂ O ₃	30,29	30,65	27,77	23,89	29,82	25,44	29,82	26,89	29,34
FeO	0,17	0,17	1,31	1,40	0,09	0,07	0,34	0,20	0,14
MgO	0,03	0,04	0,70	0,04	0,00	0,00	0,05	0,02	0,02
MnO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
CaO	12,58	13,13	16,47	23,26	12,09	7,06	11,82	8,91	11,52
Na ₂ O	4,38	4,00	2,63	2,28	4,56	7,61	4,71	6,45	4,77
K ₂ O	0,04	0,06	0,05	0,08	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03
Total	99,68	99,80	95,22	89,49	99,43	99,58	99,94	99,37	99,54

	8-4-3											
	4214-B				photo-A1				photo-B			
	point 33	point 5	point 6	point 7	point 8	point 9	point 10	point 11	point 12	point 10	point 11	point 12
SiO ₂	55,99	52,30	57,03	56,63	58,31	56,83	52,35	55,76	52,47	52,35	55,76	52,47
Al ₂ O ₃	27,41	30,08	26,63	26,87	25,25	27,28	30,73	28,49	29,78	30,73	28,49	29,78
FeO	0,26	0,17	0,21	0,27	0,57	0,50	0,35	0,37	0,25	0,35	0,37	0,25
MgO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02
MnO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
CaO	9,65	12,45	7,76	9,07	7,07	8,97	12,81	10,17	12,04	12,81	10,17	12,04
Na ₂ O	6,06	4,44	6,47	6,27	7,25	6,63	4,23	5,71	4,60	4,23	5,71	4,60
K ₂ O	0,04	0,08	0,78	0,10	0,11	0,11	0,11	0,09	0,10	0,11	0,09	0,10
Total	99,42	99,55	98,97	99,27	98,62	100,35	100,60	100,60	99,26	100,60	100,60	99,26

8-4-3

	photo-B										
	point 13	point 14	point 15	point 16	point 17	point 18	point 19	point 20	point 21		
SiO ₂	54,03	55,46	51,83	54,04	56,20	51,29	63,59	63,20	59,69		
Al ₂ O ₃	29,36	28,51	30,64	29,21	27,54	30,56	19,52	19,39	25,12		
FeO	0,29	0,20	0,25	0,25	0,34	0,28	0,18	0,44	0,25		
MgO	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,10	0,01		
MnO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd		
TiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd		
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd		
CaO	11,27	10,24	13,00	11,31	9,36	12,94	0,76	0,89	6,49		
Na ₂ O	5,16	5,80	4,25	5,08	6,07	4,15	2,21	2,08	7,51		
K ₂ O	0,14	0,10	0,08	0,16	0,24	0,17	13,60	13,50	0,49		
Total	100,27	100,32	100,05	100,06	99,77	99,40	99,87	99,62	99,56		

	8-4-3						4202-B2					
	photo-AA			photo-A			photo-AA			photo-A		
	point 22	point 23	point 24	point 25	point 26		point 11	point 12	point 13	point 14		
SiO ₂	54,77	52,34	55,71	53,83	56,48		52,19	55,11	52,33	54,99		
Al ₂ O ₃	28,38	30,18	27,99	29,13	27,13		30,58	28,47	30,13	28,49		
FeO	0,27	0,24	0,36	0,35	0,33		0,19	0,20	0,24	0,30		
MgO	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02		0,01	0,02	0,03	0,04		
MnO	nd	nd	nd	nd	nd		nd	nd	nd	nd		
TiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd		nd	nd	nd	nd		
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd		nd	nd	nd	nd		
CaO	10,17	12,40	10,02	11,16	8,73		12,82	10,52	12,58	10,42		
Na ₂ O	5,74	4,49	5,79	5,17	6,51		4,26	5,65	4,53	5,77		
K ₂ O	0,17	0,11	0,20	0,22	0,36		0,04	0,05	0,05	0,09		
Total	99,52	99,75	100,09	99,86	99,56		100,10	100,02	99,88	100,09		

