

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR

PATRICK MERCIER-LANGEVIN

B. Ing.

LES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES AU SEIN DE LA TONALITE DE LA-  
GRANDE-SUD, BAIE-JAMES, QUÉBEC

AOÛT 2000



### *Mise en garde/Advice*

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

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

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

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

## RÉSUMÉ

Le but de cette étude menée par le CERM en partenariat avec le MRNQ et la compagnie Mines d'Or Virginia (détenteur de la propriété) a été de mettre en relation la magmatisme, l'hydrothermalisme, la déformation et les minéralisations nouvellement découvertes au sein de la Tonalite de La-Grande-Sud (LGS).

Cette tonalite est une petite intrusion elliptique faisant 600 m de largeur sur 1500 m de longueur se retrouvant au sein d'un assemblage volcano-sédimentaire archéen métamorphisé au faciès des schistes verts supérieurs. Cette ceinture de roches vertes fait partie de la sous-province de La Grande, laquelle se trouve à l'est de la Baie-James dans le secteur sud du réservoir Robert-Bourassa. Cinq indices aurifères principaux sont localisés dans la Tonalite LGS : Zone 32, Mico-Milan, Pari, Brèche et Zone Veine. La Zone 32 a fait l'objet de calculs de ressources (avril 1999) et les résultats obtenus sont de 6,5 Mt à 1,52 g/t Au et 0,2% Cu à une teneur de coupure de 0,5 g/t Au.

La signature géochimique de la tonalite a permis de déduire qu'il s'agit d'une intrusion trondhjémitique d'affinité calco-alcaline peralumineuse formée probablement dans un environnement d'îles-en-arc. De plus, une datation selon la méthode U-Pb a rapporté un âge de  $2734 \pm 2$  Ma comparable à celui des roches volcaniques encaissantes, appuyant une origine syn-volcanique pour la Tonalite LGS.

Deux phases principales de déformation sont observées dans le secteur et à l'intérieur de la Tonalite LGS. La première phase (D1) est à l'origine de la schistosité N-S ayant transposé les unités volcano-sédimentaires et étiré les grains de quartz dans la tonalite. La seconde phase (D2) se signale par une crénulation E-O à l'origine du plissement du litage et de la première fabrique ainsi que par des zones de déformation intense E-O dans lesquelles des bandes de cisaillement bien développées indiquent une composante de mouvement dextre tardive.

Plusieurs zones d'altération auxquelles sont associés différents types de minéralisations sont reconnues à l'intérieur de la Tonalite LGS. Le coeur de l'intrusion correspond à une zone d'altération potassique caractérisée par l'assemblage (BO-AB-CC-EP) avec de la PY disséminée en traces. Cette zone passe graduellement vers les bordures à une zone d'altération propylitique montrant l'assemblage (CL-AB-SR-CC+EP) avec PY+CP disséminées en traces. Des zones métriques à décamétriques d'altération séricitique sont également observées, la Zone 32 se trouvant dans une de ces zones, lesquelles sont caractérisées par la présence de séricite abondante, de quartz, de chlorite, de sulfures disséminés (PY-CP+SP) et de filonets à sulfures ou à QZ-TL et sulfures. La minéralisation de type disséminé, où les sulfures peuvent former jusqu'à 5 % de la roche, est la forme de minéralisation aurifère la plus importante dans la Tonalite LGS. Des brèches à biotite et carbonates minéralisées sont également reconnues. Elles se retrouvent dans la tonalite près des bordures et se sont mises en place avant ou pendant l'épisode de déformation D1. Une altération carbonatée (AK) est observée à certains endroits dans la tonalite et se superpose sur les autres assemblages pour former des veinules à carbonates irrégulières contenant localement du quartz, de la séricite et des sulfures (PY-CP-AS) disséminés ou en veinules. Des veines à quartz et tourmaline tardives (syn-tectonisme) subhorizontales et subverticales sont également rencontrées dans la tonalite. L'or est communément associé aux sulfures, soit en inclusions, soit en grains libres dans les zones à sulfures ou dans les veines tardives.

La séquence évolutive proposée pour expliquer les observations faites dans le secteur à l'étude implique la mise en place d'un système minéralisateur hydrothermal aurifère de type porphyre à l'origine de la zonation des altérations potassique, propylitique et séricitique et de l'apparition des minéralisations disséminées sur lesquelles ont pu se superposer un ou plusieurs épisodes hydrothermaux aurifères ou remobilisateurs associés aux événements de déformation (D1 et D2) à l'origine des remobilisations, des veinules à sulfures et des veines à quartz et tourmaline et de l'altération carbonatée.

## AVANT-PROPOS

Ce mémoire de maîtrise est l'aboutissement d'un projet impliquant le Ministère des Ressources naturelles du Québec – Service Géologique du Nord-Ouest, la compagnie Mines d'Or Virginia et le Centre d'Études sur les Ressources minérales (CERM). Ce projet a pour sujet le mode de mise en place et le contrôle des minéralisations aurifères reconnues au sein de la Tonalite de La-Grande-Sud, laquelle sera appelée la Tonalite LGS dans le reste du document.

Cette intrusion fait partie de la propriété La-Grande-Sud dont les droits d'exploration appartiennent à 100 % à la compagnie Mines d'Or Virginia inc. Cambior détient présentement une option sur la propriété avec la possibilité d'obtenir jusqu'à 50 % des droits. La propriété est située au sud du réservoir Robert-Bourassa à environ 130 kilomètres à l'est-sud-est de la ville de Radisson.

Une revue des éléments de problématique spécifiques au contexte géologique de la Tonalite LGS a mené à l'élaboration de ce projet de recherche et des objectifs ont été établis. Une méthodologie a été proposée afin d'atteindre ces objectifs et ainsi contribuer à une meilleure compréhension de la géologie du secteur à l'étude. Ce mémoire en est le résultat.

Évidemment, ce projet a été rendu possible grâce à plusieurs personnes et organismes dont le support a été très apprécié tout au cours des travaux. Quelques-uns de ces intervenants sont énumérés ici.

### **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier sincèrement M. Réal Daigneault pour m'avoir proposé ce projet et m'avoir par la suite guidé tout au long des travaux. Je suis également très reconnaissant envers M. Jean Goutier du Ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ) pour ses conseils et son aide précieuse ainsi qu'envers M. Claude Dion, également du MRNQ, pour ses commentaires et suggestions de grande pertinence. Toute mon appréciation envers MM. Denis W. Roy et Jayanta Guha pour avoir accepté de faire partie du comité d'évaluation.

Je remercie également le personnel de la compagnie Mines d'Or Virginia pour l'intérêt démontré à en savoir un peu plus sur les minéralisations aurifères encaissées dans la Tonalite de La-Grande-Sud et ainsi avoir appuyé la réalisation de cette étude. Toute ma reconnaissance également envers le personnel de la compagnie Services Techniques Géonordic, et plus particulièrement envers M. Patrice Simard, pour l'accès aux données et au matériel. Je tiens également à remercier le Ministère des Ressources naturelles du Québec et le Service géologique du Nord-Ouest pour leur importante contribution dans ce projet et pour la datation U-Pb effectuée sur la Tonalite de La-Grande-Sud en partenariat

avec la compagnie Mines d'Or Virginia. Je suis également reconnaissant à l'endroit des équipes de cartographie (1998 et 1999) du MRNQ et de l'URSTM pour leur assistance sur le terrain.

Je tiens finalement à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, sont intervenues d'une façon ou d'une autre dans la réalisation de cette étude, soit par leur assistance, soit par leurs encouragements.

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	ii
AVANT-PROPOS.....	iv
TABLE DES MATIÈRES.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES.....	xii
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
LISTE DES ANNEXES.....	xiv
LISTE DES ABRÉVIATIONS UTILISÉES.....	xv
CHAPITRE I – INTRODUCTION.....	1
1.1 Problématique.....	1
1.1.1 Minéralisations aurifères.....	1
1.1.2 Minéralisations aurifères de La-Grande-Sud.....	8
1.2 Objectifs.....	13
1.3 Méthodologie.....	14
1.4 Géologie.....	21
1.4.1 Introduction.....	21
1.4.2 Géologie régionale.....	23
1.4.3 Géologie locale.....	26
1.4.4 Tonalite de La-Grande-Sud.....	30
CHAPITRE II – CARACTÉRISATION PÉTROGRAPHIQUE ET GÉOCHIMIQUE DES UNITÉS LITHOLOGIQUES PRÉSENTES DANS LE SECTEUR À L'ÉTUDE.....	32
2.1 Introduction.....	32
2.2 Roches de la séquence volcano-sédimentaire encaissante.....	32
2.2.1 Pétrographie.....	34
2.2.2 Signature géochimique.....	37
2.3 Tonalite de La-Grande-Sud.....	37
2.3.1 Pétrographie.....	40
2.3.2 Signature géochimique.....	46
2.4 Dykes de gabbro.....	53
2.4.1 Pétrographie.....	55
2.4.2 Signature géochimique.....	56
2.5 Diorites.....	56

2.5.1 Pétrographie.....	59
2.5.2 Signature géochimique.....	60
2.6 Enclaves mafiques.....	60
2.6.1 Pétrographie.....	60
2.7 Lamprophyres à enclaves.....	61
2.7.1 Pétrographie.....	64
2.7.2 Signature géochimique.....	64
2.8 Comparaison des signatures géochimiques.....	65
 CHAPITRE III – ANALYSE STRUCTURALE.....	 67
3.1 Introduction.....	67
3.2 Éléments structuraux et distribution de la déformation .....	68
3.2.1 Description des fabriques – séquence volcano-sédimentaire.....	68
3.2.2 Description des fabriques – Tonalite LGS.....	72
3.2.3 Couloir de déformation de la Zone 32.....	81
3.2.4 Structures tardives.....	82
3.2.5 Relation avec les dykes.....	86
3.3 Analyse de la déformation.....	88
 CHAPITRE IV – TYPOLOGIE DES MINÉRALISATIONS.....	 92
4.1 Introduction.....	92
4.2 Gîte et indices.....	92
4.2.1 Gîte Zone 32.....	93
4.2.2 Indice Mico-Milan.....	95
4.2.3 Indice Pari.....	97
4.2.4 Indice Brèche.....	99
4.2.5 Indice Zone Veine.....	101
4.3 Description des minéralisations.....	101
4.3.1 Minéralisation disséminée.....	102
4.3.2 Veinules à sulfures.....	110
4.3.3 Veinules à carbonates et quartz.....	113
4.3.4 Stockwèrk à sulfures.....	115
4.3.5 Veines et veinules à quartz – tourmaline ± sulfures.....	117
4.4 Associations métalliques.....	122
 CHAPITRE V – CARACTÉRISATION ET DISTRIBUTION DES ALTÉRATIONS.....	 128
5.1 Introduction.....	128
5.2 Minéralogie des altérations.....	128
5.2.1 Biotitisation.....	128
5.2.2 Épidotisation.....	133
5.2.3 Séricitisation.....	133
5.2.4 Chloritisation.....	138
5.2.5 Carbonatation.....	140

5.2.6 Hématisation.....	143
5.3 Géochimie des altérations.....	143
5.3.1 Comportement des éléments majeurs.....	143
5.3.2 Bilans de matière.....	149
5.3.3 Minéraux normatifs.....	158
5.3.4 Levé au scintillomètre.....	160
5.4 Typologie de l'altération.....	162
CHAPITRE VI – SYNTHÈSE ET DISCUSSION.....	167
6.1 Synthèse des observations.....	167
6.1.1 Contexte local.....	167
6.1.2 Pétrogénèse de la Tonalite LGS.....	168
6.1.3 Déformation.....	169
6.1.4 Minéralisations.....	171
6.1.5 Altération hydrothermale.....	173
6.2 Relations entre les éléments observés.....	176
6.3 Discussion.....	182
6.3.1 Gîte d'or disséminé de remplacement.....	184
6.3.2 Gîte orogénique encaissé dans un granitoïde.....	186
6.3.3 Gîte aurifère et cuprifère de type porphyre.....	189
6.3.4 Intégration et interprétation des données à partir des modèles proposés.....	198
6.3.5 Implications pour l'exploration.....	204
CHAPITRE VII – CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	208
RÉFÉRENCES.....	213
ANNEXES.....	224

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Représentation schématique de l'environnement crustal des dépôts aurifères hydrothermaux.....	3
Figure 2	Localisation du terrain d'étude.....	9
Figure 3	Géologie régionale, feuillet SNRC 33F.....	10
Figure 4	Localisation des indices encaissés dans la Tonalite LGS.....	12
Figure 5	Localisation des stations de levé.....	16
Figure 6	Localisation des échantillons de surface.....	18
Figure 7	Géologie de l'environnement de la Tonalite LGS.....	27
Figure 8	Géochimie des roches volcaniques de la séquence encaissante.....	38
Figure 9	Distribution des différentes phases magmatiques reconnues à l'intérieur de la Tonalite LGS.....	39
Figure 10	Distribution des faciès de la tonalite à partir des observations de terrain.....	43
Figure 11	Classification pétrographique de la Tonalite LGS.....	47
Figure 12	Caractérisation géochimique de la Tonalite LGS.....	48
Figure 13	Caractérisation géochimique de la Tonalite LGS.....	49
Figure 14	Caractérisation pétrogénétique de la Tonalite LGS.....	50
Figure 15	Datation isotopique U-Pb.....	52
Figure 16	Comparaison de la signature géochimique des différentes tonalites retrouvées dans la région.....	54
Figure 17	Caractérisation géochimique des dykes.....	57
Figure 18	Comparaison géochimique entre les principales lithologies du secteur.....	66
Figure 19	Distribution de l'intensité de l'anisotropie planaire.....	74
Figure 20	Mesures structurales et trace des fabriques dans la tonalite.....	80
Figure 21	Distribution des pôles de schistosité S1 et S2 et des linéation d'étirement à l'intérieur de la Tonalite LGS.....	83
Figure 22	Projection des pôles des structures tardives et des dykes de gabbro.....	87
Figure 23	Géologie simplifiée du gîte Zone 32.....	94
Figure 24	Géologie simplifiée de l'indice Mico-Milan.....	96
Figure 25	Géologie simplifiée de l'indice Pari.....	98
Figure 26	Géologie simplifiée de l'indice Brèche.....	100
Figure 27	Stéréogrammes des veines à quartz et tourmaline.....	119
Figure 28	Profils montrant la distribution de l'Au et du Cu, forage LGS97-56.....	124
Figure 29	Profils montrant la distribution de l'Au et du Cu, forage LGS97-103.....	125
Figure 30	Corrélation entre l'or et les métaux (terrain et forage LGS97-56).....	127
Figure 31	Distribution et abondance des minéraux d'altération.....	130

Figure 32	Biotitisation (brèches) et séricitisation.....	132
Figure 33	Diagrammes de Harker pour la Tonalite LGS.....	144
Figure 34	Perte au feu normative et bilan de matière pour le SiO <sub>2</sub> .....	147
Figure 35	Caractérisation géochimique de l'altération dans la tonalite.....	148
Figure 36	Bilans de matière pour le Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) et le MgO (%).....	151
Figure 37	Bilans de matière pour le K <sub>2</sub> O (%) et le Na <sub>2</sub> O (%).....	153
Figure 38	Corrélations entre bilans de matière.....	154
Figure 39	Isocones pour la tonalite, la diorite et le gabbro de la Zone 32.....	156
Figure 40	Isocones pour la tonalite, la diorite et le gabbro de la Zone 32.....	157
Figure 41	Distribution des valeurs reliées aux indices ISER et IFRAIS.....	159
Figure 42	Profils du levé au scintillomètre pour le potassium (K).....	161
Figure 43	Distribution des altérations dans la Tonalite LGS.....	166
Figure 44	Séquence des événements.....	183
Figure 45	Modèle idéalisé de type porphyre.....	201
Figure 46	Histoire structurale de la Tonalite LGS.....	203
Figure 47	Potentiel minéral associé au système minéralisateur de type porphyre de la Tonalite LGS.....	207

## LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

Planche 1	Roches volcaniques encaissant le Tonalite LGS.....	36
Planche 2	Exemples mégascopique et microscopique de la tonalite à biotite.....	41
Planche 3	Contact entre la Tonalite LGS et la séquence encaissante.....	44
Planche 4	Enclaves et dykes dans la Tonalite LGS.....	45
Planche 5	Diorite de la Zone 32.....	58
Planche 6	Tonalite bréchifiée et dyke de lamprophyre à enclaves.....	62
Planche 7	Tonalite bréchifiée, indice Brèche.....	63
Planche 8	Plis superposés dans les roches volcaniques.....	69
Planche 9	Structures associées à D2 dans les roches volcaniques.....	71
Planche 10	Signature des fabriques dans la Tonalite LGS.....	77
Planche 11	Variation de l'intensité de la déformation dans la Tonalite LGS.....	78
Planche 12	Signature des fabriques dans la Zone 32.....	79
Planche 13	Développement des fabriques dans la Zone 32.....	84
Planche 14	Fabriques structurales dans la Zone 32.....	85
Planche 15	Dykes de gabbro dans la Tonalite LGS.....	89
Planche 16	Minéralisation dans la tonalite de la Zone 32.....	104
Planche 17	Minéralisation de la Zone 32.....	105
Planche 18	Les différents habitus de l'or à la Zone 32.....	107
Planche 19	Association minéralogique et morphologie de la minéralisation à la Zone 32.....	108
Planche 20	Brèches hydrothermales des indices Mico-Milan et Pari.....	109
Planche 21	Signature des fabriques S1 et S2 à l'intérieur de la brèche hydrothermale de l'indice Pari.....	111
Planche 22	Relations entre la déformation D2 et la minéralisation à la Zone 32..	112
Planche 23	Association entre sulfures et veinules à carbonates.....	114
Planche 24	Minéralisation sous forme de stockwerk à sulfures.....	116
Planche 25	Veines à quartz et tourmaline de l'indice Zone Veine.....	120
Planche 26	Mise en place des veines à quartz et tourmaline.....	121
Planche 27	Veines et veinules à quartz et tourmaline minéralisées.....	123
Planche 28	Illustration de la variation de l'intensité de la séricitisation dans la Tonalite LGS.....	135
Planche 29	Séricitisation de la tonalite.....	136
Planche 30	Distribution de l'altération dans la tonalite de la Zone 32.....	137
Planche 31	Chloritisation dans la tonalite et les gabbros.....	139
Planche 32	Ankéritisation de la Tonalite LGS.....	142

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1	Caractéristiques des dépôts aurifères épigénétiques.....	4
Tableau 2	Tableau synthèse des caractéristiques pétrographiques pour les différentes lithologies du secteur de La-Grande-Sud.....	33
Tableau 3	Estimation visuelle en mégascopie de l'intensité de l'anisotropie planaire dans la tonalite.....	73
Tableau 4	Synthèse des types de minéralisations rencontrées à l'intérieur de la Tonalite LGS.....	103
Tableau 5	Comparaison des trois modèles proposés avec la Tonalite LGS.....	200

**LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1	Liste des stations de levé.....	224
Annexe 2	Liste des échantillons .....	228
Annexe 3	Synthèse des observations pétrographiques en microscopie.....	234
Annexe 4	Résultats d'analyses lithogéochimiques.....	237
Annexe 5	Liste et résultats des colorations.....	252
Annexe 6	Minéraux normatifs et indices d'altération calculés par le programme NORMAT.....	253
Annexe 7	Calcul des bilans de matière.....	255
Annexe 8	Stations de levé au scintillomètre.....	257

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

Tonalite LGS	Tonalite de La-Grande-Sud
Gr	Groupe
Fm	Formation
E-O	Est-Ouest
N-S	Nord-Sud
g/t	Grammes par tonne
Ma	Millions d'années
S0	Litage
S	Schistosité
C	Cisaillement
S1	Schistosité 1
S2	Schistosité 2
Lé	Linéation d'étirement
L <sub>2</sub> <sup>1</sup>	Linéation d'intersection de S1 sur S2
P1	Pli de première génération
P2	Pli de seconde génération
Qz	Quartz
Tl	Tourmaline
Cb	Carbonate
Bo	Biotite
Ep	Épidote
Se	Séricite
Hm	Hématite
Cl	Chlorite
Py	Pyrite
Cp	Chalcopyrite
Sp	Sphalérite
Au	Or
As	Arsénopyrite

## CHAPITRE I

### INTRODUCTION

#### 1.1 PROBLÉMATIQUE

##### 1.1.1 Minéralisations aurifères

Différents types de gîtes d'or se retrouvant dans différents environnements géologiques sont aujourd'hui reconnus, certains sont syngénétiques, les autres sont épigénétiques. Les travaux de recherche menés sur ces dépôts ont démontré la grande importance de certains facteurs lors de la formation de gisements d'or. Ces facteurs comprennent principalement le contexte lithotectonique, c'est-à-dire l'environnement géologique, la profondeur dans la croûte et le régime tectonique (Poulsen, 1996). D'autres facteurs comme la stratigraphie, la nature et l'âge des roches encaissantes semblent également jouer un rôle important dans la mise en place de minéralisations aurifères, mais sont essentiellement reliés à l'un des trois facteurs principaux mentionnés plus haut. Diverses classifications des gisements d'or ont été proposées et plusieurs ouvrages de qualité y font référence (Barnes, 1997 ; Eckstrand *et al.*, 1996 ; Kirkham *et al.*, 1993 ; Park et Guilbert ; 1985). En ce qui concerne les gîtes d'or primaires, les classifications les plus populaires sont celles faisant appel au milieu de mise

en place de l'or (Poulsen, 1996 ; Gebre-Mariam *et al.*, 1995), ou encore au milieu tectonique de mise en place de la minéralisation (Groves *et al.*, 1998). Toutefois, les gisements aurifères épigénétiques ont été et sont toujours l'objet de débats concernant leur origine ou leur genèse. Les différentes classifications pour ces gisements sont basées sur la minéralisation observée, les altérations présentes, la nature des roches encaissantes, la profondeur de mise en place, l'âge ou l'environnement tectonique (Poulsen, 1996). Certains regroupements ont été établis rapidement et de façon très efficace, alors que d'autres font toujours l'objet de chaudes discussions et de modifications à mesure que s'ajoutent de nouvelles connaissances. Aujourd'hui, les gisements sont étudiés de plus en plus dans une perspective de tectonique globale (Colvine, 1988 ; Poulsen *et al.*, 1992 ; Witt et Vanderhor, 1998) ou locale (Hodgson et Hamilton, 1988 ; Eisenlohr *et al.*, 1989 ; Cameron, 1993). Ce point de vue lithotectonique a mené à l'élaboration d'un modèle unifié duquel découle la définition de deux classes principales de gîtes aurifères hydrothermaux, soit les gisements pré-orogéniques et les gisements orogéniques en extension ou en compression (Groves *et al.*, 1998). Ce modèle unifié permet d'illustrer la grande diversité de gîtes aurifères reconnus à ce jour. La figure 1 montre les divers gisements aurifères hydrothermaux associés aux deux classes (orogénique et pré-orogénique) dans leur milieu lithotectonique respectif, alors que le tableau 1 donne les principales caractéristiques des dépôts aurifères épigénétiques.

La réalisation du lien entre le milieu lithotectonique et les différents types de minéralisation a conduit au concept d'une association générale entre les dépôts d'or et les

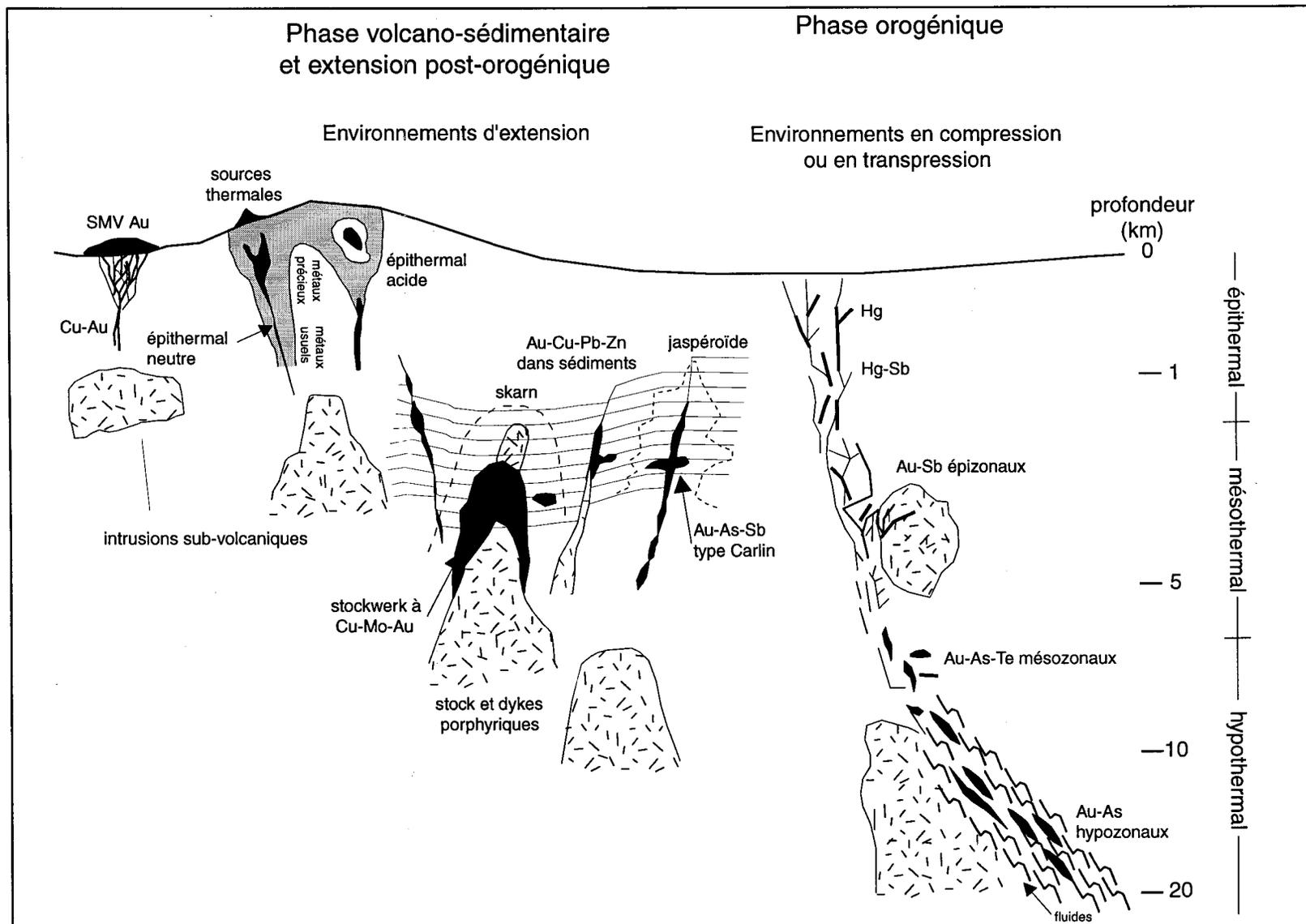


Figure 1. Représentation schématique de l'environnement crustal des dépôts aurifères hydrothermaux (modifiée de Groves *et al.*, 1998 et Poulsen, 1996).

Tableau 1. Caractéristiques des dépôts aurifères épigénétiques (modifié de Groves *et al.*, 1998; Heald *et al.*, 1987; Large *et al.*, 1989).

Type de dépôt	Environnement tectonique	Temp. de formation (°C)	Profondeur formation	Rapport Au / Ag	Types d'altération	Métaux	Caractéristiques particulières
Orogénique (mésothermal)	Marge continentale en compression ou transpression. Veines typiquement du côté océan des arcs continentaux.	200-700 (°C)	2 – 20 km	1 – 10	Carbonatation; séricitisation; sulfurisation; assemblages de type skarn pour les dépôts de haute température	Épizonal Au – Sb Mésozonal Au – As - Te Hypozonal Au – As	Dans terranes métamorphiques déformées. 3 à 5 % de sulfures. Association avec failles crustales et magmatisme granitique.
Épithermal (neutre et acide)	Arc océanique ou continental; bassin d'arrière-arc continental, parfois en milieu de compression	100-300 (°C)	0 – 2 km	0,02 – 1	Adulaire – séricite – quartz (neutre); quartz – alunite – kaolinite (acide)	Au – Ag  Sulfures Hg –Sb	Veines et remplacements de même âge que roches volc. encaissantes. Minéralisations disséminées.
Épithermal (alcalin)	Extension arrière-arc post-subduction, extension adjacente à l'arc magmatique ou loin côté cont.	≤ 200 (°C)	0 – 2 km	Très variable	Carbonatation; métasomatisme potassique; assemblages propylitiques	Au Tellures	Dépôts riches en Te ass. à roches ignées alcalines. Min. dans brèches et dans remplacements de type Manto.
Porphyrique ± alcalin	Arc océanique ou continental; relation avec subduction mais associé à environnement en extension	300 –700 (°C)	2 – 5 km	0,001 – 0,1	Zone centrale à biotite et feldspath potassique; enveloppe interne à quartz et chlorite; zones à séricite et sulfures; enveloppe externe propylitique	Au  Sulfures de Cu – Zn – Mo	Min. dissiminée et en veinules dans ou au pourtour d'intrusions felsiques à intermédiaires porphyriques. Au mis en place avec le Cu. Au associé aux magmas faiblement oxydés.
Exhalatif sous-marin	Bassins de rift arrière-arc (type Kuroko) ou plancher océanique (types Chypre et Besshi)	≤ 350 (°C)	Près ou sur le plancher océanique	0,0001 – 0,1	Quartz – talc – chlorite; zone externe à illite ± smectite; zones à anhydrite ou barite	Sulfures de Cu – Pb –Zn  Au – Ag	Sulfures laminés ou massifs, textures exhalatives et de remplacement syn-sédimentaire. Au plus abondant dans les régions d'arrière-arc.

processus thermiques reliés à la subduction lors d'orogénies accréionnaires ou d'orogénies collisionnelles (Card, 1990). Cette idée a commencé à germer dans les années quatre-vingt suite à l'observation d'importantes similarités entre les dépôts aurifères du Phanérozoïque et les dépôts aurifères des ceintures de roches vertes de l'Archéen (p.ex. Colvine, 1988 ; Hodgson et Hamilton, 1988 ; Eisenlohr *et al.*, 1989).

Le modèle de tectonique des plaques permet de définir les cratons archéens comme étant le produit de l'accrétion d'ensembles volcano-sédimentaires "granite-greenstone terranes" avec des terrains de haut grade métamorphique "granite-gneiss terranes" représentant un continuum lithotectonique (Card, 1990). Ce même modèle permet d'expliquer la distribution spatiale des gisements en terrain archéen, ceux-ci se trouvant associés à des zones de failles majeures marquant les limites entre différentes portions de croûte terrestre accrétées formant les cratons ou encore à des cisaillements importants recoupant ces terrains accrétés (Groves *et al.*, 1998). La Province du Supérieur est un exemple de craton archéen. Le modèle d'évolution de cette province, proposé par Card (1990), implique une subduction oblique pour expliquer la contemporanéité des événements le long des différentes ceintures et les âges de plus en plus jeunes vers le sud. La subduction responsable de l'accrétion en environnement de marge convergente des diverses terranes composant la Province de Supérieur est également responsable des événements thermiques à l'origine de la formation des gîtes d'or caractérisant cette province (Poulsen *et al.*, 1992). Ce modèle est comparable à certains environnements tectoniques actuels, ce qui permet de supposer que la grande variété de gisements associée

aux zones orogéniques actuelles peut également exister pour les gisements archéens. Toutefois, les caractéristiques particulières de ces différents types de gisements ont pu être partiellement effacées par les événements géologiques postérieurs à leur formation, rendant ardue la reconnaissance des processus de mise en place de la minéralisation à l'Archéen.

En relation avec les provinces et sous-provinces dans lesquelles elles se trouvent, les minéralisations archéennes sont encaissées par divers types de roches, généralement dans des roches volcaniques, mais également dans des roches sédimentaires ou plutoniques. Les minéralisations épigénétiques encaissées dans des plutons forment un sous-groupe de gisements appelés "granitoid-hosted lode-gold deposits" (Perring *et al.*, 1991 ; Cassidy *et al.*, 1998). C'est donc dire que les granitoïdes peuvent jouer un rôle actif ou passif dans la mise en place de la minéralisation. Il y a un contrôle actif dans le cas des gîtes de type porphyre (source de chaleur et/ou de fluides hydrothermaux) ou si l'intrusion a permis la précipitation des métaux par réaction chimique avec les fluides hydrothermaux. Dans le cas des gîtes de type porphyre, la minéralisation provient de fluides hydrothermaux à composante magmatique dominante. Les métaux sont alors précipités sous forme disséminée ou en veinules dans la partie supérieure du système intrusif en voie de refroidissement (Sillitoe, 1993). Il y a contrôle passif si le corps intrusif n'a servi que de piège structural ou de canaliseur aux fluides hydrothermaux à composante météorique ou métamorphique dominante (Cassidy *et al.*, 1998) comme dans le cas des filons de quartz-carbonates (gîtes mésothermaux) définis entre autres par Robert (1996).

Plusieurs travaux ont permis de caractériser les granitoïdes d'un point de vue géochimique en fonction du régime tectonique de mise en place. Il ressort de ces travaux qu'il est possible de déterminer la genèse (synvolcanique ou non) et le régime tectonique prévalant lors de la mise en place de ces intrusions (Pearce *et al.*, 1984 ; Maniar et Picolli, 1989 ; Feng et Kerrich, 1992). De même, il est possible de caractériser géochimiquement l'altération hydrothermale ayant affecté une roche pour laquelle une connaissance minimale de la composition chimique d'origine est disponible (Gresens, 1967 ; Grant, 1986 ; MacLean, 1990 ; MacLean et Barrett, 1993). Certains phénomènes importants dans la compréhension d'événements de déformation dans les intrusions sont présentés dans des articles tel celui de Paterson *et al.* (1989) traitant des critères d'identification de foliations magmatiques ou tectoniques dans les granitoïdes ou encore de l'effet des dykes sur le développement de cisaillements aurifères dans les intrusions (Belkibir *et al.*, 1993 ; Ojala *et al.*, 1993). D'autres publications traitent quant à elles de la déformation des minéralisations, tels les articles de McClay et Ellis (1983, 1984), traitant de la déformation des grains de pyrite, ou celui de Gilligan et Marshall (1987) traitant des évidences texturales de remobilisation.

Les minéralisations aurifères archéennes, en plus d'être parfois encaissées dans des granitoïdes, sont communément associées à des brèches hydrothermales minéralisées ou non et à des dykes de lamprophyre (magmatisme alcalin) minéralisés ou stériles, bien que cette dernière observation soit toujours fortement discutée (Müller et Groves, 1993). Ces structures peuvent être précoces comme tardives dans la séquence des événements. Ceci est

surtout le cas des gîtes de type porphyre, tel que documenté notamment par Sillitoe (1985) dans le cas des brèches et par Rock *et al.* (1988), Rock et Groves (1988) et par Wyman et Kerrich (1988) et Keith *et al.* (1998) dans le cas des lamprophyres.

Le concept de classification des gisements d'après le milieu lithotectonique est bien sûr idéal dans le cas des séquences intactes, ce qui bien évidemment est rarement le cas dans les ceintures archéennes. Des événements importants de déformation et de métamorphisme se superposent généralement aux structures et textures primaires, lesquelles peuvent être fortement affectées et même localement totalement oblitérées. Donc, en terrain fortement tectonisé, comme dans le cas des ceintures de roches vertes de la Province du Supérieur, il est possible que plusieurs informations cruciales à l'interprétation, donc à la classification des gîtes, soient absentes ou difficilement observables, ce qui représente un problème de plus dans la reconnaissance des processus de mise en place de la minéralisation à l'Archéen.

### **1.1.2 Minéralisations aurifères de La-Grande-Sud**

La sous-province de La Grande, qui représente une ceinture de roches vertes faisant partie de la Province du Supérieur dans le secteur de la Baie-James (figure 2), montre plusieurs minéralisations aurifères et cuprifères datant de l'Archéen. Quelques-unes des minéralisations les plus importantes du secteur sont encaissées dans la Tonalite LGS localisée dans la partie est du feuillet SNRC 33F/10 (figure 3). Les différentes

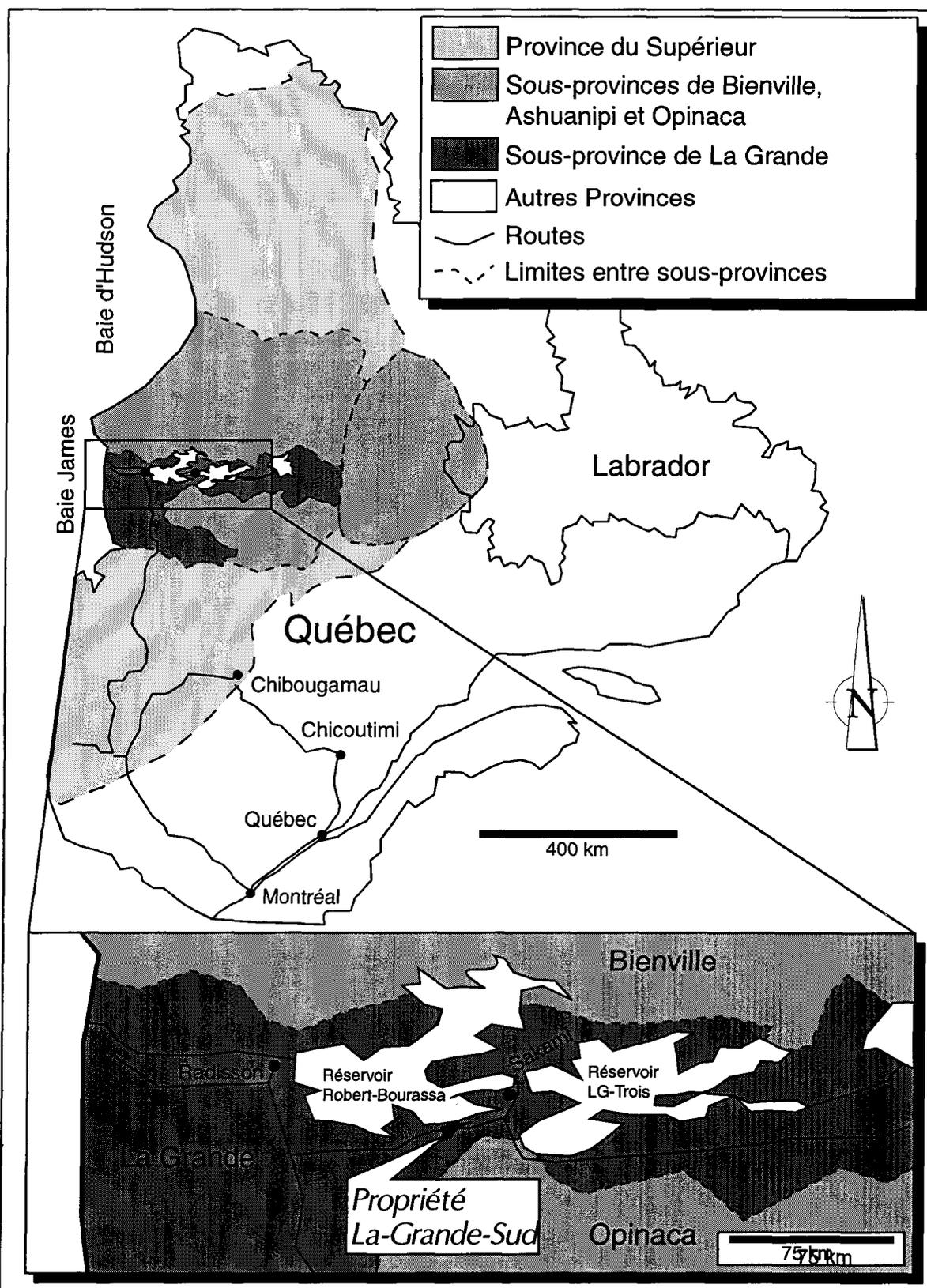


Figure 2. Localisation du terrain d'étude.

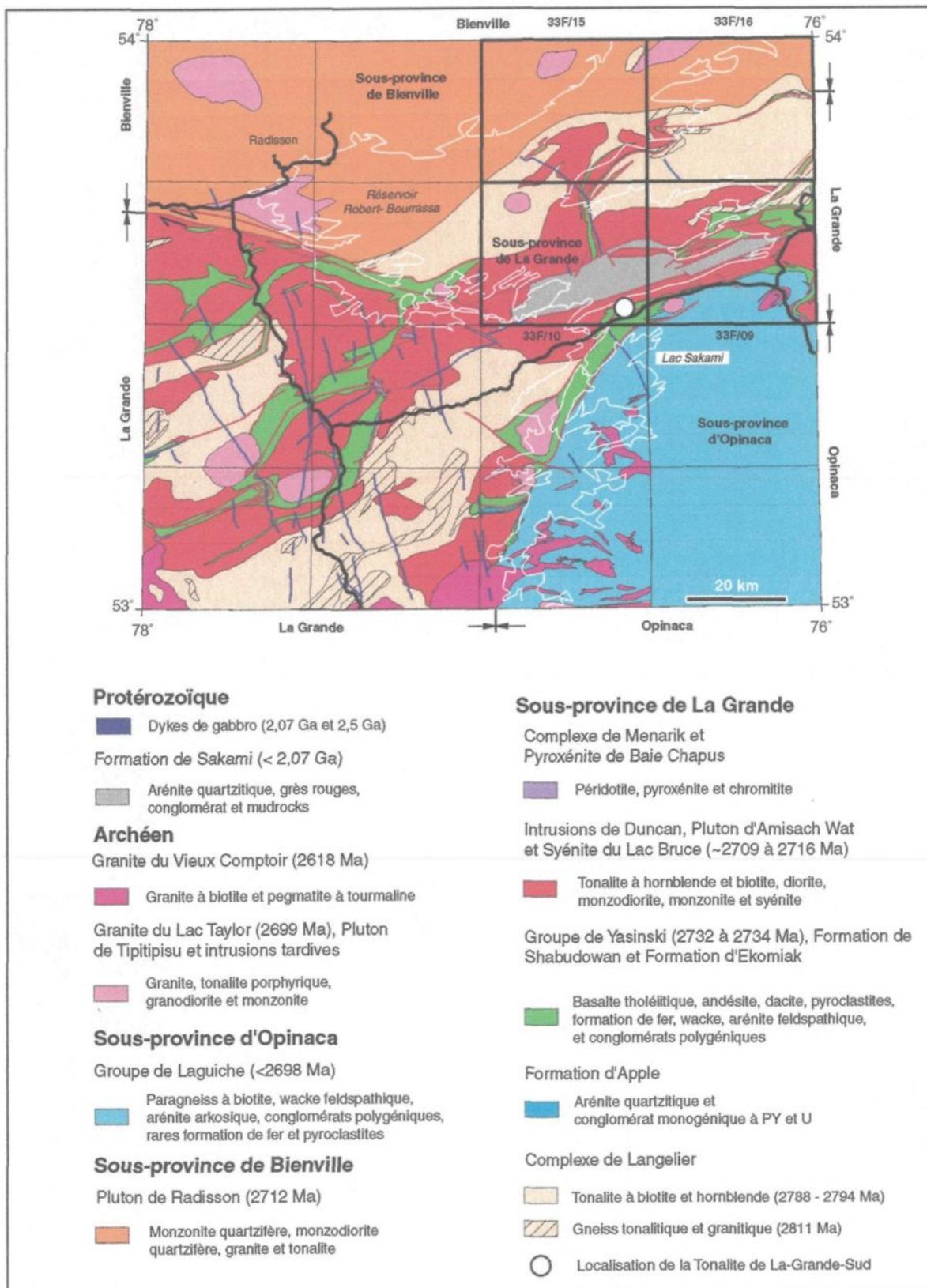


Figure 3. Géologie régionale, feuillet SNRC 33F (modifié de Goutier et al., 1999).

caractéristiques montrées par cette intrusion s'avèrent d'un grand intérêt puisqu'elles permettent de se questionner sur son origine, son mode de mise en place et sur la nature des minéralisations qu'elle contient (figure 4). En effet, les dykes de lamprophyre à enclaves, les brèches hydrothermales, les altérations importantes, la distribution et la texture de la minéralisation (chalcopyrite disséminée et en fines veinules avec pyrite) et la corrélation Au avec Cu sont des caractères typiques des systèmes porphyriques aurifères et cuprifères, alors que la petite taille de l'intrusion de tonalite, la présence de plusieurs foliations, l'abondance de pyrite fine disséminée et en minces veinules localisée dans des zones de cisaillement, l'altération séricitique intense et l'absence de molybdénite sont en contradiction avec cette hypothèse. De plus, les veines subhorizontales et subverticales de quartz et tourmaline, communes dans la tonalite et contenant localement de l'or, sont analogues aux gîtes mésothermaux de l'Abitibi décrits entre autres par Robert et Brown (1986a et 1986b), et aux gîtes d'or orogéniques mésozonaux selon Groves *et al.* (1998). La Tonalite LGS montre donc des caractéristiques contradictoires par rapport aux types de gîtes reconnus, ce qui fait qu'il est impossible de favoriser un type de gîte connu plutôt qu'un autre ou encore d'éliminer la possibilité d'un nouveau type de gîte aurifère. De plus, il est possible que plusieurs événements hydrothermaux minéralisateurs aient affecté le secteur à l'étude comme cela a été reconnu ailleurs dans des ceintures de roches vertes archéennes, comme celle de l'Abitibi par exemple (Hutchinson, 1993 ; Couture *et al.*, 1994).