4202-B2

	photo-A			photo-B			photo-C			photo-D		
	point 15	point 16	point 17	point 1	point 14	point 15	point 2	point 3	point 4			
SiO ₂	55,35	52,37	53,39	53,05	51,55	52,69	46,35	52,16	51,50			
Al ₂ O ₃	28,65	30,63	30,05	29,90	30,50	29,82	34,04	30,23	30,45			
FeO	0,13	0,19	0,33	0,19	0,18	0,23	0,30	0,24	0,23			
MgO	0,03	0,03	0,03	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00			
MnO	nd	nd	nd	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04			
TiO ₂	nd	nd	nd	0,15	0,07	0,10	0,00	0,13	0,11			
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09			
CaO	10,41	12,81	12,00	11,91	12,95	12,07	16,99	12,46	12,54			
Na ₂ O	5,67	4,39	4,76	4,84	4,22	4,84	1,84	4,55	4,49			
K ₂ O	0,07	0,04	0,06	0,03	0,03	0,05	0,01	0,03	0,04			
Total	100,31	100,47	100,61	100,08	99,51	99,81	99,56	99,82	99,50			

4202-B2

	photo-D			photo-1					photo-2		
	point 6	point 11	point 12	point 13	point 14	point 15	point 15-1	point 16	point 17		
SiO ₂	46,24	50,61	54,92	50,33	51,02	55,20	56,36	52,11	52,48		
Al ₂ O ₃	33,69	31,09	27,85	28,97	30,69	27,60	26,72	29,60	29,38		
FeO	0,52	0,13	0,14	0,54	0,16	0,20	0,13	0,09	0,26		
MgO	0,14	0,00	0,03	0,39	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01		
MnO	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02		
TiO ₂	0,02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd		
Cr ₂ O ₃	0,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd		
CaO	16,95	12,59	9,07	12,29	12,82	9,62	8,43	11,67	11,62		
Na ₂ O	1,84	4,21	6,34	4,50	4,31	6,20	6,89	4,94	4,99		
K ₂ O	0,02	0,03	0,04	0,07	0,02	0,05	0,02	0,03	0,03		
Total	99,42	98,68	98,39	97,09	99,03	98,90	98,56	98,44	98,80		

	4202-B2				4221				
	photo-2		photo-3		photo-2		photo-7		
	point 18	point 1	point 2	point 3	point 4	point 5	point 1	point 2	point 3
SiO ₂	51,22	52,76	53,45	51,58	54,67	55,78	52,39	57,62	59,37
Al ₂ O ₃	29,40	29,26	29,07	29,77	27,53	26,69	29,35	25,85	25,22
FeO	0,16	0,26	0,19	0,34	0,12	0,21	0,22	0,14	0,28
MgO	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00
MnO	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
CaO	12,66	11,57	10,98	12,00	9,45	8,53	11,17	7,20	6,24
Na ₂ O	4,63	4,89	5,33	4,67	6,30	6,68	4,89	7,47	8,13
K ₂ O	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,02
Total	98,17	98,81	99,08	98,43	98,14	97,97	98,07	98,32	99,25

4221

	photo-8					photo-9				
	point 11	point 12	point 13	point 14	point 1	point 2	point 3	point 4	point 5	
SiO ₂	58,02	51,99	52,04	52,69	53,23	65,57	54,94	56,59	52,48	
Al ₂ O ₃	25,97	30,08	29,93	29,51	28,76	20,82	27,79	26,73	29,49	
FeO	0,31	0,29	0,18	0,26	0,08	0,01	0,09	0,02	0,05	
MgO	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	0,00	
MnO	0,00	0,04	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	
TiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
CaO	7,39	11,95	12,05	11,41	9,74	0,93	9,50	8,09	11,45	
Na ₂ O	7,49	4,68	4,63	4,95	5,06	10,93	6,19	6,99	5,01	
K ₂ O	0,05	0,04	0,06	0,03	0,94	0,14	0,09	0,04	0,05	
Total	99,24	99,07	98,90	98,86	97,86	98,46	98,60	98,49	98,53	

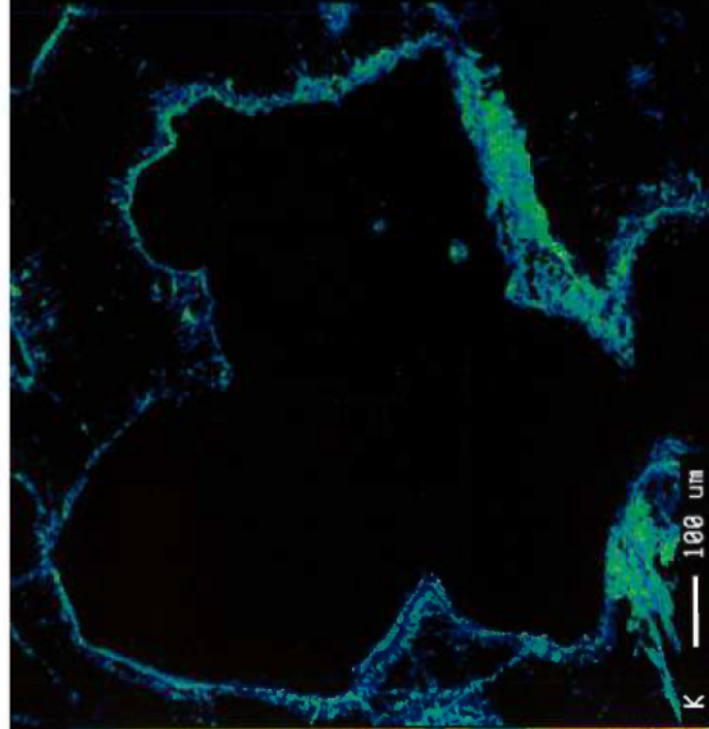
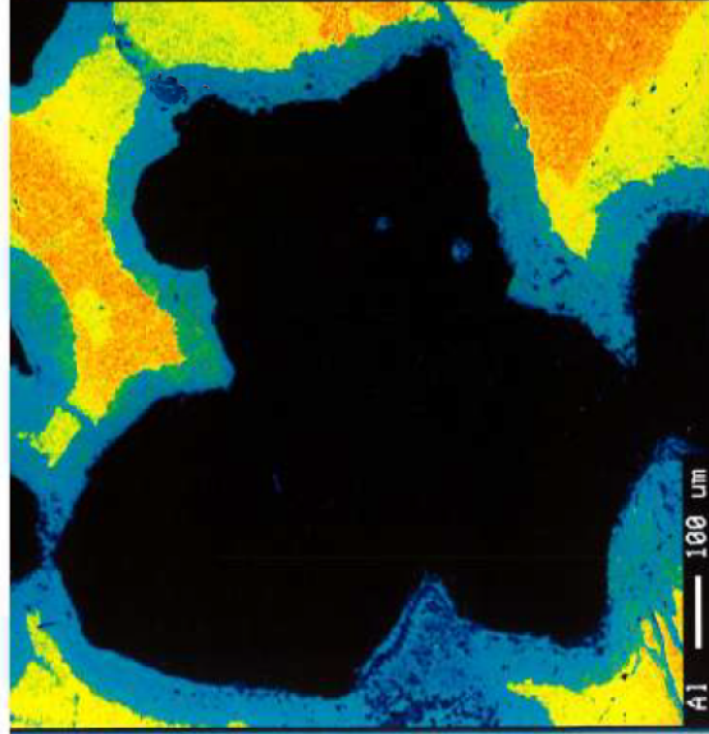
	4221					4215			
	photo-9					photo-1A			
	point 6	point 7	point 8	point 9	point 10	point 1	point 2	point 3	point 4
SiO ₂	57,12	57,62	54,31	64,50	57,82	50,54	49,83	51,25	50,26
Al ₂ O ₃	26,54	26,13	28,26	21,71	25,88	30,23	30,89	30,15	31,02
FeO	0,03	0,22	0,12	0,08	0,32	0,34	0,15	0,45	0,31
MgO	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05	0,14	0,06
MnO	0,00	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02	0,00	0,04	0,00
TiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
CaO	7,94	7,44	10,20	1,12	7,15	12,34	13,28	12,20	13,17
Na ₂ O	7,13	7,52	5,72	10,53	7,53	4,39	3,90	4,39	3,85
K ₂ O	0,05	0,05	0,05	0,64	0,05	0,04	0,06	0,13	0,08
Total	98,81	99,00	98,67	98,61	98,77	97,89	98,17	98,75	98,75