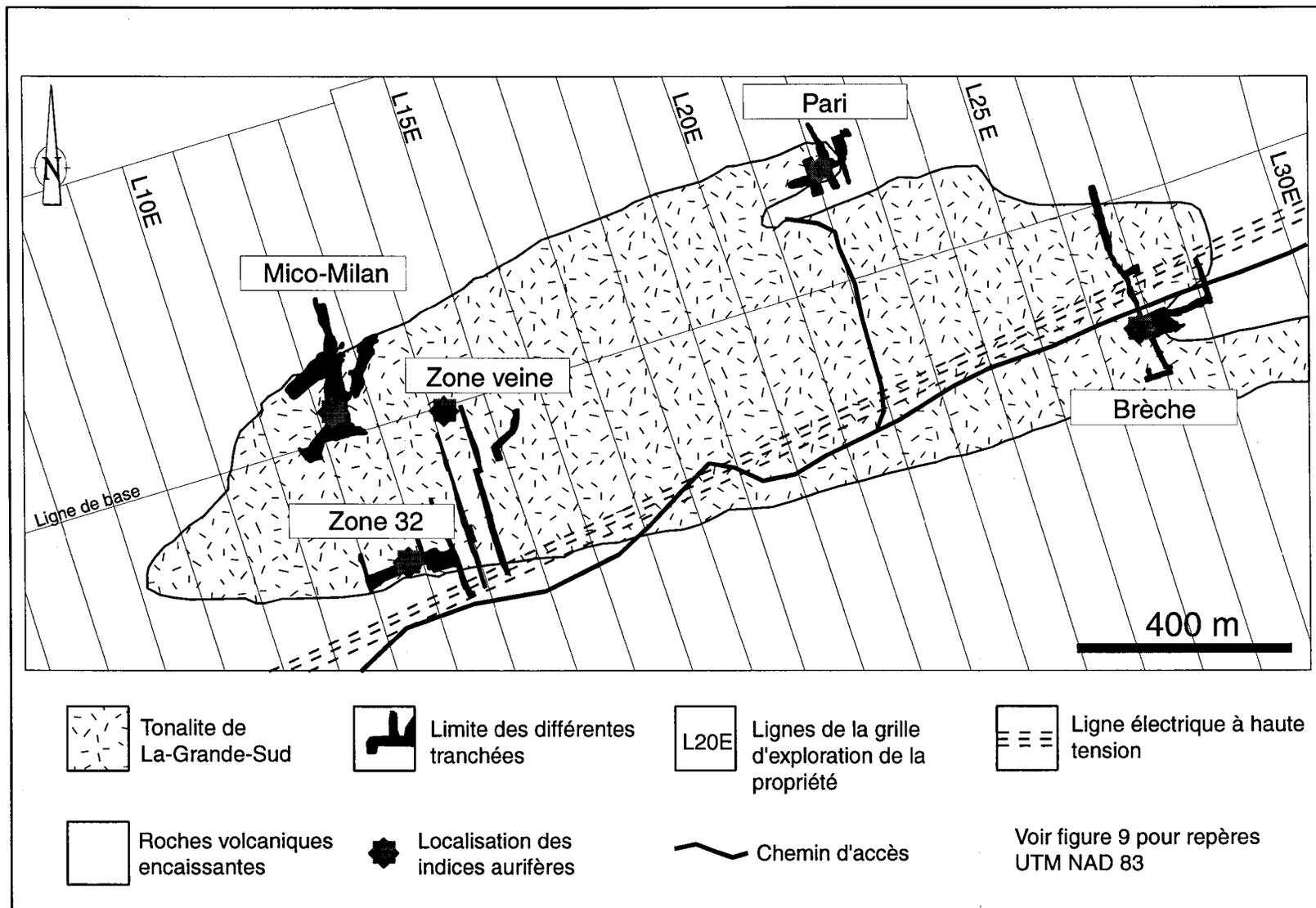


Figure 4. Localisation des indices encaissés dans la Tonalite LGS.

Il faudra donc étudier les questions suivantes: comment se manifeste l'altération hydrothermale et comment se distribue-t-elle par rapport aux indices aurifères, quelle est la typologie de la minéralisation, quelle est la relation entre les dykes, les brèches et les minéralisations, quelle est l'influence de la déformation sur les phénomènes observés et comment ces déformations se distribuent-elles dans la tonalite et dans l'encaissant, quelles sont les caractéristiques géochimiques de la tonalite, des dykes, des brèches et de l'encaissant volcanique, et, enfin, quel est le lien entre les minéralisations présentes.

## 1.2 OBJECTIFS

Le but principal de ce projet est de mettre en relation les différents événements géologiques reconnus au sein de la Tonalite LGS afin de déterminer l'origine des minéralisations aurifères observées à cet endroit. Ces événements géologiques sont l'altération hydrothermale, la déformation et le ou les épisodes de minéralisation proprement dits. Pour parvenir à cette fin, plusieurs objectifs devront être atteints.

- ◆ **But principal**
  - Mettre en relation les différents événements géologiques afin de déterminer l'origine de la ou des minéralisations aurifères et cuprifères.
- ◆ **Objectifs spécifiques**
  - Établir les relations spatiale et géochimique entre la Tonalite, les dykes la recoupant et la séquence encaissante.
  - Établir la signature et la zonalité de l'altération hydrothermale et la mettre en relation avec la déformation.
  - Situer les événements de minéralisation dans le contexte d'altération et de déformation.

Ces objectifs visent la définition de phénomènes reliés génétiquement ou chronologiquement, ce qui fait que chaque élément observé et décrit a son importance dans l'atteinte du but premier de cette étude, ceci dans l'optique d'une meilleure compréhension du mode de mise en place de la minéralisation aurifère afin d'augmenter l'efficacité des modèles d'exploration applicables à la région et ailleurs dans des contextes similaires.

### 1.3 MÉTHODOLOGIE

La réalisation de ce projet a impliqué des travaux sur le terrain et en laboratoire. Les travaux de terrain concernaient surtout la cueillette d'échantillons et de données, comprenant des observations pétrographiques et des mesures structurales. Les travaux de laboratoire qui ont suivi visaient l'analyse des données recueillies et le traitement ainsi que l'analyse des échantillons prélevés.

#### ◆ **Activité**

- Travaux de terrain
  - Cueillette d'échantillons représentatifs
  - Mesures structurales
  - Descriptions pétrographiques mégascopiques
  - Caractérisation des indices aurifères
- Travaux de laboratoire
  - Caractérisation de la déformation
  - Identification des assemblages de minéraux d'altération
  - Signature géochimique (tonalite, dykes et encaissant)
  - Reconnaissance et description de la minéralisation
  - Mise en relation des observations

Les travaux de terrain se sont concentrés sur la tonalite et son environnement immédiat. La propriété est facilement accessible via la route "Trans-Taïga". Des cheminements réguliers espacés de cent mètres au maximum ont été faits afin de couvrir le secteur

d'intérêt. Toutes les tranchées d'exploration ont été systématiquement visitées, de même que toutes les zones d'affleurement. La grille d'exploration de la propriété a servi de référence de localisation sur le terrain et les sites localisés selon cette grille ont par la suite été transférés en système de coordonnées UTM (NAD 83). Le cheminement le long des lignes de la grille de référence a permis d'établir de façon systématique des stations d'observation sur l'ensemble de la tonalite. La figure 5 montre la localisation de ces stations sur le terrain. Différents éléments d'observations ont été relevés à chacune de ces stations : la localisation de la station, puis les mesures structurales et une description pétrographique. Les fabriques planaires et linéaires, les dykes et les veines ont été mesurés et les relations de recoupement ont été décrites en détail. De plus, l'intensité de l'anisotropie planaire a été évaluée de façon visuelle sur une échelle variant de 1 à 5, la valeur la plus élevée (5) correspondant à l'intensité maximale de la déformation. L'annexe 1 présente les différentes observations faites à ces stations. La description pétrographique se limitait à la composition et à la texture de la roche (granulométrie et relations entre les minéraux) et à l'altération, son intensité et surtout sur l'assemblage minéral la caractérisant. Une attention particulière a été portée à la minéralisation, plus particulièrement aux phases minérales la composant et leur importance. Les relations entre la structure, l'altération, la texture et la minéralisation observées à chacune de ces stations d'observation ont été décrites et illustrées au besoin à l'aide de croquis détaillés à l'échelle appropriée et/ou de photographies.

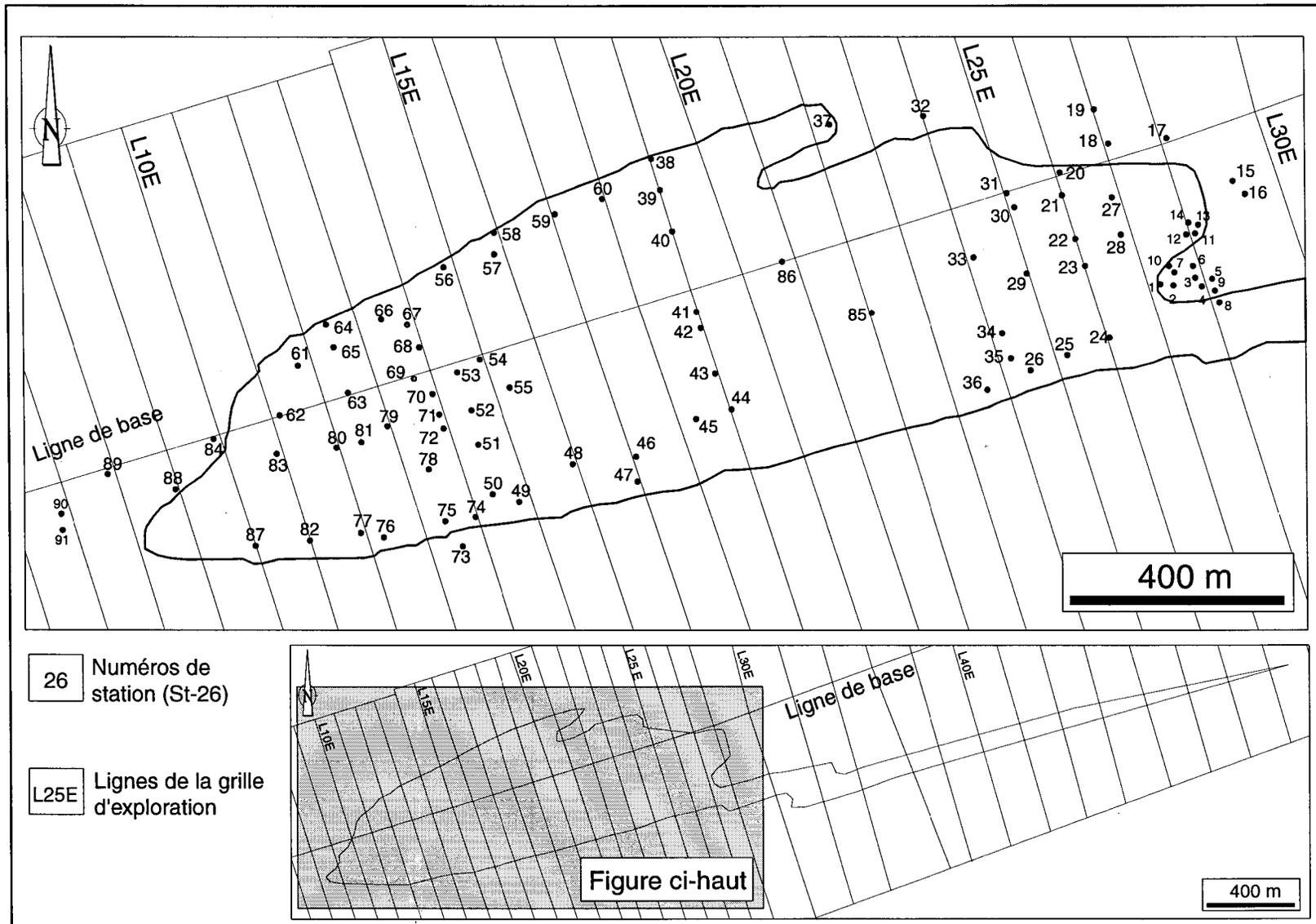


Figure 5. Localisation des stations de levé.

Parallèlement à ces observations, un échantillonnage de surface systématique de la tonalite a été réalisé. Plus de 140 échantillons, présentés à l'annexe 2, ont été recueillis afin de bien couvrir l'intrusion et les dykes la recoupant (figure 6). De plus, une quinzaine d'échantillons ont été recueillis dans les roches volcaniques encaissant la tonalite. Ces échantillons ont été prélevés de préférence à la scie à diamant, systématiquement orientés et décrits sommairement. Ces échantillons ont été utilisés à diverses fins, soit pour la confection de lames minces (normales, grandes ou polies), soit pour analyse lithogéochimique ou pour coloration. Ainsi, 109 lames minces normales, 5 grandes lames minces et 25 lames minces polies ont été confectionnées (annexe 2), 120 échantillons ont été analysés géochimiquement et 40 colorations ont été faites. Les plaquettes de coloration ont été choisies et préparées sur le terrain, alors que les échantillons pour les lames minces et/ou les analyses lithogéochimiques ont été choisis et préparés en laboratoire. En plus de l'échantillonnage de surface, certains forages recoupant la minéralisation ont été échantillonnés (annexe 2) pour analyse lithogéochimique, confection de lames minces et description détaillée (avec ou sans croquis et photographies) des relations entre l'altération, la structure et les minéralisations. D'autres forages implantés dans des zones sans affleurements ont été échantillonnés pour assurer une couverture efficace de la tonalite.

Un échantillon pour une datation U-Pb a également été prélevé afin d'établir l'âge de la Tonalite LGS. La datation a été réalisée par Don Davis du Royal Ontario Museum pour le Ministère des Ressources naturelles du Québec et la compagnie Mines d'Or Virginia dans



le cadre du projet d'étude de l'évolution géotectonique des ceintures de roches vertes archéennes.

Le matériel déjà existant, c'est-à-dire les analyses faites par Mines d'Or Virginia ainsi que les échantillons prélevés pour les études de Turcotte (1998), Bambic (1997), Daigneault (1997) ainsi que Tremblay (1999) a été récupéré pour être utilisé dans le cadre de cette étude.

Les travaux de laboratoire ont été divisés en trois phases. La première phase a été de mettre en carte les principales observations de terrain, c'est-à-dire l'information structurale (mesures et intensité de la déformation), les différents faciès reconnus (altération et texture) et la minéralisation (composition et importance) en fonction de la localisation des stations. Les échantillons ont été également localisés sur cette carte. Les échantillons ont été sélectionnés pour analyse et/ou lames minces. Les lames minces ont été confectionnées au Laboratoire de Pétrographie du Saguenay, alors que les analyses géochimiques ont été effectuées par le Centre de Recherches Minérales (CRM) à Québec. Les éléments majeurs ont été dosés par fluorescence X, les éléments en traces ont été dosés, selon l'élément, par spectrométrie d'émission au plasma, par fluorescence X ou par activation neutronique. Le FeO a été également analysé. Certains dosages individuels de composés et d'éléments ont également été effectués. L'argent, le bismuth, le bore, le carbone total sous la forme de CO<sub>2</sub>, le chrome et le mercure ont ainsi été analysés. L'annexe 4 donne pour chaque assemblage ainsi que pour chacun de ces éléments la méthode d'analyse préconisée et la

limite de détection. Les colorations effectuées avaient pour but de déceler la présence de feldspath potassique dans la Tonalite LGS. L'acide fluorhydrique (HF 49 %) et le cobaltinitrite de sodium saturé  $\text{Na}_3\text{CO}(\text{NO}_2)_6$  ont été utilisés à cette fin comme solution corrosive et solution colorante respectivement.

Le traitement des résultats obtenus lors de la première phase des travaux de laboratoire a été le sujet de la seconde phase de ces travaux. Les mesures structurales ont été projetées sur stéréogramme à l'aide du logiciel Géorient pour permettre l'analyse des tendances structurales locales. Les analyses lithogéochimiques ont fait l'objet de diagrammes discriminants binaires et ternaires qui ont permis de caractériser la tonalite proprement dite, ainsi que son mode de mise en place (régime tectonique). L'étude des résultats d'analyse a également permis de comparer la géochimie des dykes et des enclaves avec celle de la tonalite et des roches volcaniques environnantes. La composition de la Tonalite LGS a aussi été comparée avec celle des autres massifs tonalitiques reconnus dans la région de La Grande. Ces analyses lithogéochimiques ont également permis de caractériser l'effet de l'altération hydrothermale sur la roche encaissante de la minéralisation. La méthode du calcul des bilans de matière développée par MacLean et Kranidiotis (1987) a été systématiquement appliquée à tous les échantillons prélevés dans la tonalite. La méthode des isocones de Grant (1986) a été appliquée pour caractériser le degré d'altération dans certains échantillons provenant de la tonalite et des dykes de la Zone 32. Cette méthode se prête particulièrement bien à ce projet puisqu'elle permet de calculer simultanément et de

façon simple (graphique) les changements de matière et de concentration dans un échantillon altéré pour différents degrés d'altération dans une même roche ou lithologie.

L'étude pétrographique et minéragraphique visant à définir la typologie de la minéralisation a été faite par microscopie en lumière transmise pour les phases de la gangue et par microscopie en lumière réfléchie pour les phases opaques.

## **1.4 GÉOLOGIE**

### **1.4.1 Introduction**

Le secteur de la rivière La Grande dans la région de la Baie-James au Québec (figure 2) fut l'objet d'importantes campagnes de prospection entre les années 1950 et 1970 pour le fer et le cuivre en premier lieu, puis pour l'uranium. Cette prospection a fait suite aux travaux de cartographie géologique de reconnaissance réalisés par la Commission géologique du Canada (Eade, 1966 ; Eade *et al.*, 1967). Dans les années 1960 et 1970, le Ministère des Richesses naturelles du Québec a entrepris la cartographie de grands secteurs (échelle 1 : 63360) avant le remplissage des réservoirs de la Baie-James (Mills, 1965, 1967, 1973 et 1974 et Sharma, 1977). De plus, divers travaux d'exploration, pour l'uranium principalement, ont été réalisés par différentes compagnies (Fouques et Schumacher, 1979). Dans les années 1980 et 1990, quelques études détaillées concernant la géochimie et la stratigraphie de certaines lithologies du secteur ont été entreprises (Rivard et Francis,

1984 ; Rivard, 1985 ; Skulsky *et al.*, 1984 et 1988 ; Skulski, 1985 ; Paquette et Gauthier, 1997 ; Paquette, 1998).

L'exploration plus poussée le long de la rivière La Grande depuis le début des années 1990 a mené à plusieurs découvertes aurifères importantes confirmant le potentiel de cette région. En 1994, Exploration Diabior inc. (par la suite fusionnée à Mines d'Or Virginia inc.) et la compagnie S.E.M. ont procédé à un levé de till à la recherche de minéraux indicateurs de kimberlite diamantifère dans le secteur du réservoir Robert-Bourassa. La découverte de grains d'or dans ces échantillons a mené à une réorientation de la campagne d'exploration vers des cibles aurifères. Une campagne de reconnaissance a alors été entreprise sur la propriété La-Grande-Sud, conduisant bientôt à la découverte de l'indice As, situé à 1 km à l'ouest de la Tonalite LGS. Suite à ces résultats, Mines d'Or Virginia a effectué plusieurs levés géologiques, géophysiques et géochimiques qui ont conduit à la découverte d'autres indices aurifères sur la propriété, et notamment à la découverte des indices encaissés dans la Tonalite LGS (Legault et Simard, 1998). De plus, plusieurs campagnes de cartographie à l'échelle 1 : 50 000 ont été entreprises pour presque l'ensemble du feuillet SNRC 33F (lac Sakami) par le Ministère des Ressources naturelles du Québec (Goutier *et al.*, 1998b ; 1998c ; 1999b ; 1999c ; 2000a ; 2000b). Des études détaillées se sont également déroulées conjointement à ces projets de cartographie (Boily et Goutier, en préparation ; Fallara *et al.* 1999 ; Moorhead *et al.*, en préparation).

### 1.4.2 Géologie régionale

La région de la rivière La Grande à la Baie-James au Québec (figure 2) comprend trois grands ensembles archéens faisant partie de la Province du Supérieur ainsi qu'un bassin sédimentaire et des dykes protérozoïques. Les ensembles archéens sont la sous-province plutonique de Bienville au nord, la sous-province volcanique et plutonique de La Grande au centre et la sous-province métasédimentaire et plutonique d'Opinaca au sud.

La sous-province de Bienville, essentiellement plutonique, comprend des gneiss granitiques à multiples enclaves d'amphibolites et des plutons granodioritiques (Card et Ciesielski, 1986). Dans le secteur de la rivière La Grande, cette sous-province se compose principalement d'une grande intrusion porphyrique de monzonite et de monzonite quartzifère (pluton de Radisson) datée à  $2712 \pm 3$  Ma (Mortensen et Ciesielski, 1987). Le contact entre cette sous-province et la sous-province de La Grande au sud est une zone de faille du côté ouest et un contact intrusif du côté est (Goutier *et al.*, 1999a).

La sous-province de La Grande représente un ensemble volcano-plutonique (Card et Ciesielski, 1986) comprenant une grande variété de roches : un gneiss tonalitique ancien, des séquences volcano-sédimentaires et de multiples intrusions de tonalite, de granite, d'ultramafites, de gabbro et de lamprophyre. La séquence volcano-sédimentaire montre l'évolution d'une marge continentale ou d'un rift à un environnement marin plus profond. Les roches sédimentaires de la partie supérieure de la séquence témoignent d'une

convergence tectonique, d'un soulèvement des roches intrusives et de leur érosion. Cette sous-province chevauche la sous-province d'Opinaca au sud (Goutier *et al.*, 1999a ; 2000a). Un gneiss tonalitique ancien constituant le socle de la sous-province de La Grande (Complexe de Langelier) est daté à  $2811 \pm 2$  Ma (Mortensen et Ciesielski, 1987). La majorité des intrusions venant recouper le socle (Complexe de Langelier) et la séquence volcano-sédimentaire (Groupe de Yasinski) sont représentées par des tonalites, des diorites et une monzodiorite appartenant aux intrusions de Duncan et au pluton d'Amisach Wat ainsi que par les granites du lac Taylor et du Vieux Comptoir (Goutier *et al.*, 1999b). Les tonalites et les tonalites à hornblende du Duncan se distinguent des tonalites du Complexe de Langelier par leur texture homogène et une déformation plus faible. Ces dernières sont grises à rosées avec un patine blanche et contiennent jusqu'à 15 % de minéraux mafiques (hornblende et biotite) et moins de 10 % de feldspath potassique. Une foliation tectonique affecte dans plusieurs cas ces tonalites. Le Pluton d'Amisach Wat, qui est daté à  $2716 \pm 3$  (Goutier *et al.*, 1998b) et qui est peu affecté par la déformation, est constitué d'une phase majeure tonalitique à hornblende à grains moyens et à patine verdâtre à rosée (Goutier *et al.*, 1999b). La hornblende représente de 3 à 10 % de la composition de la tonalite, laquelle peut localement contenir des phénocristaux de quartz (5 % de phénocristaux de 3 à 5 mm).

D'autres intrusions se sont mises en place tardivement par rapport aux Intrusions de Duncan et au Pluton d'Amisach Wat, soit le Complexe ultramafique de Menarik et la Pyroxénite de Baie Chapus, le Granite du lac Taylor ( $2699 \pm 4$  Ma ; Goutier *et al.*, 1998b) et le Pluton de Tipitipisu. Des granites et des pegmatites alcalines à deux micas forment les

plus jeunes intrusions archéennes de la région (Granite du Vieux Comptoir). Ce granite est daté à 2618 ±18/-13 Ma (Goutier *et al.* 1999b).

La sous-province d'Opinaca se compose essentiellement de wacke feldspathique évoluant graduellement au sud vers des paragneiss à biotite. Quelques bandes de conglomérat, de formations de fer et d'arénite arkosique sont reconnues dans cette sous-province. Ces roches sont injectées d'une multitude de dykes de pegmatite à tourmaline et à deux micas et de granite rose communs dans la partie nord de la sous-province, ces intrusions recoupant également le contact avec la sous-province de La Grande à l'ouest (Goutier *et al.*, 1998a).

Le métamorphisme régional au faciès des schistes verts passe au faciès des amphibolites vers le SE et vers le nord dans la sous-province de La Grande (Goutier *et al.*, 2000a).

Plusieurs événements de déformation ont affecté les roches de la région. Les premières phases de déformation ayant affecté les roches supracrustales sont associées à des zones de mylonites NE-SO à pendage NO alors que la troisième phase, probablement coaxiale, reprend les mylonites et les déforme en plis localement kilométriques. Ces épisodes ont été suivis d'un plissement en dômes et bassins à l'échelle des sous-provinces. Le grand cisaillement dextre séparant une partie des sous-provinces de Bienville et de La Grande est associé à une phase plus récente de déformation (Goutier *et al.*, 1999b).

Les roches protérozoïques de la région de la rivière La Grande comprennent des dykes de gabbro ENE (Dykes de Senneterre), des dykes N à NW (Dykes du lac Esprit) et une séquence clastique repose en discordance sur les roches archéennes. Cette dernière unité, appartenant à la Formation de Sakami, est composée à la base de conglomérats, d'une unité épaisse d'arénite quartzitique et de grès rouges au sommet.

Les principales minéralisations de la région sont des formations de fer de type Algoma, des minéralisations magmatiques de chrome et de platinoïdes, des conglomérats uranifères et des minéralisations aurifères et cuprifères, filoniennes et disséminées, parfois associées à des zones de cisaillement. Des minéralisations protérozoïques de Cu-Ag sont également observées.

### **1.4.3 Géologie locale**

La sous-province de La Grande comprend, dans la région du lac Sakami (figure 7), un socle ancien composé de gneiss et de tonalite déformée (Complexe de Langelier) sur lequel repose en discordance une unité d'arénite quartzitique et de conglomérat uranifère (Formation d'Apple), surmontée d'un empilement de volcanites, de pyroclastites et de roches sédimentaires (Groupe de Yasinski) et d'unités clastiques de wacke et de conglomérats polygéniques (formations d'Ekomiak et de Shabudowan). Cette séquence est injectée de tonalites, de dykes mafiques et ultramafiques, de pegmatites et de granites (Goutier *et al.*, 1999a et b, 1998a et b).

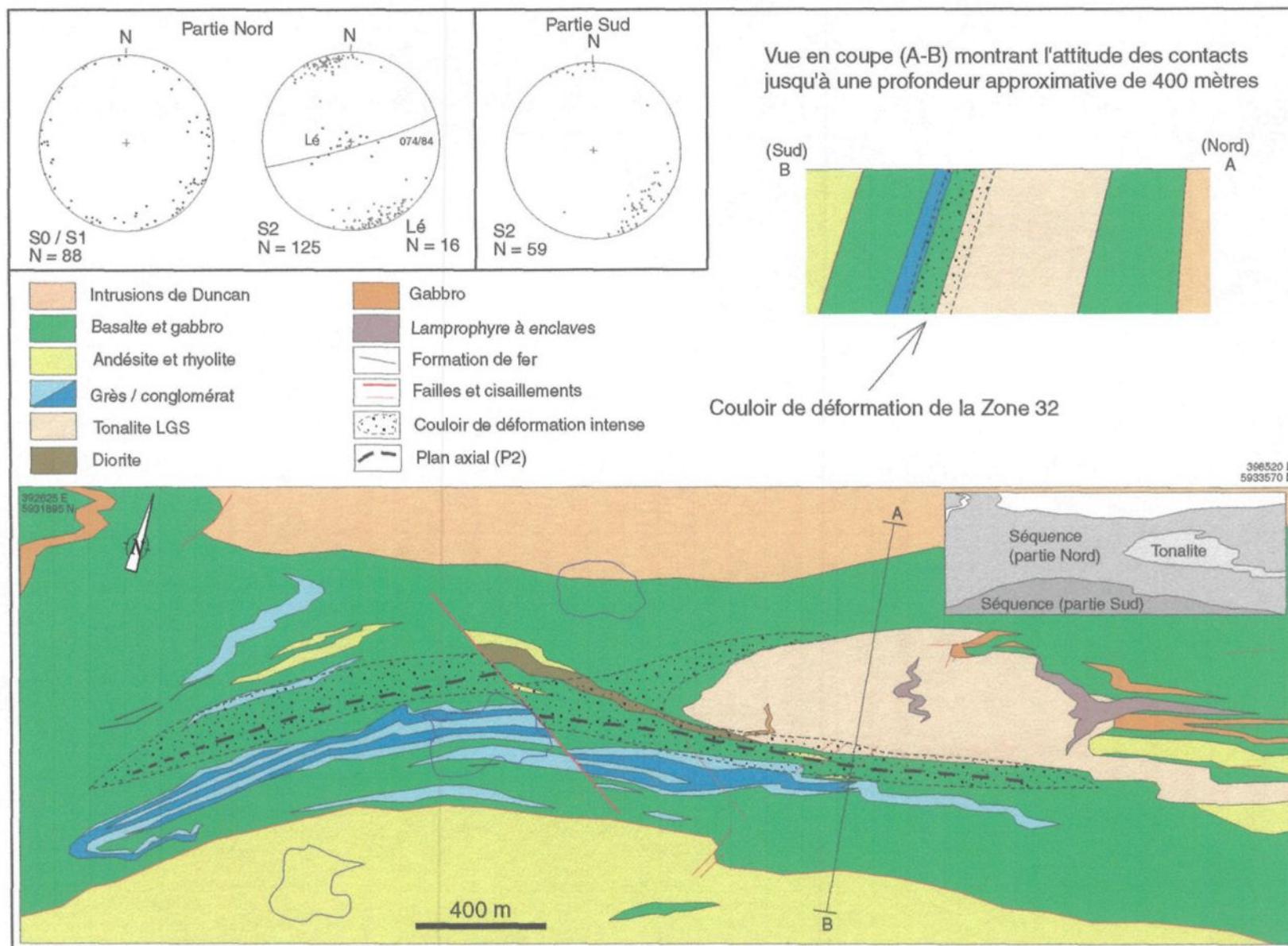


Figure 7. Géologie de l'environnement de la Tonalite LGS (Modifié de Virginia et Goutier et al., 2000).

Le Complexe de Langelier est composé d'un ensemble de gneiss tonalitique et granitique, de migmatites, de diorites et de tonalites (Goutier *et al.*, 1999b). Le gneiss tonalitique est caractérisé par une alternance de bandes millimétriques à centimétriques felsiques et mafiques riches en hornblende et biotite. Les tonalites déformées à grains fins à moyens, qui composent l'unité la plus jeune de l'ensemble ( $2788 \pm 4/-3$  et  $2794 \pm 2$  Ma ; Goutier *et al.* 1999b), sont foliées et localement gneissiques et sont caractérisées par la présence de biotite et de hornblende et une très faible proportion de feldspath potassique (<5 %).

Le Groupe de Yasinski, daté à  $2732 \pm 8/-6$  Ma (Goutier *et al.* 1998b), est formé d'une séquence de volcanites mafiques, intermédiaires et felsiques, de roches sédimentaires clastiques et de formations de fer. Les formations de fer sont dominées par le faciès des oxydes bien que le faciès des silicates soit également présent. Des horizons métriques de wacke et de conglomérats polygéniques s'intercalent aux formations de fer, cette séquence se retrouve entre les différentes coulées volcaniques. Les volcanites mafiques (basalte et andésite basaltique), qui dominent dans le Groupe de Yasinski, sont le plus souvent d'affinité tholéiitique, ferrifères et se retrouvent généralement sous forme coussinée sans vésicules, suggérant un milieu de mise en place océanique profond (Goutier *et al.*, 1998b).

Dans le secteur de la Tonalite LGS, la séquence volcano-sédimentaire est caractérisée par un empilement de basaltes, d'andésites basaltiques, de rhyolites, de tufs intermédiaires à felsiques, de grès, d'argilites et de conglomérats recoupés par des dykes tonalitiques,

gabbroïques et lamprophyriques. Les roches plus au sud dans la séquence volcano-sédimentaire sont composées de laves rhyolitiques à dacitiques intercalées avec des tufs intermédiaires lités et laminés et des tufs à lapilli et à blocs (Fallara *et al.*, 1999 ; Goutier *et al.*, 2000b). L'andésite, qui montre souvent une texture porphyrique à phénocristaux de plagioclase, est d'affinité transitionnelle à calco-alkaline (Fallara *et al.*, 1999). Ces lithologies sont bordées au nord par les Intrusions de Duncan (figure 7) et au sud par les roches de la sous-province d'Opinaca. Les Intrusions de Duncan, dans ce secteur, sont composées de diorite et de tonalite à biotite de couleur grise à localement rosée. La biotite est relativement grossière dans la tonalite. La déformation y est forte.

Toutes ces roches à l'exception des dykes de lamprophyre à enclaves et certains dykes intermédiaires à felsiques ont été affectées par une première déformation (D1) associée à un raccourcissement E-O responsable du développement de plis N-S (P1) (un seul pli observé) et de la formation de mylonites (Goutier *et al.*, 2000b). Une seconde phase de déformation (D2), liée à un raccourcissement N-S, est responsable d'une seconde phase de plissement E-O (P2) et de la forte transposition des unités dans les flancs de plis P2 à l'intérieur de cisaillements E-O. Cet arrangement des strates est défini par les lits correspondant aux horizons sédimentaires et volcaniques. Ainsi, la stratification, ou le S0, est localement parallélisé à la fabrique S2 et, dans le cas du pli P1 observé, le S0 correspond à la fabrique S1. Toutes ces unités montrent un pendage fort correspondant communément à l'attitude de la fabrique S2. Donc, bien qu'au moins deux épisodes de déformation semblent avoir affecté la séquence volcano-sédimentaire dans ce secteur, il est difficile à ce stade d'établir

l'évolution structurale puisque les observations faites à l'échelle régionale montrent une complexité structurale importante résultant de la superposition de plusieurs épisodes de déformation.

Le métamorphisme varie du faciès des schistes verts à celui des amphibolites dans ce secteur.

#### **1.4.4 Tonalite de La-Grande-Sud**

La Tonalite LGS représente une intrusion elliptique faisant 600 m de largeur sur 1500 m de longueur (figure 7) s'étant mise en place dans la séquence volcano-sédimentaire du Groupe de Yasinski (Mercier-Langevin *et al.*, 1998, 1999a et 1999b). La Tonalite LGS est caractérisée par plusieurs types d'altérations associés à un ou plusieurs événements hydrothermaux : brèches, veines de quartz-chalcopyrite, stockwerk à tourmaline, veinules de chlorite et zones d'altération potassique (séricite  $\pm$  biotite). Cette intrusion contient des enclaves de gabbro et de diorite alors que des dykes de lamprophyre à enclaves la recourent.

Un gîte et quatre indices aurifères sont encaissés dans la Tonalite LGS : Zone 32 (gîte), Mico-Milan, Pari, Brèche et Zone Veine. Les quatre premiers se trouvent aux bordures nord et sud de la tonalite (Figure 4), à proximité ou à l'intérieur des couloirs de déformation E-O alors que le cinquième se trouve au centre de l'intrusion. D'autres indices aurifères se

trouvent près de la tonalite, dans les volcanites encaissantes, notamment les indices Wedding, As et Ugo. La plupart de ces indices ont été mis au jour et cartographiés en détail par le personnel de Mines d'Or Virginia (Legault et Simard, 1998 ; Simard et Landry, 1997 ; Daigneault, 1996 et 1997). Suite à leurs observations lors des travaux d'exploration et suite aux résultats de Bambic (1997), Simard et Landry (1997) proposent une affinité porphyrique pour la minéralisation et une origine synvolcanique pour la tonalite puisque la signature géochimique de la tonalite est comparable à celle des roches volcaniques encaissantes, que la minéralisation et les altérations semblent avoir subi les deux événements de déformation et que les contacts lithologiques sont transposés. Par contre, Legault et Simard (1998) proposent plutôt une origine syn-D1 pour la tonalite et les minéralisations puisqu'elles sont affectées par la schistosité N-S et qu'elles présentent une signature géochimique comparable à celle des plutons syntectoniques de l'Abitibi. Daigneault (1997) et Turcotte (1998), sans se prononcer sur l'origine de la Tonalite LGS, suggèrent que la minéralisation qui y est encaissée est tardive à post-D1, mais pré-D2.

## **CHAPITRE II**

### **CARACTÉRISATION PÉTROGRAPHIQUE ET GÉOCHIMIQUE DES UNITÉS LITHOLOGIQUES PRÉSENTES DANS LE SECTEUR À L'ÉTUDE**

#### **2.1 INTRODUCTION**

Dans le but de bien comprendre comment se traduisent les éléments de déformation et d'altération dans les unités lithologiques du secteur à l'étude, ce chapitre sera consacré à la description pétrographique mégascopique et microscopique ainsi qu'à la caractérisation géochimique de la Tonalite LGS et aux lithologies en relation directe avec cette intrusion. Les roches de la séquence volcano-sédimentaire encaissante seront décrites comme un ensemble, alors que les phases intrusives se retrouvant dans la Tonalite LGS seront traitées individuellement. Une synthèse des caractéristiques pétrographiques de ces différentes lithologies est donnée au tableau 2 et à l'annexe 3, alors que les résultats d'analyses lithogéochimiques sont présentés à l'annexe 4.

#### **2.2 ROCHES DE LA SÉQUENCE VOLCANO-SÉDIMENTAIRE ENCAISSANTE**

Les roches volcaniques décrites dans cette section sont celles situées dans l'environnement immédiat de la Tonalite LGS. Elles s'étendent sur toute la propriété La-

Tableau 2. Tableau synthèse des observations pétrographiques pour les différentes lithologies du secteur La-Grande-Sud.

Lithologie	Textures	Minéralogie et particularités
Tonalite à biotite « tonalite fraîche »	Texture primaire dominante équi-granulaire Texture secondaire granoblastique suturée. Granulométrie fine (2 mm)	- 45 à 70 % (64 %) de plagioclase sodique (albite). 15 à 25 % de quartz recristallisé. 3 à 5 % de biotite fine. Tr à 1 % de feldspath potassique primaire. Une seule myrmékite observée. Tr à 5 % d'épidote (pistachite). 1 à 5 % de carbonates. Traces de leucoxène et ilménite. Quantité variable de séricite très fine. Quantité variable de chlorite.
Tonalite à chlorite « tonalite altérée »	Texture primaire équi-granulaire localement conservée. Texture secondaire granoblastique Granulométrie fine (2 mm)	- 50 à 68 % (60 %) de plagioclase sodique (albite). 15 à 25 % de quartz recristallisé. 1 à 6 % de chlorite fine. Tr à 1 % de feldspath potassique primaire. Traces d'épidote (pistachite). Quantité variable de carbonates. Traces de leucoxène et ilménite. Quantité variable de séricite très fine. Tr à 3 % d'opagues. Traces d'apatite fine. Quelques dykes porphyriques à phénocristaux de plagioclase et de quartz.
Diorite (diorite à quartz et diorite à hornblende)	Texture primaire dominante équi-granulaire. Fabrique magmatique faiblement développée ou mal préservée.	- 50 à 70 % de plagioclase sodique. 0-30 % de biotite. 2 à 5 % de chlorite. 2 à 20 % de carbonates. 0 à 2 % de quartz xénomorphe. 2 à 8 % de séricite fine. 0 à 10 % de minéraux opaques idiomorphes à xénomorphes. Traces d'épidote xéno-blastique fine.
Gabbro (dykes dans la tonalite)	Texture primaire équi-granulaire. Granulométrie fine	- 32 à 60 % de plagioclase sodique. 0-16 % de biotite de Dmoy = 0,8 mm. 0 à 20 % de chlorite. 0 à 40 % de carbonates xénomorphes dans le plagioclase ou en veinule. 0 à 12 % de séricite fine. Tr à 2 % de minéraux opaques idiomorphes à xénomorphes de 0,1 mm.
Lamprophyre à enclaves	Granulométrie fine à moyenne.	- Composés de plagioclase xénomorphe matriciel, de phénocristaux primaires de hornblende verte et de hornblende matricielle, de biotite fine (0,1 mm), de chlorite, carbonates et épidote en altération. Quelques feldspath-K ont été observés.
Volcanites encaissant la tonalite	Granulométrie fine. Laves et pyroclastites. Composition variable.	- Composition variable (felsique à mafique). - Les phases à noter sont l'actinote, le hornblende, la biotite et l'épidote qui sont le résultat du métamorphisme et de l'altération hydrothermale.

Grande-Sud. Ces unités, bien que localement très fortement affectées par la déformation, ont conservé à quelques endroits leur texture d'origine, notamment dans les zones de charnière de pli P2.

### 2.2.1 Pétrographie

Divers types de roches composent la séquence volcano-sédimentaire encaissant la Tonalite LGS : roches volcaniques effusives, roches volcanoclastiques et roches sédimentaires clastiques. Il est généralement difficile de différencier les roches sédimentaires clastiques à grains fins des volcanoclastites à grains fins sur le terrain.

Les roches sédimentaires, surtout reconnues au sud et à l'ouest de la Tonalite LGS, sont représentées par des horizons décimétriques à métriques de conglomérat, de grès, de formations de fer et des turbidites. Le conglomérat est de nature polygénique avec dominance de fragments de diorite et de gabbro. Ces fragments ont un diamètre moyen approximatif de 5 à 10 centimètres et sont de forme arrondie à sub-arrondie. La matrice, parfois de couleur rosée, est à grains très fins et de composition mafique. Les grès représentent possiblement des unités volcanoclastiques, mais le manque d'évidences texturales et structurales claires incite à traiter ces unités comme étant des roches sédimentaires. Ces unités, souvent fortement altérées, sont dominées par le plagioclase en cristaux arrondis à sub-arrondis. Les formations de fer (faciès des oxydes) se présentent en lits d'épaisseur centimétrique de magnétite interlités avec du chert recristallisé (Simard et

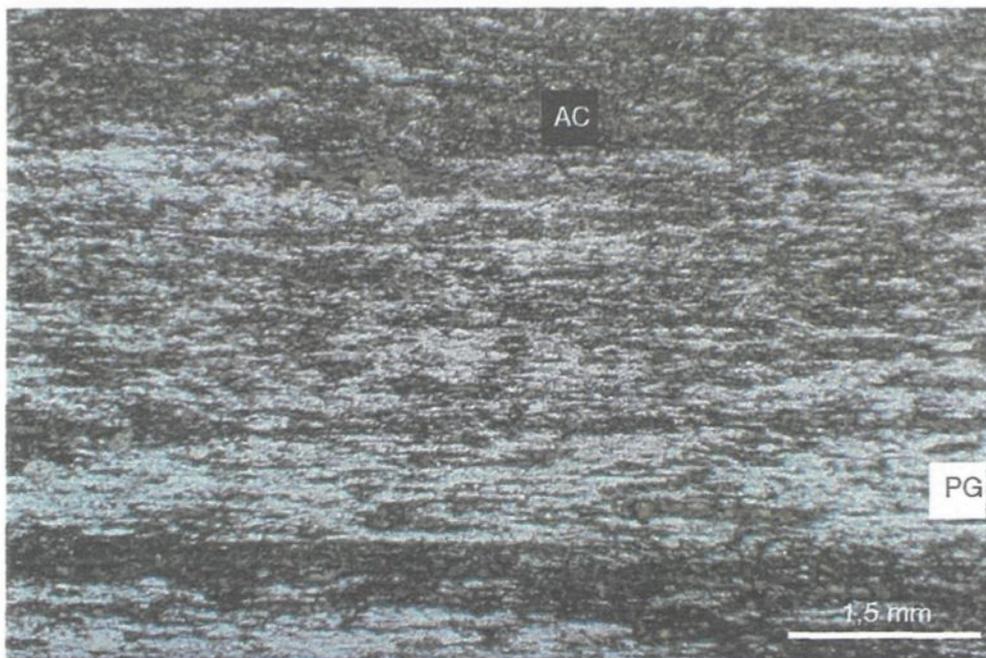
Landry, 1997). Les turbidites, siltites et argilites, finement litées, se composent essentiellement de quartz, de plagioclase et de chlorite.

Les roches volcaniques et volcanoclastiques, volumétriquement dominantes dans le secteur, se composent de coulées de basaltes massifs et coussinés, d'andésite et de rhyolite ainsi que de lits de tufs à blocs, cristaux et cendres de composition intermédiaire à felsique. Les laves sont généralement à grains fins et quelques horizons minces sont à phénocristaux de plagioclase de 1 à 2 centimètres de diamètre moyen. Ces roches sont localement fortement rubanées en raison de la forte déformation (planche 1A).

Les roches de composition mafique et intermédiaire de cette séquence se caractérisent par une abondance d'actinote (surtout au sud de la Tonalite LGS, planche 1B) et de chlorite, avec des quantités variables de carbonate, d'épidote et de hornblende verte (surtout à l'ouest et au nord de la Tonalite LGS). Cet assemblage de minéraux d'origine métamorphique, en plus du plagioclase (albite), témoigne du métamorphisme au faciès des schistes verts (Yardley, 1989). De la biotite fine avec inclusions de rutile, associée à l'altération hydrothermale, est également observée dans les roches mafiques près des bordures ouest et nord de la Tonalite LGS.



A. Roches volcaniques de la séquence volcano-sédimentaire encaissant la Tonalite LGS. Rubanement d'origine tectonique dans une andésite basaltique. Carnet 15 cm indiquant le nord.  
L28E 0+60S



B. Andésite basaltique au contact sud de la tonalite montrant un rubanement des amphiboles métamorphiques (actinote). AC = actinote, PG = plagioclase. Lame PML-98-050-1. Lumière naturelle.

Planche 1. Roches volcaniques encaissant la Tonalite LGS.

### 2.2.2 Signature géochimique

Les résultats d'analyses lithogéochimiques faites dans le cadre de ce projet sur les roches volcaniques présentes dans le secteur d'étude montrent bien les variations de composition des lithologies rencontrées (figure 8). Les diagrammes de Cox *et al.* (1979) et de Winchester et Floyd (1977) montrent bien la dispersion des échantillons dans les champs prédéfinis (basalte, andésite, rhyodacite et dacite). La plupart des échantillons se retrouvent dans le champ des basaltes, illustrant la dominance volumétrique des roches basaltiques dans ce secteur. La composition varie donc de mafique à felsique (basalte à rhyolite) avec saturation en silice alors que l'affinité passe de tholéiitique à calco-alkaline comme illustré dans le diagramme AFM de Jensen (1976). La grande majorité des échantillons se concentre dans le champ subalcalin (figure 8). La distribution irrégulière des échantillons dans le diagramme Zr en fonction de Zr/Y ne permet pas de définir une courbe de fractionnement claire. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Mines d'Or Virginia (Simard et Legault, 1998).

## 2.3 TONALITE DE LA-GRANDE-SUD

La Tonalite LGS représente un stock felsique auquel sont associés spatialement des dykes de gabbro et des massifs dioritiques métriques. Cette intrusion comprend des dykes felsiques microporphyrifères périphériques et est recoupée par des dykes de lamprophyre à enclaves. Cette géométrie simplifiée est illustrée à la figure 9.