4215
photo-2

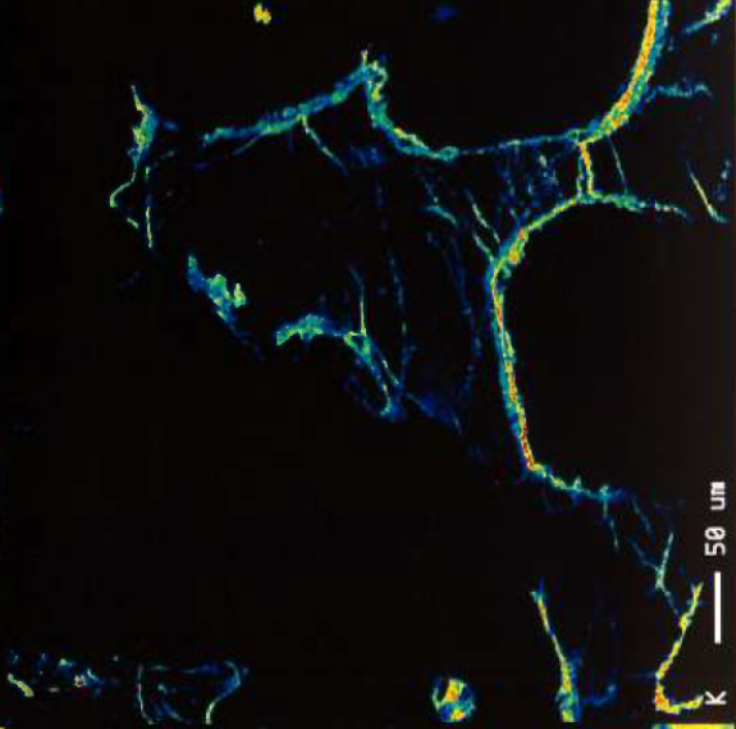
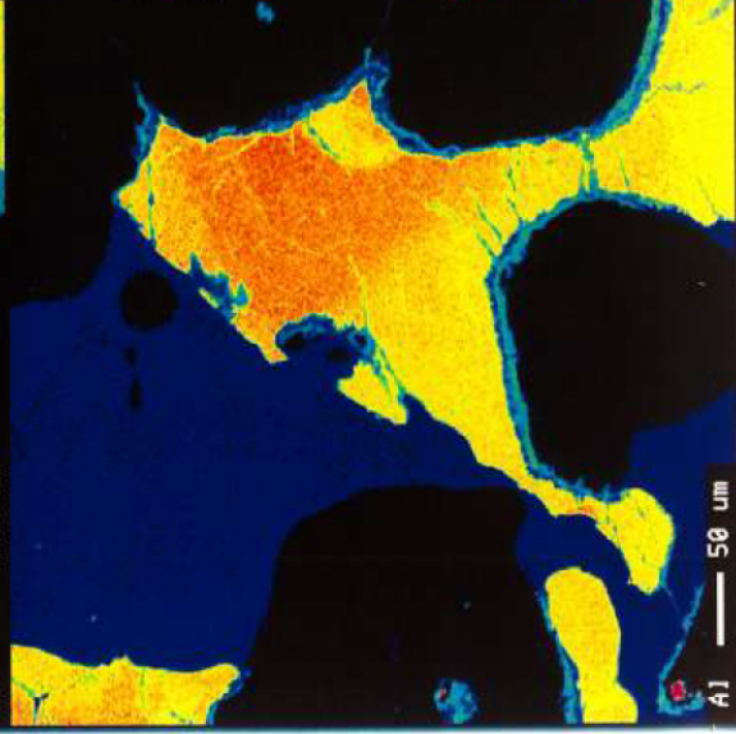
	point 8	point 9	point 10	point 11	point 12
SiO ₂	61,78	61,19	56,54	56,65	57,42
Al ₂ O ₃	23,36	23,91	26,65	26,66	25,79
FeO	0,47	0,18	0,16	0,26	0,33
MgO	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00
MnO	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00
TiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd
Cr ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd
CaO	4,42	4,90	8,38	8,20	7,45
Na ₂ O	9,39	8,88	6,99	7,00	7,41
K ₂ O	0,02	0,11	0,03	0,03	0,03
Total	99,50	99,17	98,79	98,82	98,44

Annexe H

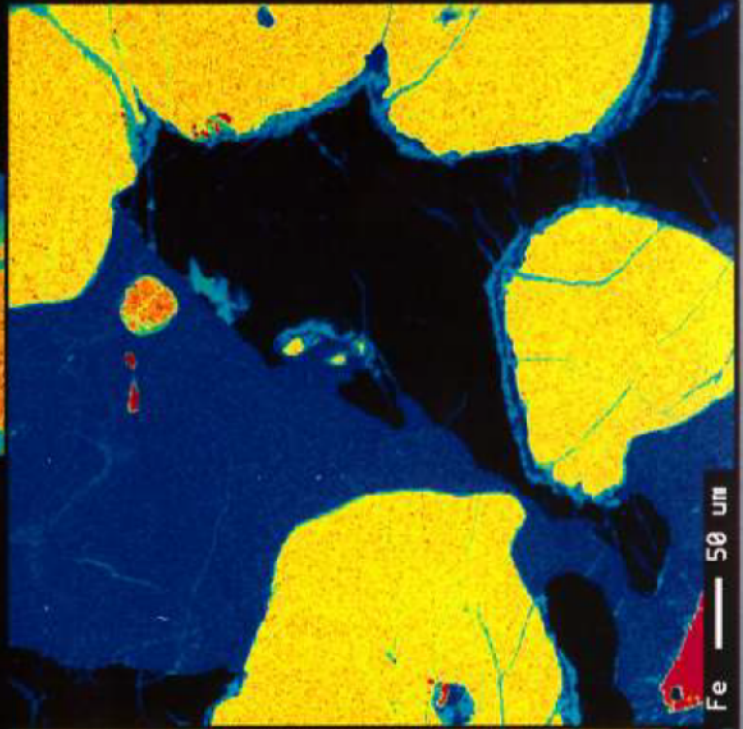
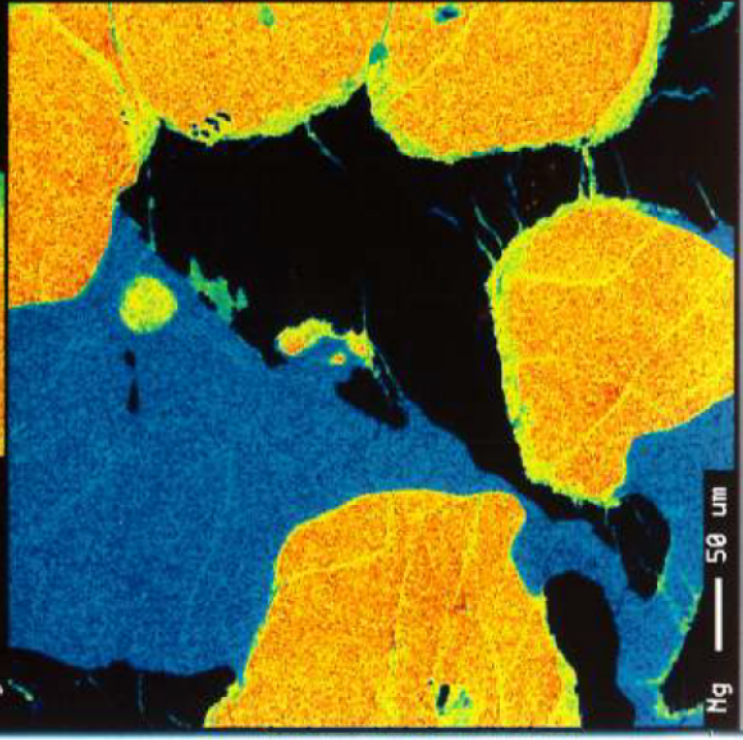
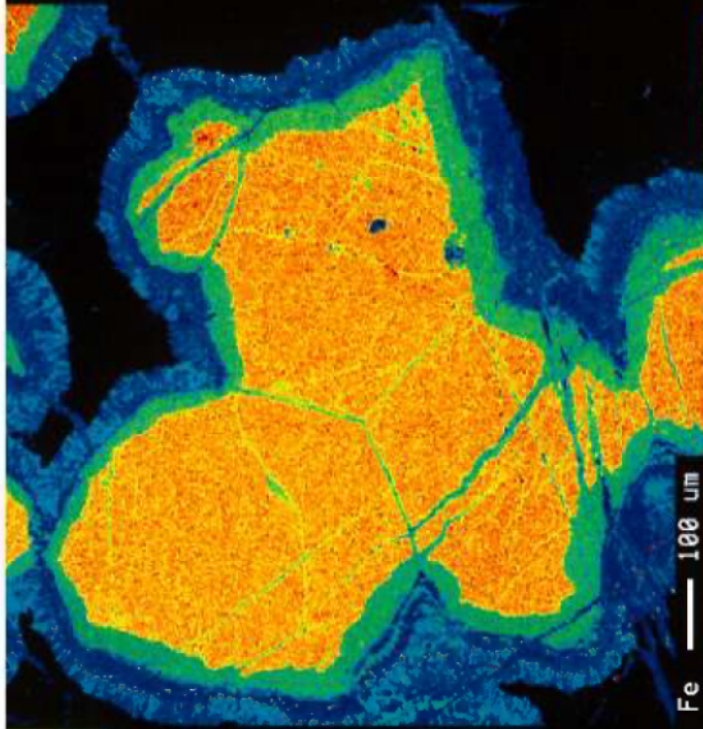
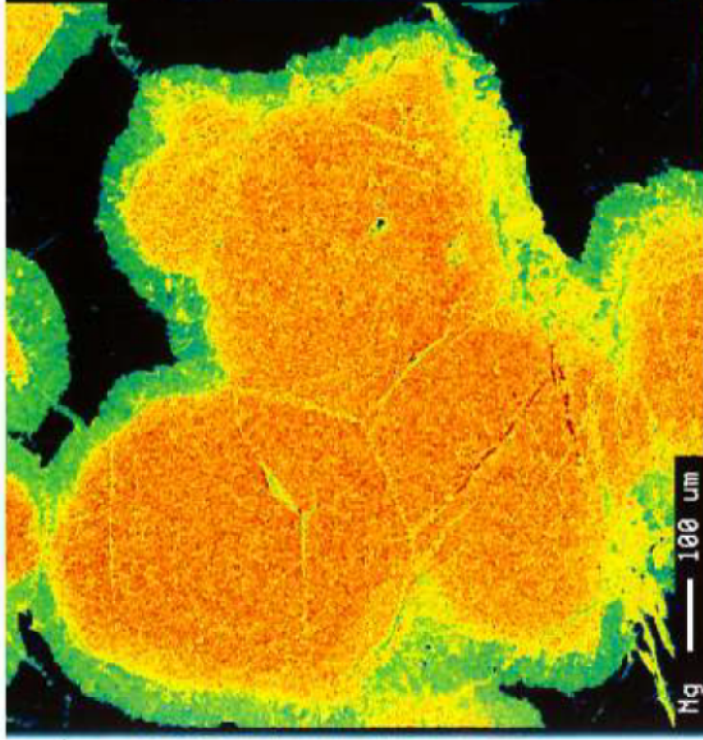
Cartes de distribution des éléments