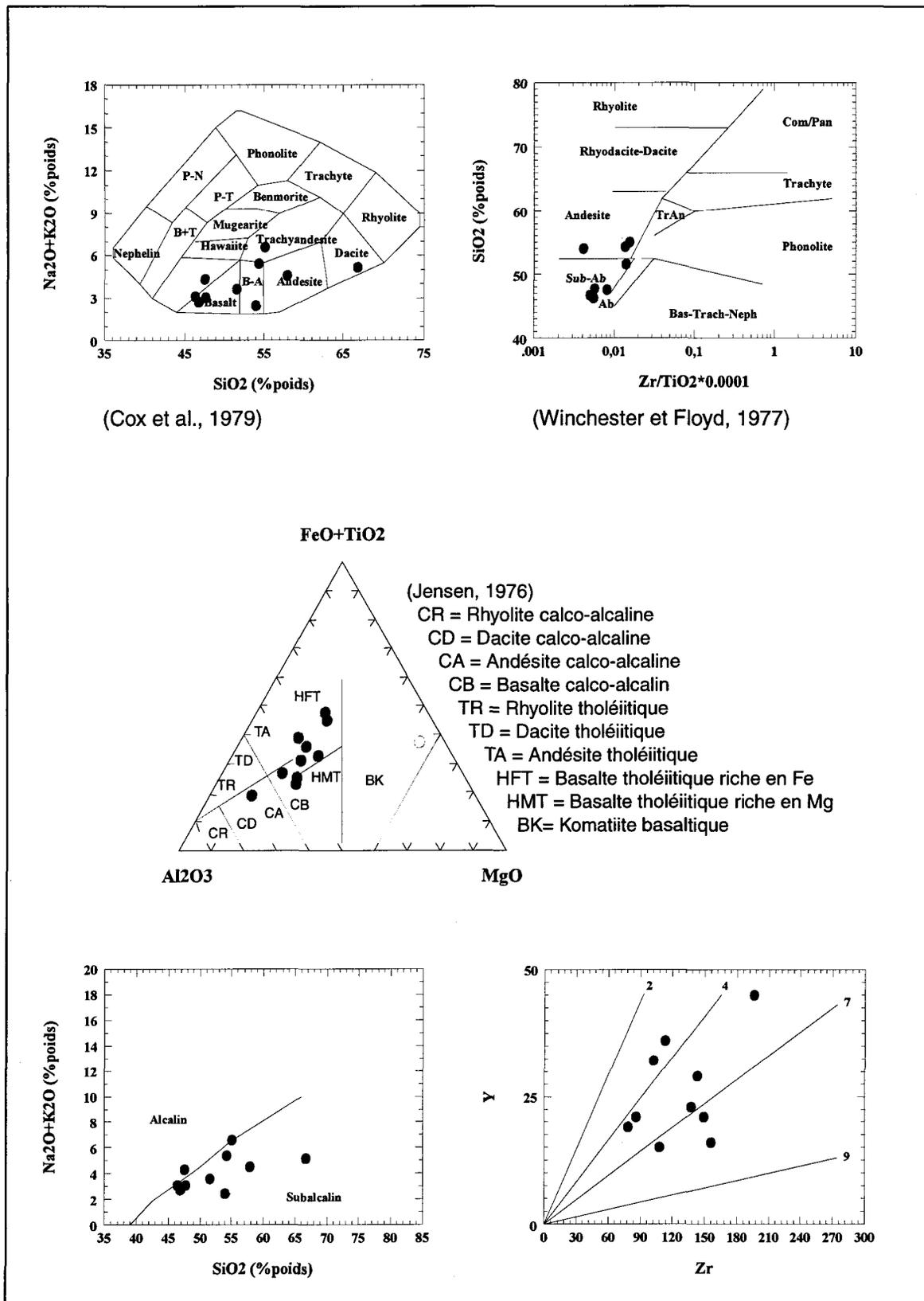


Figure 8. Géochimie des roches volcaniques de la séquence encaissante.

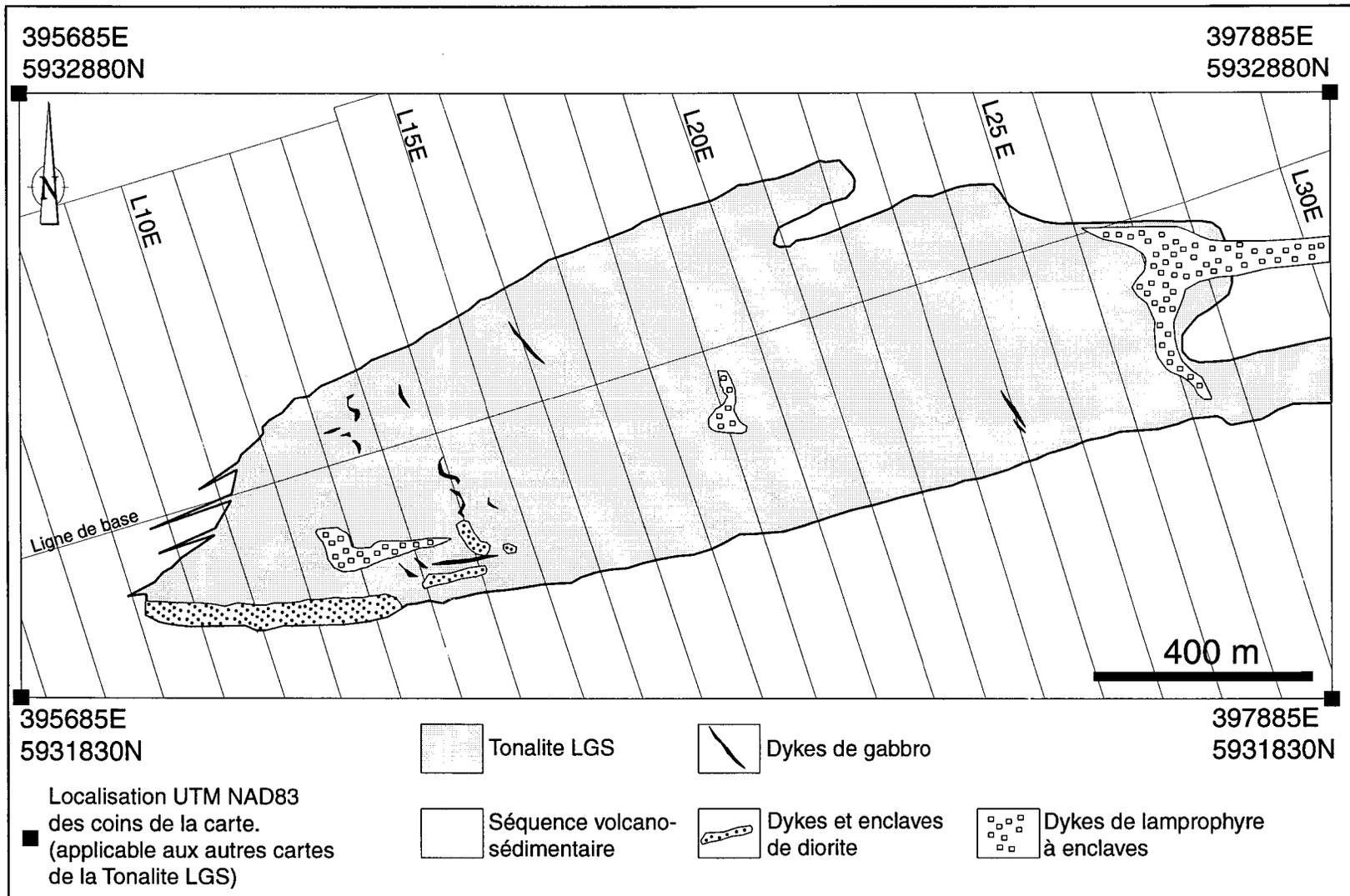


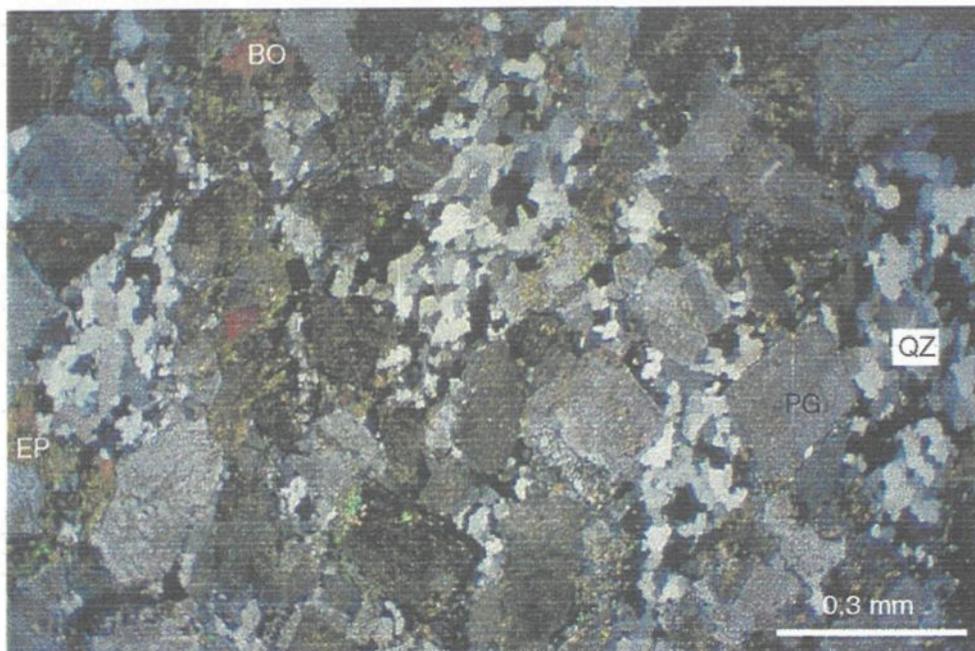
Figure 9. Distribution des différentes phases magmatiques reconnues à l'intérieur de la Tonalite LGS

### 2.3.1 Pétrographie

La Tonalite LGS, à biotite ou à chlorite, est caractérisée par une texture primaire équi-granulaire où le diamètre moyen des grains est de 2 millimètres. Cette texture domine dans toute la tonalite, à l'exception des zones de déformation très forte et des quelques dykes de moins de 1 mètre de largeur situés près des contacts ouest et est de la tonalite. Ces dykes présentent des phénocristaux de plagioclase et de quartz de 2 millimètres de diamètre moyen. En plus du plagioclase et du quartz, la biotite, la chlorite, l'épidote, le carbonate, la séricite, les minéraux opaques, l'ilménite et le leucoxène forment les principales phases composant cette intrusion (planche 2A). Quelques grains de feldspath potassique ont été observés, de même que quelques cristaux hypidiomorphes d'apatite. Le plagioclase, dont l'abondance varie de 45 à 70 % et dont la composition est sodique (albite), est communément maclé, et dans quelques rares cas, zoné. Le quartz varie en abondance de 15 à 25 % et est, dans tous les cas, recristallisé montrant une texture granoblastique suturée avec extinction roulante. Les autres phases sont le résultat du métamorphisme ayant affecté la Tonalite LGS. L'assemblage albite – épidote – chlorite – biotite sans grenat ni sillimanite dans une roche intrusive felsique témoigne d'un métamorphisme au faciès des schistes verts (Yardley, 1989). Dans ce cas la biotite, généralement en amas (planche 2B), contient des inclusions de rutile, ce qui signifie qu'elle n'est pas magmatique mais plutôt reliée à un épisode hydrothermal (Thompson et Thompson, 1996). Elle peut être le résultat de l'altération hydrothermale d'une phase magmatique mafique primaire (magmatique) comme la hornblende. Cette biotite n'est préservée que dans certains secteurs de la Tonalite



A. Tonalite à biotite de la ligne 19E. Plan vertical N-S montrant la surface fraîche et plan horizontal montrant la surface altérée. L19E 1+45N. Crayon 15 cm.



B. Photomicrographie de la tonalite à biotite en lame-mince verticale (plan XZ). BO = biotite, QZ = quartz, EP = épidote, PG = plagioclase. Champ de 1.4 cm par 0.8 cm. Lumière polarisée. Lame PML-98-040.

Planche 2. Exemples mégascopique et microscopique de la tonalite à biotite.

LGS, la chlorite la remplaçant ailleurs dans l'intrusion. La figure 10 montre la distribution de différents faciès ayant été établis sur le terrain en fonction de l'altération dominante, mais également en fonction de la composition primaire dans les zones faiblement altérées, ce qui permet de constater la distribution de la biotite dans l'intrusion.

L'abondance du plagioclase, du quartz et du feldspath potassique a été vérifiée à l'aide de colorations et les résultats concordent avec les observations en microscopie (annexe 6). Seulement une quinzaine de grains de feldspath potassique ont été recensés sur près de 40 plaques témoins, ce qui confirme les observations faites en microscopie démontrant la très faible abondance de feldspath potassique dans la Tonalite LGS.

Cette intrusion recoupe une partie de la séquence volcano-sédimentaire du Groupe de Yasinski et le contact, bien que fortement transposé par endroits, peut être observé dans certaines zones qui ont été moins affectées par la déformation intense, permettant ainsi d'observer un contact intrusif clair. La planche 3A montre une partie de la bordure ouest de la tonalite qui recoupe les basaltes coussinées faiblement écrasés. Bien que la forte transposition des unités au nord et au sud ne permette pas d'observer le contact original, de nombreuses enclaves déformées de roches mafiques pouvant appartenir à la séquence volcanique encaissante sont reconnues près ou dans la Zone 32, soit à la bordure sud de la tonalite (planches 3B et 4A), ce dont il est discuté plus loin.

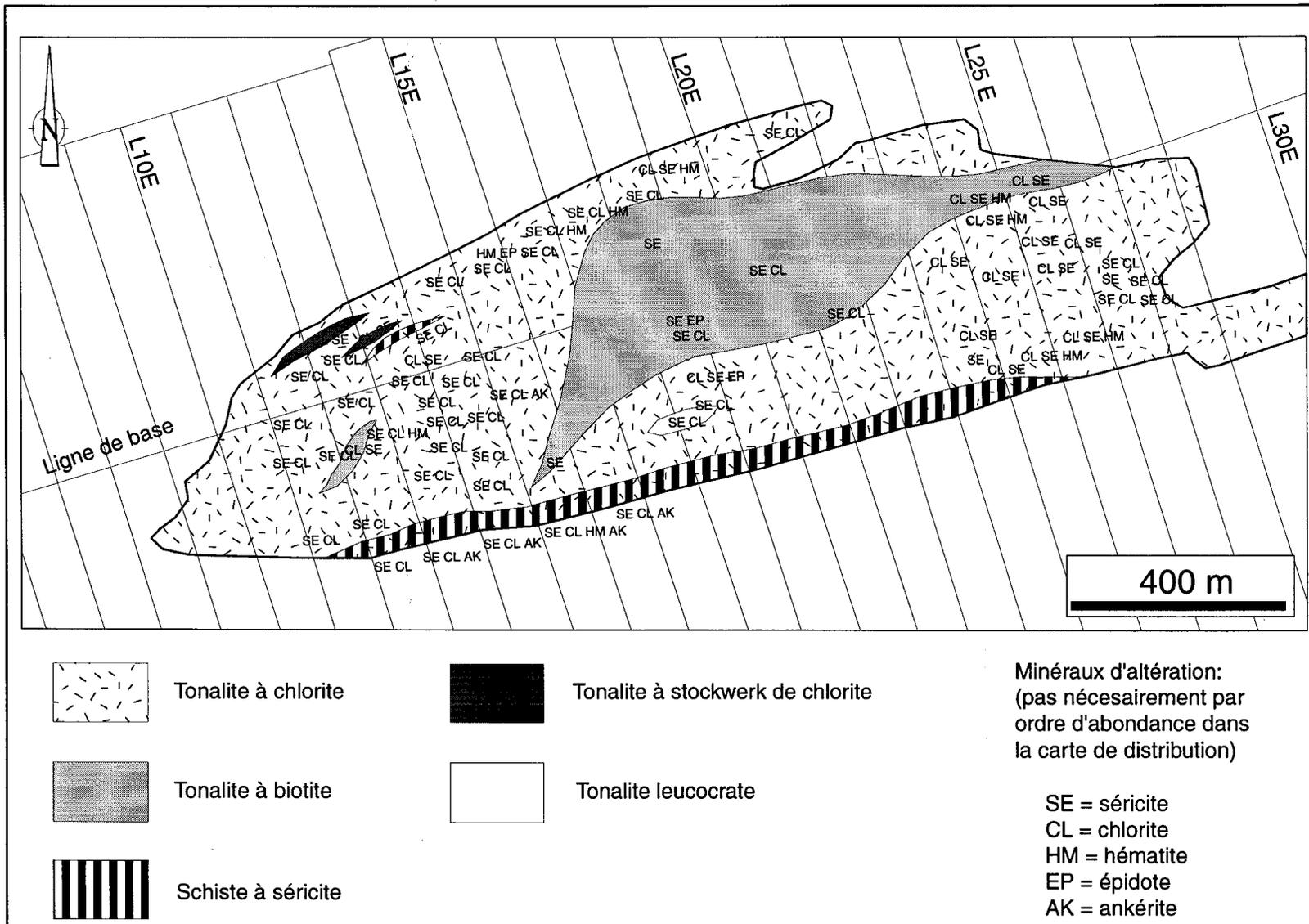


Figure 10. Distribution des faciès de la tonalite à partir des observations de terrain.



A. Contact intrusif nord-ouest de la Tonalite LGS recoupant les basaltes coussinés de la séquence volcano-sédimentaire encaissante. Carnet 15 cm indiquant le nord. L8+10E 0+85N



B. Contact intrusif tectonisé sud-ouest de la Tonalite LGS avec enclaves altérées et déformées de roches volcaniques. Crayon 15 cm pointant vers le nord. L10E 2+25S

Planche 3. Contact entre la Tonalite LGS et la séquence encaissante.



A. Tonalite avec fragments mafiques, Zone 32. Carnet 15 cm indiquant le nord.  
L12+05E 2+55S



B. Photomicrographie d'un gabbro à biotite situé au nord de la Zone 32. BO = biotite,  
CL = chlorite, PG = plagioclase, CB = carbonate. Plan horizontal (YZ).  
Lame PML-98-016.

Planche 4 . Enclaves et dyke dans la Tonalite LGS.

### 2.3.2 Signature géochimique

Les diagrammes de classification pétrographique de Streckeisen et Le Maitre (1979) et de Barker (1979), qui sont basés sur le calcul des minéraux normatifs, montrent que, pour les échantillons faiblement altérés, la Tonalite LGS appartient à la famille des tonalites et des trondhjemites. Ces deux classifications, contrairement à celles de Wilson (1989) et De la Roche *et al.* (1980), concordent avec les observations pétrographiques qui indiquent qu'il y a peu ou pas de feldspath potassique dans la Tonalite LGS, ce qui montre que ces deux dernières classifications sont inappropriées pour certaines roches plutoniques comme la Tonalite LGS. Ces diagrammes sont présentés aux figures 11 et 12. Cette intrusion est d'affinité calco-alcaline à caractère peralumineux comme illustré par les diagrammes de Irvine et Baragar (1971) et de Maniar et Picolli (1989) montrés à la figure 12.

La classification pétrogénétique de Maniar et Picolli (1989) tend à démontrer une mise en place dans un contexte orogénique. Cependant cette classification ne permet pas de faire une discrimination entre les environnements d'îles-en-arc, d'arc continental et le milieu continental (figure 13). Par contre, la classification de Pearce *et al.* (1984) permet cet exercice et dans le cas de la Tonalite LGS, les échantillons se concentrent dans la partie centrale du champ des granitoïdes d'îles-en-arc dans le diagramme Rb en fonction de Y+Nb (figure 14), suggérant une mise en place contemporaine au volcanisme. Une autre classification pétrogénétique, celle de Batchelor et Bowden (1985), donne des résultats

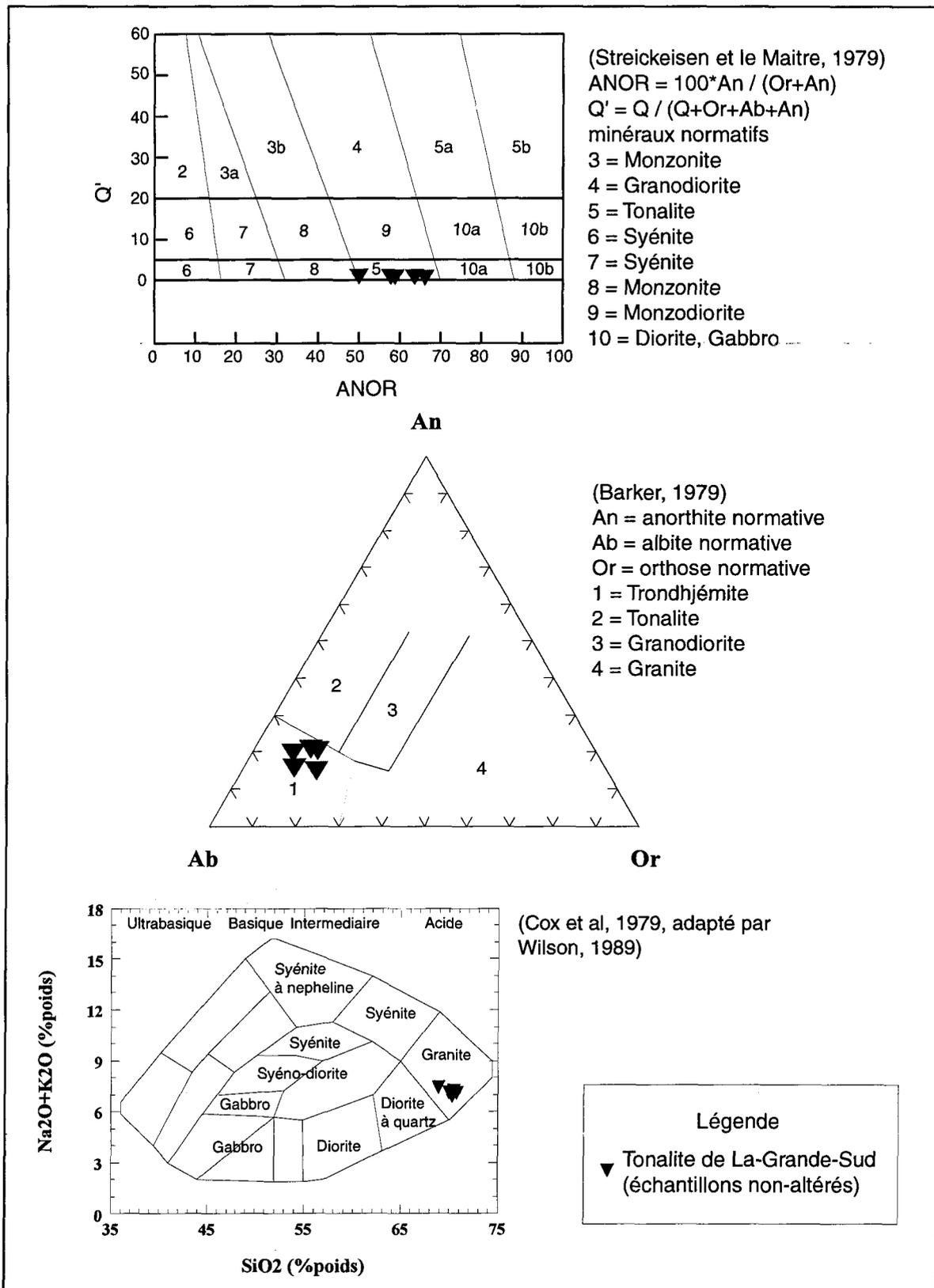


Figure 11. Classification pétrographique de la Tonalite LGS.

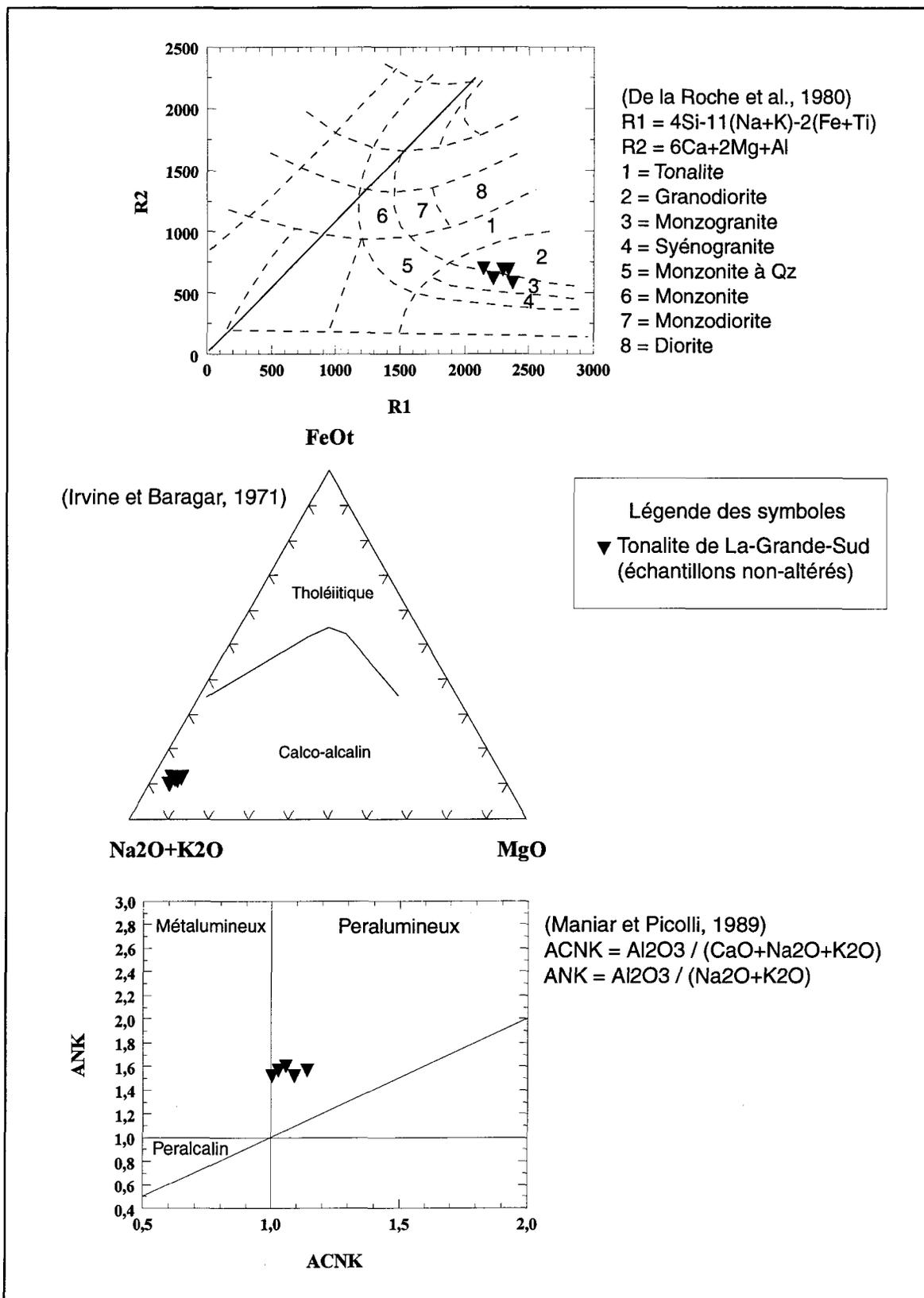


Figure 12. Caractérisation géochimique de la Tonalite LGS.

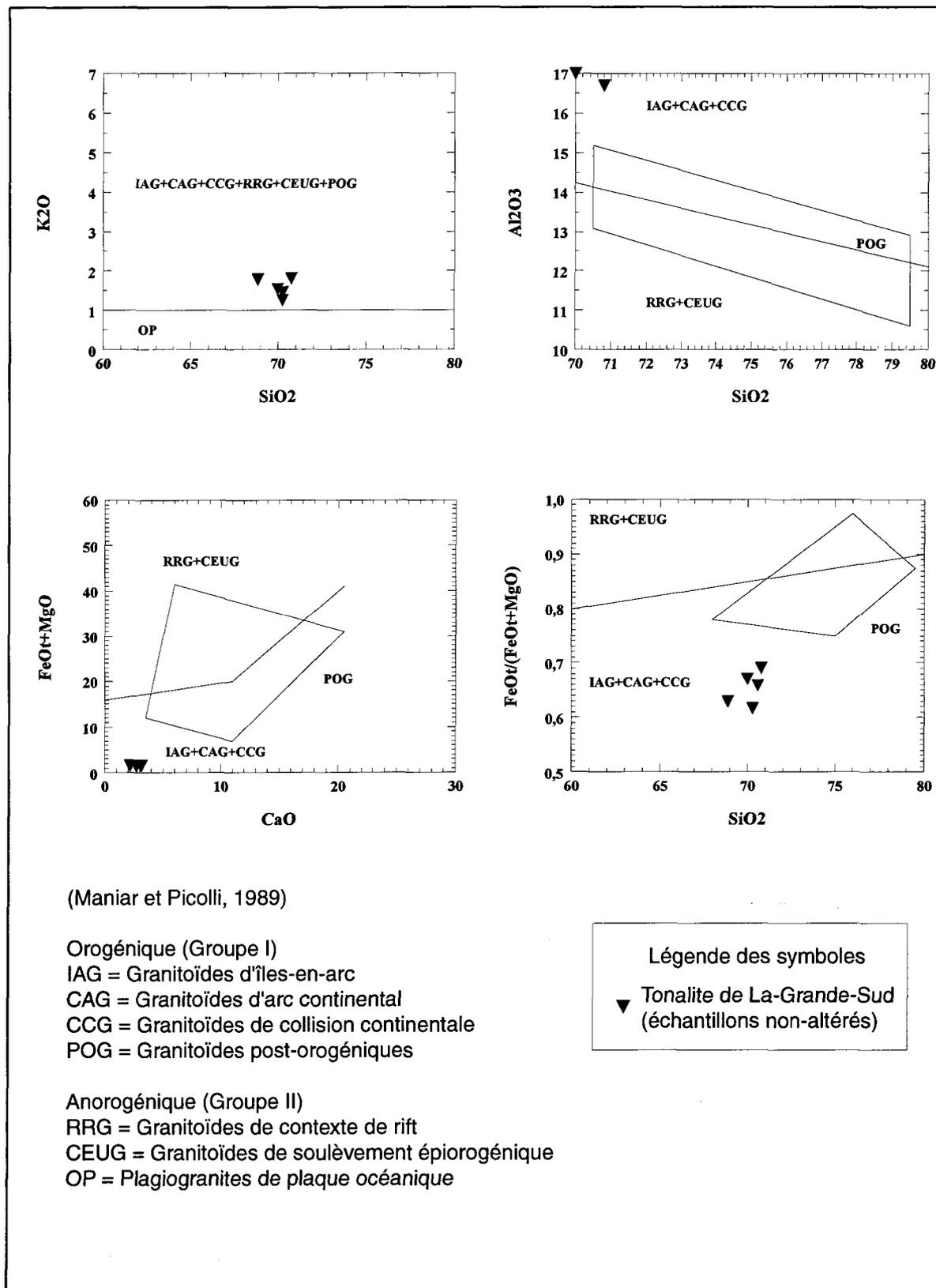


Figure 13. Caractérisation géochimique de la Tonalite LGS.

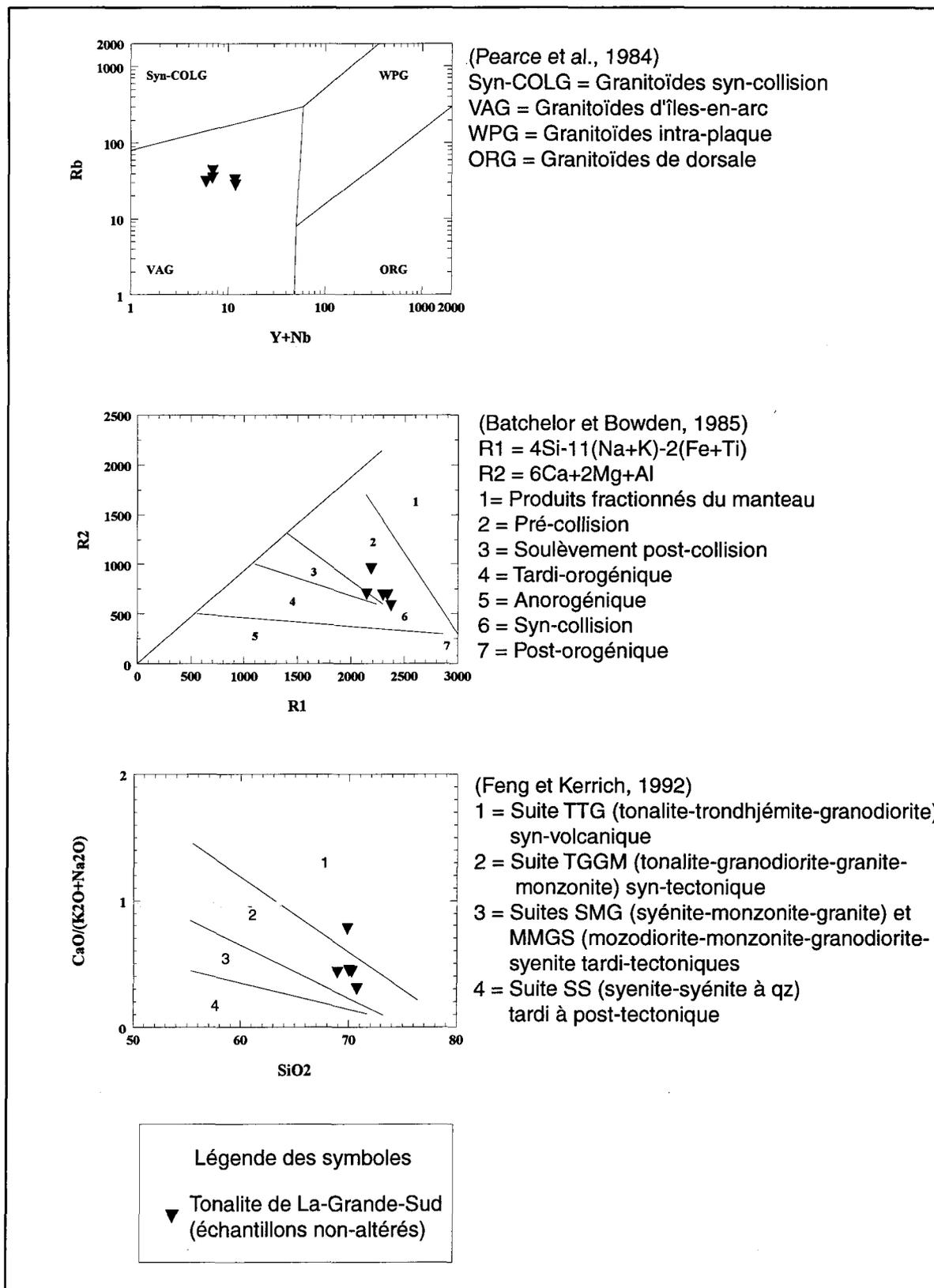


Figure 14. Caractérisation pétrogénétique de la Tonalite LGS.

ambigus puisque les échantillons, bien que formant un amas concentré, se répartissent dans une zone à l'intersection de quatre champs distincts (figure 14). Toutefois, cet amas se trouve plus près du champ des roches intrusives pré-collision, suggérant une origine syn-volcanique pour la Tonalite LGS.

Lorsque mise en relation avec les résultats de Feng et Kerrich (1992) obtenus lors de leur étude sur l'évolution des granitoïdes de la sous-province de l'Abitibi, la Tonalite LGS se compare aux intrusions de la série TGGM définie comme étant d'origine syn-tectonique, comme illustré par le diagramme  $\text{SiO}_2$  en fonction du rapport  $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  (figure 14), plutôt qu'à la série TTG d'origine syn-volcanique. Toutefois, dans le détail, la géochimie de la Tonalite LGS (affinité calco-alkaline, 70 %  $\text{SiO}_2$ , phase tonalitique importante) se compare plutôt à la géochimie des phases felsiques du batholite de Bourlamaque entre autres, lequel est reconnu comme étant d'origine syn-volcanique et faisant partie de la série TTG (Burrows et Spooner, 1988).

De plus, une datation isotopique U-Pb réalisée par D. Davis du Royal Ontario Museum au profit du Ministère des Ressources naturelles du Québec et de la compagnie Mines d'Or Virginia (Goutier *et al.*, 2000b) montre que la Tonalite LGS est âgée de  $2734 \pm 2$  Ma (figure 15), ce qui confirme qu'il s'agit bien d'une intrusion syn-volcanique puisque les roches du Groupe de Yasinski ont été datées à  $2732 \pm 8/-6$  Ma (Goutier *et al.*, 1998b), alors que les roches du Complexe de Langelier (socle) ont été datées à  $2788 \pm 4/-3$  et  $2794 \pm 2$  Ma (Goutier *et al.*, 1998b).

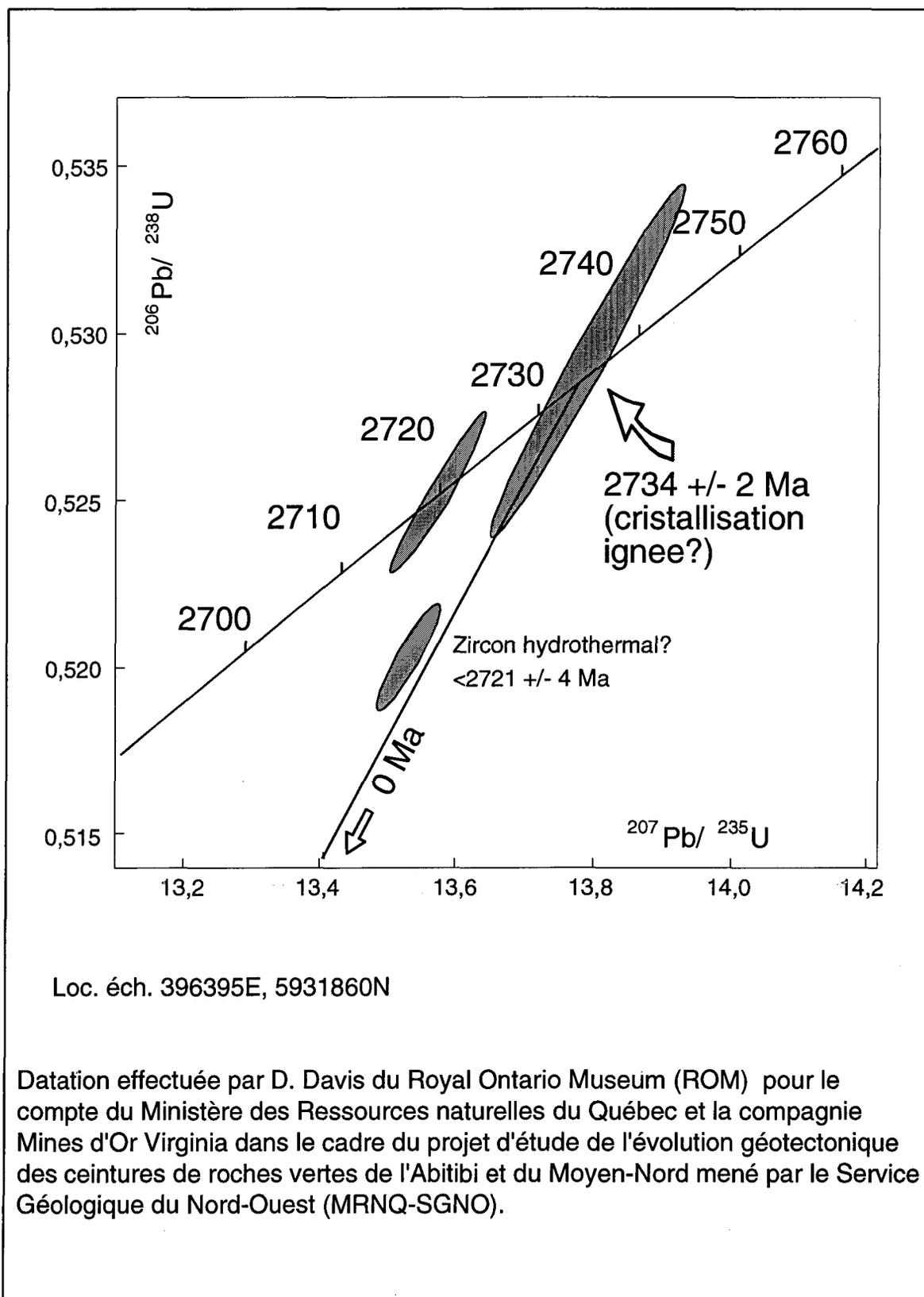


Figure 15. Datation isotopique U-Pb (modifiée de Goutier *et al.*, 2000b).

Géochimiquement, la Tonalite LGS se démarque également des autres tonalites reconnues dans la région (figure 16). Les tonalites du Complexe de Langelier sont généralement plus riches en Zr,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et MgO et montrent une plus grande variation dans leur contenu en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et en  $\text{SiO}_2$ . Les Tonalites de Duncan et d'Amisach Wat ont sensiblement la même signature que celles du Complexe de Langelier et conséquemment se distinguent de la même façon de la Tonalite LGS (figure 16).

En résumé, la Tonalite LGS est une intrusion trondhjémitique d'affinité calco-alcaline peralumineuse d'âge syn-volcanique possiblement mise en place dans un environnement d'îles-en-arc et se distinguant des autres tonalites reconnues dans la région par sa géochimie, notamment un contenu relativement faible en Zr et en  $\text{TiO}_2$ .

## **2.4 DYKES DE GABBRO**

Les dykes de gabbro décrits dans cette section sont ceux rencontrés à l'intérieur de la Tonalite LGS (figure 9). Ces dykes, généralement subverticaux et d'épaisseur inférieure à 1 mètre, se retrouvent préférentiellement dans la partie ouest de la tonalite, c'est-à-dire dans la zone définie par le gîte Zone 32 et l'indice Mico-Milan. Parmi les fragments ou enclaves présentés plus haut, il se peut que quelques-uns représentent des morceaux de dykes de la Zone 32. Ces dykes de gabbro ont été particulièrement affectés par l'altération

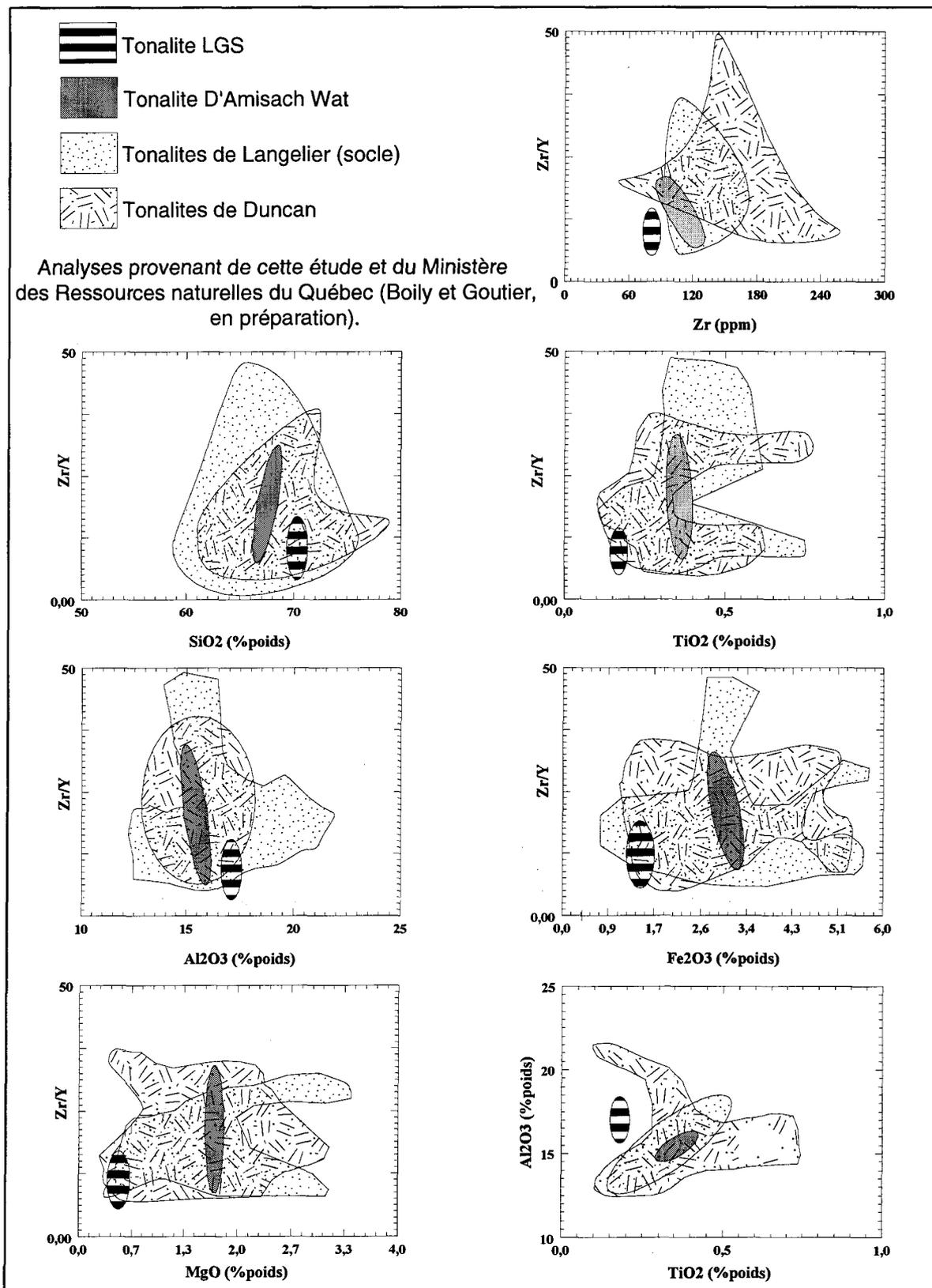


Figure 16. Comparaison de la signature géochimique des différentes tonalites retrouvées dans la région.

ainsi que par la déformation. Les autres dykes distribués dans la tonalite sont généralement isolés et d'extension limitée.

#### **2.4.1 Pétrographie**

Les dykes de gabbro, qui sont de couleur vert moyen parfois brunâtre en surface altérée et de couleur vert foncé en cassure fraîche, présentent une texture primaire équi-granulaire à granulométrie fine. Cette texture n'est que localement préservée. Les principales phases minérales reconnues au microscope sont le plagioclase, la biotite, la chlorite, le carbonate, la séricite et les minéraux opaques (tableau 3). Le plagioclase (32 à 60 %), de composition sodique (albite) et de diamètre moyen variant entre 0,2 et 0,5 millimètres, est hypidiomorphe à xénomorphe et communément maclé. La biotite (0 à 16 %), hypidiomorphe, de diamètre moyen de 0,8 millimètres, contient de nombreuses inclusions de rutil, laissant croire à une origine hydrothermale (Thompson et Thompson, 1996). La chlorite (0 à 20 %) est filamenteuse et représente possiblement un produit d'altération rétrograde de la biotite. Le carbonate et la séricite sont également des produits d'altération et se présentent dans certains cas sous la forme de veinules (planche 4B).

### 2.4.2 Signature géochimique

Les dykes de gabbro échantillonnés (8 à la Zone 32, 1 à l'indice Mico-Milan et 3 à l'indice Pari) se classent dans ou près du champ des gabbros du diagramme de Cox *et al.* (1979) illustré à la figure 17, les écarts pouvant être attribués à l'altération, sauf dans le cas d'un des dykes de l'indice Pari, qui correspond possiblement à une famille de dykes non reliée à la Tonalite de LGS et faisant plutôt partie de la séquence encaissante. Ce même dyke se différencie par son caractère peralumineux, alors que tous les autres dykes sont métalumineux (diagramme de Maniar et Picolli, 1989 – figure 17).

## 2.5 DIORITES

Les diorites traitées dans cette section sont celles qui sont en relation spatiale directe avec la Tonalite LGS, c'est-à-dire celles se retrouvant dans la Zone 32 (figure 9). Ces diorites, à quartz ou à hornblende, sont rencontrées sous forme de petits massifs d'échelle métrique ou sous forme de dykes. Ces roches sont affectées par l'altération ainsi que par la déformation. Certaines de ces masses dioritiques contiennent des enclaves décimétriques de tonalite (planche 5A). L'étroite relation entre ces diorites et la tonalite permet de supposer un lien génétique entre les deux roches, la tonalite pouvant représenter la phase felsique associée à la diorite qui peut alors représenter la phase intermédiaire d'une intrusion polyphasée. Ceci sera discuté plus loin.

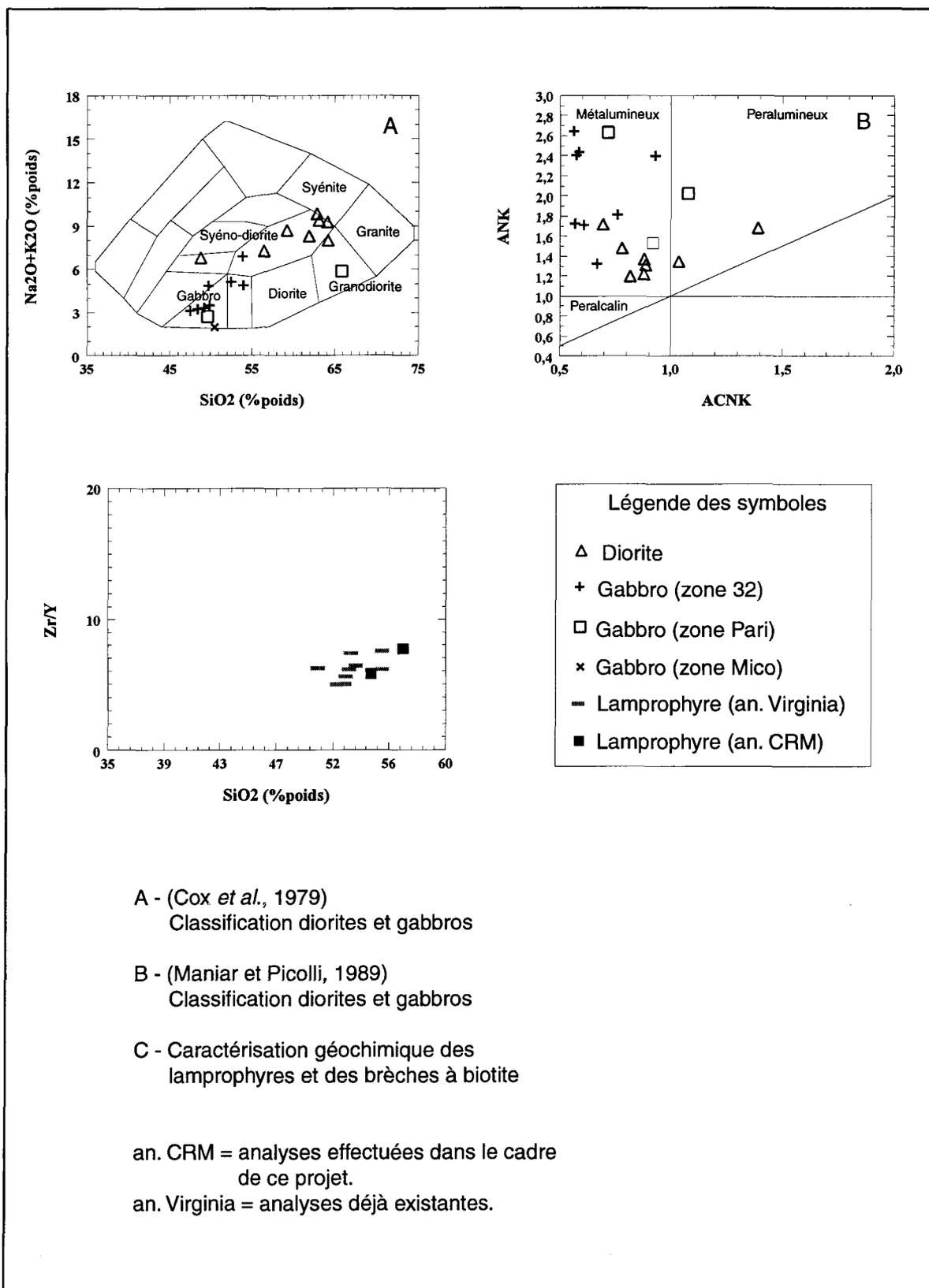
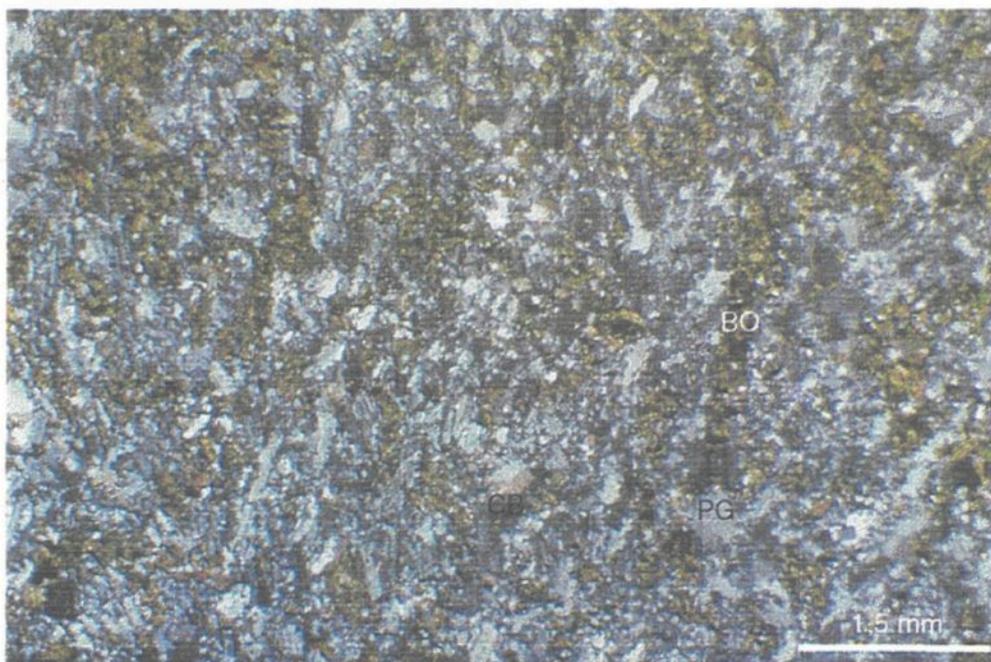


Figure 17. Caractérisation géochimique des dykes.



A. Dykes de diorite fortement transposés contenant des enclaves de tonalite (à l'avant-plan). Gîte Zone 32. Carnet 15 cm indiquant le nord. L12+80E 2+55S



B. Photomicrographie montrant la diorite peu déformée avec fabrique magmatique définie par les grains de plagioclase et les amas de biotite. BO = biotite, PG = plagioclase, CB = carbonates. Lame 103-A, plan XZ.

### 2.5.1 Pétrographie

Trois types de diorite sont reconnus ; la diorite, la diorite à quartz et la diorite à hornblende (Daigneault, 1997). La texture primaire principale (équigranulaire) est peu préservée dans ces roches. Il a été possible de reconnaître une fabrique magmatique définie par l'alignement des cristaux de plagioclase et des amas de biotite en remplacement de la hornblende dans un des échantillons (planche 5B).

La diorite à quartz, observée dans la partie est de la Zone 32, contient moins de 5 % de quartz en cristaux xénomorphes de moins 4 millimètres de diamètre. Quant à la diorite à hornblende, observée à divers endroits dans la Zone 32, elle contient des phénocristaux millimétriques reliques de hornblende (5 à 20 %) remplacés par des amas de biotite fine. Les autres phases composant ces dykes sont le plagioclase, la chlorite, le carbonate, la séricite, l'épidote et les minéraux opaques. Le plagioclase, de diamètre moyen de 1 millimètre, représente de 50 à 70 % de la composition de ces roches. Les autres minéraux sont le résultat du métamorphisme et de l'altération hydrothermale. Le carbonate est particulièrement abondant dans certains échantillons et peut représenter jusqu'à 40 % de la roche, soit sous forme de plages irrégulières dans la matrice, soit sous forme de veinules.

### **2.5.2 Signature géochimique**

Les échantillons de diorite analysés se distribuent dans le champ des syéno-diorites du diagramme de Cox *et al.* (1979) et montrent un caractère métalumineux à peralumineux. Comme ces roches ont été particulièrement affectées par l'altération, la composition obtenue à l'analyse ne reflète possiblement pas la composition initiale, bien que les échantillons aient été sélectionnés de façon à être le plus représentatifs (frais) possible.

## **2.6 ENCLAVES MAFIQUES**

Des enclaves mafiques sont observées dans la Tonalite LGS. Leur diamètre varie de quelques millimètres à quelques décimètres. Elles sont retrouvées dans la partie sud-ouest de l'intrusion, soit dans le secteur défini par la Zone 32. Ces enclaves peuvent provenir des dykes de gabbro démembrés par le cisaillement ayant affecté cette partie de la tonalite, des amas de diorite par mélange de magmas primaires ou encore ce sont des enclaves de roches volcaniques provenant de la séquence volcano-sédimentaire encaissante.

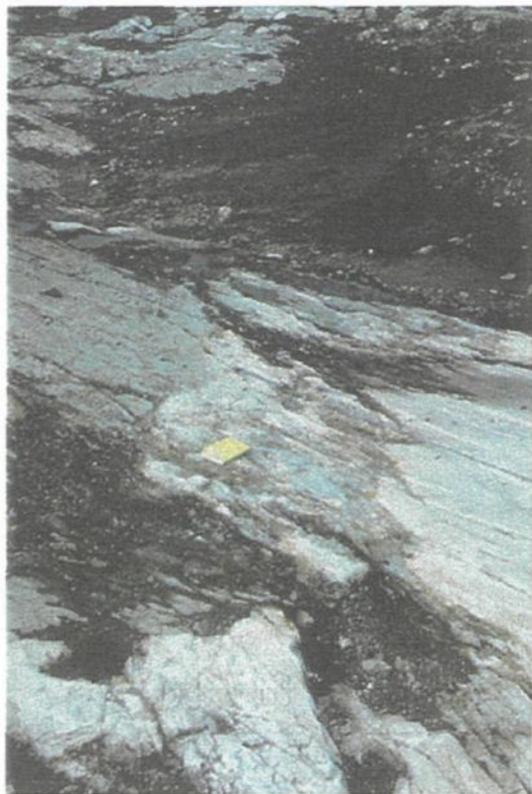
### **2.6.1 Pétrographie**

Ces enclaves mafiques sont essentiellement composées de chlorite (les plus déformées prenant même la forme de filonets de chlorite), de biotite, de feldspaths, de séricite et de carbonates résultant de la forte altération hydrothermale. Des sulfures sont communément

présents dans ces enclaves et des valeurs élevées en or semblent associées spatialement aux fragments se trouvant dans le coeur du gîte Zone 32.

## 2.7 LAMPROPHYRE À ENCLAVES

Les dykes de lamprophyres sont observés à trois endroits dans la Tonalite LGS, soit à la Zone 32, à l'indice Brèche et à la tranchée de la ligne 19E de la grille d'exploration (partie centrale de la tonalite). Ces dykes, qui recoupent la tonalite et les roches encaissantes et qui sont d'ailleurs observés à l'échelle régionale, se caractérisent par une abondance variable d'enclaves de nature, de taille et de forme variées. Les fragments de tonalite sont particulièrement abondants à l'indice Brèche où un des dykes vient bréchifier la tonalite. La structure de cette zone de bréchification, qui varie en épaisseur de moins de un mètre, comme montré à la planche 6A, à une dizaine de mètres, est variable car le dyke de lamprophyre à enclaves de tonalite (planche 6B) évolue vers une tonalite bréchique à matrice mafique, qui devient ensuite une tonalite contenant des injections de matériel mafique et finalement une tonalite à fragments soudés (planche 7). De façon arbitraire, quatre différents faciès ont été établis par Tremblay (1999) pour définir le dyke de lamprophyre et la zone de brèche associée observés à l'indice Brèche, lesquels ont été déterminés à partir de l'abondance de fragments présents. Ainsi le faciès 1 correspond aux zones sans fragments, le faciès 2 aux zones contenant jusqu'à 40 % de fragments, le faciès 3 aux zones contenant entre 41 et 70 % de fragments et, le faciès 4, qui contient de 71 à 100 % de fragments.



A. Bréchification de la tonalite par un dyke de lamprophyre à enclaves, indice Brèche. Dyke de lamprophyre à gauche, tonalite à droite.

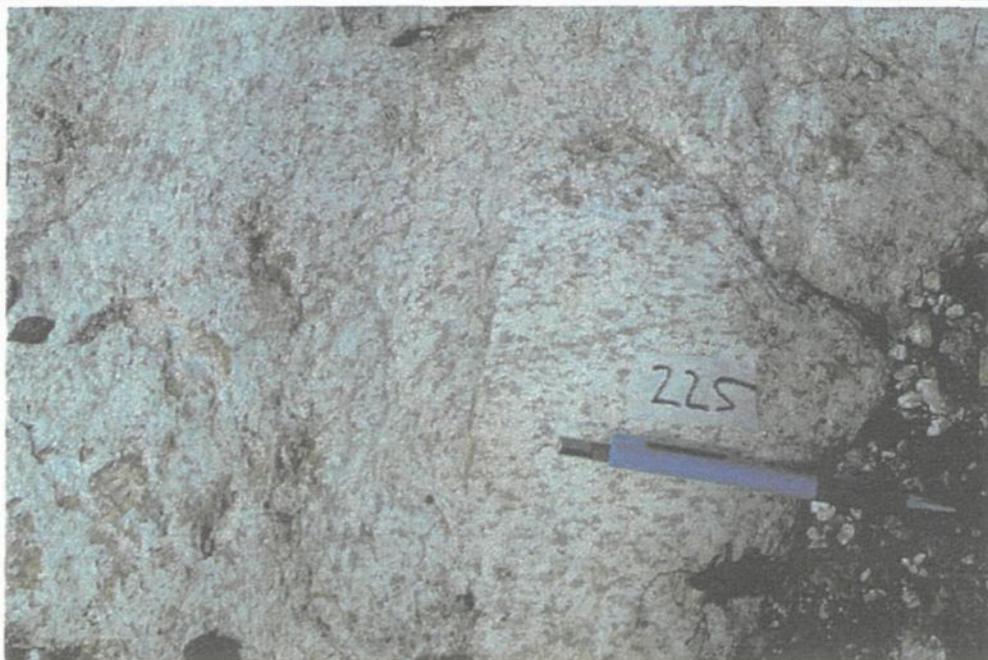
Carnet 15 cm.

L26+85E 1+75S



B. Dyke de lamprophyre à enclaves recoupant la tonalite à divers endroits, notamment à l'indice Brèche (photo). Fragments de nature variée, dominance des fragments anguleux de tonalite foliée. Carnet 15 cm indiquant le nord. L26+75E 0+80S

Planche 6. Tonalite bréchifiée et dyke de lamprophyre à enclaves.



A. Bréchification de la tonalite à l'indice Brèche. Les fragments sont délimités par les variations abruptes dans l'orientation préférentielle des grains de quartz. Crayon 15 cm pointant vers le nord. L26+85E 2+00S



Croquis mettant en évidence les fragments montrés à la planche ci-haut avec la trace de la fabrique S1.

### **2.7.1 Pétrographie**

Les dykes de lamprophyre à enclaves sont facilement identifiables grâce à leur couleur caractéristique vert olive, à la nature et à l'abondance très variée des fragments qu'ils contiennent et à leur texture rugueuse au toucher. Dans le cas du dyke présent à l'indice Brèche, quatre textures ont été définies par Tremblay (1999) pour la phase magmatique, ces textures étant : à grains fins, grenu, grenu à phénocristaux de hornblende verte et grenu à phénocristaux de plagioclase. Les principales phases minérales composant ces dykes, ou la matrice dans les zones de brèche, sont le plagioclase, xénomorphe dans la matrice et localement en phénocristaux, les phénocristaux magmatiques et les cristaux matriciels de hornblende verte, la biotite fine particulièrement abondante dans les zones de tonalite bréchifiée, la chlorite, le carbonate, l'épidote et l'actinote. Quelques cristaux de feldspath potassique ont été observés dans certains échantillons.

### **2.7.2 Signature géochimique**

Ces dykes montrent une composition homogène (figure 17) formant un regroupement dans les diagrammes de fractionnement, ce qui laisse croire à une seule et même source pour les différents dykes observés et les différents faciès définis à l'intérieur du dyke de l'indice Brèche, lequel est d'affinité transitionnelle à calco-alcaline (Tremblay, 1999).

## 2.8 COMPARAISON DES SIGNATURES GÉOCHIMIQUES

Puisque les différentes lithologies décrites précédemment se retrouvent associées spatialement et que toutes sont de nature intrusive, à l'exception des roches de la séquence volcano-sédimentaire encaissante de ces intrusions, il est logique de penser qu'il pourrait s'agir d'une suite comagmatique. Cette hypothèse a donc été testée et il ressort de cet exercice, dont les résultats sont montrés à la figure 18, qu'il est impossible à ce stade de confirmer ou d'infirmer un lien génétique entre la tonalite, les diorites et les gabbros à partir de la géochimie. La tonalite (composition felsique) semble moins évoluée que les diorites et les gabbros (composition mafique) qui sont plutôt enrichis en Zr par rapport à cette dernière. Toutes les phases intrusives mafiques (gabbro et lamprophyres) sont caractérisées par une signature géochimique qui varie d'une lithologie à l'autre, à part les diorites et les gabbros qui semblent définir une courbe de fractionnement. Il faut toutefois noter que le nombre très restreint d'échantillons représentés dans les diagrammes de la figure 18 rend difficile la définition d'une courbe claire.

Par contre, le lien étroit entre la tonalite et les diorites et les textures comparables plaident en faveur d'une association génétique, favorisant ainsi l'hypothèse d'un stock polyphasé pour la Tonalite LGS.

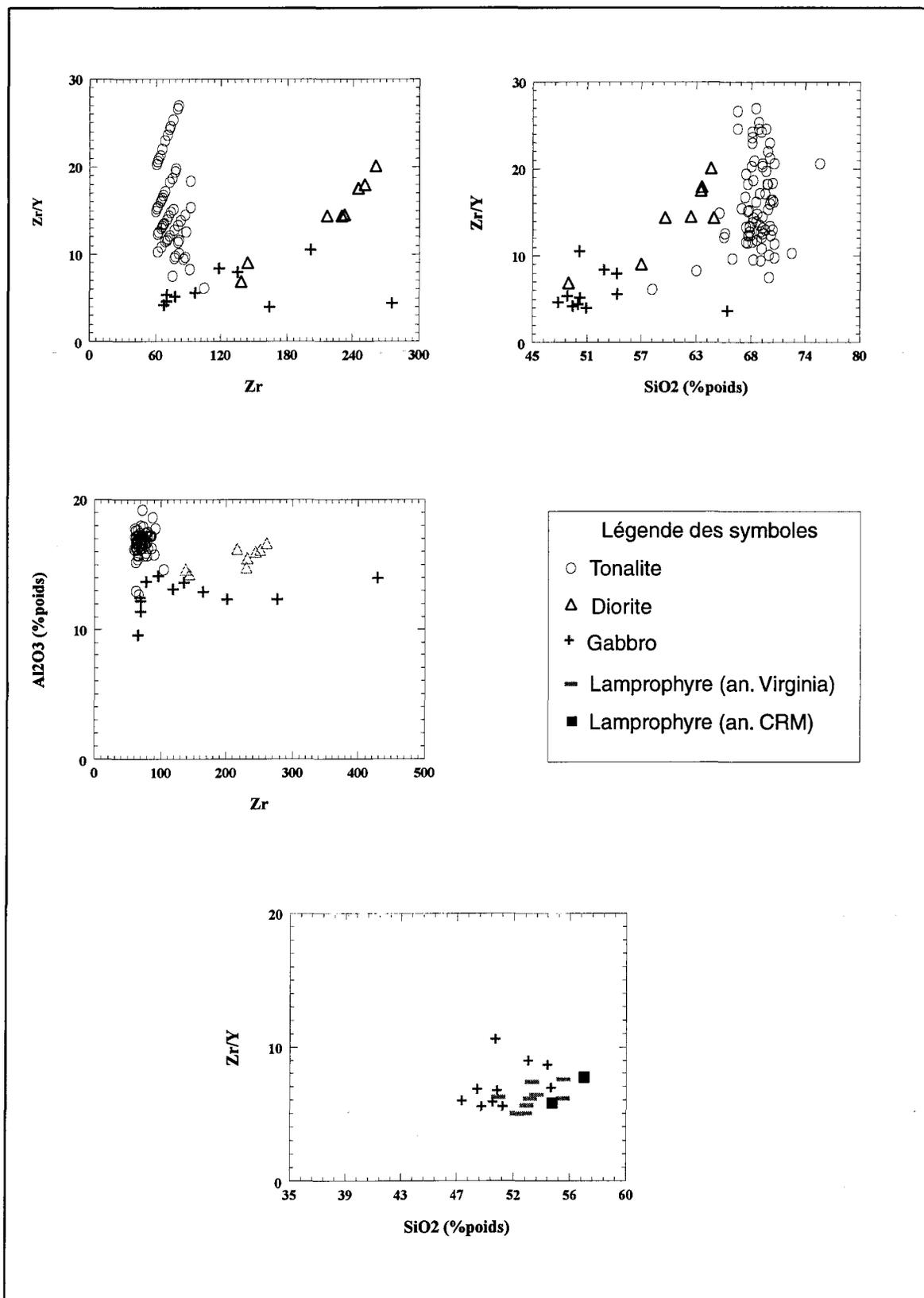


Figure 18. Comparaison géochimique entre les principales lithologies du secteur.

## CHAPITRE III

### ANALYSE STRUCTURALE

#### 3.1 INTRODUCTION

Les minéralisations encaissées dans la Tonalite LGS ont toutes été affectées, à divers degrés, par la déformation caractérisant la tonalite comme les autres lithologies du secteur à l'étude. Également, les plus importantes valeurs en or ont été obtenues à partir d'échantillons provenant des zones les plus déformées. Il est donc primordial de définir quels ont été les événements de déformation qui se sont déroulés dans ce secteur. Pour ce faire, la signature de ces événements doit être reconnue et décrite dans le but de comprendre et de bien distinguer chaque épisode de déformation. C'est pourquoi ce chapitre se concentre en premier lieu sur la description des éléments structuraux observés, c'est-à-dire les fabriques planaires et linéaires, l'attitude et la distribution des dykes ainsi que sur l'intensité de la déformation, tandis que la seconde partie de ce chapitre a pour objet l'analyse des éléments décrits dans la première partie.

L'accent sera mis sur les structures à l'intérieur de la Tonalite LGS, bien que des éléments d'importance dans l'analyse présentée proviennent d'observations faites dans la séquence volcano-sédimentaire encaissante.

## 3.2 ÉLÉMENTS STRUCTURAUX ET DISTRIBUTION DE LA DÉFORMATION

### 3.2.1 Description des fabriques dans la séquence volcano-sédimentaire encaissante

Deux fabriques planaires principales ont été reconnues dans le secteur de La Grande Sud, c'est-à-dire dans la séquence encaissant la Tonalite LGS. Ces deux fabriques (S1 et S2) sont localement affectées par des fabriques tardives tels des kink bands, des failles, des fractures d'importance variable et des zones de cisaillement. La première fabrique (S1), de très forte intensité, est le résultat d'un premier épisode de déformation D1. Cette structure prend la forme d'une schistosité de flux, mais se présente également sous la forme d'un clivage de pression-solution dans les horizons sédimentaires finement lités (Daigneault, 1996). Une linéation d'étirement verticale bien développée est associée à cette fabrique. L'enveloppe de cette première fabrique, lorsqu'observée, est d'orientation dominante NNE à NE avec un pendage supérieur à 80 degrés. Un pli précoce a été observé à un seul endroit dans les roches de la séquence encaissante (affleurement 98-CD-6024, Goutier *et al.*, 2000b). Dans ce pli, la fabrique S1 forme un pli métrique N-S crénelé par la fabrique S2 (planche 8).

La seconde fabrique (S2), d'intensité variable, est le résultat d'un second épisode de déformation (D2). Ce S2 s'exprime par un clivage de crénelation d'orientation dominante E-O à E-NE à pendage abrupt. Ce clivage reprend la foliation S1 pour former des plis P2 E-O ouverts à serrés d'amplitude métrique et une linéation d'étirement verticale accentuée

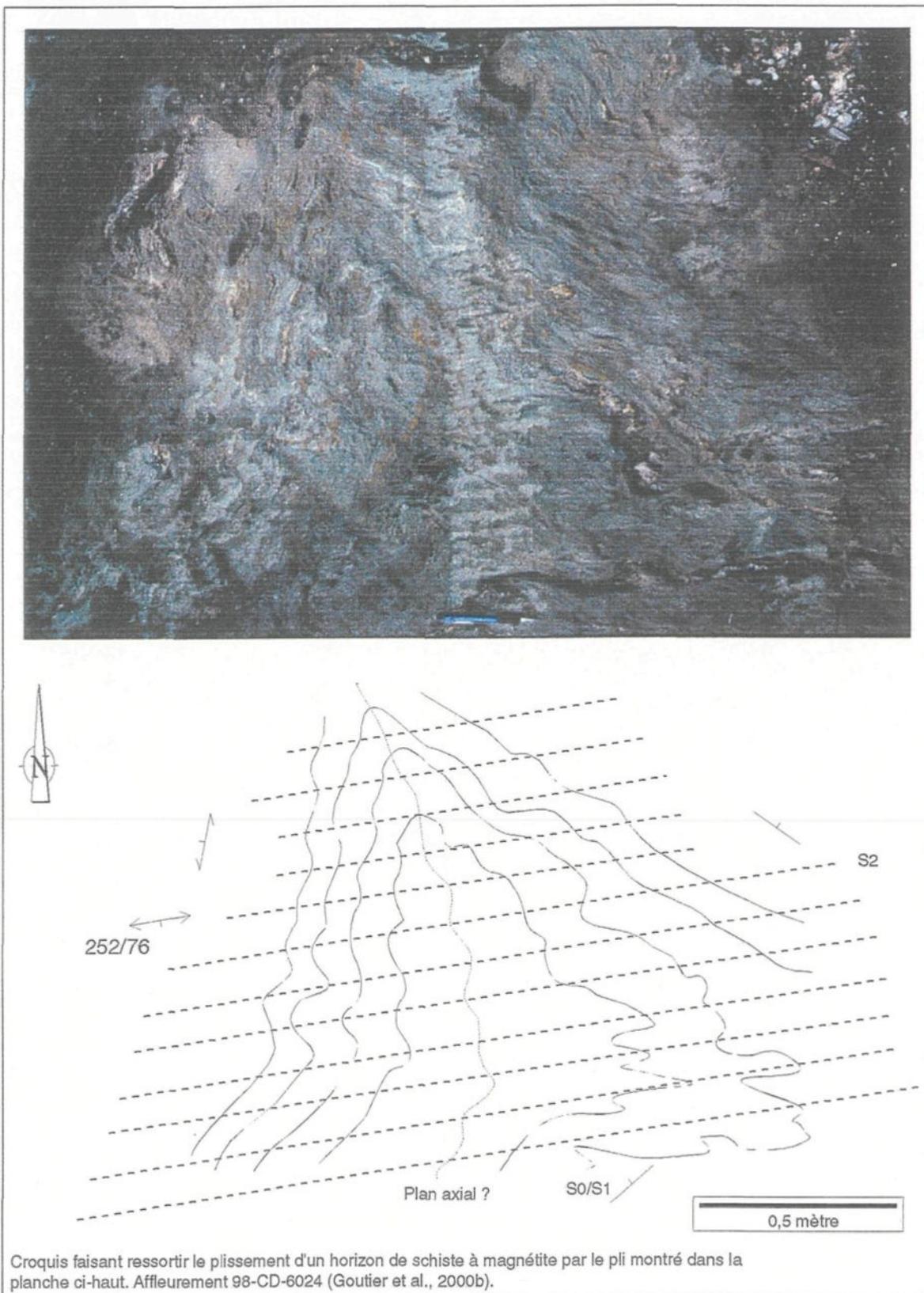
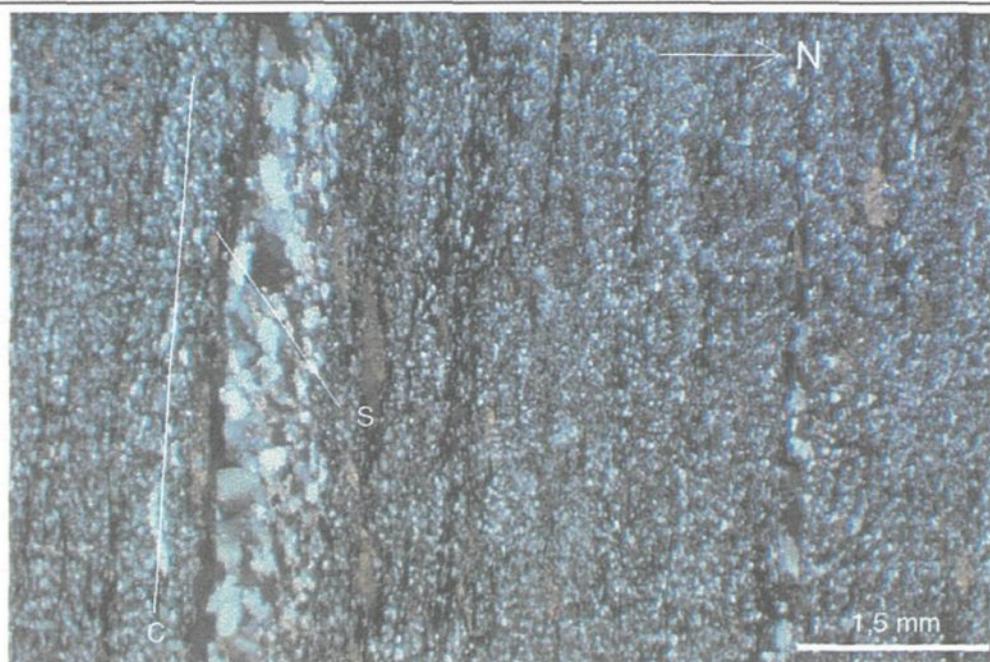
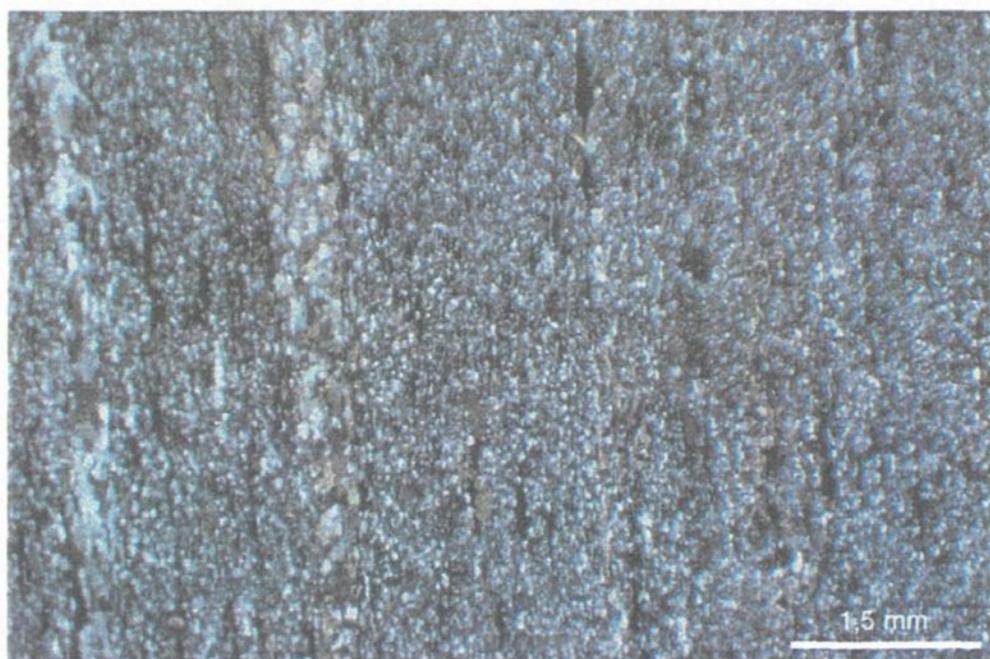


Planche 8. Plis superposés dans les roches volcaniques.

par la superposition des deux fabriques. La fabrique S2, de plan axial, devient forte dans certains flancs de plis pour former des cisaillements transposant les unités. Dans ces zones, la fabrique S1 est transposée et parallélisée à la fabrique S2, définissant une fabrique composite S1-2. Dans les roches volcaniques au sud de la Tonalite LGS, le fort cisaillement a complètement oblitéré la fabrique S1 et mené au développement de fabriques C-S où le plan C, correspondant à S2, est défini par un rubanement minéral et où le plan S est défini par des porphyroclastes de biotite. Une linéation d'intersection verticale bien développée y est associée. L'intensité de cette linéation d'intersection rend difficile l'observation d'une linéation d'étirement pouvant être associée à la fabrique C-S. Des bandes submillimétriques de quartz parallèles à la schistosité S2 (C), dans lesquelles les sous-grains de quartz ont une orientation oblique au plan C (dus à la recristallisation dynamique), apparaissent également dans cette zone (planche 9). L'étirement des sous-grains dans ces bandes de quartz définit l'orientation des axes de déformation instantanée plutôt que la fabrique S. Toutefois, cette relation d'obliquité entre les deux fabriques s'interprète de la même façon que la relation entre les plans S et C d'une fabrique C-S, cette dernière représentant en fait le résultat de la déformation finie suite à l'application des contraintes (Etchecopar et Vasseur, 1987 ; Hanmer et Passchier, 1991). Le plan défini par le quartz dans les rubans et le plan S sont orientés NE-SO, indiquant un raccourcissement N-S (Ramsay, 1980 ; Lister et Snokes 1984). Ces observations suggèrent également un mouvement horizontal dextre.



A. Développement d'une fabrique CS dans les roches volcaniques près du contact sud de la Tonalite LGS. Le plan S se développe préférentiellement dans les veinules et dans les porphyroblastes. Indique un mouvement dextre. Plan horizontal (YZ). Lame PML-98-052-1. Lumière polarisée.



B. Plan vertical (XZ) du même échantillon montré en A illustrant la linéation d'intersection prononcée. Lame PML-98-052-2. Lumière polarisée.

L'observation d'un pli précoce reprenant la schistosité S1 et étant lui-même repris par la schistosité S2 d'orientation E-O suggère que D1 et D2 représentent deux événements indépendants résultant d'une tectonique polyphasée dans ce secteur.

Le développement de structures tardives affectant les deux premières fabriques représente possiblement un ou plusieurs événements de déformation se superposant aux événements antérieurs D1 et D2. Parmi ces structures il y a des kink bands N-NO et N-NE, des bandes de cisaillement ESE à entraînement dextre compatible avec les fabriques C-S et des failles et fractures d'importance variable orientées N-NE et N-NO, tous ces éléments étant à pendage fort.

### **3.2.2 Description des fabriques – Tonalite LGS**

En ce qui concerne la Tonalite LGS, la déformation y est très hétérogène, ce qui est illustré par les variations de l'indice d'anisotropie planaire défini au tableau 3 et illustré à la figure 19. L'intensité minimale d'anisotropie planaire définit une zone située au coeur de la tonalite, cette zone correspondant grossièrement à la zone de tonalite à biotite décrite précédemment. La zone d'intensité maximale forme une bande à la bordure sud de l'intrusion, s'exprimant par une zone de cisaillement intense.

Tableau 3. Estimation visuelle en mégascopie de l'intensité de l'anisotropie planaire dans la tonalite.

Caractéristiques	Faible	Modérée	Moyenne	Forte	Intense
Indice de déformation estimé sur le terrain	1	2	3	4	5
Structures de déformation observées	Absence de structures ou très légère foliation	Légère foliation minérale S1 (N-S)	Fabriques bien développées S1 et S2 (E-O)	Fabriques fortement développées. Fabrique composite et mylonites	Fabrique composite (E-W) et schistosité très forte.
Signature des fabriques planaires	Très léger étirement des grains de quartz de la tonalite	Léger étirement des grains de quartz de la tonalite	Réduction granulométrique, étirement des grains et alignement des phyllosilicates	Réduction des grains de la tonalite, étirement fort du quartz et alignement fort des phyllosilicates	Rubanement mylonitique, étirement très important du quartz et plans de phyllosilicates (schiste)
Effets de la déformation sur les textures primaires	Textures primaires préservées partiellement	Textures primaires préservées partiellement	Réalignement des grains important, recristallisation	Textures primaires détruites, recristallisation, texture de schiste	Textures primaires détruites, recristallisation, texture de schiste
Fabriques linéaires	Lé verticale associée à S1	Lé verticale associée à S1 et S2 et $L_2^1$	Lé verticale associée à S1 et S2 et $L_2^1$	Lé verticale forte associée à S1 et S2 et $L_2^1$	Lé verticale forte associée à S1 et S2 et $L_2^1$
Associations particulières (altération, minéralisation, etc.)	Pas d'association particulière	Légère altération en chlorite	Altération en chlorite avec localement séricite. Localement légère minéralisation Cp-Py±Au	Altération en chlorite et séricite. Localement minéralisation en Cp-Py et Au. Parfois veinules de quartz-tourmaline et/ou carbonates.	Altération intense en séricite. Localement minéralisation importante en Cp-Py et Au. Parfois veinules de quartz-tourmaline et/ou carbonates.

Lé = linéation d'étirement

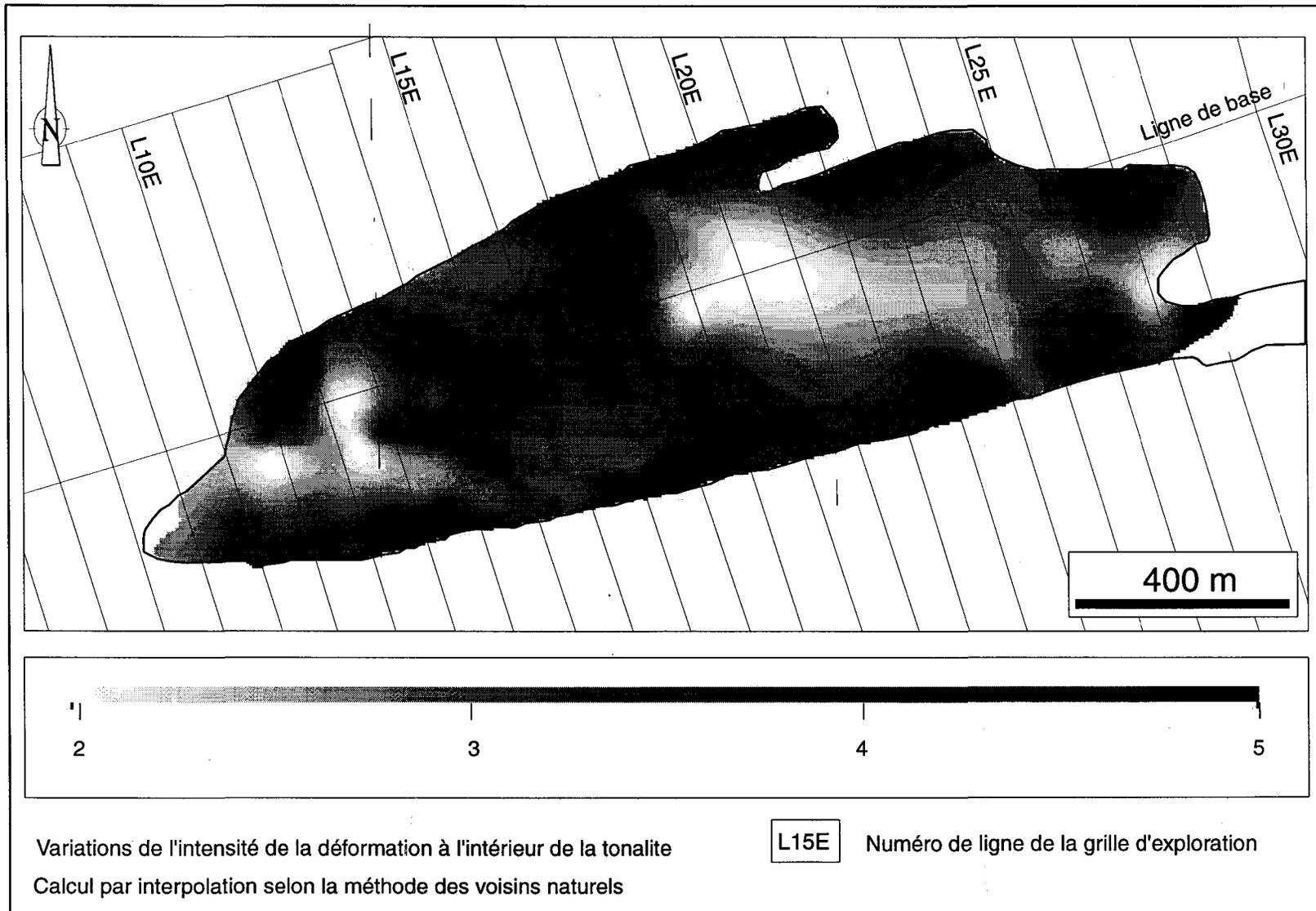


Figure 19. Distribution de l'intensité de l'anisotropie planaire dans la tonalite.

Cette anisotropie planaire est le résultat de la déformation ayant affecté la Tonalite LGS. Cette déformation s'exprime par le développement de deux fabriques planaires distinctes S1 et S2.

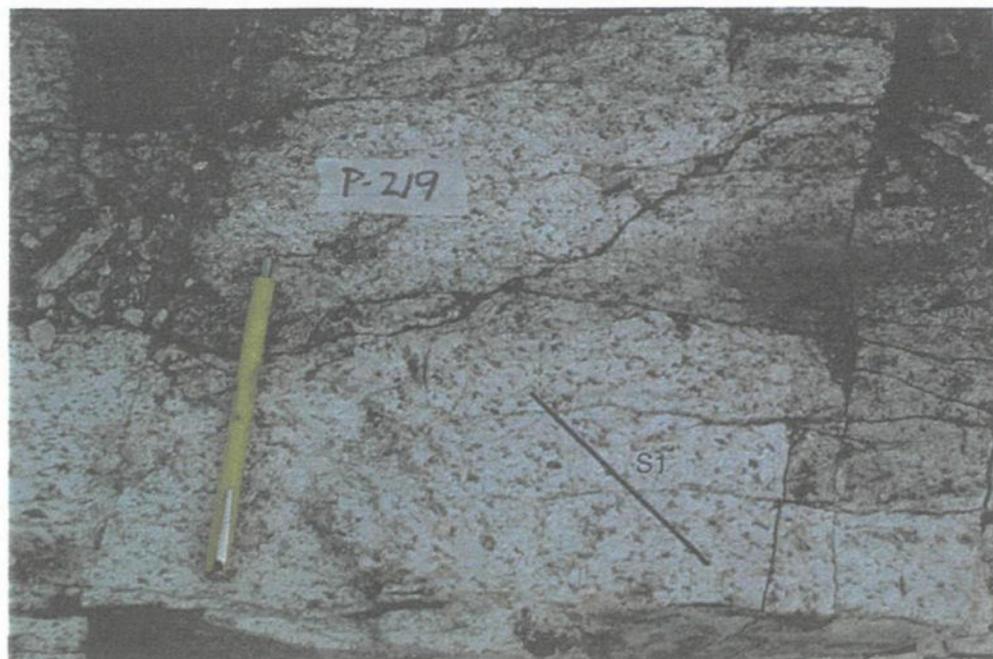
La première fabrique (S1) est reconnue dans toute l'intrusion, bien qu'elle soit moins bien développée au coeur de la tonalite. Cette fabrique, même lorsque bien développée, n'est jamais pénétrative. Mégascopiquement, elle se caractérise par l'allongement préférentiel des plages de quartz et par l'alignement des amas de biotite et épidote et de la chlorite dans les zones peu affectées par S2 (planche 10A). Les cristaux de plagioclase ne sont pas étirés ou orientés selon cette fabrique. L'allongement préférentiel des cristaux de quartz correspond à un aplatissement dont le rapport varie de 3 :1 à 7 :1, avoisinant généralement les 4 à 5 :1. Ces observations laissent planer un doute sur l'origine (magmatique ou tectonique) de cette foliation. Comme cette fabrique non pénétrative est observée dans toute l'intrusion et qu'elle est soulignée par le quartz et les amas de biotite et épidote pourrait laisser croire à une foliation d'origine magmatique. Cependant, les foliations magmatiques sont habituellement définies également par des grains de feldspaths alignés et imbriqués (Paterson *et al.*, 1989), ce qui n'est pas le cas de la Tonalite LGS qui montre des grains de plagioclase désordonnés (texture équi-granulaire). De plus, l'étirement du quartz suggère une déformation à l'état solide. L'orientation des amas de biotite et épidote et des grains de biotite dans ces amas implique également une déformation postérieure à l'épisode d'altération à l'origine de l'apparition de ces phases minérales (réf.

Chapitre V). Donc, S1 est associé à une déformation de faible intensité à l'état solide de la Tonalite LGS.

La fabrique S2 est la foliation principale et elle se distribue de façon très irrégulière à l'intérieur de l'intrusion. Elle est très faiblement développée dans la partie centrale (coeur), mais très bien développée et même intense sur les bordures nord et sud de la tonalite (figure 19). Mégascopiquement, ce plan est reconnu par l'alignement de la chlorite et l'apparition de filonets de séricite avec ou sans chlorite dans des zones de cisaillement (planche 10B). En microscopie, cette fabrique est également soulignée par l'alignement des sous-grains dans les plages de quartz ayant subi une recristallisation dynamique lors de l'épisode D2.

La planche 11 illustre en microscopie la morphologie des fabriques S1 et S2 en fonction de l'intensification du degré de déformation dans la Tonalite LGS. La linéation d'étirement est reconnue grâce à l'allongement des plages de quartz dans le plan vertical (coupe XY), comme montré à la planche 12A.

Les mesures structurales concernant ces deux fabriques ont été mises en carte de façon à montrer leur attitude à l'intérieur de la tonalite (figure 20). Cette carte permet de constater que la fabrique S1, d'orientation N-NE au coeur de la tonalite, est affectée par la fabrique S2 et est entraînée localement, particulièrement près des bordures de l'intrusion. La déformation associée à D2 (S2) d'ailleurs s'intensifie près des contacts nord et sud de la tonalite, qui agit comme un noyau résistant à l'intérieur de la séquence encaissante.