AL Conc	Area/	Rve
46.05	0.0	123
43.17	0.0	115
40.28	0.0	108
37.40	0.1	100
34.51	1.6	92
31.62	5.1	84
28.74	5.8	77
25.85	5.8	69
22.97	1.9	61
20.08	0.9	54
17.20	4.7	46
14.31	13.3	38
11.43	6.1	30
8.54	1.5	23
5.65	1.0	15
2.77	1.0	7
-0.12	51.2	0
10.39	0.0	6

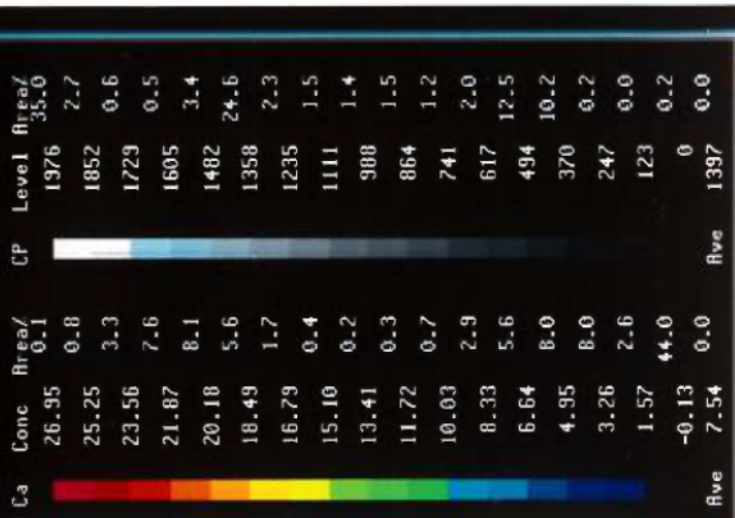
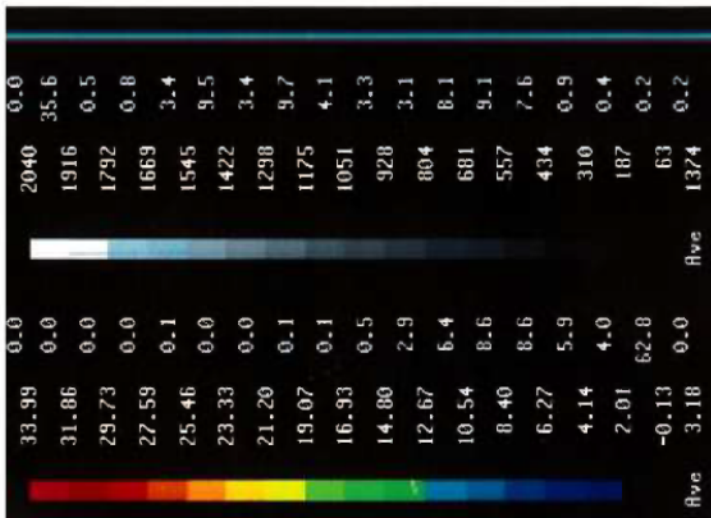
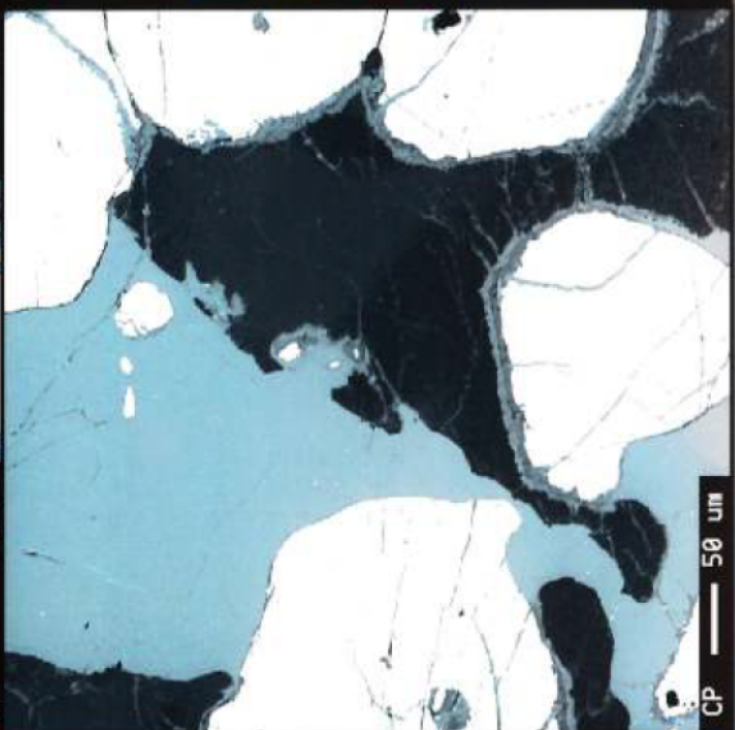
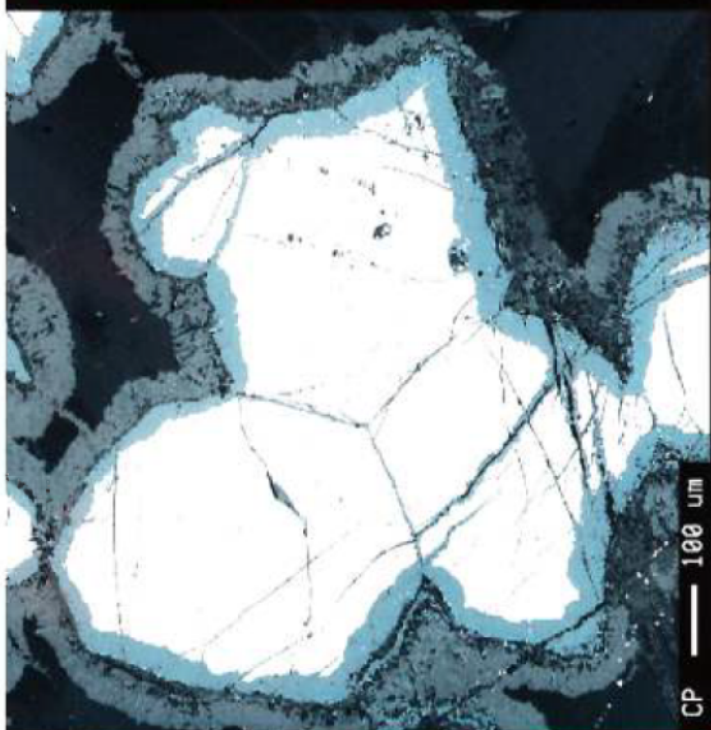
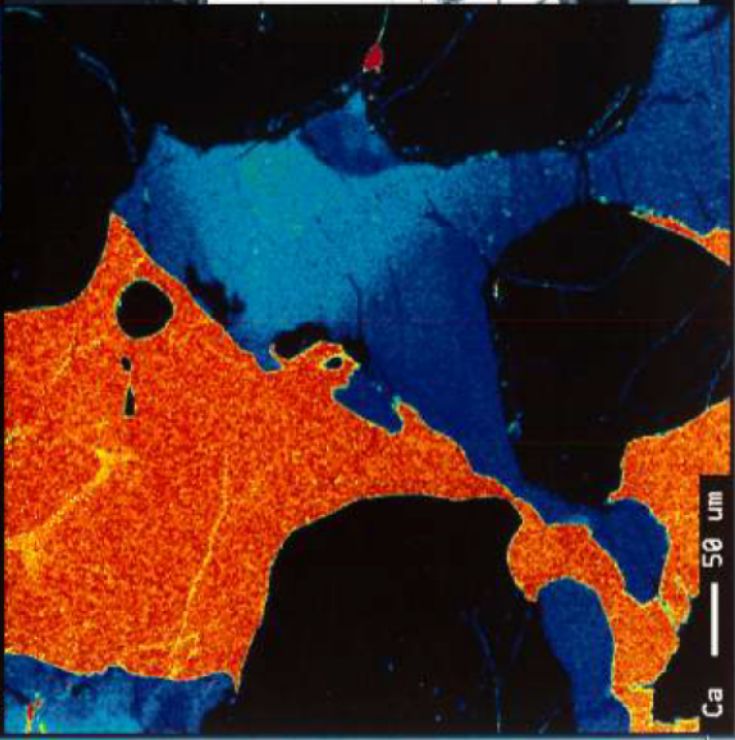
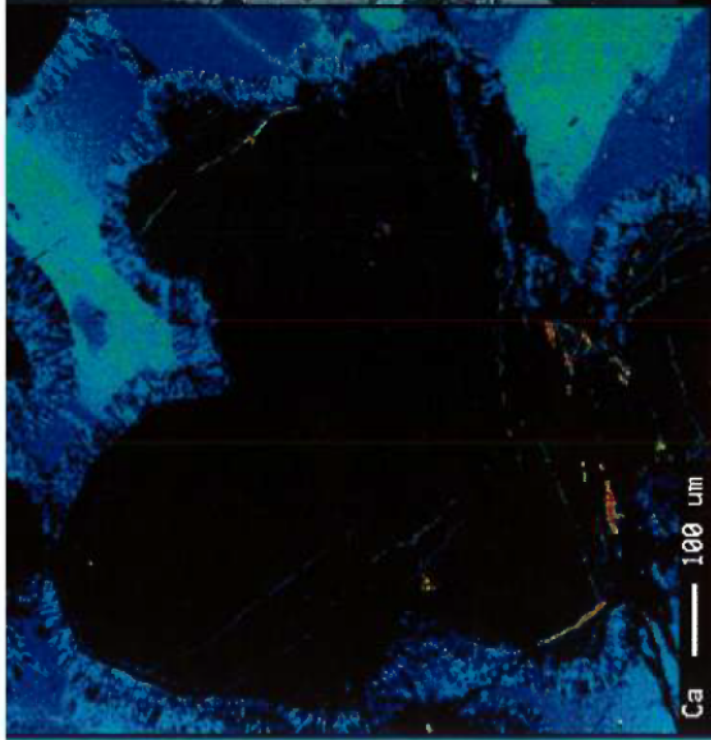