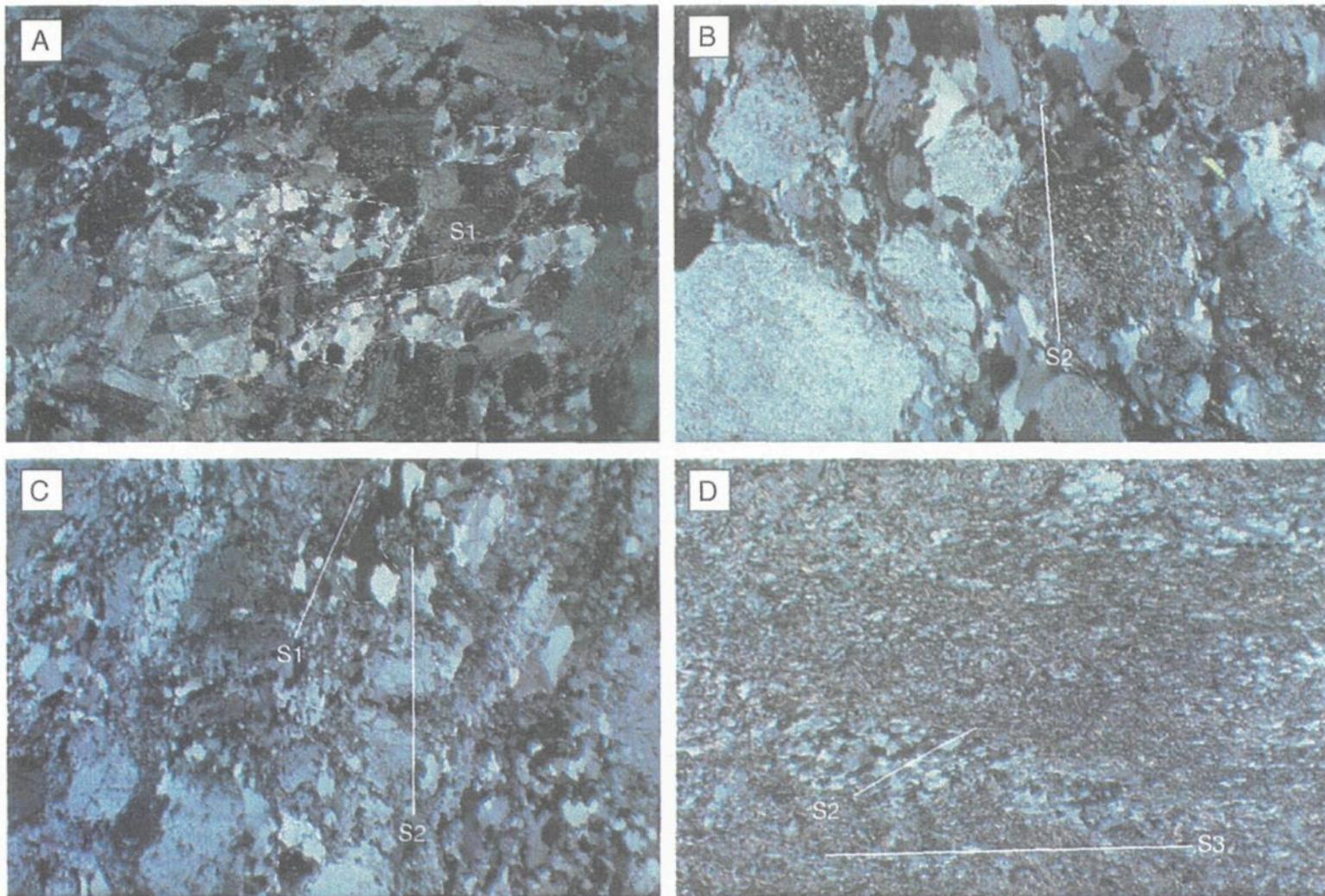


A. Tonalite à chlorite montrant la schistosité S1 à N130. Crayon 12 cm pointant vers le nord. L19+05E 2+43N



B. Tonalite à chlorite montrant la schistosité S2 bien développée à N075. Carnet 15 cm indiquant le nord. L24+15E 3+25S

Planche 10. Signature des fabriques dans la Tonalite LGS.

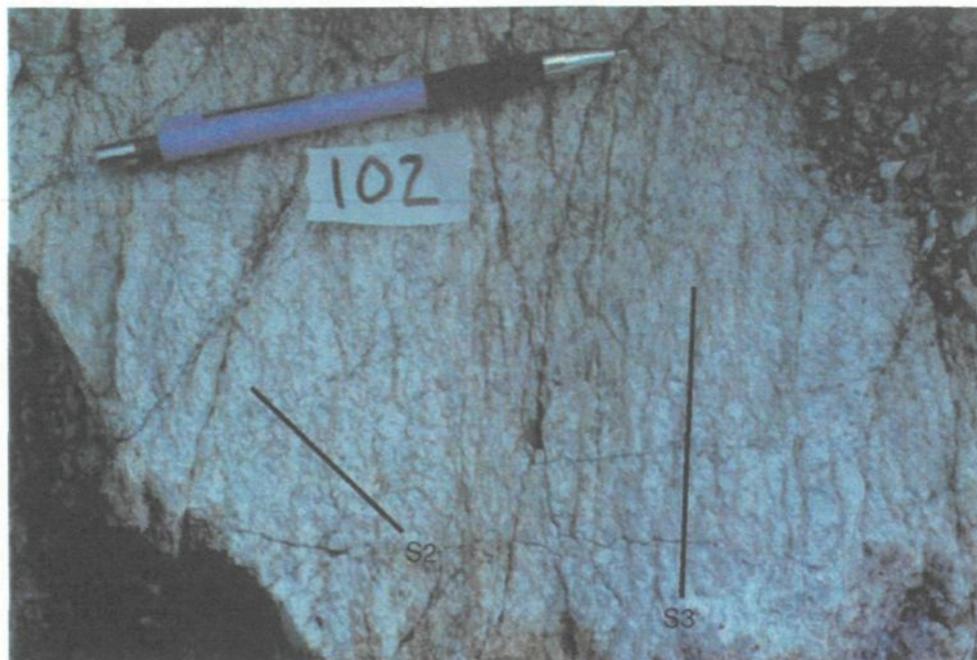


Photomicrographies illustrant la variation d'intensité de la déformation. A. Faible intensité, léger aplatissement des grains de quartz (S1). lame PML-98-064. B. Intensité moyenne, allongement des grains de quartz (S2) lame PML-98-042. C. Forte intensité, recristallisation importante (S1 donné par l'allongement des plages de quartz et S2 par l'étirement des sous-grains de quartz lame PML-99-014. D. Intense déformation, cisaillement (S3) lame PML-99-026. Plans horizontaux (plans YZ).

Planche 11. Illustration de la variation d'intensité de déformation dans la Tonalite LGS.



A. Linéation d'étirement dans la tonalite à chlorite illustrée par l'allongement des grains de quartz. Plan vertical. Carnet 15 cm indiquant le nord. L11+40E 0+85N



B. Surface horizontale montrant la fabrication S2 à N058 (allongement des grains de quartz et filonnets séricite) et la fabrication S3 à N108 (filonnets de séricite et de chlorite). Crayon 15 cm. L12E 2+45S

Planche 12. Signature des fabriques dans la Zone 32 et linéation d'étirement.

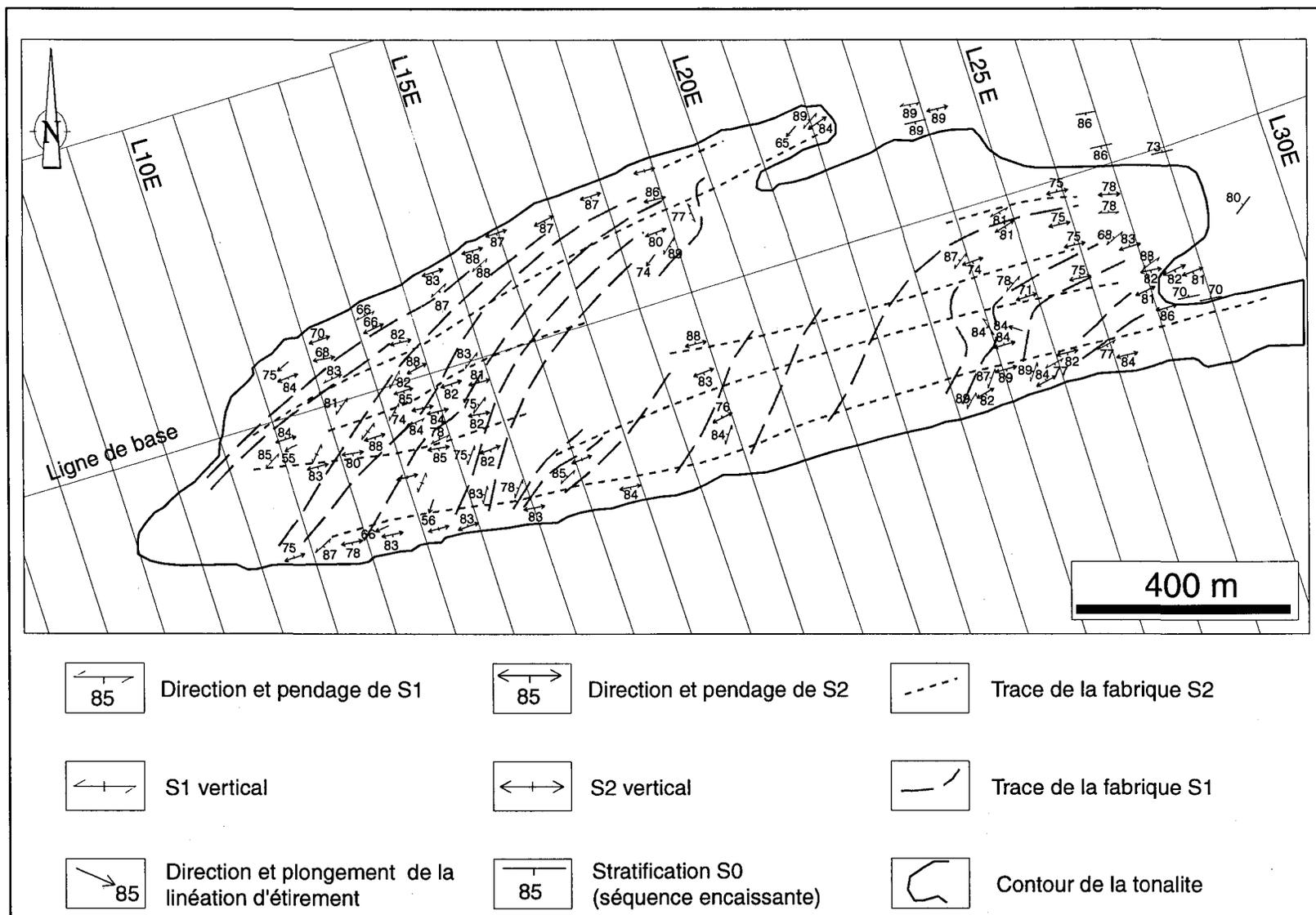


Figure 20. Mesures structurales et trace des fabriques dans la Tonalite LGS.

La distribution sur stéréogramme des mesures de schistosité et de linéation, à la figure 21, montre que les pôles des plans de foliation S1 définissent un plan moyen à 229/81 et se distribuent selon un grand cercle dont l'axe est à 252/78. Ceci correspond grossièrement à l'orientation des linéations d'étirement mesurées sur les plans de schistosité S2. Le plan S2 est, quant à lui, beaucoup plus régulier, adoptant une attitude moyenne, axiale aux plis P2, à 071/83. Les déformations D1 et D2 sont donc possiblement colinéaires, l'événement D2 ayant transposé les éléments résultant de D1 et favorisé le développement de linéations d'étirement, lesquelles ont pu être initiées lors de l'épisode D1.

### **3.2.3 Couloir de déformation de la Zone 32**

Dans les zones de cisaillement E-O associées à D2 (S2 dominant), et plus particulièrement dans la zone de cisaillement reconnue à la Zone 32 en bordure sud de la Tonalite LGS, la déformation intense se caractérise par des filonets de séricite avec ou sans chlorite soulignant deux orientations à angle fort. La première orientation (NNE) est oblique par rapport à l'orientation générale de la zone de cisaillement et la seconde orientation (ESE) est à angle faible avec la zone de cisaillement. Cette relation est illustrée aux planches 13 et 14. Dans le cas particulier de la planche 13, la fabrique oblique est définie par les grains de quartz, comme pour la fabrique S1 ailleurs dans la tonalite, ainsi que par des filonets de séricite. Cette fabrique est pénétrative. Quant au plan de cisaillement, il ne correspond pas à la fabrique S2 puisque ce plan est orienté à 110 degrés, contrairement à la fabrique S2 normalement orientée à 70 degrés ailleurs dans la tonalite et

dans les roches volcaniques. Cette géométrie est plutôt à l'image de bandes de cisaillement affectant la fabrique S2, qui elle est pénétrative (Platt et Visser, 1980 ; Harris et Cobbold, 1984). L'interprétation faite de ces observations est donc que les fabriques reconnues sont des plans S2 (NNE) affectés par une fabrique S3 correspondant à des bandes de cisaillement à entraînement dextre orientées à N110 (Hanmer et Passchier, 1991 ; Johnson, 1999). Le mouvement déduit est le même que celui indiqué par les C-S dans les roches encaissantes, soit un mouvement dextre.

Le développement de ces bandes de cisaillement à cet endroit particulier peut s'expliquer par les caractéristiques rhéologiques différentes à l'origine de celles de la Tonalite LGS à l'extérieur de ce couloir. Cette différence de résistance est attribuable à l'altération intense ayant affaibli la tonalite à cet endroit préalablement à l'épisode de déformation D2, permettant ainsi le développement en force de la fabrique S2, laquelle a ensuite été reprise par des bandes de cisaillement S3 d'orientation ESE. L'intensité de la fabrique S2 est probablement responsable de la transposition importante de la fabrique S1, ce qui explique que des grains de quartz soient allongés parallèlement à la fabrique S2 dans le couloir de cisaillement.

### **3.2.4 Structures tardives**

Les fabriques observées dans la Tonalite LGS sont reprises par des structures mineures reliées à un ou des événements tardifs faisant probablement partie du même

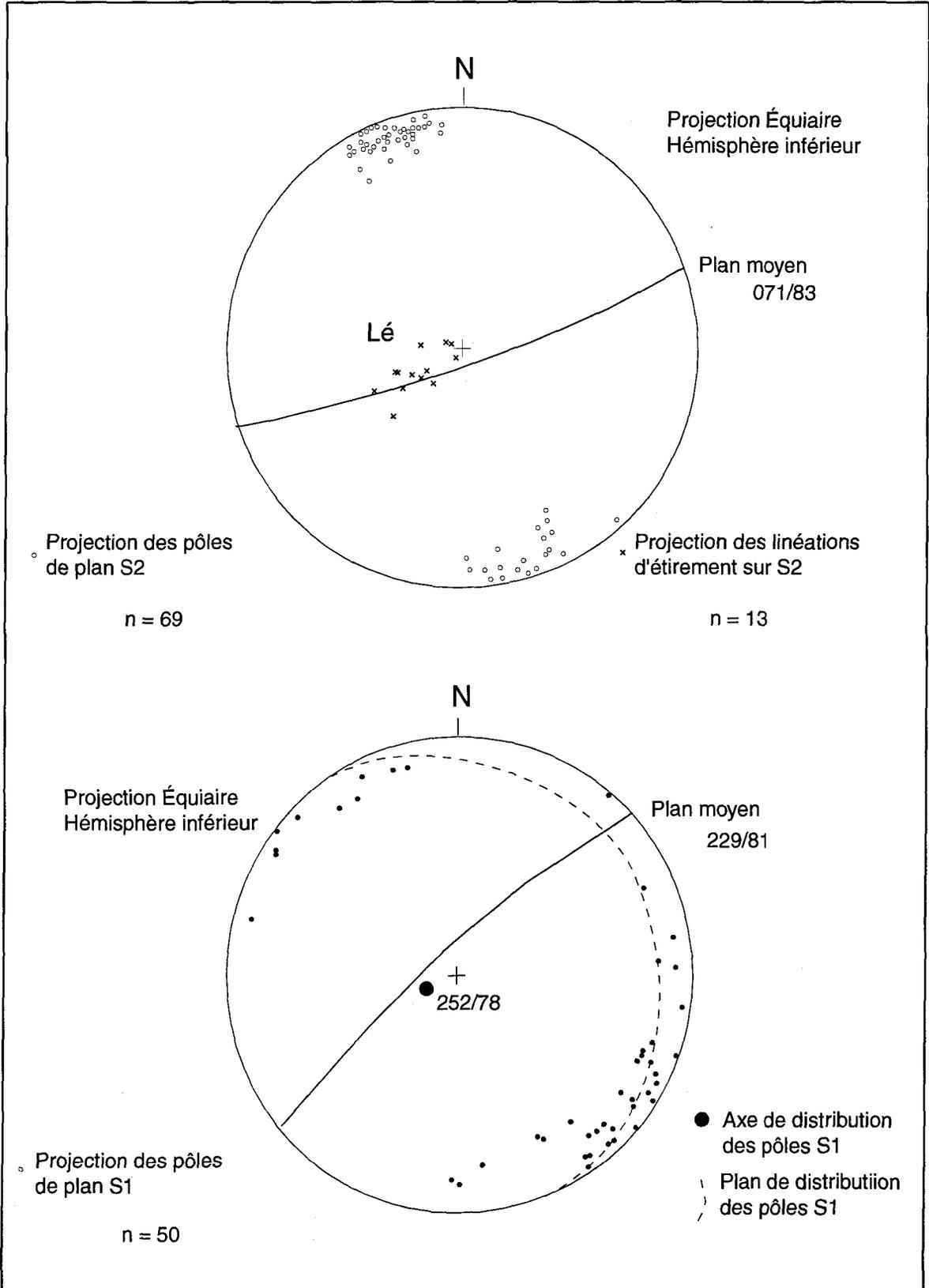
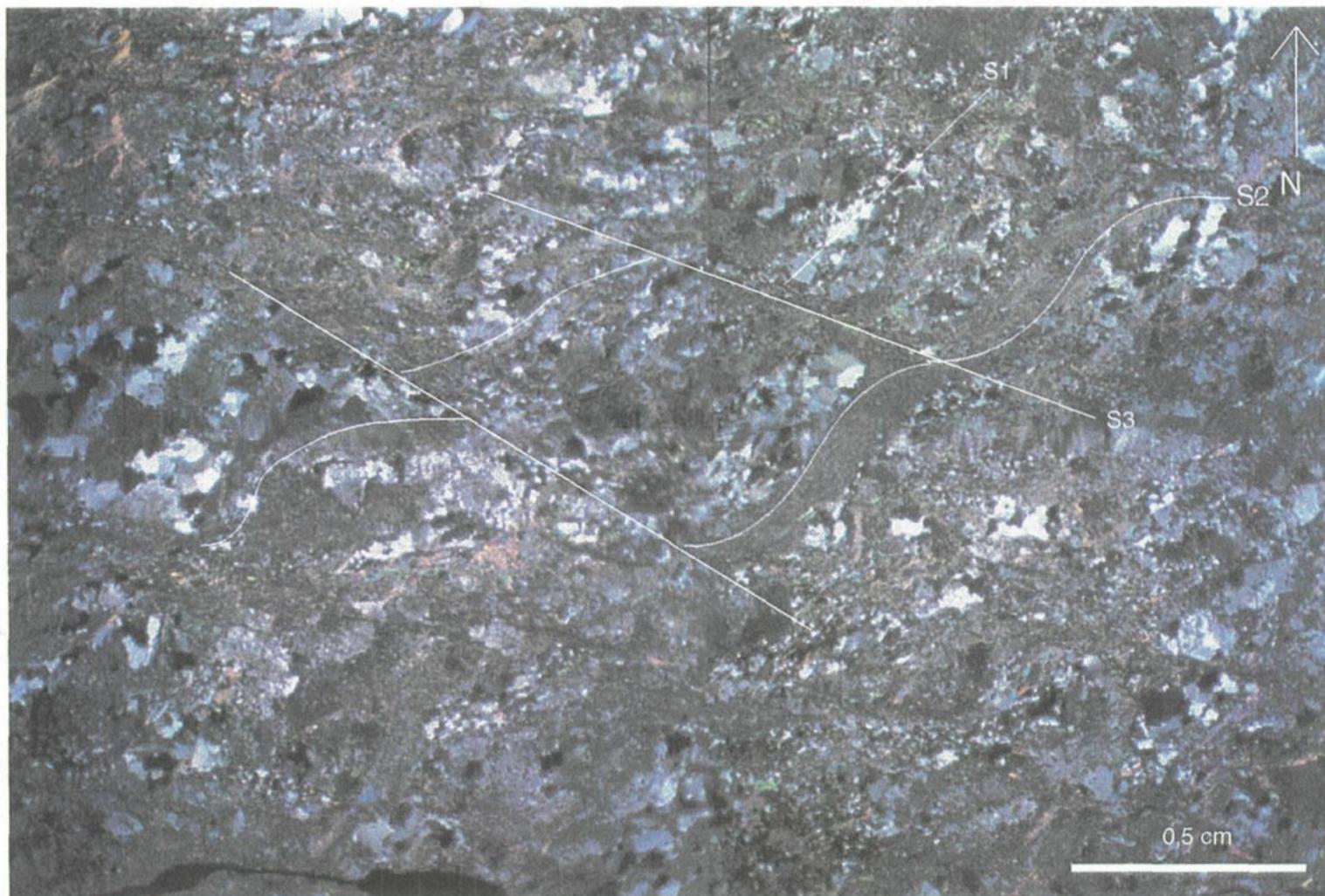


Figure 21. Distribution des pôles de schistosité S1 et S2 et des linéations d'étirement à l'intérieur de la Tonalite LGS.



Développement des fabriques dans le couloir de cisaillement de la Zone 32. Plan horizontal. Lumière polarisée.  
S1 et S2 formant une fabrique composite. Lame PML-98-003

Planche 13. Développement des fabriques dans la Zone 32.



Planche 14. Fabriques structurales dans la Zone 32.

épisode responsable de l'apparition des bandes de cisaillement à la Zone 32 et des structures tardives développées dans la séquence volcano-sédimentaire encaissante. Ainsi, quelques kink bands sont observés, notamment à la Zone 32, tout comme des zones de cisaillement minces et des failles d'importance variable ailleurs dans la tonalite. L'entraînement sur ces structures, lorsque déterminé, est dextre. Les mesures structurales concernant ces éléments ont été projetées sur des stéréogrammes présentés à la figure 22. Ceci permet de constater que les kinks forment un système conjugué avec deux familles grossièrement orientées N-NE et E-O avec un pendage fort. La famille N-NE est beaucoup mieux développée et, conséquemment, plus souvent observée que la famille E-O. L'orientation définie par ces deux familles correspond à un raccourcissement N-S. Les failles fragiles sub-verticales présentent également deux orientations préférentielles plus ou moins orthogonales, soit NE-SO et NO-SE. Les zones de cisaillement, quant à elles, varient en orientation entre NE-SO et NO-SE avec un pendage abrupt, un peu à l'image des failles fragiles.

### **3.2.5 Relation avec les dykes**

Les dykes de gabbro sont affectés à divers degrés par les événements de déformation. Tous ont été déformés par l'événement D2. Ils ont été soit plissés, soit transposés dans les zones de cisaillement. La distribution des mesures selon un grand cercle sur le stéréogramme présenté à la figure 22 supporte cette observation, illustrant bien le plissement selon un axe vertical. L'enveloppe de ces dykes plissés est N-S, ce qui n'est pas

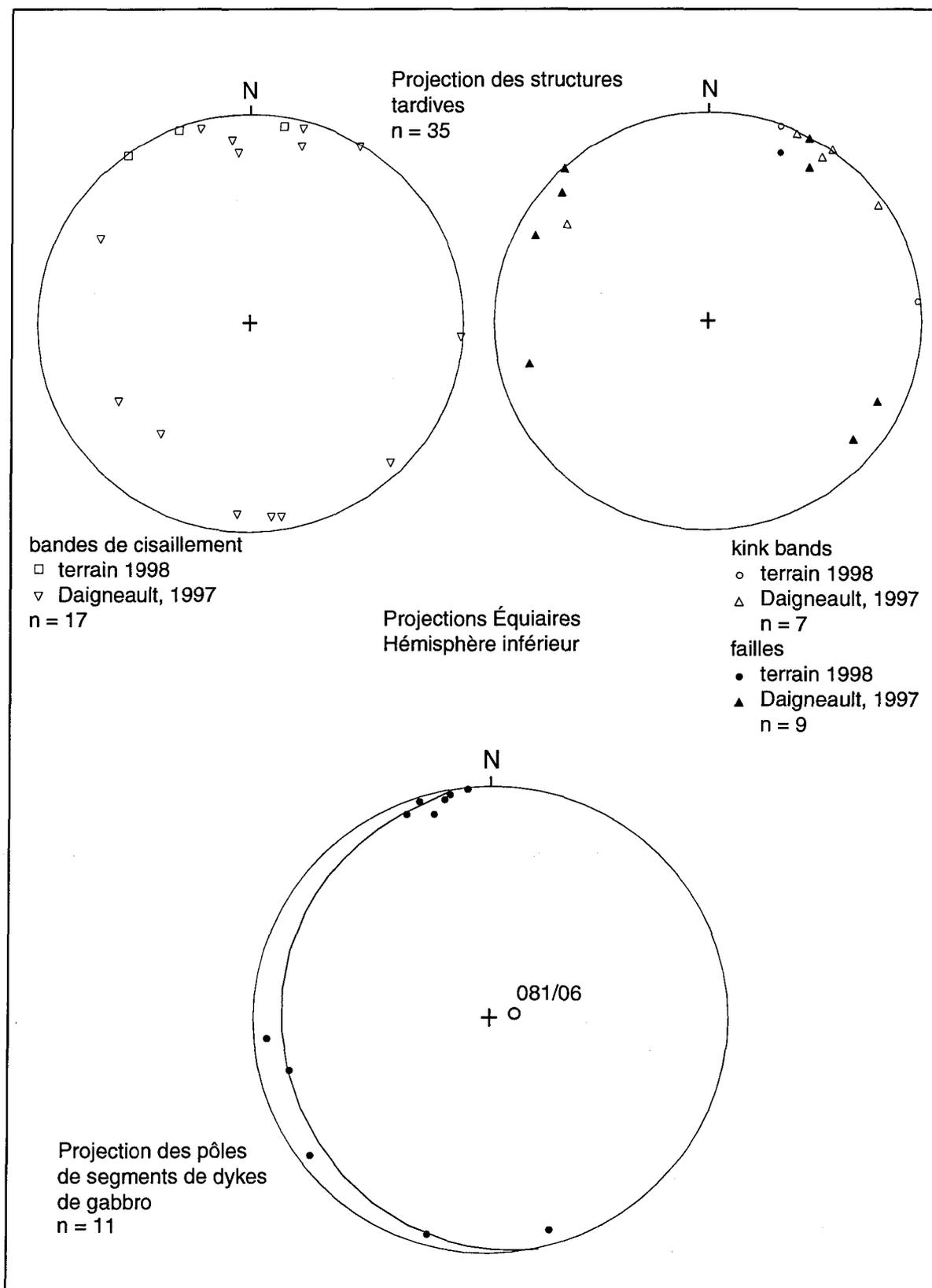


Figure 22. Projection des pôles des structures tardives et des dykes de gabbro.

sans rappeler l'orientation de la fabrique S1 dans la tonalite. De plus, certains dykes contiennent la fabrique S1. Toutefois, cette fabrique est localement recoupée par certains dykes de gabbro. De plus, des enclaves de tonalite incluses dans les zones de bordure de certains dykes montrent des grains de quartz allongés lors de l'événement D1. Un exemple de ce phénomène est montré à la planche 15. Toutes ces observations tendent à démontrer une mise en place pré- à syn-D1 pour ces dykes.

Les dykes de lamprophyre à enclaves se sont mis en place après l'épisode de déformation D1, mais avant l'épisode D2. Ceci est démontré par la présence de fragments de tonalite foliée montrant la fabrique S1 (quartz), lesquels fragments sont orientés aléatoirement dans les dykes, et par la matrice de ces dykes qui est foliée parallèlement à la fabrique S2.

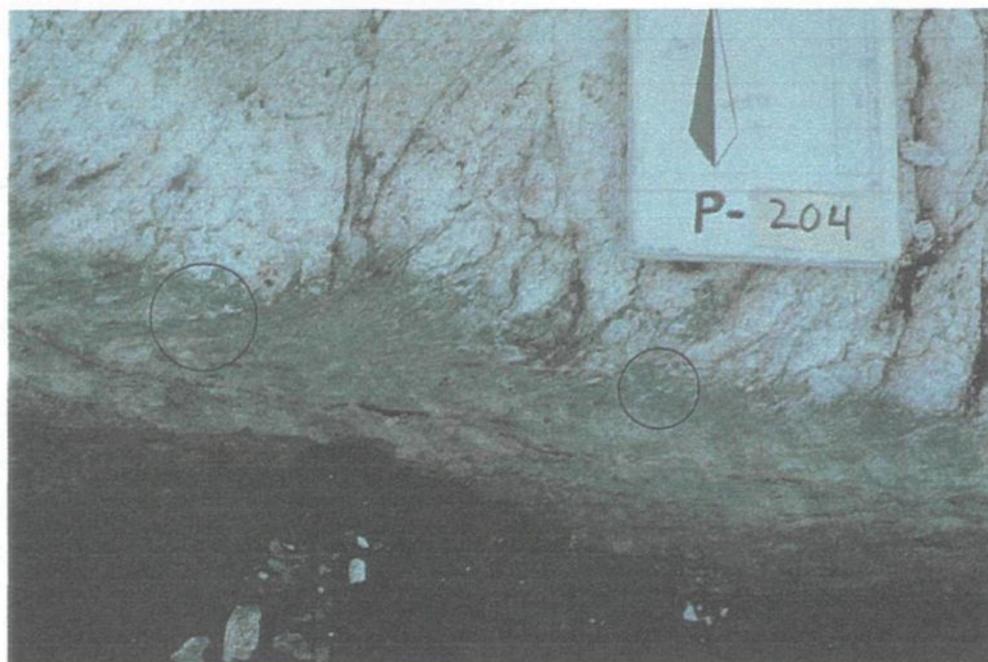
### **3.3 ANALYSE DE LA DÉFORMATION**

Tous les éléments présentés plus haut permettent de définir l'évolution structurale du secteur à l'étude et d'établir une base pour la compréhension des événements qui se sont déroulés dans l'environnement de la Tonalite LGS.

Ainsi, au moins deux épisodes majeurs de déformation ont affecté la séquence volcano-sédimentaire et la Tonalite LGS (intrusion syn-volcanique). Ces deux épisodes sont indépendants puisque des évidences d'une déformation polyphasée ont été reconnues



A. Dyke de gabbro altéré et déformé situé à l'indice Mico-Milan. Carnet 15 cm indiquant le nord.  
L11+40E 0+65N



B. Vue détaillée du contact entre le dyke de gabbro montré en A et la tonalite de l'indice Mico-Milan. La bordure du dyke est caractérisée par des grains de quartz de la tonalite incorporés lors de la mise en place du dyke. Carnet 15 cm.

Planche 15. Dykes de gabbro dans la Tonalite LGS.

dans les roches volcaniques. Le premier épisode, appelé D1, représente un événement de raccourcissement important illustré par le développement d'une schistosité S1 forte et de mylonites en plus d'une linéation d'étirement verticale dans la séquence volcano-sédimentaire. Dans la tonalite, la déformation D1 est à l'origine du développement d'une fabrique soulignée uniquement par le fort aplatissement des grains de quartz et l'orientation préférentielle de la biotite au coeur de l'intrusion. Le second épisode, appelé D2, représente quant à lui un raccourcissement N-S à mouvement vertical dominant mis en évidence par la foliation S2 sub-verticale E-O, l'accentuation de la linéation d'étirement formée lors de D1 et le plissement des dykes de diorite et de gabbro selon des plans axiaux E-O. Ce raccourcissement D2, ou encore un incrément de déformation D2 tardif, est à l'origine du développement de couloirs de cisaillement communément développés dans les flancs de plis P2. Le couloir de cisaillement localisé au contact sud de la Tonalite LGS, dans lequel se trouve le gîte Zone 32, est caractérisé par l'apparition de fabriques CS dans les volcanites au sud de la tonalite et de bandes de cisaillement dans la tonalite et les diorites de la Zone 32. Ces bandes de cisaillements (S3) se sont développées de façon particulière dans le couloir de déformation de la Zone 32 en réponse à l'hétérogénéité rhéologique résultant de l'altération et du développement de la schistosité S2 qui est responsable de la transposition presque totale de la fabrique S1 à cet endroit. Ces cisaillements S3 représentent soit un épisode de déformation D3, qui peut être également à l'origine des déformations tardives ductiles et fragiles associées aux réajustements tardifs ayant affecté l'ensemble de la Tonalite LGS, soit à un réajustement syn à tardi-D2 à l'intérieur du couloir

de déformation de la Zone 32 pour contrer le gain de volume induit par le glissement sur le plan S2 (Harris et Cobbold, 1984).

## CHAPITRE IV

### TYPOLOGIE DES MINÉRALISATIONS

#### 4.1 INTRODUCTION

Dans la région de la rivière La Grande, plusieurs types de minéralisations archéennes et protérozoïques de métaux précieux et usuels sont reconnus (Dion *et al.*, 1997 ; 1998 ; 1999) et les gîtes aurifères sont particulièrement bien représentés (formations de fer aux faciès des oxydes, sulfures et silicates, veines à quartz-tourmaline-sulfures, zones de disséminations associées à des cisaillements). Les minéralisations concernant cette étude seront d'abord présentées en fonction du gîte et des indices qu'elles forment et seront ensuite étudiées individuellement afin d'en déterminer la typologie.

#### 4.2 GÎTE ET INDICES

Plusieurs de ces minéralisations se retrouvent dans le secteur couvert par la propriété La Grande Sud et parmi celles-ci, il y a celles encaissées par la Tonalite LGS, soit Zone 32, Mico-Milan, Pari, Brèche et Zone Veine (figure 4).

#### 4.2.1 Gîte Zone 32

Le gîte Zone 32 (figure 23) est la plus importante de ces minéralisations, contenant des ressources évaluées à 6,5 millions de tonnes à une teneur de 1,52g/t Au et 0,2 % Cu pour une teneur de coupure établie à 0,5 g/t Au, ce qui équivaut à environ 350 000 onces d'or (Virginia – communiqué de presse, avril 1999). Ce gîte, qui se trouve au contact sud de la Tonalite LGS, est exposé grâce à une série de tranchées N-S traversant la zone minéralisée et une tranchée E-O couvrant cette zone minéralisée (figure 23). Cette minéralisation se retrouve dans un couloir de cisaillement vertical important qui se prolonge vers l'est et vers l'ouest au-delà de la tonalite. La zone minéralisée occupe une section d'environ 200 mètres de long par 25 mètres de large dans ce couloir de déformation caractérisé par une altération séricitique intense et une carbonatation prononcée. La minéralisation prend principalement la forme de sulfures disséminés dans la zone de cisaillement. Ces sulfures, pouvant localement constituer jusqu'à 5 % de la roche, sont dominés par la pyrite et la chalcopryrite auxquelles sont associés des quantités moindres de sphalérite et de pyrrotite. Des veinules contenant des sulfures sont également communément observées à la Zone 32, tout comme des veines aurifères à quartz et tourmaline.

Des valeurs importantes en or sont obtenues dans les échantillons de tonalite, de gabbro et de diorite altérés (par ex. : 9,69 g/t Au sur 11,25 m ; 2,7 g/t Au sur 57 m), indiquant que toutes les roches affectées par la déformation et l'altération dans ce secteur

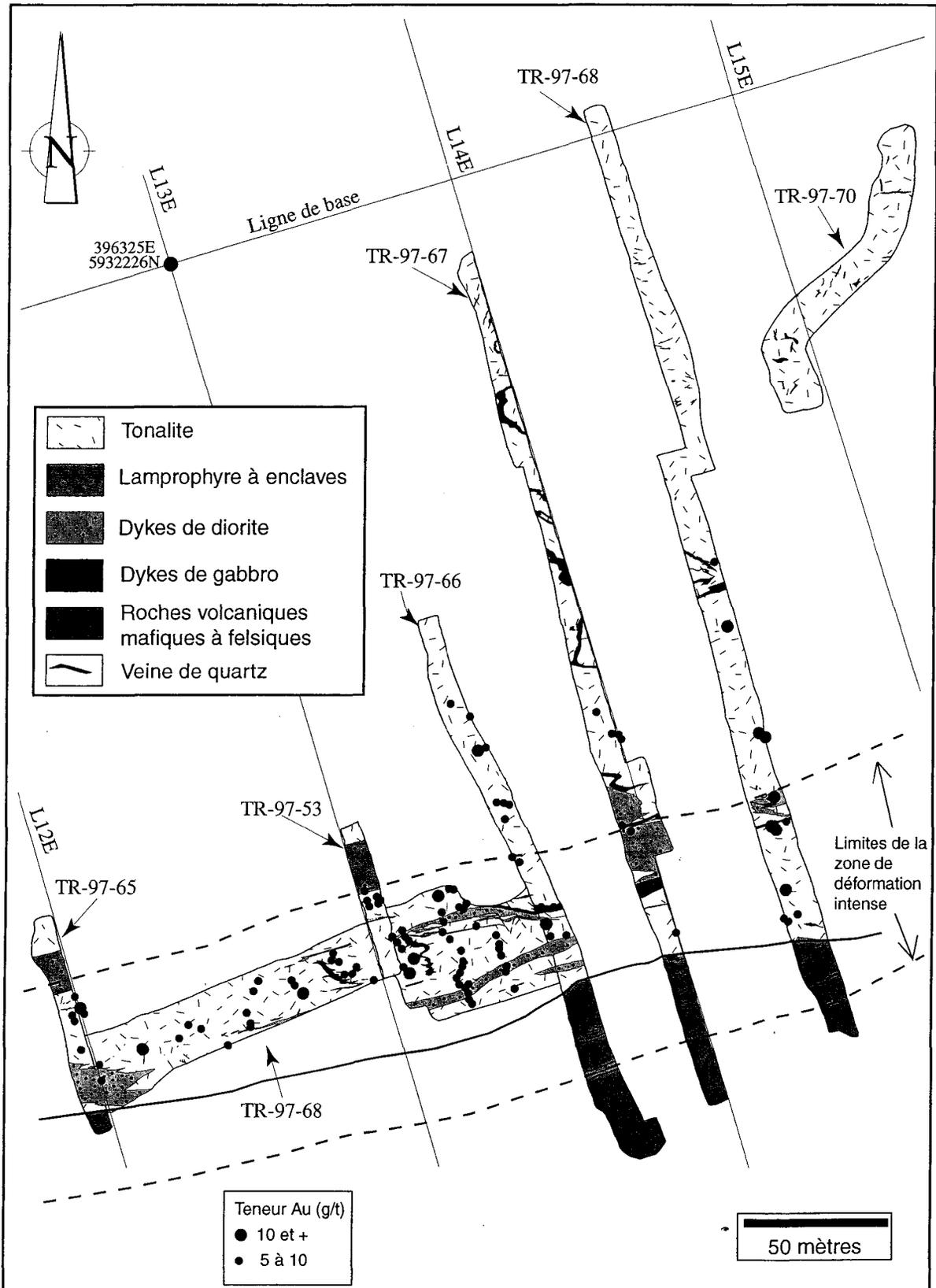


Figure 23. Géologie simplifiée du gîte Zone 32 (modifié de Daigneault, 1997).

ont subi le ou les épisodes minéralisateurs. Des valeurs intéressantes en cuivre et des valeurs anormales en argent sont communément associées aux fortes valeurs en or. La figure 23 montre la distribution des échantillons ayant rapporté des valeurs en or supérieures à 5 g/t et 10 g/t, ce qui permet de constater que les fortes valeurs se concentrent dans le couloir de déformation E-O. Les résultats obtenus par forage montrent que des valeurs importantes en or sont également présentes dans le plan vertical, la minéralisation se prolongeant en profondeur de façon parallèle à la fabrique principale S2 E-O subverticale et à la linéation d'étirement.

#### **4.2.2 Indice Mico-Milan**

L'indice Mico-Milan (figure 24), qui se trouve au contact nord-ouest de la tonalite, est caractérisé par quelques dykes de gabbro recoupant la tonalite et par des injections de tonalite recoupant les roches volcaniques de la séquence volcano-sédimentaire encaissante. Des valeurs aurifères notables ont été obtenues à divers endroits à cet indice, notamment une valeur de 6600 g/t Au dans une petite veine à quartz, tourmaline et arsénopyrite contenant de l'or visible. En plus de ces veinules minéralisées, des veines fines à sulfures, un stockwerk à sulfures (pyrite, chalcopyrite et arsénopyrite), ainsi que des zones à sulfures disséminés sont reconnus à cet indice. Une petite zone de brèche hydrothermale de moins de 25 centimètres d'épaisseur en surface est également reconnue à cet endroit. Toutes ces zones minéralisées sont généralement d'étendue restreinte, quelques mètres ou moins, en surface comme en profondeur. Une faille tardive importante orientée N030 vient recouper

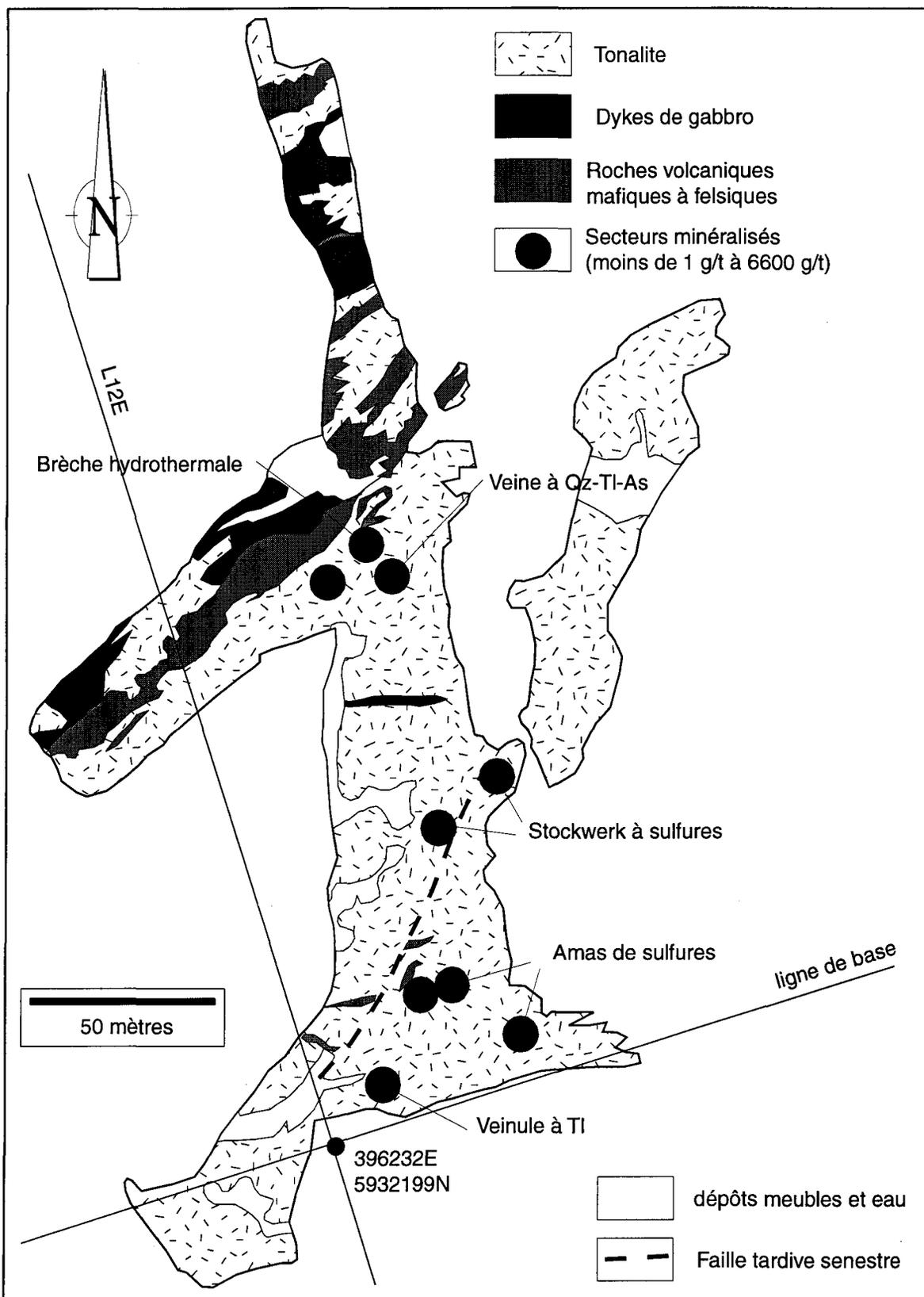


Figure 24. Géologie simplifiée de l'indice Mico-Milan (modifié de Legault et Simard, 1998).

quelques-unes de ces minéralisations en les décalant de façon senestre sur une dizaine de mètres.

#### 4.2.3 Indice Pari

L'indice Pari (figure 25), situé au contact nord-est de la tonalite, est caractérisé par une zone de brèche recoupant la tonalite. Des valeurs aurifères appréciables (par ex. : 2,81 g/t Au sur 9 mètres) sont obtenues à l'intérieur de la brèche. La distribution des valeurs en or supérieures à 5 g/t et 10 g/t obtenues en rainurage illustre bien le lien spatial entre cette zone de brèche et l'or. Des sulfures disséminés (pyrite, chalcopyrite et arsénopyrite) caractérisent cette brèche. Des valeurs notables en or sont très localement rencontrées dans la tonalite encaissante et dans les fragments de tonalite à l'intérieur de la brèche. Des filonets à sulfures sont aussi observés à cet indice.

Cette brèche a un pendage subvertical, sa largeur varie entre quelques dizaines de centimètres à plus de deux mètres et elle peut être suivie sur une vingtaine de mètres. L'orientation actuelle de cette brèche, N040, est le résultat de la transposition et de l'entraînement par la fabrique S2 durant l'épisode de déformation D2. Ainsi, la forme de cette brèche est plutôt lenticulaire et devait être à peu près N-S avant la déformation D2, représentant ainsi un corps discordant par rapport aux bordures de la Tonalite LGS. Les terminaisons sont caractérisées par une zone de brèche in situ à filonets de biotite s'estompant rapidement, alors que les bordures sont définies par de fins filonets à biotite

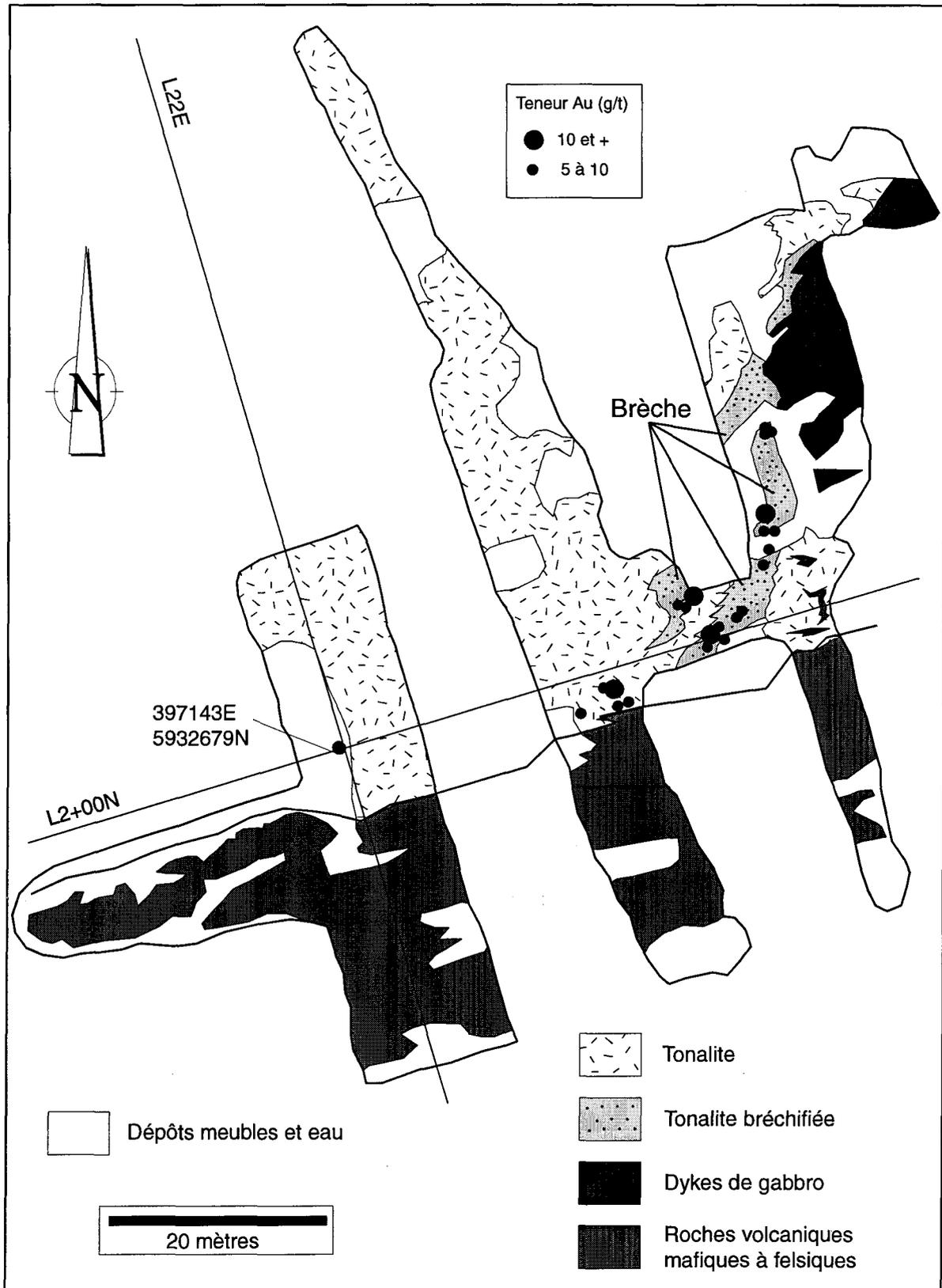


Figure 25. Géologie simplifiée de l'indice Pari (modifié de Legault et Simard, 1998).

fortement transposés recoupant la tonalite. Les fragments de tonalite présents dans cette brèche hydrothermale sont de forme arrondie lorsqu'il y a dominance de la matrice (coeur du conduit) et de forme anguleuse lorsqu'il y a peu de matrice (terminaisons et bordures du conduit). Ces observations permettent de définir une origine hydrothermale pour cette brèche puisque les brèches hydrothermales se présentent sous diverses formes et de continuité variable alors que les terminaisons sont caractérisées par des stockwerks irréguliers, les fragments de l'encaissant étant anguleux à arrondis. Ces brèches sont affectées par une altération potassique importante dominée par la biotite à laquelle est associée une concentration en métaux supérieure dans les brèches que dans l'encaissant (Sillitoe, 1985).

#### **4.2.4 Indice Brèche**

L'indice Brèche (figure 26), localisé au contact est de la tonalite, est caractérisé par un dyke de lamprophyre bréchifiant la tonalite, la minéralisation se retrouvant à l'intérieur de la zone bréchifiée, dans la matrice comme dans les fragments de tonalite (p.ex : 2,21 g/t sur 9 m). Des filonets de pyrite et des grains de pyrite et chalcopirite disséminés caractérisent la minéralisation à cet indice. De l'or libre a également été observé dans certains fragments de tonalite (Tremblay, 1999). Cette brèche est d'origine magmatique car elle est associée à l'intrusion du dyke de lamprophyre à xénolites.

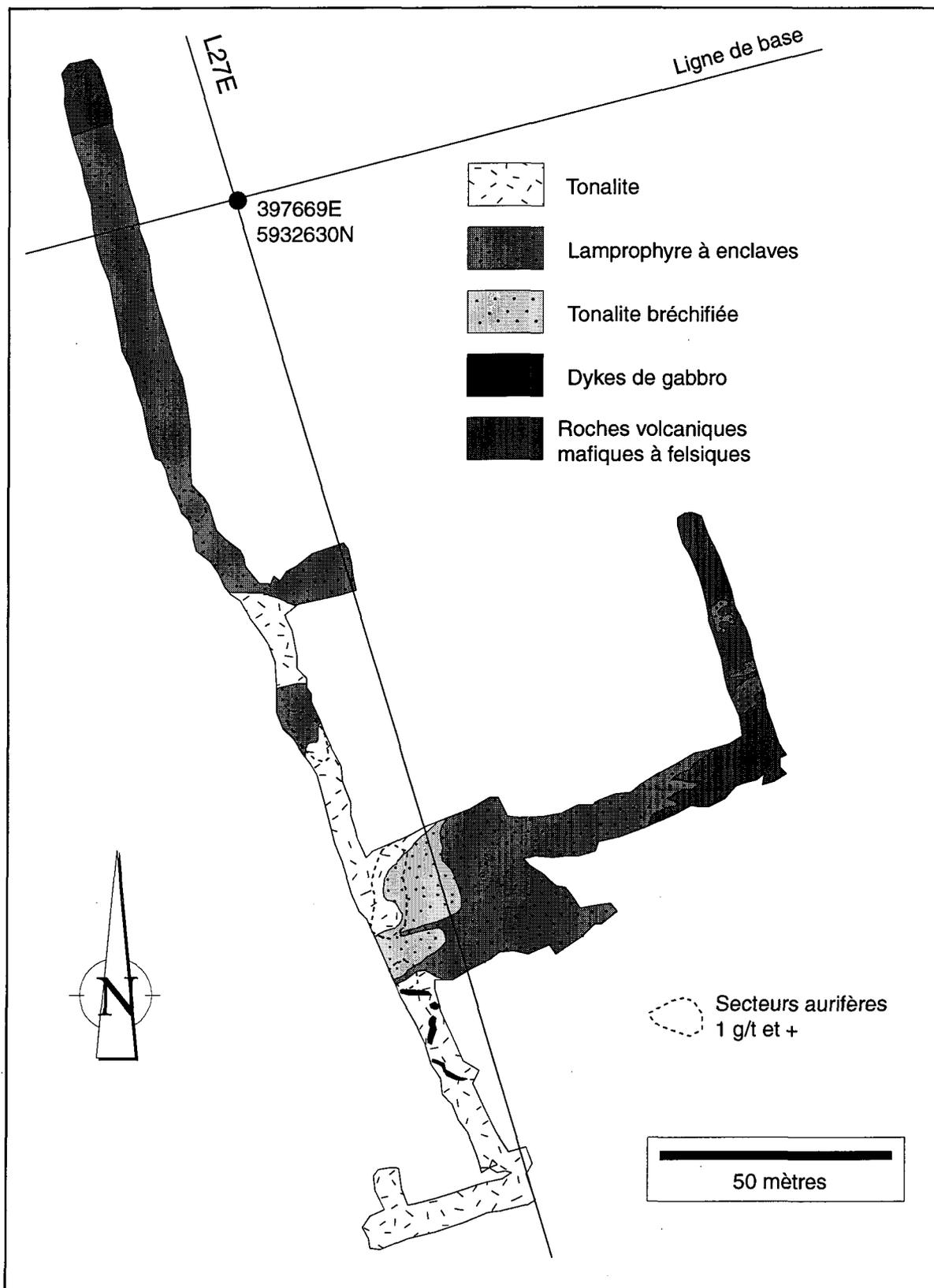


Figure 26. Géologie simplifiée de l'indice Brèche (modifié de Legault et Simard, 1998).

#### **4.2.5 Indice Zone Veine**

Le dernier indice (Zone Veine) se retrouve dans le secteur NO de la tonalite, légèrement au nord de la Zone 32, et se caractérise par la présence de veines subhorizontales à quartz-tourmaline-chlorite aurifères (p.ex : 8,73 g/t sur 7 m). Cet indice est reconnu surtout en forage et s'étend approximativement de la ligne L10E à la ligne L17E de la grille d'exploration et de 50 mètres au sud de la ligne de base jusqu'à 150 mètres au nord de cette même ligne. Dans le plan vertical, des veines sont présentes de la surface jusqu'à plus de 200 mètres sous la surface. Les veines occupant cette zone sont d'épaisseur variable et de continuité limitée à quelques mètres. Quelques grains de sulfures (pyrite et chalcopryrite) et des grains d'or libre sont observés à l'intérieur de ces veines. Bien que visibles en affleurement, les veines de cet indice rapportent des valeurs aurifères principalement en forage.

### **4.3 DESCRIPTION DES MINÉRALISATIONS**

Ce sous-chapitre a comme objet la description des minéralisations rencontrées à ces différents indices encaissés dans la Tonalite LGS. Pour ce faire, les minéralisations rencontrées sont présentées séparément, c'est-à-dire type par type, permettant ainsi de caractériser la minéralisation pour l'ensemble de l'intrusion (typologie). Une brève description des principales phases opaques observées au microscope (lumière réfléchie) est

donnée à l'annexe 3, alors que le tableau 4 présente une synthèse des principaux types de minéralisation rencontrés à l'intérieur de la Tonalite LGS.

La minéralisation aurifère à ces indices prend différentes formes : sulfures disséminés dans des zones de cisaillement, veines centimétriques à sulfures, veinules à carbonates et quartz, brèches hydrothermales et intrusives, stockwerk à sulfures et veinules à quartz-tourmaline  $\pm$  sulfures.

#### **4.3.1 Minéralisation disséminée**

Les minéralisations de type "sulfures disséminés" sont caractérisées par la présence de grains de pyrite et de chalcopryrite finement disséminés et fortement transposés dans la schistosité S2 ou en concentrations de grains dans des zones moins déformées. Ces sulfures disséminés peuvent composer de 3 à 5 % de la roche et sont généralement associés à la séricitisation (planche 16A), à la carbonatation (planche 16B) et à la chloritisation (planche 17A). Ce type de minéralisation est reconnu principalement au gîte Zone 32 ainsi qu'aux indices Mico-Milan, Pari et Brèche. De plus, des grains fins de pyrite disséminée sont communément observés un peu partout dans la Tonalite LGS. Cette pyrite est généralement peu abondante (en traces) en dehors des zones minéralisées.

Dans le détail, les sulfures présents dans ce type de minéralisation sont, par ordre d'importance : la pyrite, la chalcopryrite, la sphalérite, l'arsénopyrite et la pyrrothite, ces

Tableau 4. Synthèse des types de minéralisation rencontrés à l'intérieur de la Tonalite LGS.

Type de minéralisation	Localisation	Caractéristiques
Minéralisation disséminée	Zone 32, Mico-Milan	Sulfures disséminés (pyrite, chalcopyrite, sphalérite). Association séricitisation, chloritisation et déformation intense. Or libre ou en association avec sulfures. Remobilisation commune.
Veinules à sulfures	Zone 32, Mico-Milan, Brèche	Veines limitées d'épaisseur millimétrique à centimétrique. Amas de sulfures (pyrite et chalcopyrite). Or associé aux sulfures. Affectées par déformation.
Veinules à carbonate et quartz	Zone 32, Mico-Milan, Pari, Brèche	Veinules millimétriques irrégulières associées à carbonatation et séricitisation. Sulfures disséminés dans les veinules. Or associé aux sulfures.
Brèches hydrothermales	Mico-Milan, Pari	Sulfures disséminés associés à zones d'altération potassique intense. Ingestion de fragments de tonalite minéralisée.
Stockwerk à sulfures	Mico-Milan	Réseau dense de bandes ou veines à pyrite, arsénopyrite et chalcopyrite déformées par S2 (crénulation des veinules à sulfures).
Veines et veinules à quartz – tourmaline ± sulfures.	Zone 32, Mico-Milan, Zone Veine	Veines subhorizontales ou transposées contenant un peu de pyrite. Or libre visible parfois abondant. Structures syn-déformation.



A. Sulfures (chalcopyrite et pyrite) fortement affectés par la déformation D2 dans la zone de déformation de la Zone 32. Forage LGS97-98, 169,5 m. Carottes de 4 cm de diamètre.

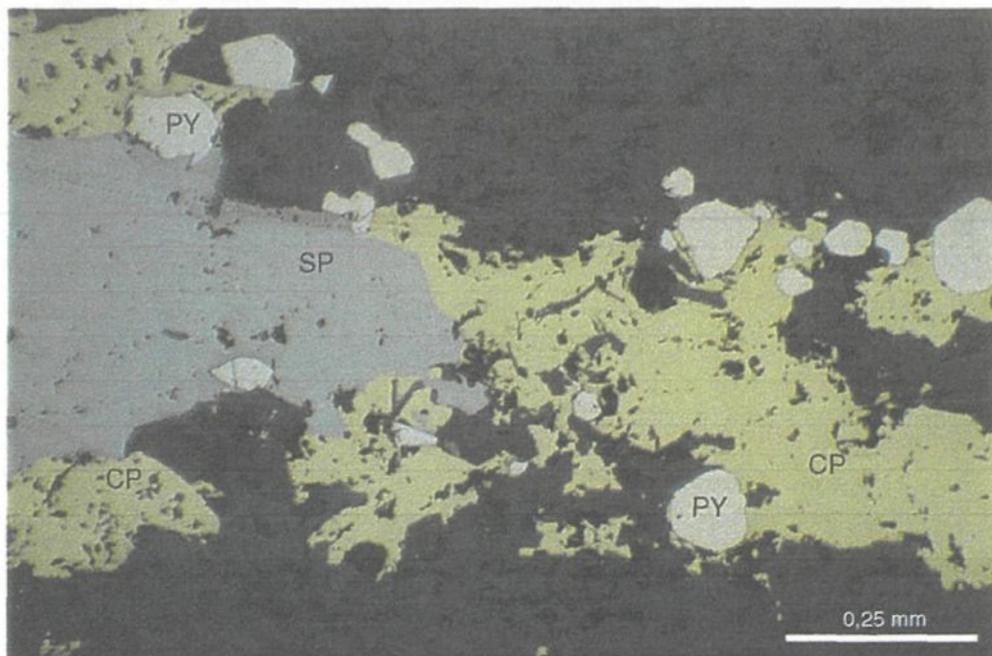


B. Tonalite à chlorite légèrement ankéritisée et silicifiée contenant des amas de pyrite et chalcopyrite affectés par le déformation D2. Forage LGS97-98, 207,0 m. Carottes de 4 cm de diamètre.

Planche 16. Minéralisation dans la tonalite de la Zone 32.



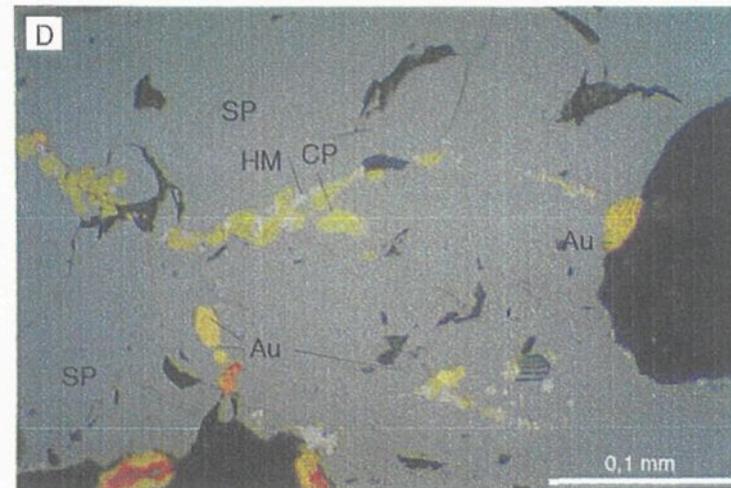
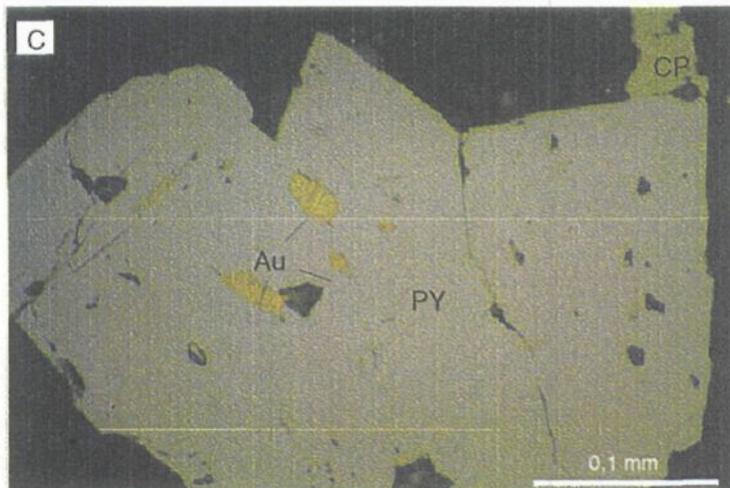
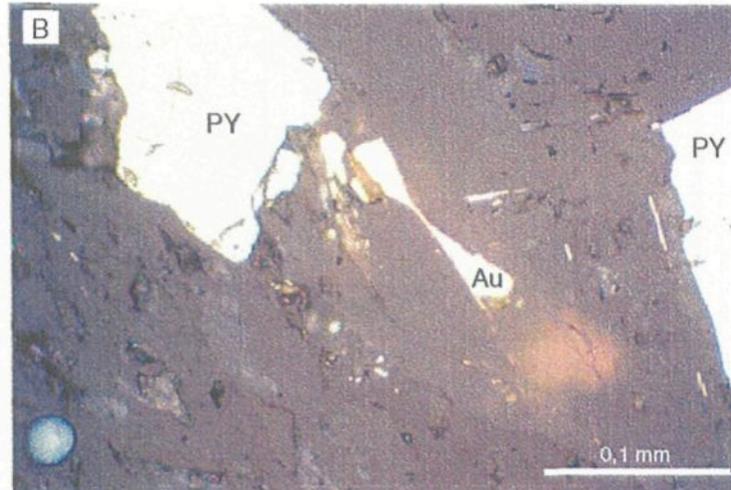
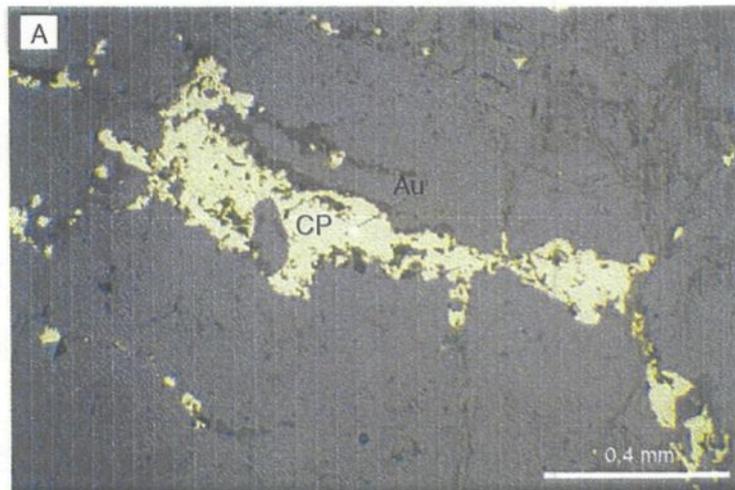
A. Tonalite à stockwerk de chlorite faiblement déformée avec pyrite fine disséminée. Forage LGS97-154, 39,3 m. Carottes de 4 cm de diamètre.



B. Principales phases sulfurées composant la minéralisation aurifères à la Zone 32. PY = pyrite, CP = chalcopyrite, SP = sphalérite. Forage LGS97-53, 107,8 m. Lumière réfléchie

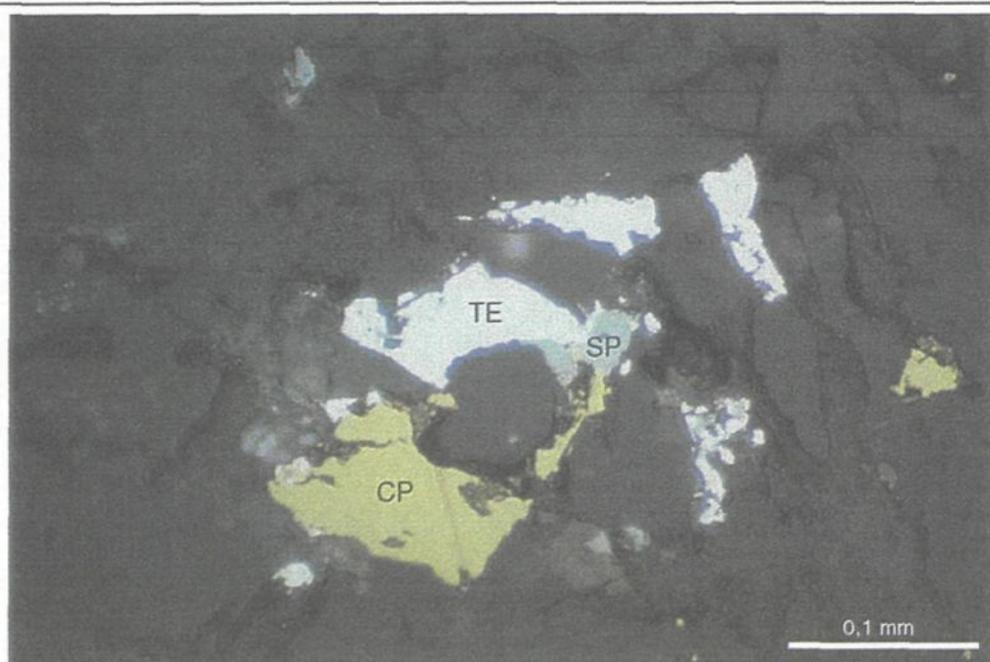
deux dernières phases étant très peu abondantes. La chalcopryrite et la sphalérite sont généralement en exsolution mutuelle, l'une ou l'autre de ces phases pouvant être en inclusion dans l'autre (planche 17B), la chalcopryrite étant généralement la phase dominante. Cette texture peut être due à un remplacement du fer de la sphalérite à haute teneur en fer pour former de la chalcopryrite et de la sphalérite à faible teneur en fer lors du métamorphisme plutôt qu'à un phénomène d'exsolution primaire (Barton et Bethke, 1987). La pyrite est communément associée à la chalcopryrite et à la sphalérite, soit sous la forme de cristaux à l'intérieur des plages de chalcopryrite-sphalérite, soit en contenant des inclusions de ces deux sulfures dans des fractures. L'or dans ce type de minéralisation prend différentes formes, communément en grains libres micrométriques dans le schiste à séricite ou encore en inclusions dans les plages de chalcopryrite. Il est aussi observé en inclusions dans certains grains de pyrite, seul ou en compagnie de chalcopryrite et de sphalérite. L'or se rencontre également en inclusions, sous forme de globules, ou dans de très fines fractures à l'intérieur certaines plages de sphalérite. Ces différents habitus pour l'or sont montrés à la planche 18. Des tellures ont également été observés dans quelques échantillons (planche 19A) qui présentent des valeurs anormales en Hg, Co, Bi et Ag.

Des sulfures disséminés sont également rencontrés dans les zones de brèches hydrothermales aurifères, lesquelles sont rencontrées aux indices Mico-Milan et Pari. Dans ce type de minéralisation (sulfures disséminés), les sulfures montrent communément des évidences de remobilisation. La chalcopryrite se retrouve alors transposée dans le plan de la schistosité principale (planche 19B), alors que la pyrite montre dans certains cas des

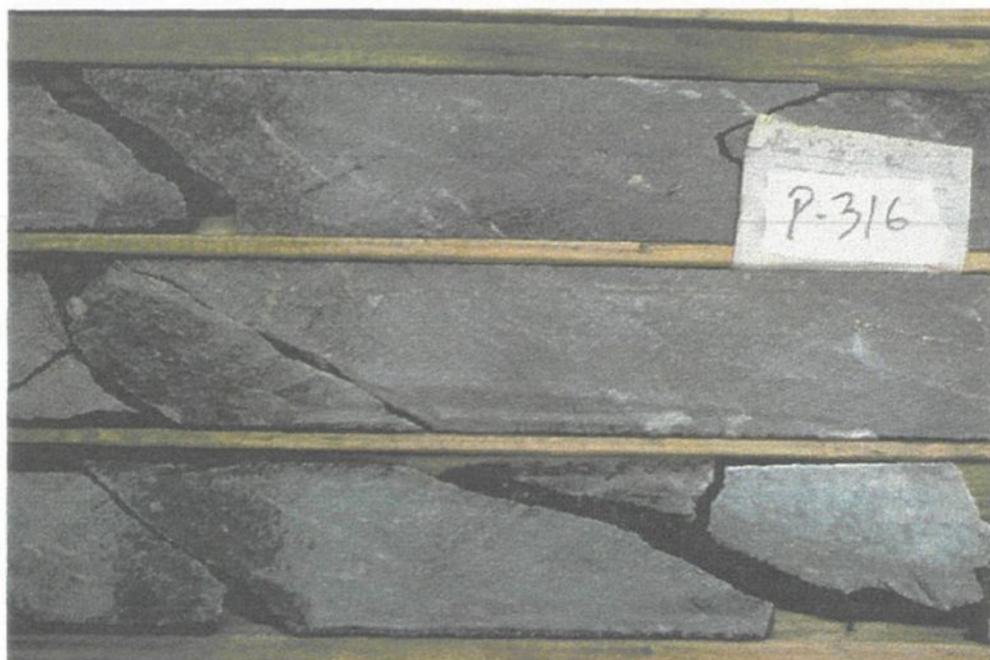


A. Or en inclusions dans une plage de CP (L12+67E 2+45S). B. Or libre dans une bande de séricite affectée par la schistosité S2 (LGS97-53, 69,5 m). C. Or dans un grain de PY, en amas isolés ou dans les fissures (LGS97-53, 69,5 m). D. Or dans un grain de SP et de CP, en amas et dans les fissures (LGS97-53, 107,8 m). Au = Or, PY = pyrite, CP = chalcoppyrite, SP = sphalérite, HM = hémateite. Lumière réféechie naturelle.

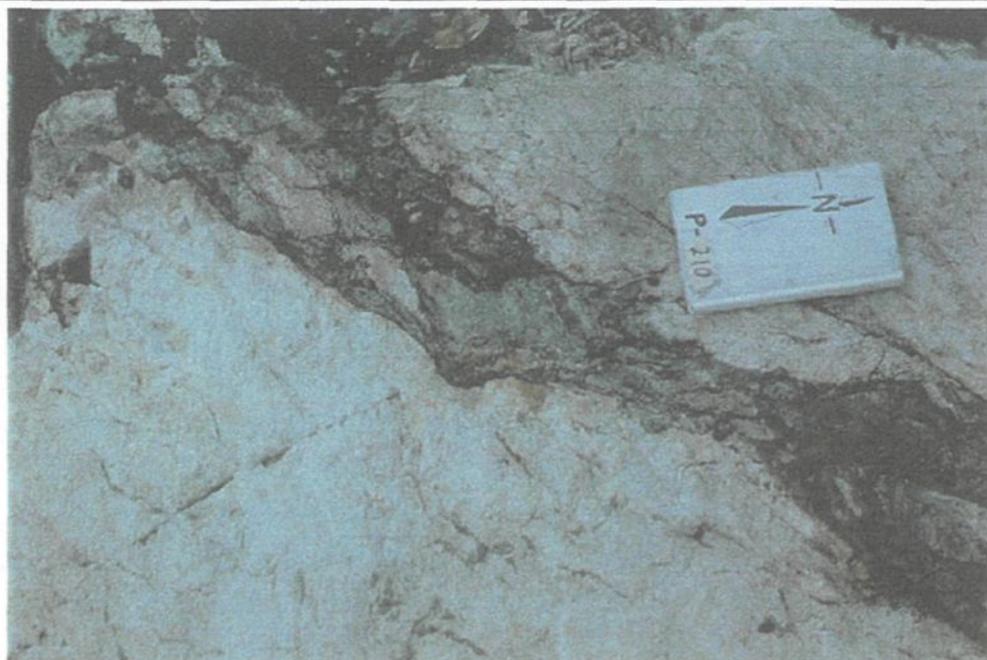
Planche 18. Les différents habitus de l'or à la Zone 32.



A. Sulfures et tellurures dans la tonalite, Zone 32. TE = tellurures, CP = chalcopyrite, SP = sphalérite. Lumière réfléchie naturelle. Forage LGS97-48, 11,5 m.



B. Minéralisation disséminée et en amas dans une diorite reprise par la déformation intense D2. Forage LGS97-98, 153,5 m. Carottes de 4 cm de diamètre.



A. Brèche hydrothermale à biotite recoupant la tonalite à l'indice Mico-Milan. Les fragments de tonalite à l'intérieur de la brèche sont en voie d'assimilation (couleur grisâtre). Présence de sulfures dans la brèche. Carnet 15 cm indiquant le nord. L11+40E 1+20N.



B. Brèche hydrothermale recoupant la tonalite à l'indice Pari. Les fragments de tonalite et les bandes enrichies en sulfures définissent une fabrique antérieure à la fabrique principale S2. Carnet 15 cm indiquant l'EST. L22+23E 2+19N.

Planche 20. Brèches hydrothermales des indices Mico-Milan et Pari.

textures de recristallisation et est bordée par une ombre de pression où le quartz s'est développé (planche 22). Ces observations supposent une mise en place de la minéralisation disséminée avant ou pendant l'épisode de déformation D2. Toutefois, la brèche caractérisant l'indice Pari (figure 25) est beaucoup plus importante que celle reconnue à l'indice Mico-Milan autant par sa taille que par la minéralisation qui lui est associée (planche 20). Ces structures contiennent de nombreux fragments de tonalite déformée (S1) partiellement à fortement ingérés. La fabrique S2 affecte fortement ces zones et transpose les contacts entre la brèche et la tonalite. Une fabrique antérieure à S2 (S1) est localement reconnue dans la matrice et certains fragments de tonalite sont allongés et plissés par la fabrique S2. La minéralisation à l'intérieur de la brèche prend la forme de grains de sulfures (pyrite et chalcopirite) disséminés formant localement des traînées de grains parallèles à la fabrique S1. Ces observations laissent croire que la distribution de la minéralisation est affectée ou contrôlée par la fabrique précoce (planche 21).

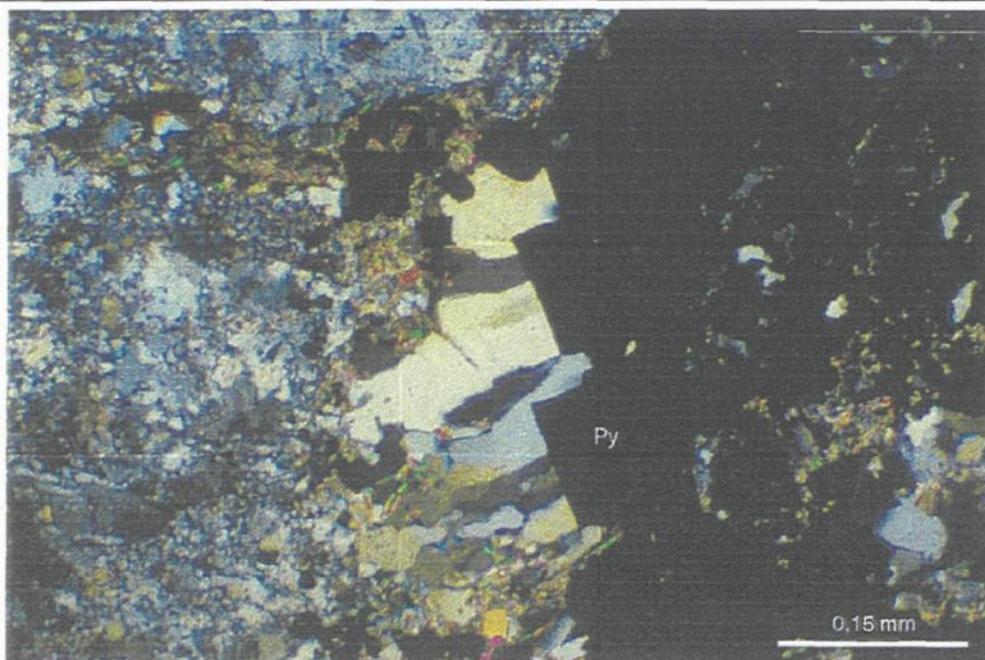
#### **4.3.2 Veinules à sulfures**

Le second type de minéralisation, observé plus particulièrement au gîte Zone 32 et aux indices Mico-Milan et Brèche, se caractérise par des veinules ou encore des amas centimétriques de sulfures. Ces veinules, d'épaisseur millimétrique, se retrouvent aussi bien dans la tonalite que dans le gabbro, les diorites ou les dykes de lamprophyre. Ce type de minéralisation est peu important puisque ces veinules sont peu abondantes et d'épaisseur très limitée. Les principales phases composant ce type de minéralisation sont, par ordre

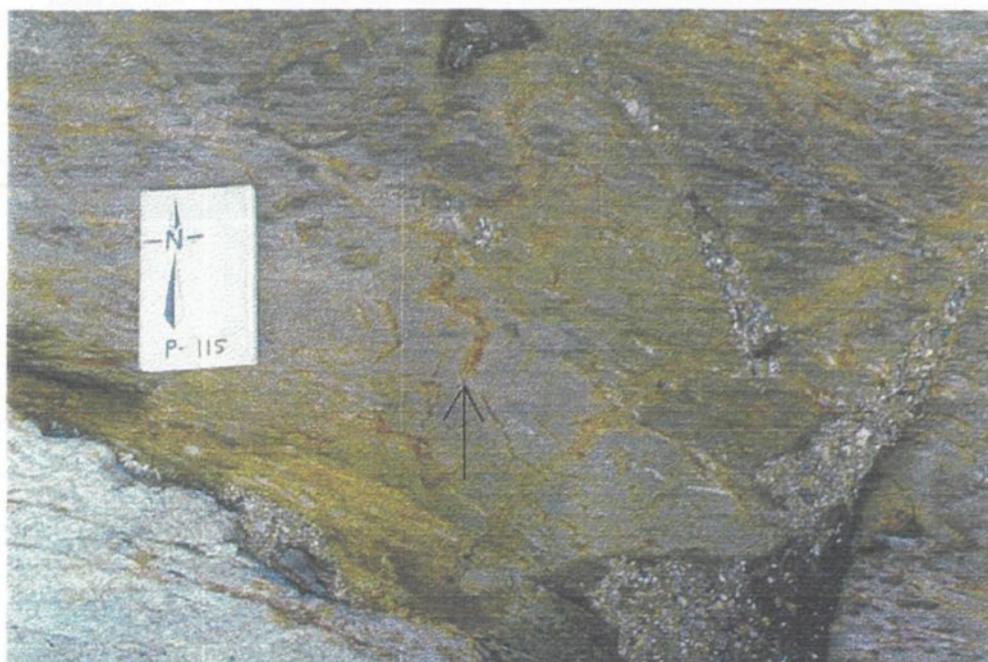


Mosaïque montrant une brèche hydrothermale dans la partie ouest de la tonalite. Un fragment de tonalite est visible dans le coin inférieur droit et des grains de quartz de la tonalite assimilée sont visibles dans la brèche. Ces grains reliques soulignent la fabrique S1 alors que la biotite composant la brèche est alignée dans la schistosité S2. Certaines trainées de minéraux opaques sont alignées dans la première fabrique (flèche). Lumière transmise. Plan YZ. L22+25E 2+20N.

Planche 21 . Relation entre la bréchification et les fabriques.



A. Ombres de pression en bordure de grains de pyrite dans la Zone 32. Forage LGS97-48, 31,5 m. Lumière transmise polarisée.



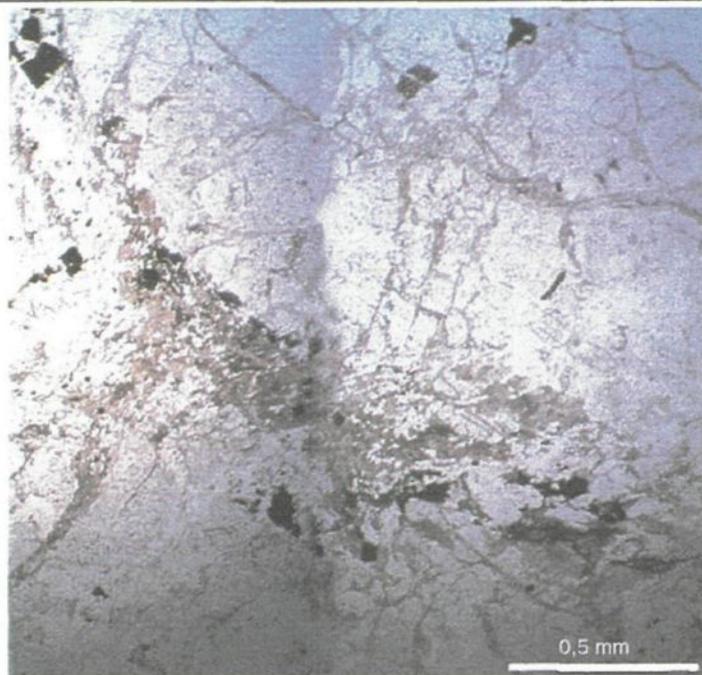
B. Filonets de pyrite dans un dyke de gabbro de la Zone 32. Les filonets sont affectés par la déformation D2 (S2) et montrent une orientation moyenne N-S. Carnet 15 cm indiquant le nord. L13+50E 2+60S.

Planche 22. Relations entre la déformation D2 et la minéralisation à la Zone 32.

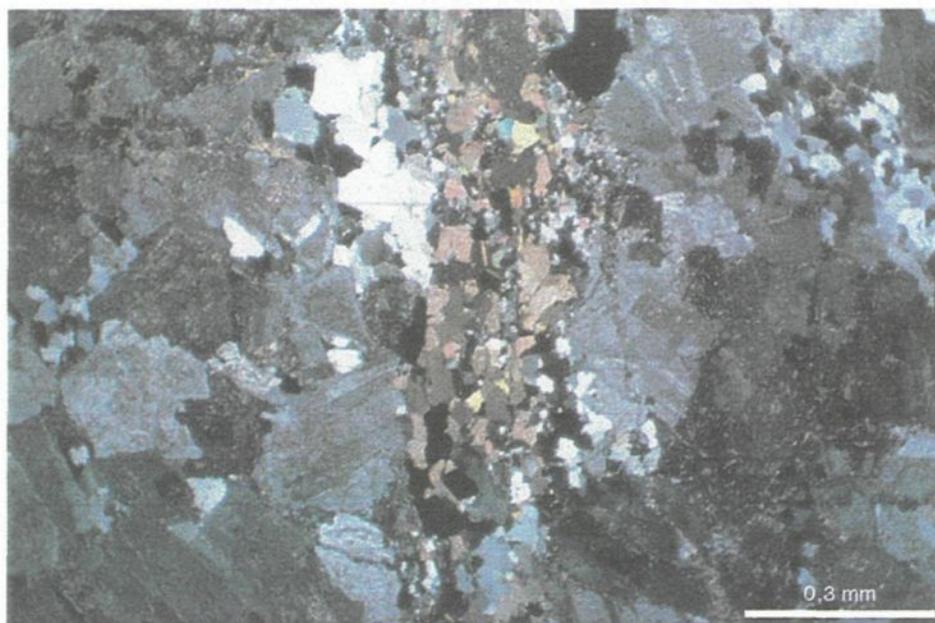
d'importance, la pyrite, la chalcopryrite et la sphalérite, bien que de l'arsénopyrite soit également reconnue localement. Ces concentrations de sulfures sont également affectées par un fort cisaillement, les rendant généralement parallèles au couloir de cisaillement, bien que, dans certains cas, ces veinules sont tout simplement plissées par la fabrique S2 (planche 22). Ces veinules plissées ont probablement été formées avant le cisaillement, mais certaines veinules sans continuité et les amas dans la tonalite sont possiblement le résultat de la remobilisation de sulfures disséminés lors de l'épisode de cisaillement. Dans le cas de l'indice Brèche, ces veinules se retrouvent dans le dyke de lamprophyre et forment un réseau orthogonal très local résultant probablement de la remobilisation de sulfures (pyrite) dans des fractures tardives.

#### **4.3.3 Veinules à carbonate et quartz**

Le troisième type de minéralisation rencontré est constitué de veinules à carbonate et quartz. Ce type de minéralisation, bien que beaucoup moins important que le type à sulfures disséminés, est particulièrement bien développé au gîte Zone 32 et est également observé aux indices Mico-Milan, Pari et Brèche. Ces veinules, d'épaisseur millimétrique, sont généralement d'attitude très irrégulière, de faible continuité et elles présentent souvent des épontes carbonatées. De plus, elles se retrouvent dans les zones très fortement altérées (séricitisation et carbonatation). Elles sont difficilement observables en mégascopie, d'abord à cause de leur très petite taille et ensuite parce qu'elles sont associées à des zones



A. Association spatiale entre les veinules à carbonates, quartz et séricite et les sulfures dans une zone faiblement déformée et peu altérée. Lumière transmise naturelle. Forage LGS97-48, 20,2 m.



B. Association spatiale entre les veinules à carbonates, quartz et séricite et les sulfures dans une zone très faiblement altérée et épargnée par la schistosité S2. La veinule recoupe un grain de quartz allongé dans la schistosité S1. Lumière polarisée. Forage LGS97-106, 5,0 m.

Planche 23. Association entre sulfures et veinules à carbonates.

de forte altération et de déformation importante. Exceptionnellement, de fines veinules à carbonate et quartz sont reconnues dans des zones très faiblement altérées et déformées.

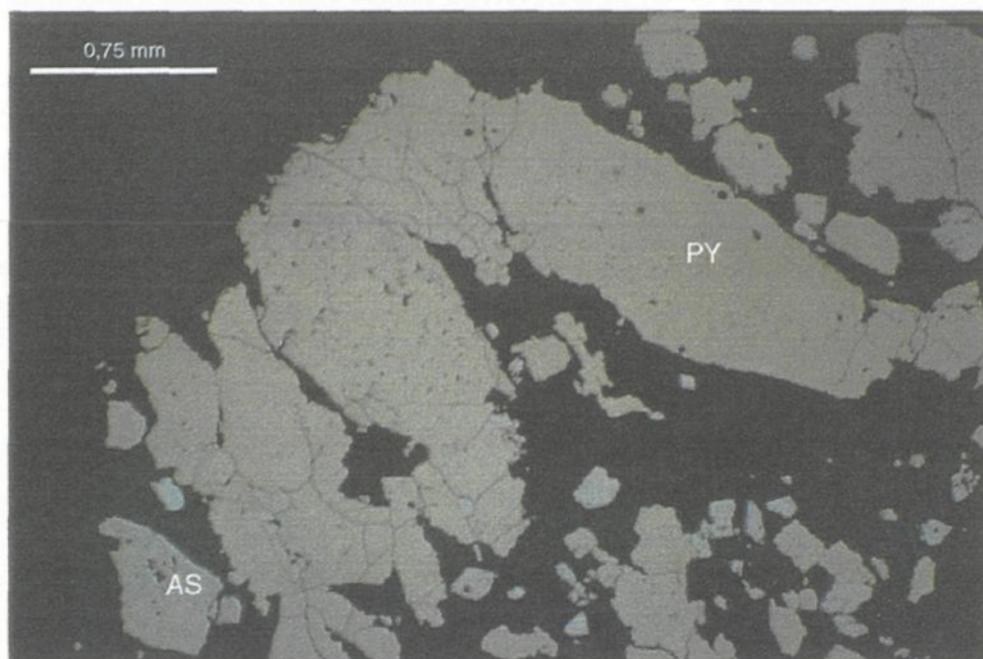
La minéralisation dans ces veinules se présente sous forme de grains fins de sulfures isolés ou en amas de quelques cristaux (planche 23). Les principales phases reconnues dans ce type de minéralisation sont la pyrite, la chalcopryrite, la sphalérite et, parfois, l'arsénopyrite et la pyrrothite. L'or se retrouve en association avec les sulfures, en inclusion dans ceux-ci, dans les fractures ou encore sous forme libre à proximité de grains de pyrite et de chalcopryrite.

#### **4.3.4 Stockwerk à sulfures**

La minéralisation du type stockwerk à sulfures se rencontre à l'indice Mico-Milan. Il s'agit d'un réseau dense de veines et veinules à sulfures recoupant la tonalite (planche 24A) qui s'étend sur moins de 10 mètres avec une orientation préférentielle E-O. Ces veines et veinules varient en épaisseur de quelques millimètres à plus de dix millimètres et elles sont généralement de faible longueur, formant plutôt un réseau anastomosé à maille décimétrique. Les veines constituant ce stockwerk sont composées essentiellement de pyrite, chalcopryrite et arsénopyrite. L'arsénopyrite est particulièrement abondante, pouvant constituer plus de 50 % du matériel dans les veinules. L'orientation préférentielle E-O est le résultat de la transposition par la fabrique S2 affectant la tonalite car une orientation grossièrement N-S définie par les grains de sulfures est observée en lame mince. En effet,



A. Minéralisation en sulfures (pyrite, chalcoppyrite et arsénopyrite) de l'indice Mico-Milan sous forme de stockwerk dans la tonalite. Carnet 15 cm indiquant le nord. L11+45E 0+50N.