AL Conc	Area/	Rve
34.32	0.1	96
32.17	0.0	90
30.01	0.0	84
27.86	0.7	78
25.71	3.9	72
23.56	8.2	66
21.40	8.3	60
19.25	2.9	54
17.10	0.8	48
14.95	0.6	42
12.79	0.9	36
10.64	1.3	30
8.49	1.3	24
6.34	1.4	18
4.18	1.4	12
2.03	25.4	6
-0.12	42.9	0
7.31	0.0	3



Rve	Conc	Area/
30.00	0.0	0.1
28.12	0.0	51.58
26.24	0.2	48.35
24.36	2.9	45.11
22.48	13.3	41.87
20.60	21.9	38.63
18.72	15.4	35.39
16.84	7.2	32.15
14.96	5.5	28.91
13.08	6.3	25.68
11.20	4.8	22.44
9.32	1.4	19.20
7.44	0.3	15.96
5.56	0.2	12.72
3.68	0.3	9.48
1.80	0.5	6.24
-0.08	19.7	3.01
15.45	0.0	-0.23
		20.22

Rve	Conc	Area/
31.73	0.0	0.8
30.12	0.0	49.90
28.50	0.3	46.76
26.89	2.6	43.62
25.27	9.2	40.48
23.66	13.3	37.34
22.04	10.5	34.20
20.43	4.5	31.06
18.81	2.2	27.91
17.19	1.1	24.77
15.58	0.9	21.63
13.96	2.9	18.49
12.35	11.6	15.35
10.73	11.4	12.21
9.12	2.8	9.07
7.50	0.5	5.93
5.89	0.4	2.79
14.24	25.7	-0.35
		16.90



CP Level Area/CP Ave	Ca Conc Area/Ca Ave
1976	26.95
1852	25.25
1729	23.56
1605	21.87
1482	20.18
1358	18.49
1235	16.79
1111	15.10
988	13.41
864	11.72
741	10.03
617	8.33
494	6.64
370	4.95
247	3.26
123	1.57
0	-0.13
1397	7.54