B. Grains de pyrite définissant une fabrique primaire (S1) plissés lors de la déformation D2 et non recristallisés. Sulfures faisant partie d'une minéralisation en filonets. PY = pyrite, AS = arsénopyrite. Lumière réfléchie, plan YZ. L11+44E 0+57N

Planche 24. Minéralisation sous forme de stockwerk à sulfures.

les grains de pyrite et d'arsénopyrite dans ces veinules sont allongés, rubanés ou alignés et sont plissés ou crénelés individuellement par la fabrique S2, sans toutefois être recristallisés (planche 24B), ce qui confirme la déformation à l'état solide d'une structure déjà existante définie par les sulfures.

#### **4.3.5 Veines et veinules à quartz – tourmaline et sulfures**

Des veines à quartz et tourmaline sont observées dans toute la Tonalite LGS mais celles qui, minéralisées, définissent plus particulièrement ce type de minéralisation, se retrouvent au gîte Zone 32, à l'indice Mico-Milan et, de façon plus importante, à l'indice Zone Veine. L'importance de ces veines est grandement variable, certaines étant continues sur plusieurs mètres, d'autres d'étendue très limitée, l'épaisseur variant de quelques millimètres à quelques dizaines de centimètres. L'abondance relative du quartz et de la tourmaline dans ces veines peut varier fortement, certaines contenant uniquement du quartz, d'autres seulement de la tourmaline.

De façon générale, trois familles de veines sont observées dans la tonalite. La première famille se compose de veines subverticales d'orientation moyenne N070 correspondant à l'attitude de la fabrique S2. Ces veines sont d'épaisseur millimétrique à centimétrique. Elles sont fortement affectées par la déformation D2 (boudinées et plissées). Elles peuvent contenir des sulfures (pyrite, chalcopryrite, arsénopyrite et sphalérite) disséminés ou en amas avec de l'or visible. La seconde famille se compose de veines sub-horizontales et

subverticales d'épaisseur centimétrique à décimétrique. Les veines sub-horizontales sont communément plissées selon un axe sub-horizotal E-O, alors que celles subverticales sont localement boudinées et demembrées dans la fabrique S2. Des sulfures et de la chlorite cristalline sont parfois présents dans les veines aurifères, l'or visible étant parfois observé. Les épontes sont localement lessivées sur quelques centimètres de part et d'autre de ces veines. La troisième famille se caractérise par l'apparition de veines d'extension subverticales tardives à quartz  $\pm$  tourmaline venant recouper les veines des deux premières familles. La longueur de ces veines est généralement inférieure à un mètre alors que la largeur est inférieure à dix centimètres. Ces veines sont généralement orientées N-S ou NNO, ce qui suggère qu'elles se sont développées tardivement en réponse à la déformation D2.

Comme il vient d'être traité, ces veines, sans égard pour la famille à laquelle elles appartiennent, prennent diverses orientations en fonction de leur relation avec la déformation bien que les veines sub-horizontales soient dominantes. La projection sur stéréogrammes des mesures concernant l'attitude de ces veines est présentée à la figure 27. Ceci permet de constater que celles-ci sont sub-horizontales à subverticales et d'orientation variable (planche 25A). Les grands cercles illustrant la distribution des pôles représentant les veines sub-horizontales montrent qu'elles ont été déformées selon un schéma de plissement ouvert à axe sub-horizotal grossièrement orienté O-SO. Ces observations permettent de confirmer que les veines à quartz  $\pm$  tourmaline sub-horizontales se sont formées lors de l'extension verticale qui caractérise l'épisode de déformation D2. Ces

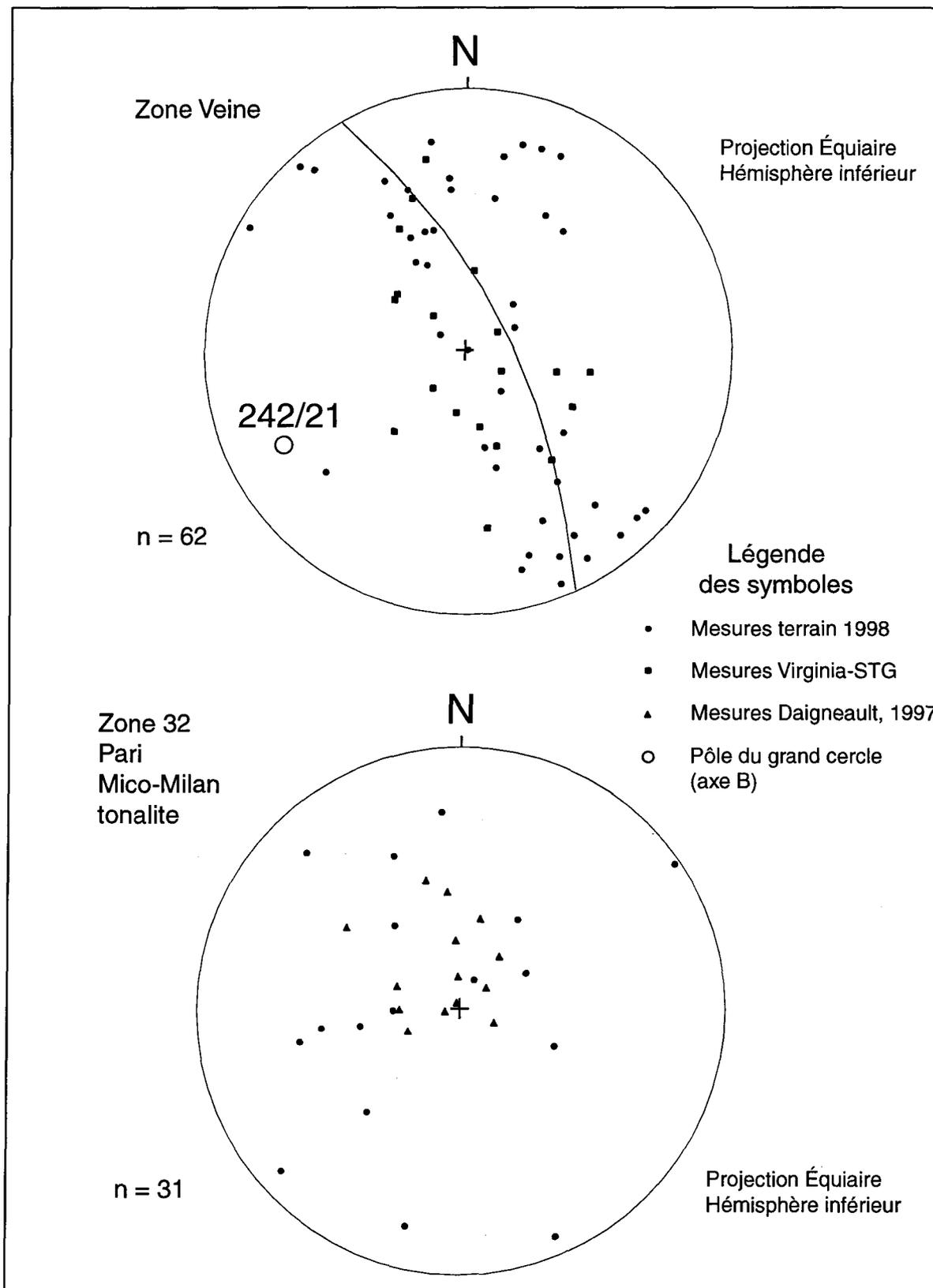
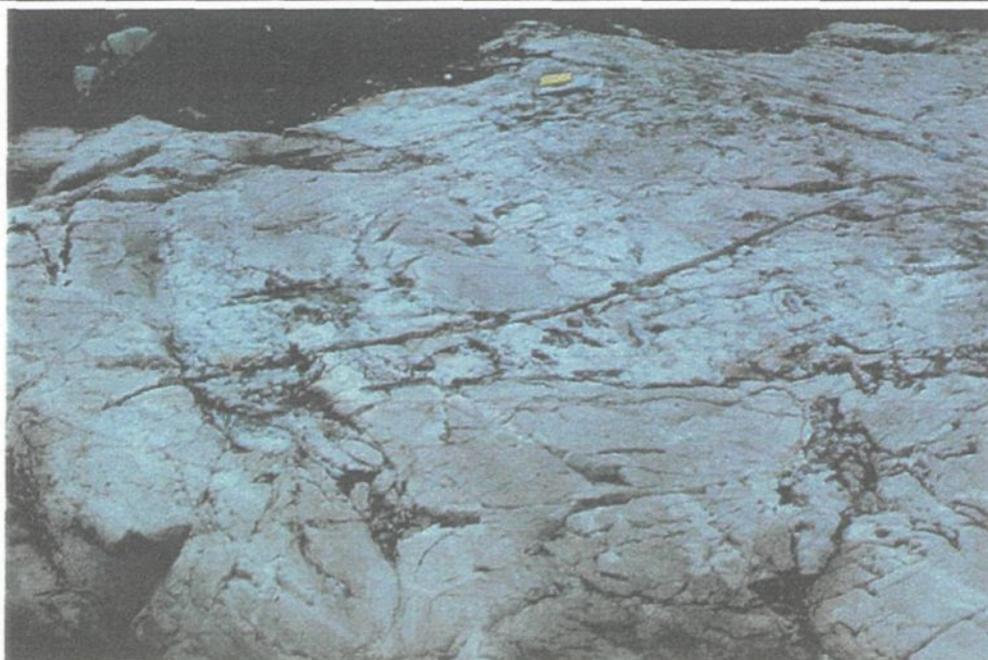
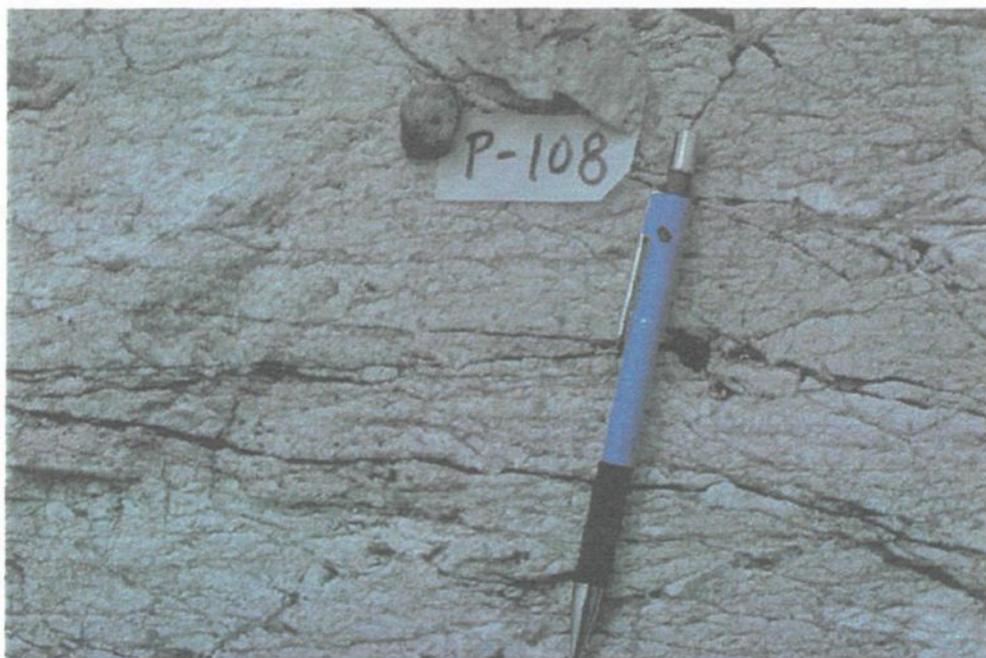


Figure 27. Stéréogrammes des veines à quartz et tourmaline.

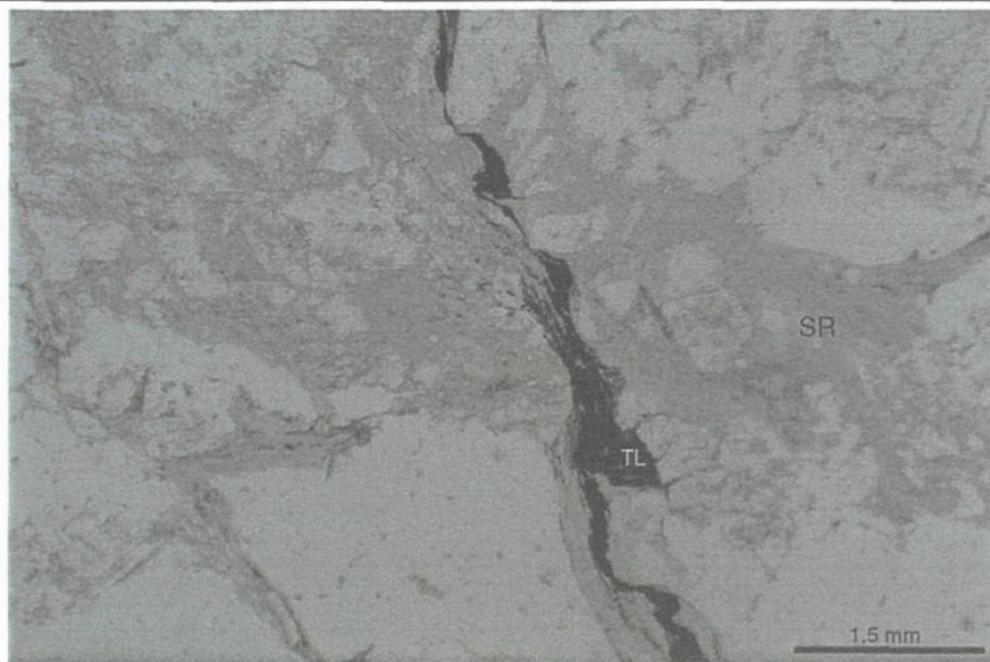


A. Veines à quartz et tourmaline subhorizontales affleurant à l'indice Zone Veine. Noter le blanchiment des épontes sur quelques centimètres.  
Vue vers l'ouest, champ approximatif de 4 m par 5 m. L13+40E 0+20S.



B. Réseau de veinules à quartz et tourmaline aurifères recoupant la fabrique S1 et plissées et transposées par la fabrique S2. Zone 32. Crayon 15 cm pointant vers le nord. L12+50E 2+55S.

Planche 25. Veines à quartz et tourmaline de l'indice Zone Veine.



A. Veinule à tourmaline TL (vert foncé) affectée par la schistosité S2 et recoupant de façon claire la zone d'altération en séricite (SR). Zone 32. Plan YZ en lumière naturelle. L14E 0+35S.



B. Veine à quartz et tourmaline affectée par S2 et recoupée par une veine de tension à quartz et tourmaline. Carnet 15 cm indiquant le nord. L27E 1+55S.

Planche 26. Mise en place des veines à quartz et tourmaline.

veines ont ensuite subi un plissement, lequel est également associé à D2. De plus, certaines veinules de ce système recoupent clairement la fabrique S1 ou les grains de quartz allongés la définissant (planche 25B). Des veinules à quartz et tourmaline recoupent clairement l'altération en séricite à la Zone 32 (ce dont il sera traité un peu plus loin), comme illustré à la planche 26A alors que des veines d'extension subverticales d'étendue limitée (troisième famille) recoupent les premières veines (première et seconde famille) de ce système (planche 26B).

Des tellures sont parfois reconnus dans les veines présentes à l'indice Zone 32 comme celles montrées à la planche 27A. L'or est de façon générale associé aux grains de sulfures, notamment à la Zone 32, mais se rencontre également sous forme de grains libres visibles, comme mentionné plus haut, dans les veines de la Zone Veine (planche 27B) et dans certaines veines à tourmaline à l'indice Mico-Milan.

#### **4.4 ASSOCIATIONS MÉTALLIQUES**

Pour tous ces types de minéralisation, il existe une corrélation entre les valeurs en or et les valeurs en cuivre. Afin d'illustrer ce phénomène, des profils le long de deux forages ont été réalisés. Ces deux forages (LGS97-56 et LGS97-103) traversent le couloir de déformation intense contenant la minéralisation de la Zone 32. Les figures 28 et 29 montrent ces profils auxquels a été joint, pour chacun des profils, un diagramme de corrélation des valeurs de cuivre et d'or. Ces diagrammes permettent de constater une



A. Veines de quartz et tourmaline contenant des quantités variables de pyrite, chalcopyrite et arsénopyrite. Ces veines sont transposées et boudinées par la fabrique S2. Zone 32. Carnet 15 cm indiquant le nord. L14+70E 2+45S.



B. Or visible avec pyrite dans une veine de quartz et tourmaline de l'indice Zone Veine. Carottes 4 cm de diamètre. Au = Or, PY = pyrite, TL = tourmaline.

Planche 27. Veines et veinules à quartz et tourmaline minéralisées.

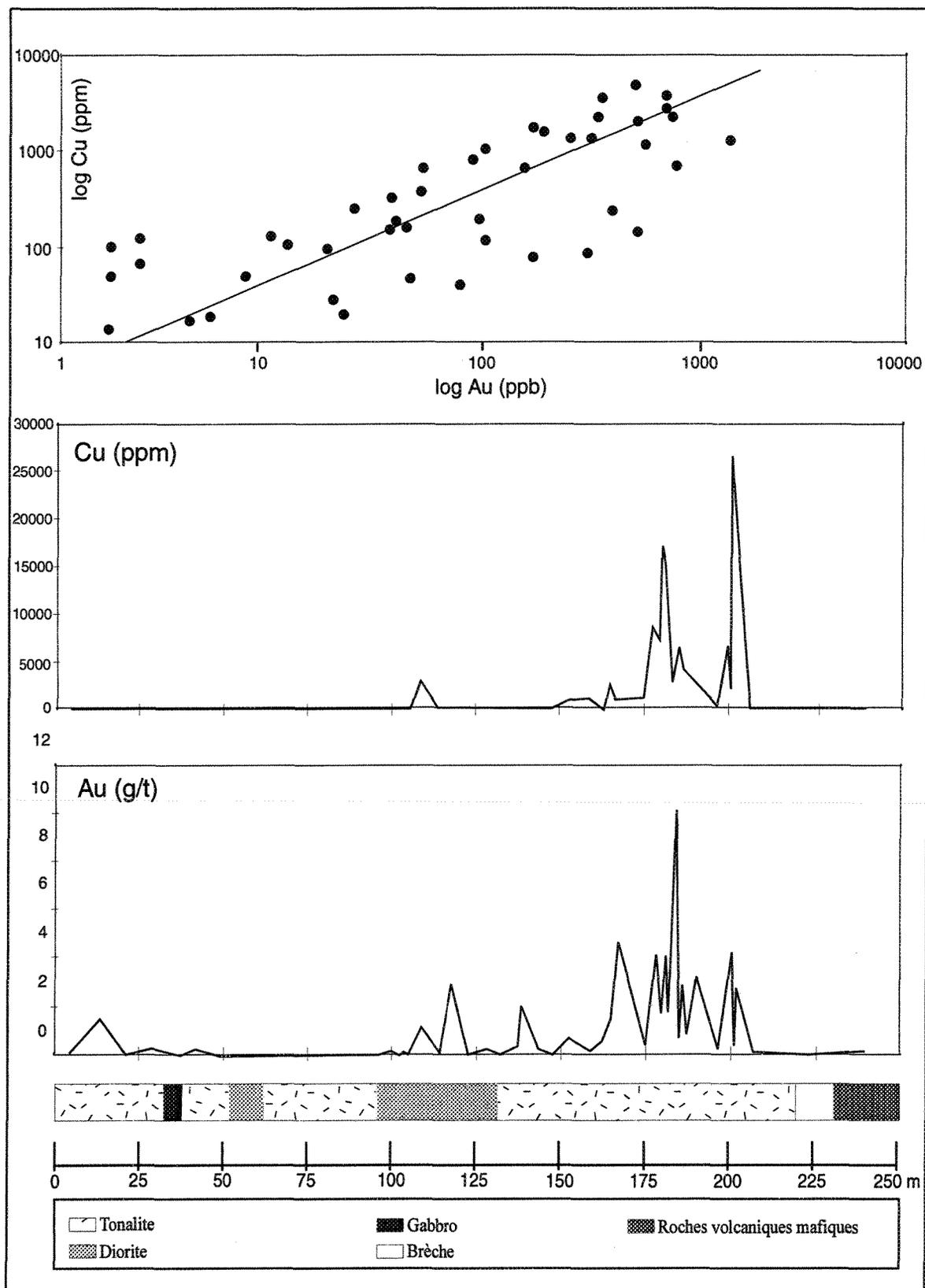


Figure 28. Profils montrant la distribution de l'Au et du Cu, forage LGS97-56.

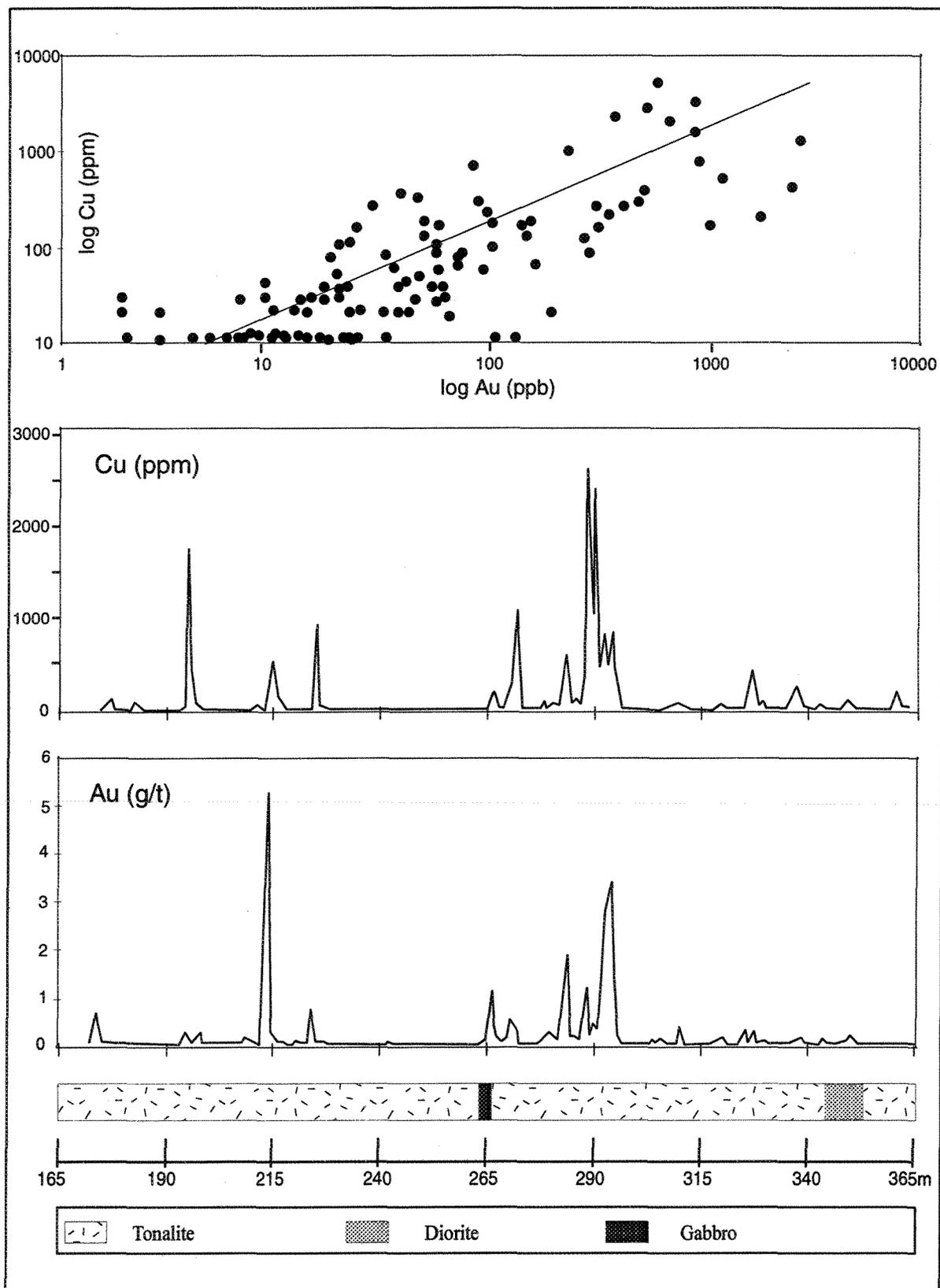


Figure 29. Profils montrant la distribution de l'Au et du Cu, forage LGS97-103.

corrélation directe entre les deux éléments puisque les échantillons se distribuent de façon linéaire avec une pente positive, et cela pour les deux forages. Cette corrélation est également illustrée par les profils, les pics de l'or correspondant presque parfaitement avec les pics de cuivre, encore un fois pour les deux forages.

Il semble que la corrélation entre l'or et les métaux autres que le cuivre soit beaucoup moins évidente (figure 30). Ainsi, il semble y avoir une très légère corrélation entre l'or et le zinc, confirmant la relation spatiale observée au microscope où des grains très fins d'or sont présents en inclusions dans certaines plages de sphalérite en exsolutions (ou remplacement) dans la chalcopyrite. Il n'y a toutefois pas de corrélation entre l'or et le molybdène qui est, dans presque tous les échantillons, sous la limite de détection. Il y a une corrélation un peu mieux définie entre l'or et l'argent, ainsi qu'entre l'or et le mercure, surtout pour les hautes valeurs. Il n'y a pas vraiment de relation entre les valeurs d'or et d'arsenic. Le même phénomène est observé avec l'antimoine, sauf peut-être pour les valeurs élevées.

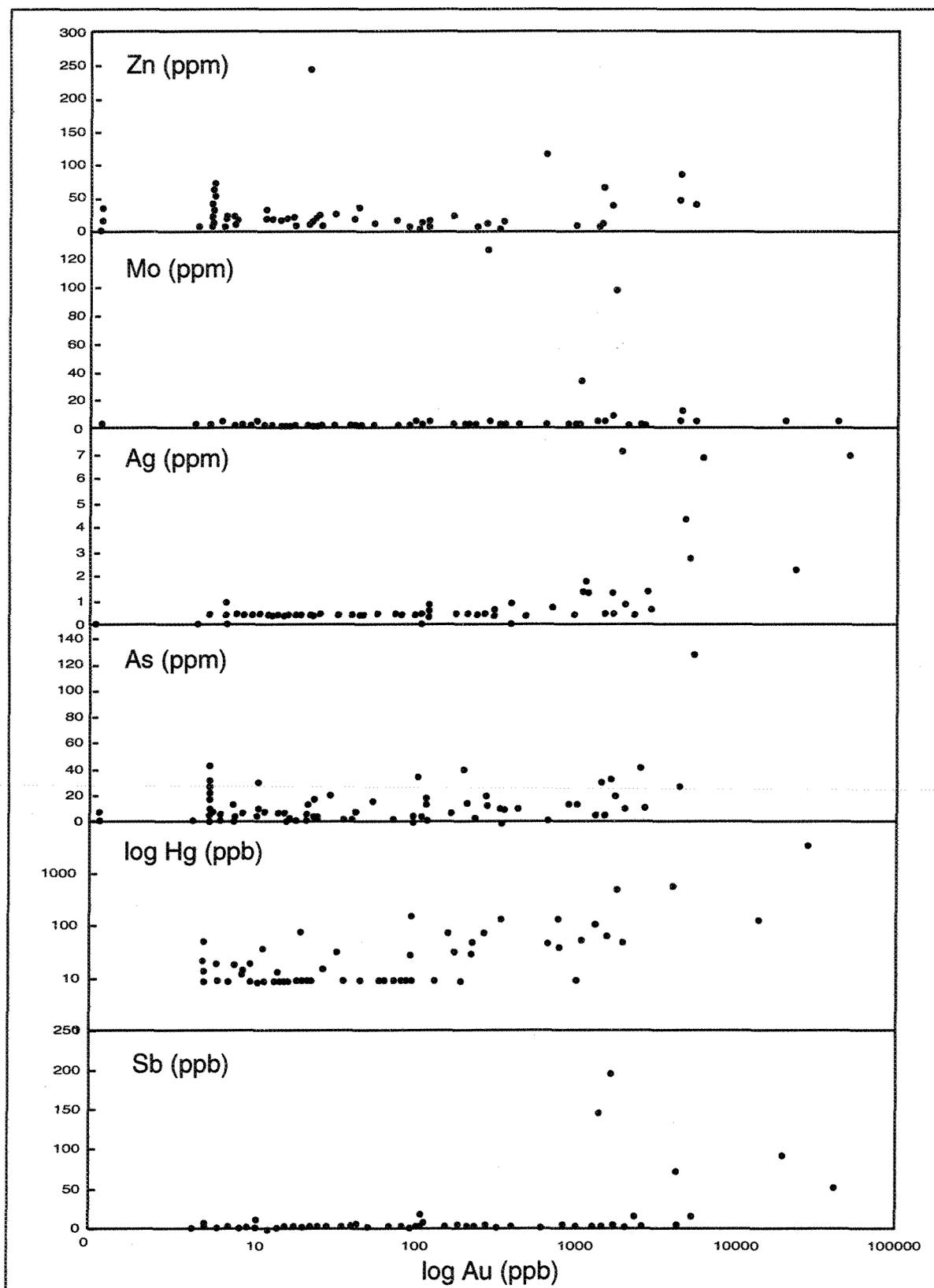


Figure 30. Corrélatons entre l'or et les métaux (terrain et forage LGS97-56).

## **CHAPITRE V**

### **CARACTÉRISATION ET DISTRIBUTION DES ALTÉRATIONS**

#### **5.1 INTRODUCTION**

La Tonalite LGS est caractérisée par divers assemblages minéralogiques attribuables à un ou plusieurs épisodes d'altération hydrothermale. Ces altérations sont développées, à divers degrés, dans toute l'intrusion, mais certains minéraux sont particulièrement abondants dans certains secteurs de la tonalite. Ces secteurs coïncident dans la plupart des cas avec les zones minéralisées présentées dans le chapitre précédent, suggérant fortement un lien entre certaines altérations et les minéralisations. Il est donc impératif de reconnaître la signature et la distribution de ces altérations dans la Tonalite LGS, ce qui constitue l'objet principal de ce chapitre.

#### **5.2 MINÉRALOGIE DES ALTÉRATIONS**

##### **5.2.1 Biotitisation**

L'altération en biotite reconnue dans le secteur étudié prend différentes formes en fonction du protolite affecté et du contenu initial en fer et en magnésium de ces lithologies.

Ainsi, des cristaux de biotite formant des amas fins et peu abondants se développent dans certains secteurs de la tonalite. L'abondance de ce minéral peut varier. Ainsi, il est possible d'avoir près de 10 % de biotite dans certains horizons de roches volcaniques, dans les diorites ou les gabbros. Il peut également y avoir plus de 5 % de biotite dans certains échantillons de tonalite. La figure 31 présentée au chapitre 2 montre la répartition de la biotite à l'intérieur de la Tonalite LGS, illustrant ainsi l'étendue de la biotitisation. Celle-ci se concentre au coeur de l'intrusion, dans un secteur préservé de la déformation D2. Cette biotite contient communément de nombreuses inclusions de rutile, ce qui appuie l'hypothèse de l'origine hydrothermale pour cette phase (Thompson et Thompson, 1996).

La biotite hydrothermale est également observée dans les dykes de gabbro recoupant la tonalite et dans les diorites à la Zone 32. Cette biotite est généralement fine et peut constituer plus de 5 % de la roche. Elle est localement faiblement à fortement chloritisée. Des zones à biotite fine sont aussi observées dans les roches volcaniques à la bordure ouest de la tonalite.

Un type particulier d'altération en biotite est reconnu aux indices Pari, Mico-Milan et Brèche. À ces endroits, la biotitisation est à l'origine du remplacement de la matrice des brèches hydrothermales par de la biotite, qui compose localement plus de 75% du matériel de remplissage de la zone de brèche et qui contient du rutile. La planche 21 montre ces zones de biotitisation intense. Ces brèches, en plus d'être observées à l'intérieur de la Tonalite LGS, sont également reconnues dans la séquence encaissante à proximité de la

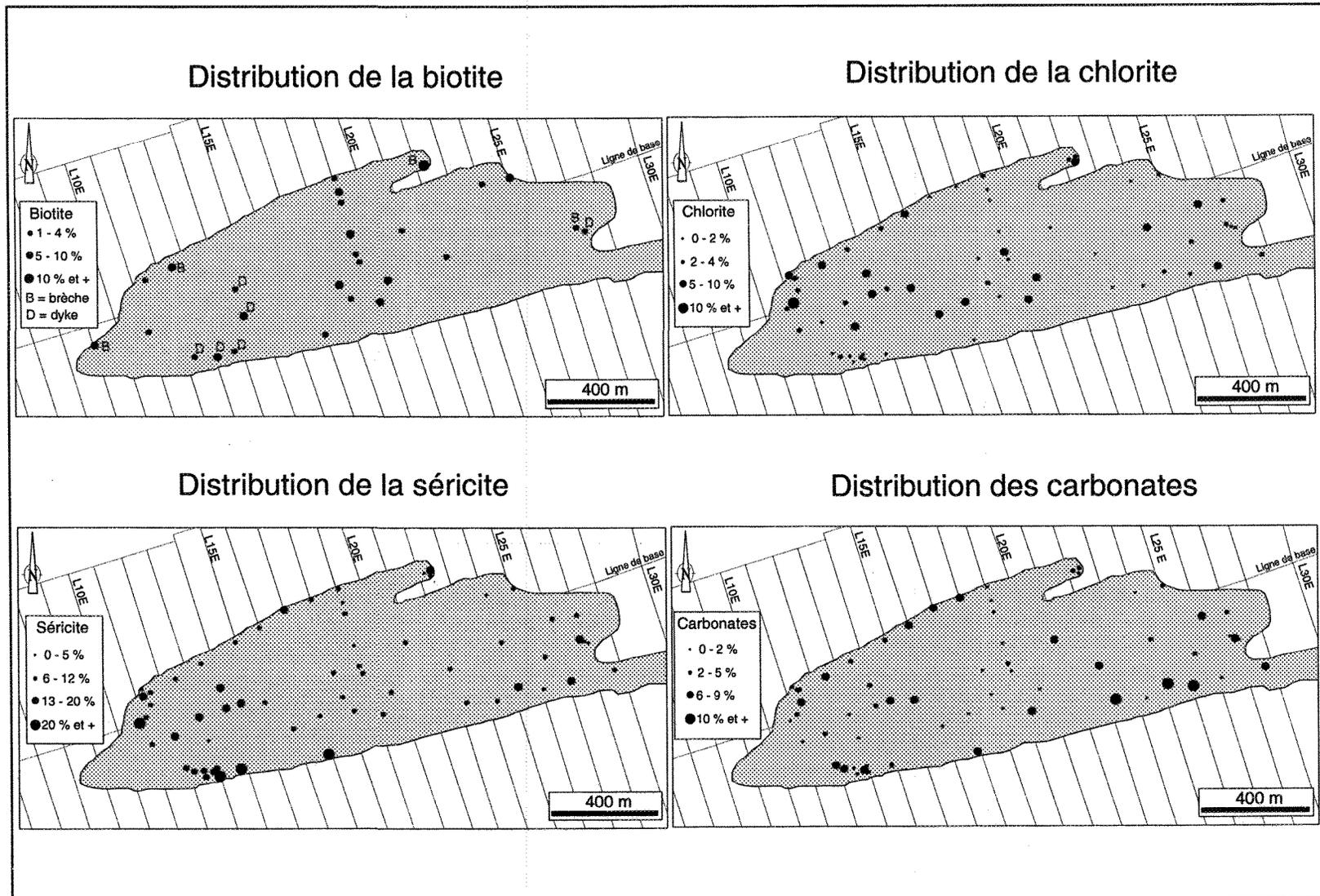


Figure 31. Distribution et abondance des minéraux d'altération (évaluation au microscope et sur le terrain).

tonalite. Le contact entre la tonalite et les roches encaissantes est parfois recoupé par ces structures, notamment à l'indice Pari, hôte de la plus importante zone de brèche. Localement les fragments de tonalite se retrouvant dans la brèche sont partiellement à presque totalement assimilés par la matrice (biotite) et seuls les xénocristaux de quartz et de minéraux opaques témoignent de la présence de fragments de l'encaissant.

La matrice de ces brèches se reconnaît par sa couleur gris foncé brunâtre et par l'abondance de biotite (5 à plus de 50 %) en cristaux de 1 à 2 millimètres de diamètre. Le plagioclase, le carbonate, la chlorite, les minéraux opaques et l'épidote finement grenus sont également reconnus dans la phase matricielle.

Cinq échantillons provenant des brèches de l'indice Pari (4 échantillons) et de l'indice Mico-Milan (1 échantillon) ont été analysés. Les échantillons provenant de l'indice Pari montrent une composition hétérogène qui peut être expliquée par l'ingestion de fragments de tonalite. L'échantillon provenant de l'indice Mico-Milan se démarque de façon importante de ceux de l'indice Pari autant par sa teneur inférieure en  $\text{SiO}_2$  que par sa concentration plus faible en Zr (figure 32). Cette observation peut s'expliquer de deux façons, soit que les deux brèches ne sont pas reliées au même système, soit que la brèche de l'indice Mico-Milan a assimilé moins de fragments de tonalite lors de sa mise en place. Comme cette dernière structure est beaucoup moins large que celle de l'indice Pari, la seconde hypothèse s'avère plausible.

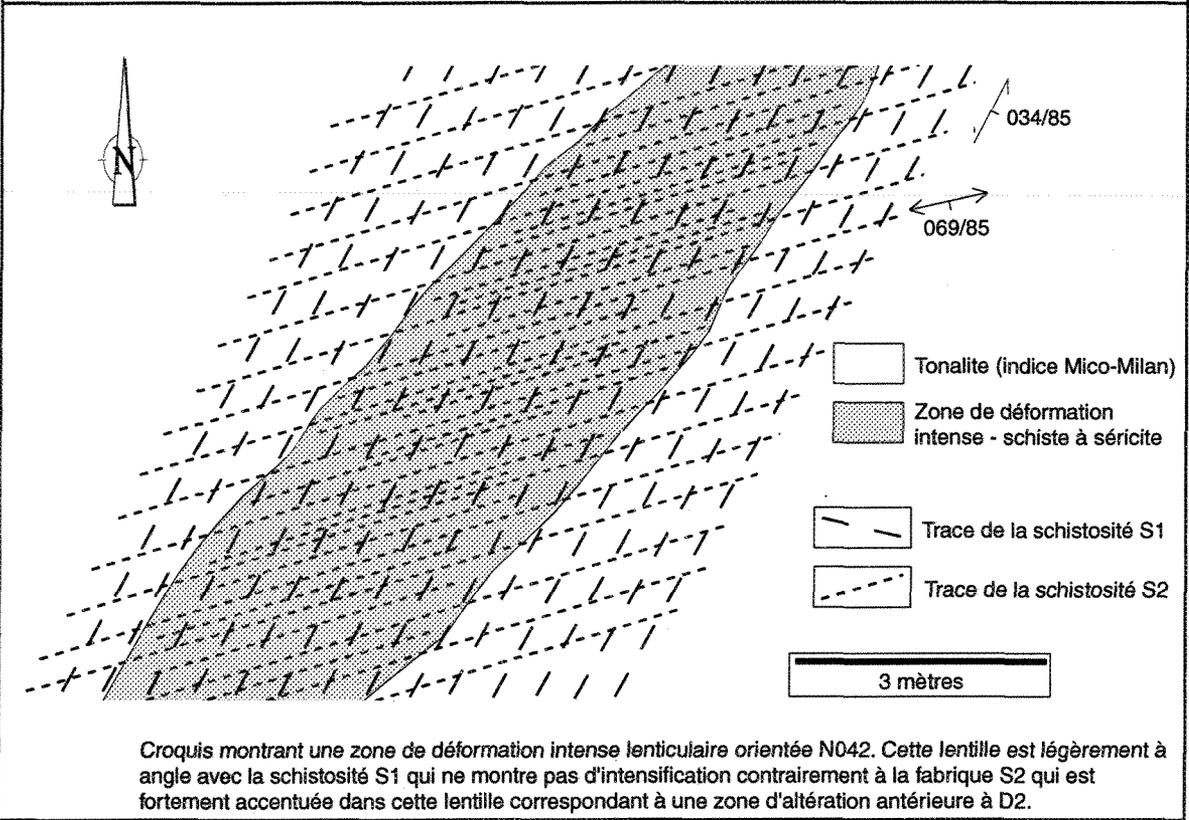
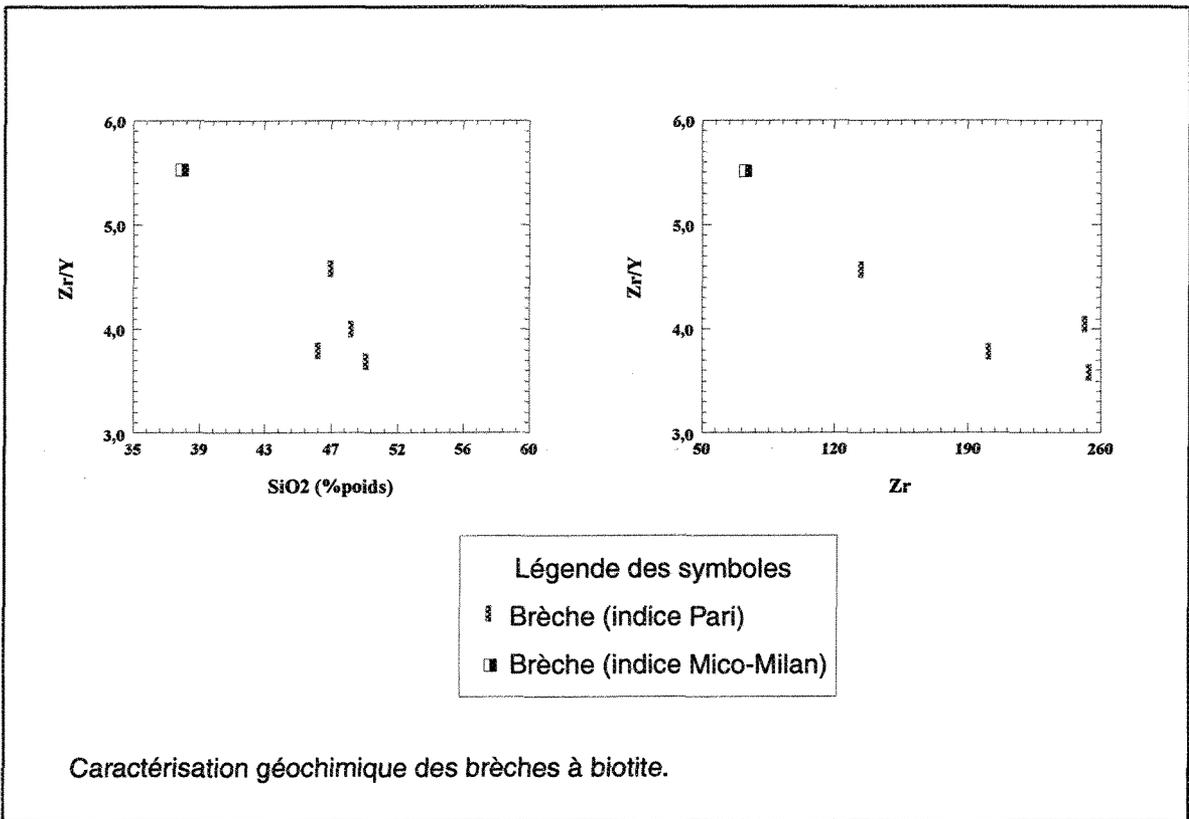


Figure 32. Biotitisation (brèches) et séricitisation.

### 5.2.2 Épidotisation

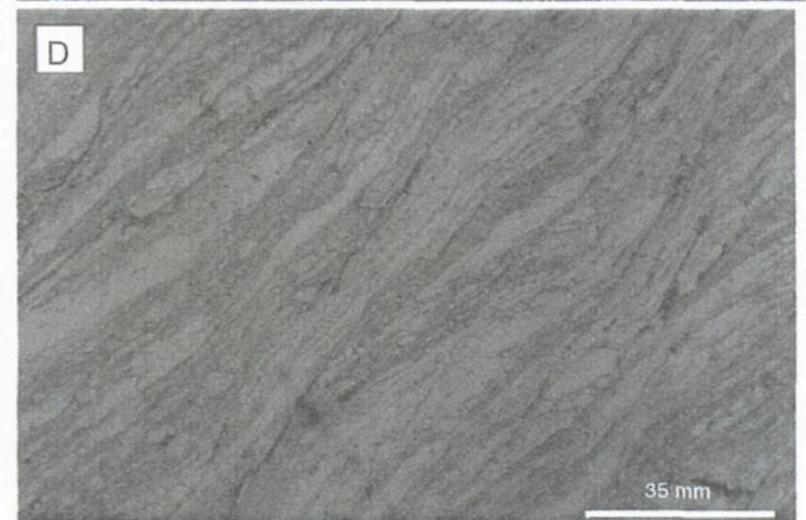
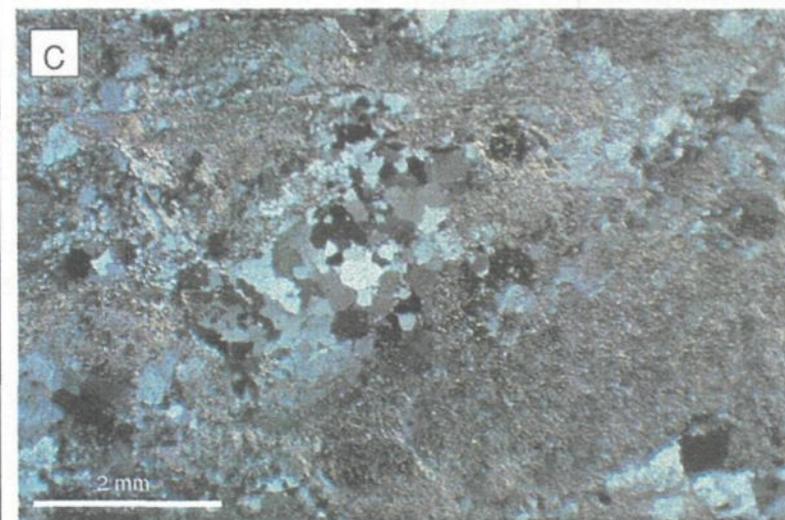
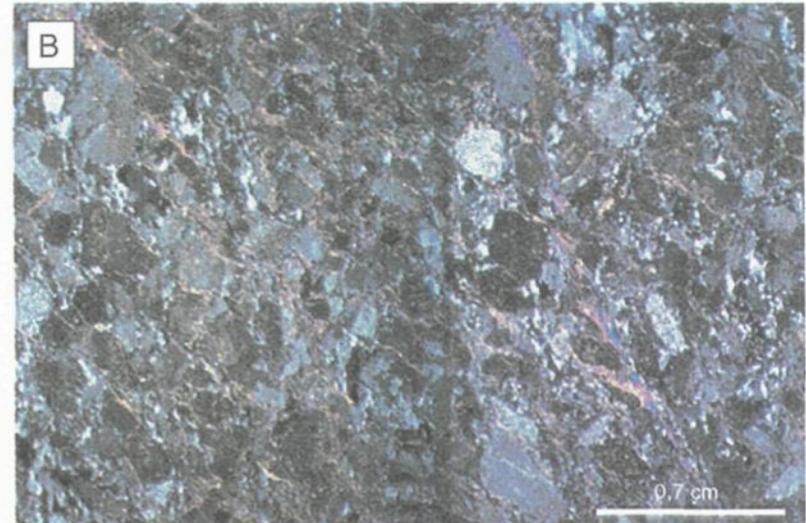
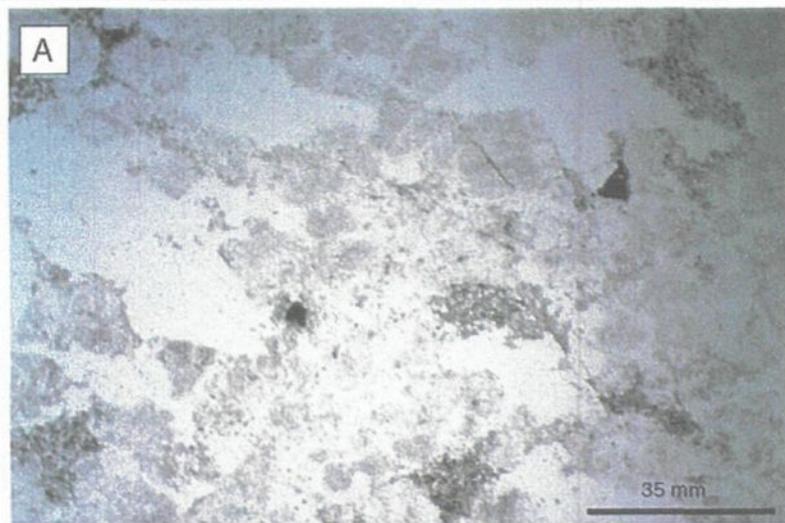
Des amas irréguliers de diamètre millimétrique d'épidote (pistachite) sont observés dans la tonalite lorsque celle-ci contient de la biotite, ces deux minéraux étant liés spatialement. À l'échelle de l'intrusion, l'épidote se distribue donc à peu près de la même façon que la biotite, c'est-à-dire surtout dans la partie centrale de la tonalite mais aussi dans certaines zones à chlorite. Cette épidote peut constituer jusqu'à 5 % de la roche dans certains cas. Ce minéral peut aussi bien être le résultat de l'altération métamorphique comme de l'altération hydrothermale mais le fait qu'il soit associé à la biotite à inclusions de rutile et qu'il soit en équilibre avec cette biotite suggère qu'il ait été formé suite à l'altération hydrothermale, probablement en remplacement d'un minéral primaire comme la hornblende. De l'épidote est également reconnue dans les roches volcaniques encaissant la tonalite, notamment au sud de l'intrusion. Dans ces roches, l'épidote est associée à l'actinote et est probablement d'origine métamorphique.

### 5.2.3 Séricitisation

La séricite, bien qu'observée également dans les roches mafiques, se concentre de façon beaucoup plus importante dans la tonalite. L'incertitude quant à la composition exacte de ce mica blanc ne permet pas de dire de quel type précis il s'agit, ce qui fait que le terme séricite est employé par défaut dans ce texte. Cette séricite est généralement filamenteuse ou en très fines paillettes associées au plagioclase. Son abondance peut varier

de 5 à 65 % suivant le secteur observé à l'intérieur de la tonalite. Les zones les plus fortement séricitisées se rencontrent en marge de l'intrusion, notamment au gîte Zone 32 et à l'indice Mico-Milan (figure 31). La morphologie de la séricite dépend tout d'abord de son abondance mais également de l'intensité de la déformation (planche 28). Il est possible de constater dans les échantillons peu ou pas déformés que la séricite forme un réseau de veinules microscopiques venant fracturer des grains de plagioclase. De façon générale, les roches plus fortement séricitisées tendent à être affectées de façon plus importante par la fabrique S2 qui s'accroît au contact des zones altérées, formant alors des zones d'étendue variable de schiste à séricite ou de phyllonite. La texture initiale de la roche est dans ce cas difficilement conservée. Par contre, l'intensité de la fabrique S1 ne semble pas accentuée à la rencontre de ces zones fortement séricitisées, comme illustré à la figure 32. Ultimement, l'altération séricitique intense ne laisse de la tonalite initiale que des plages de quartz résiduelles (planche 29A), certaines de ces plages pouvant être recoupées par de minces filonets de séricite.

Toutefois, dans ces zones de séricitisation très forte, il arrive que des fragments de tonalite soient partiellement épargnés par l'altération, laissant deviner un réseau anastomosé de veinules à séricite d'intensité variable. Ce phénomène est clairement illustré à la planche 29B où les bandes de séricite reprises par le cisaillement associés à D2 (S2/S3) forment un réseau entre des "îlots" de tonalite beaucoup moins altérée. Ce même phénomène est visible au microscope, comme illustré à la planche 30. Ce dernier exemple permet de confirmer les observations recueillies sur le terrain voulant que la schistosité S2



Photomicrographies montrant la séricitisation. A. Séricite métamorphique dans le plagioclase. Plan YZ en L.N. L24+10E 2+15S. B. Séricitisation hydrothermale du plagioclase et développement de filonets. Plan YZ en L.P. L13+05E 2+27S. C. Séricitisation importante et destruction des textures primaires. L.P. LGS97-56, 93,9 m. D. Schiste à séricite. Plan YZ en L.N. L10+97E 0+06N.

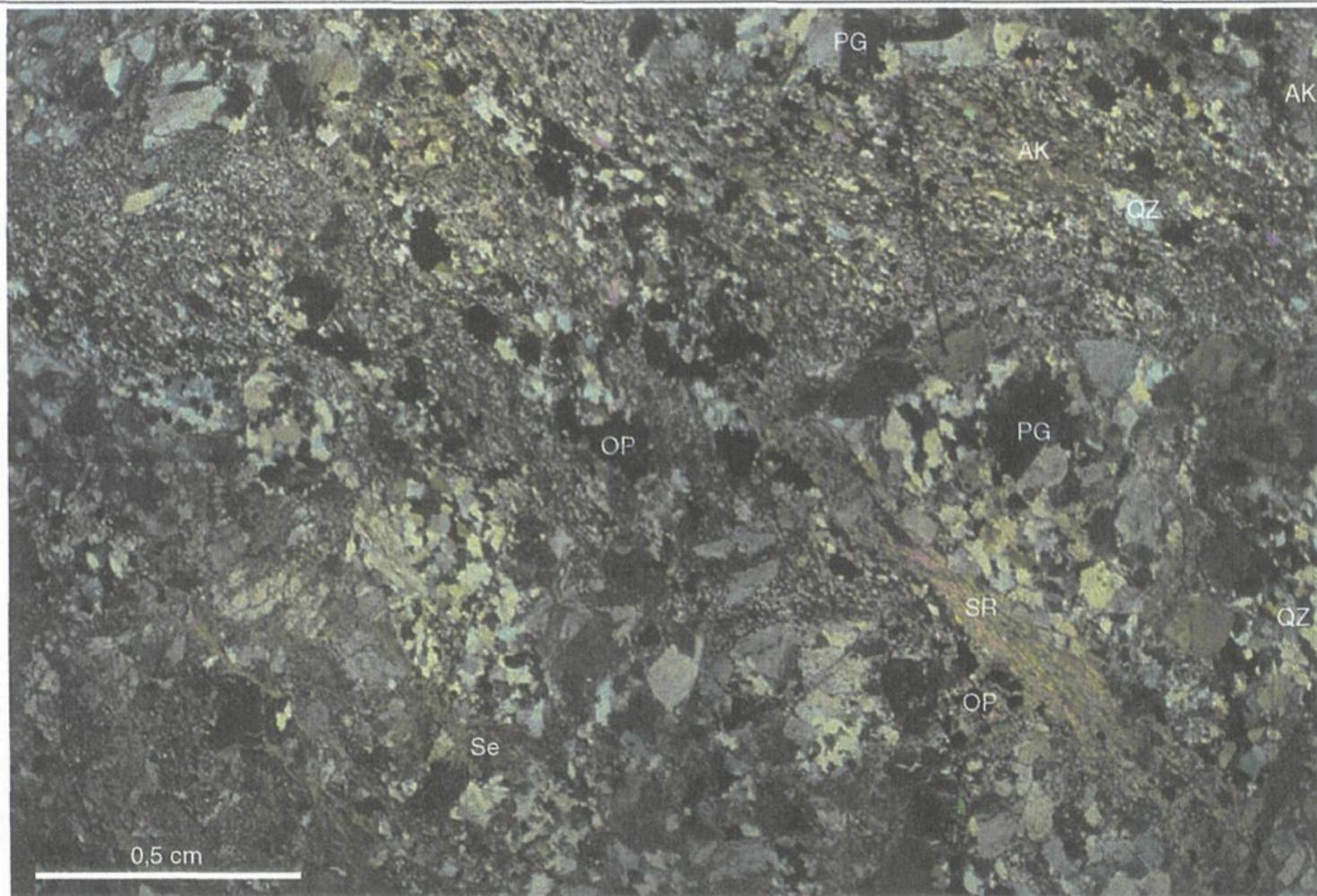
Planche 28. Illustration de la variation d'intensité de la séricitisation dans la Tonalite LGS.



A. Tonalite fortement séricitisée. Destruction du plagioclase par la séricite, quartz préservé. Déformation forte (schiste à séricite). Forage LGS97-98, 169,0 m. Carottes de 4 cm de diamètre.



B. Tonalite de la Zone 32 très fortement séricitisée avec quelques zones préservées de l'altération intense. Carnet 15 cm indiquant le nord. L12+45E 2+60S.



Photomicrographie montrant l'altération hydrothermale (SR = séricite, AK = carbonates et OP = minéraux opaques) dans la tonalite de la Zone 32. Des fragments ou des îlots de tonalite sont préservés (PG = plagioclase et QZ = quartz), les bandes à séricite venant buter sur ces fragments. La déformation semble modifier la distribution de la séricite dans certains secteurs. L.P. Forage LGS97-53, 69,5 m.

Planche 30. Distribution de l'altération dans la tonalite de la Zone 32.

s'intensifie dans les bandes à séricite et viennent buter sur les fragments ou les reliquats de tonalite "fraîche", laissant supposer une origine pré-D2 pour la séricitisation. Ceci implique que la relation spatiale constatée entre les secteurs fortement altérés en séricite et les zones de déformation montrant un fort développement des plans S2 est due à l'existence de zones d'altération séricitique intense pré-D2 présentant une compétence plus faible que la tonalite "fraîche" (anisotropie compositionnelle). La déformation D2 subséquente s'est concentrée dans ces zones affaiblies, entraînant la formation de zones de déformation D2 par partition de la déformation (Lister et Williams, 1983).

#### **5.2.4 Chloritisation**

La chlorite se rencontre communément sous forme disséminée ou encore en amas millimétriques disséminés dans les secteurs faiblement affectés par la chloritisation, alors qu'elle prend plutôt la forme de fines veinules dans les zones plus fortement altérées. Ces veinules forment localement des petits stockwerks d'étendue limitée. L'échantillon montré à la planche 31 illustre bien ce phénomène. La chlorite peut constituer jusqu'à 6 % de la tonalite et plus de 30 % dans les lithologies mafiques. Des veinules de chlorite, d'étendue décimétrique à métrique et d'épaisseur centimétrique sont observées à la Zone 32 en association spatiale avec des enclaves de roches volcaniques ou de dykes de gabbro. Ces veinules représentent peut-être des reliques de ces enclaves ayant été préférentiellement affectées par la chloritisation et la déformation. La figure 31 montre la distribution et l'abondance de la chlorite à l'intérieur de la Tonalite LGS.



A. Stockwerk à chlorite dans la tonalite. Forage LGS98-159, 38 m. Carottes de 4 cm de diamètre.



B. Chlorite (CL) se superposant à la biotite (BO) et au carbonate (CB) dans un dyke de gabbro de l'indice Mico-Milan. Plan YZ. Photomicrographie en lumière naturelle. L11+42E 0+75N.

Cette altération est affectée par la fabrique S2, au même titre que la biotitisation et la séricitisation, comme illustré à la planche 31B. Localement, la biotite hydrothermale montre une chloritisation partielle qui peut indiquer que la chloritisation est tardive par rapport à la biotitisation ou encore une altération rétrograde. Par contre, la séricitisation semble se superposer à la chloritisation puisque cette dernière, qui est beaucoup plus largement répandue mais moins prononcée dans la tonalite, n'est pas observée dans les zones de séricitisation intense. Toutefois, la chlorite et la séricite coexistent dans les zones d'altération modérée en séricite, ce qui suggère une mise en place contemporaine durant l'épisode d'altération avec possiblement une intensification de l'altération en séricite dans certains secteurs. Ainsi, la légère chloritisation de la biotite dans les lithologies mafiques représente peut-être un épisode de métamorphisme rétrograde postérieur à l'altération en biotite ou encore une superposition de la chloritisation hydrothermale sur la biotitisation.

### **5.2.5 Carbonatation**

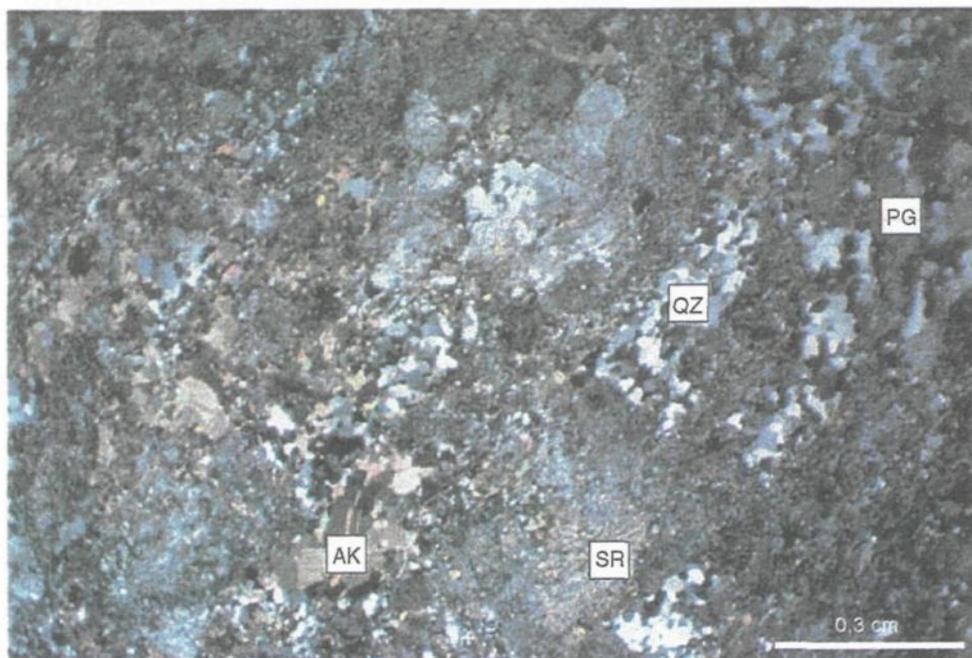
La carbonatation est caractérisée par la présence d'ankérite et de calcite, l'ankérite étant la phase dominante de cette altération, notamment dans la partie sud de la Tonalite LGS ainsi que dans les volcanites près du contact sud de la tonalite. La figure 31 illustre la distribution des carbonates à l'intérieur de l'intrusion. Bien que des concentrations notables de carbonates sont observées dans la partie nord de la tonalite, l'ankérite se concentre au sud, le nord de l'intrusion étant surtout caractérisé par de la calcite résultant de l'altération du plagioclase. L'ankérite, à granulométrie fine, donne une coloration orangée à la tonalite

en surface altérée (planche 32A). Au microscope, l'ankérite forme des amas diffus en relation avec la séricite (planche 32B) ou encore des veines d'épaisseur millimétrique contenant communément du quartz. Bien qu'associées spatialement, la séricite et l'ankérite n'ont pas la même distribution dans la tonalite, la carbonatation étant beaucoup moins étendue, se limitant à des zones de quelques mètres d'épaisseur au maximum dans lesquelles des veinules de carbonate et quartz sont communes. Dans les diorites et les gabbros, les carbonates sont plus abondants que dans la tonalite, ce qui est prévisible car ces roches contiennent idéalement beaucoup plus de fer et de magnésium, favorisant la fixation du CO<sub>2</sub> pour former un carbonate ferrifère.

L'altération en carbonate est affectée par la déformation D2, au même titre que les altérations présentées précédemment. Toutefois, les veinules à carbonate semblent localement recouper ou se superposer à la séricitisation, ce qui permet de proposer une mise en place des carbonates postérieure à la formation de la séricite. De plus, comme la carbonatation est bien développée, même dans les zones de forte séricitisation, supporte cette idée. Certaines veinules à carbonate recoupent des plages de quartz étirées définissant la fabrique S1, ce qui indique que la carbonatation est postérieure à la formation de la fabrique S1.



A. Tonalite ankéritisée (orangé) et légèrement hématisée (rosé) en cassure fraîche. Filonets de séricite et de chlorite (verdâtre foncé). Crayon pointant vers le nord comme échelle.



B. Photomicrographie montrant la tonalite ankéritisée et séricitisée. Les plagioclases sont partiellement à totalement détruits, alors que les grains de quartz sont préservés. Plan YZ en lumière polarisée. L24+15E 2+15S.

### 5.2.6 Hématisation

Des secteurs de la tonalite ont été légèrement hématisés, donnant une couleur rosée à rougeâtre à la roche. Quelques veinules millimétriques à hématite spéculaire sont rencontrées. Ces zones d'hématisation, qui sont à l'origine de l'induration locale de la tonalite, ne montrent pas de relation spatiale avec les autres types d'altération ou avec les zones minéralisées. De plus, la distribution de l'hématisation sur le terrain ne semble pas être affectée par la déformation D2. Ces observations indiquent que cette altération n'est pas en relation avec les épisodes de déformation et d'altération présentés plus haut et représente possiblement un événement tardif sans lien avec la minéralisation.

## 5.3 GÉOCHIMIE DES ALTÉRATIONS

### 5.3.1 Comportement des éléments majeurs

L'altération à l'intérieur de la Tonalite LGS affecte grandement l'abondance relative des différents éléments majeurs (oxydes) mesurés. Les diagrammes de Harker présentés à la figure 33 permettent de visualiser le contenu relatif en ces éléments en fonction de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) ainsi que l'effet de l'altération sur la composition de ces roches. Dans ces diagrammes, la tonalite "fraîche" correspond aux échantillons de tonalite montrant les plus faibles degrés d'altération et de déformation, c'est-à-dire les échantillons caractérisés par une faible concentration de minéraux reliés à l'altération hydrothermale (séricite, biotite,

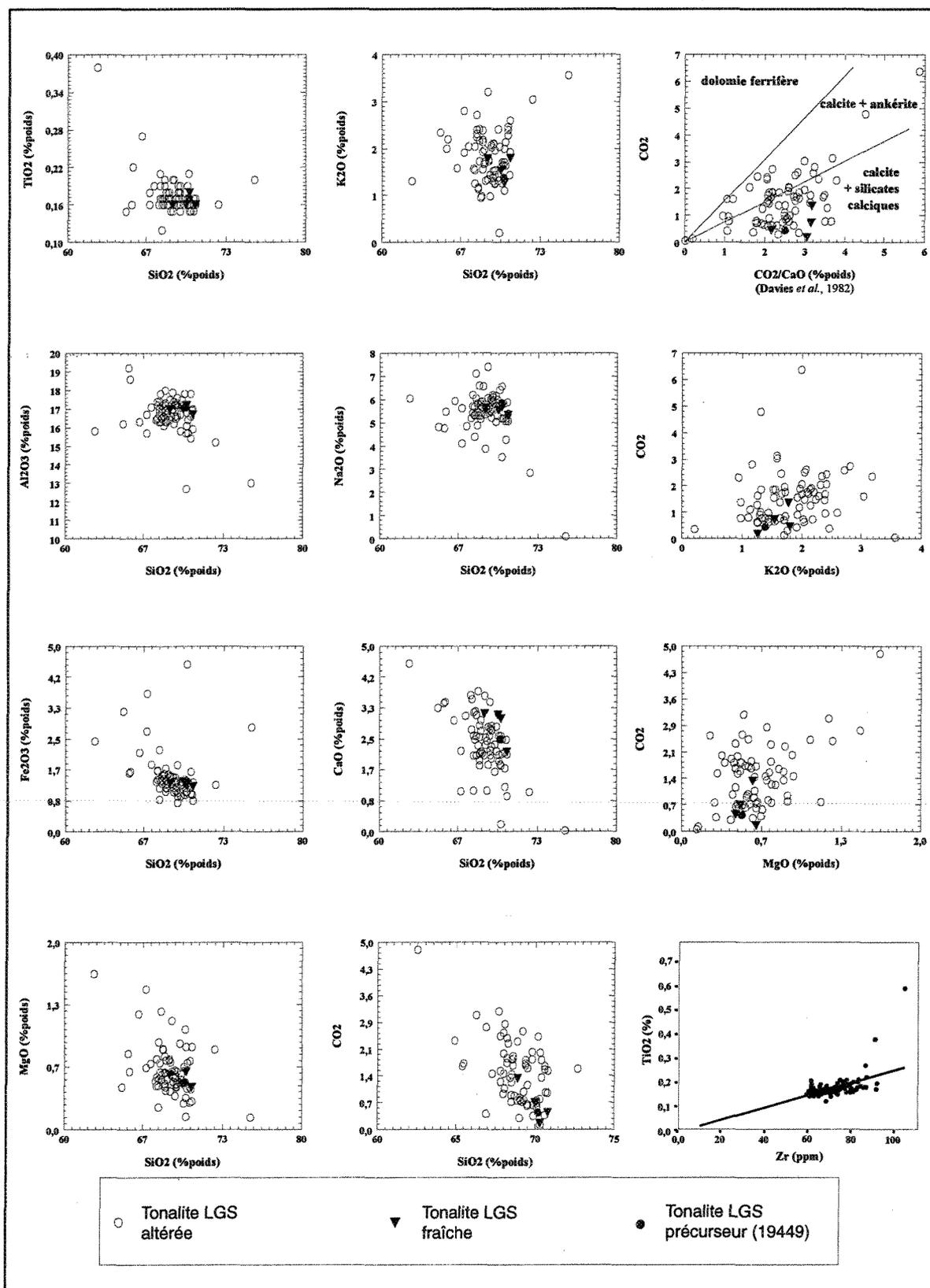


Figure 33. Diagrammes de Harker pour la Tonalite LGS.

chlorite et ankérite), le précurseur étant l'échantillon le plus frais minéralogiquement (échantillon PML-98-041, analyse 19449).

Le titane ( $\text{TiO}_2$ ) et l'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) semblent relativement immobiles, à l'exception de quelques échantillons, puisque la grande majorité des échantillons se concentrent en amas dans les diagrammes. Le fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) montre également une très faible variation à l'exception des quelques échantillons. Par contre, le magnésium ( $\text{MgO}$ ), le potassium ( $\text{K}_2\text{O}$ ), le sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), le calcium ( $\text{CaO}$ ) et le  $\text{CO}_2$  montrent un comportement beaucoup plus erratique avec une dispersion des échantillons qui ne définit pas d'amas ou de droites de distribution claires. Cette relation est intéressante puisque ces éléments sont des constituants importants dans les phases minérales caractérisant l'altération potassique, la chloritisation et la carbonatation (séricite, chlorite et ankérite). Ainsi, un bon nombre d'échantillons semble contenir plus de  $\text{MgO}$  que le précurseur ou la "tonalite fraîche" suggérant un apport extérieur relatif en magnésium pouvant être à l'origine de la formation de la chlorite. La même relation est constatée dans le cas du  $\text{K}_2\text{O}$  qui est plus abondant dans la plupart des échantillons "altérés", ce qui suppose un apport relatif de potassium, favorisant le développement de la séricite ou de la biotite. Dans le cas du  $\text{CaO}$ , la relation est légèrement différente puisque les échantillons "altérés" se distribuent de part et d'autre de l'échantillon de "tonalite fraîche". Ceci est peut-être dû à la présence de zones de lessivage et de fixation du calcium. Le  $\text{CO}_2$  montre un comportement plus clair, étant pratiquement absent dans l'échantillon de tonalite "fraîche" et de plus en plus abondant dans les échantillons altérés. Cet enrichissement relatif en  $\text{CO}_2$  s'exprime par l'altération en

carbonates (carbonatation) observée à certains endroits dans la tonalite. Un diagramme  $\text{CO}_2$  en fonction du rapport  $\text{CO}_2/\text{CaO}$  (Davies *et al.*, 1982) a été fait afin de mettre en évidence cette altération en carbonate et la relation obtenue laisse supposer que le  $\text{CO}_2$  est à l'origine du développement de calcite mais également d'un autre carbonate, fort probablement l'ankérite (observée sur le terrain et au microscope). La figure 34 montre, à l'échelle de la tonalite, la distribution des valeurs de la perte au feu normative (c.f. section 5.3.3), ce qui permet de constater que les fortes valeurs se concentrent à la bordure sud de l'intrusion entre le gîte Zone 32 et l'indice Brèche.

La relation possible entre les trois altérations décrites plus haut (séricitisation, chloritisation et carbonatation) est plus ou moins évidente à partir des diagrammes binaires  $\text{CO}_2$  en fonction de  $\text{K}_2\text{O}$  et  $\text{CO}_2$  en fonction de  $\text{MgO}$  montrés à la figure 33 mais, de manière générale, il semble y avoir une corrélation entre les fortes valeurs en  $\text{CO}_2$  et les valeurs élevées en  $\text{K}_2\text{O}$  et en  $\text{MgO}$ , confirmant l'association spatiale entre les altérations. Les vecteurs d'altération apparaissant dans les diagrammes ternaires de la figure 35 partent des pôles associés au plagioclase et s'orientent soit vers les pôles ferro-magnésiens (chloritisation), soit vers les pôles de la séricite (altération séricitique), illustrant encore une fois l'influence de l'altération hydrothermale sur la composition géochimique de la Tonalite LGS.

Le problème avec toutes les relations géochimiques présentées dans cette section est qu'elles sont toutes basées sur des mouvements relatifs des éléments majeurs dans leur

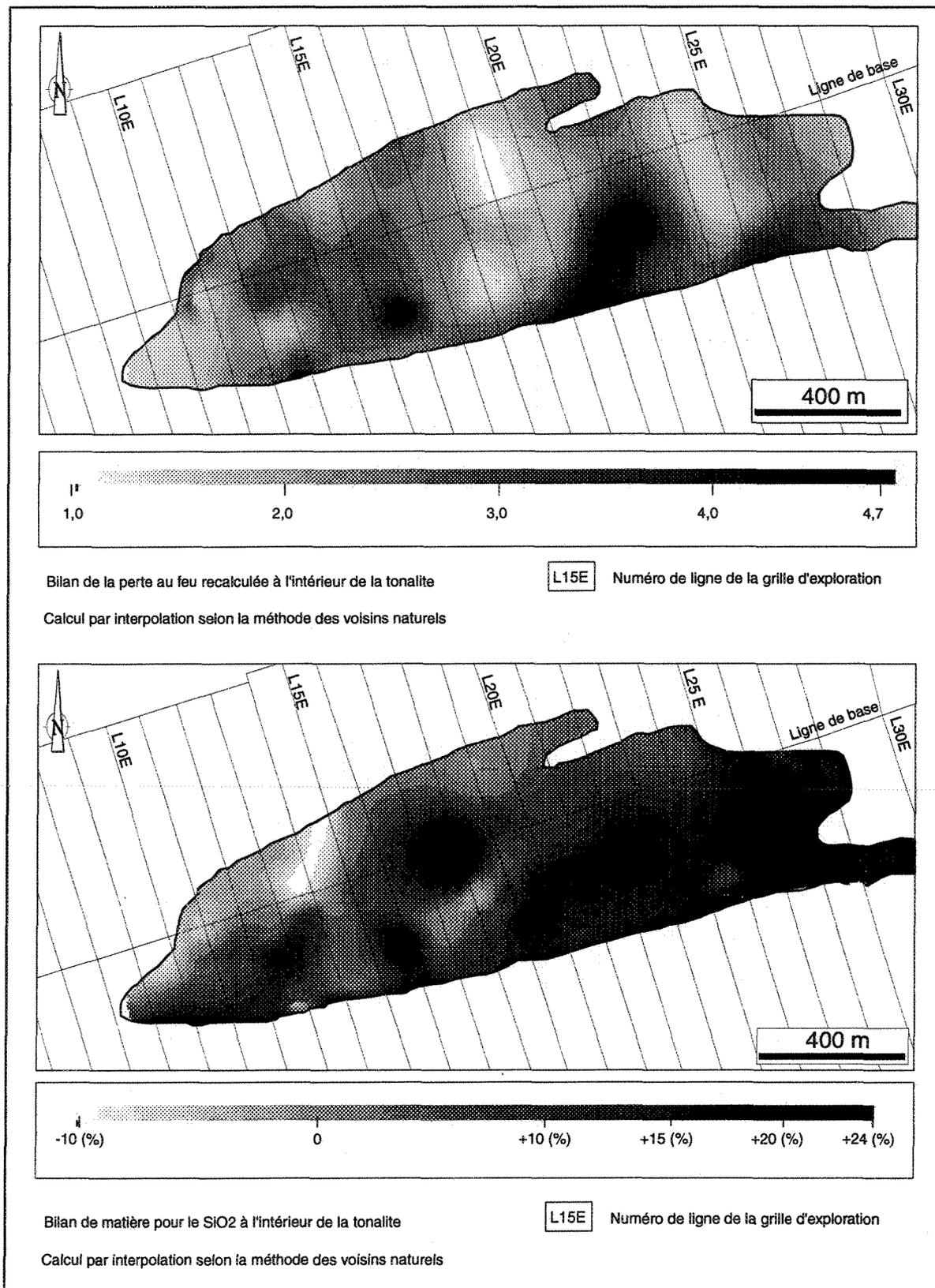


Figure 34. Perte au feu normative et changement de matière pour le SiO<sub>2</sub>.

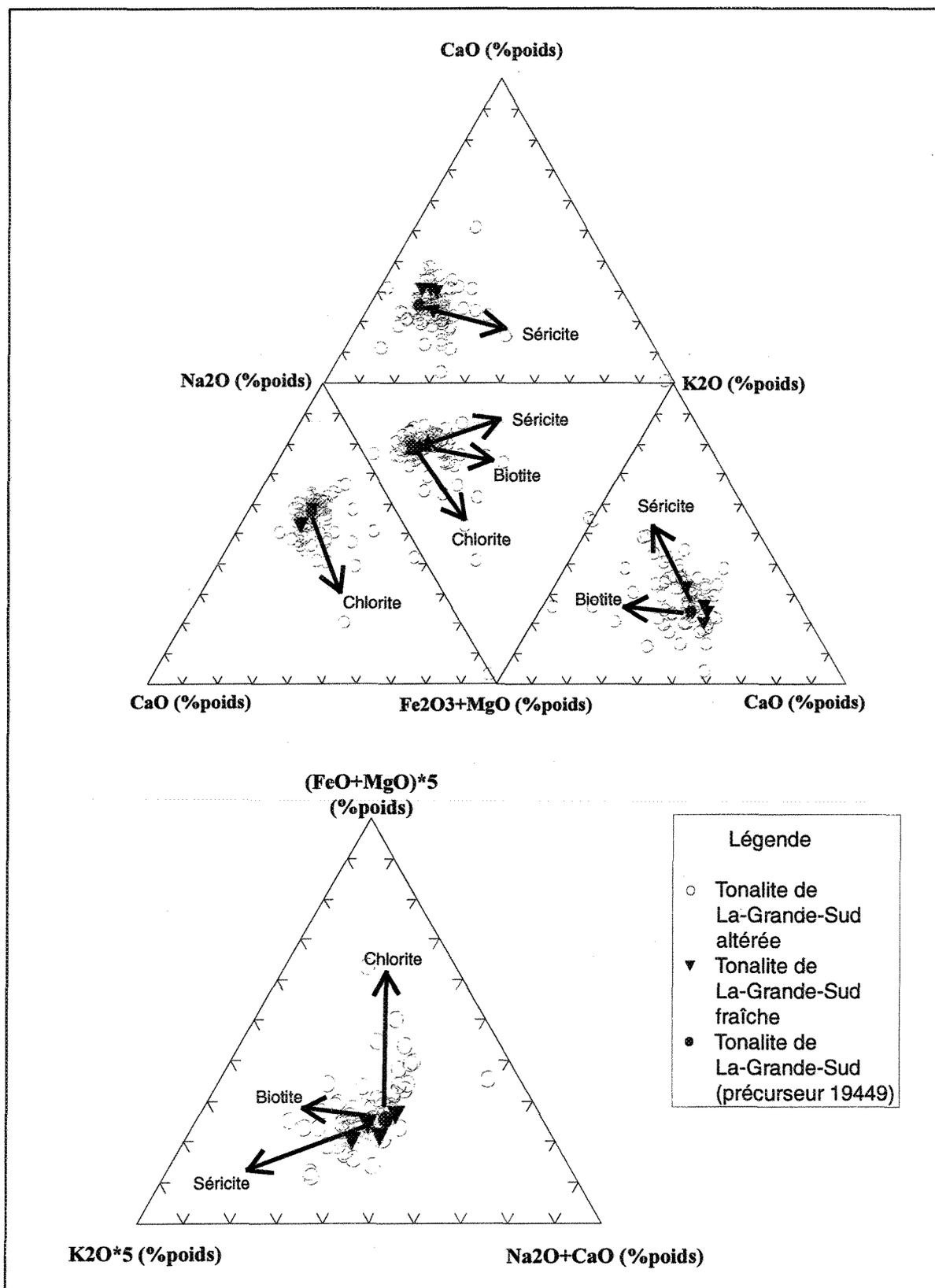


Figure 35. Caractérisation géochimique de l'altération dans la Tonalite LGS.

ensemble, ce qui signifie par exemple qu'une augmentation de l'abondance de MgO ne correspond pas nécessairement à un gain absolu en MgO (MacLean et Barrett, 1993). La façon de contourner ce problème et d'avoir une bonne image des mouvements réels des éléments est de procéder au calcul des bilans de matière.

### 5.3.2 Bilans de matière

La méthode du calcul des bilans de matière à un seul précurseur (MacLean et Kranidiotis, 1987 ; MacLean, 1990 ; MacLean et Barrett, 1993) a été appliquée aux échantillons de la Tonalite LGS afin de définir les gains et les pertes réels concernant les éléments majeurs critiques dans l'évaluation des altérations reconnues dans l'intrusion. En utilisant les valeurs de bilans de chacun des éléments d'intérêt comme attributs associés aux échantillons référencés spatialement, il est possible de construire des cartes de distribution de ces valeurs par interpolation. Ces cartes permettent donc de visualiser la distribution à l'échelle de la tonalite des différents indices d'altération, ce qui représente un outil appréciable pour la compréhension du mode de mise en place de l'altération. Les résultats du calcul des bilans sont données à l'annexe 7. Dans le cas de la Tonalite LGS, la méthode à un seul précurseur a été favorisée en raison de l'homogénéité de la lithologie étudiée (tonalite). Le même précurseur qu'à la section 5.3.1 a été considéré en fonction du faible degré d'altération le caractérisant. L'immobilité du zirconium comme élément témoin a été testée, les résultats étant montrés à la figure 33 (diagramme  $TiO_2$  en fonction de Zr).

Des gains de matière importants en  $\text{SiO}_2$  sont présents surtout près du contact sud de la tonalite, avec des gains maximums (15 à 24 %) au voisinage du gîte Zone 32 et de l'indice Brèche, alors que des pertes substantielles (-5 à -10 %) sont observées près du contact nord (figure 34). Les forts gains de  $\text{SiO}_2$  impliquent un apport important de silice par un fluide hydrothermal, car les pertes constatées dans la partie nord ne peuvent compenser pour le gain total à l'échelle de la tonalite.

Des gains de matière notables (-0,5 à 4 %) en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sont reconnus dans une partie importante de la tonalite (figure 36). Une composante directionnelle N-S est visible dans cette figure faisant ressortir le couloir reliant l'indice Mico-Milan et la Zone 32, ce dernier gîte étant d'ailleurs l'endroit où le gain de matière maximal est observé.

Les gains et les pertes de matière concernant le  $\text{MgO}$  (-0,5 à 1 %) se distribuent grossièrement de la même façon que pour le  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (figure 36). Comme dans le cas du  $\text{SiO}_2$  et du  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , les gains de matière en  $\text{MgO}$  sont plus importants que les pertes, indiquant un apport externe provenant de fluides hydrothermaux enrichis en Mg. Ces fluides sont probablement à l'origine du développement de la chlorite observée à l'intérieur de la tonalite. Puisque la formation de chlorite implique un apport de magnésium et de fer jumelé à un lessivage de la silice (MacLean, 1990), il est normal d'observer que la distribution des valeurs de bilan de matière du  $\text{SiO}_2$  ne concorde pas avec celle du tandem  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{MgO}$ .

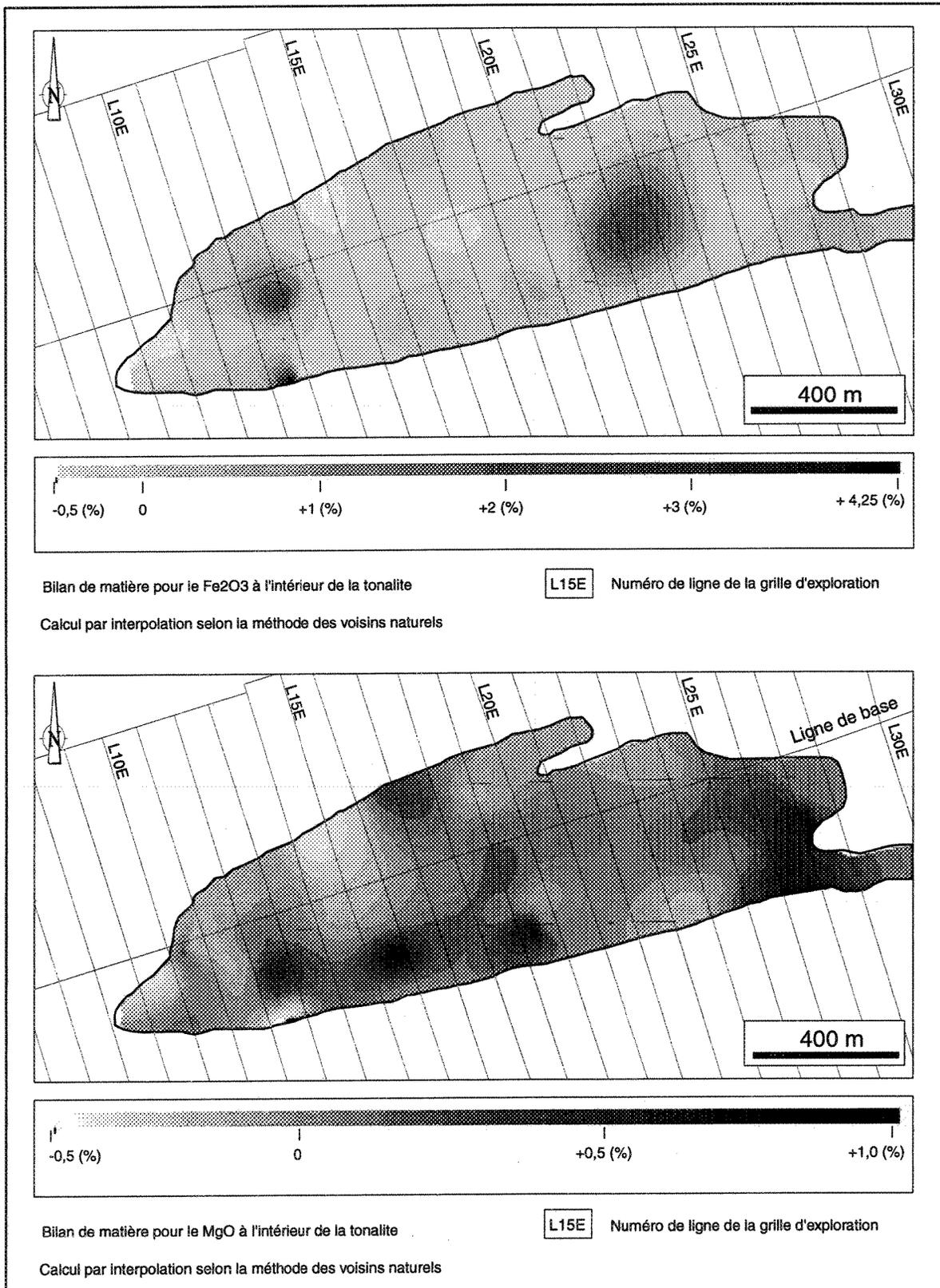


Figure 36. Changements de matière pour le  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (%) et le  $\text{MgO}$  (%).

Le bilan de matière du  $K_2O$ , qui varie entre  $-0,2$  et  $+2\%$ , met en évidence l'altération potassique s'étant développée sans un grand apport de potassium de source externe, une importante part de ce potassium provenant sans doute d'un feldspath altéré par le fluide hydrothermal. Il faut cependant noter que bien que faible, le gain en potassium est beaucoup plus important que les pertes à l'échelle de l'intrusion (figure 37), ce qui signifie que même si un feldspath a représenté une source de potassium, le fluide hydrothermal était saturé en cet élément. Il est à remarquer que le gain maximal en  $K_2O$  coïncide avec la localisation de la Zone 32 (figure 37).

En ce qui concerne le bilan de matière du  $Na_2O$  ( $-1,5$  à  $3,7\%$ ), illustré à la figure 37, la distribution des gains et des pertes reproduit presque fidèlement la distribution observée pour le  $K_2O$  à la différence que les gains de matière en  $Na_2O$  correspondent plutôt aux pertes de matière en  $K_2O$  alors que les pertes de  $Na_2O$  correspondent aux gains en  $K_2O$ . Ce phénomène s'explique par le fait que le fluide hydrothermal à l'origine de l'altération potassique détruit le plagioclase, le potassium étant fixé par la séricite, le sodium étant lessivé.

Des diagrammes de corrélation ont été réalisés afin de vérifier le comportement, à partir des bilans de masse, de l'altération potassique et de la chloritisation. Ces diagrammes, montrés à la figure 38, illustrent, entre autres, la corrélation entre les bilans de masse de  $Al_2O_3$  et de  $SiO_2$  résultant probablement de la formation de la séricite. Ces diagrammes illustrent également l'important apport de silice associé ou non à la formation

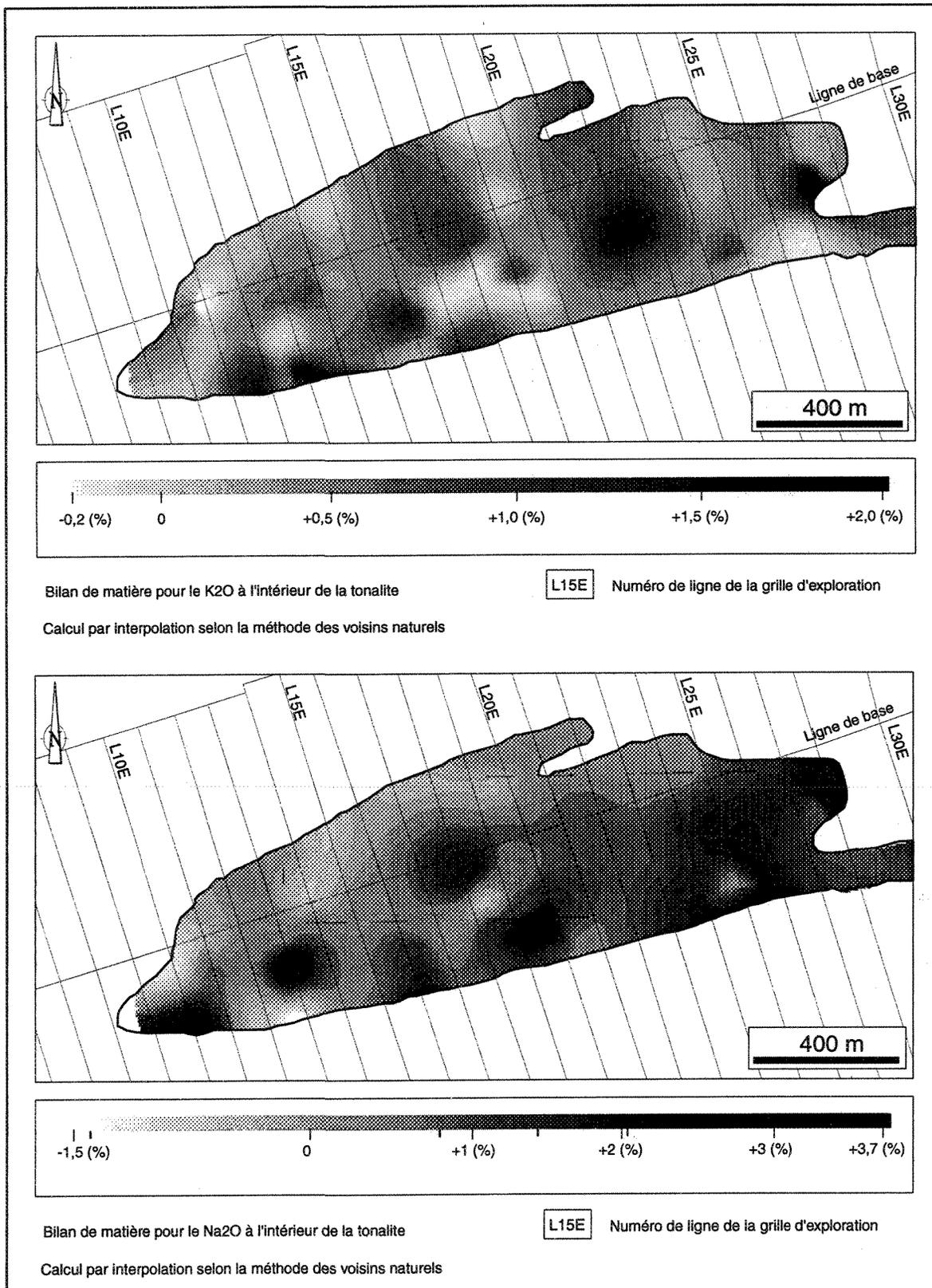


Figure 37. Changements de matière pour le K<sub>2</sub>O (%) et le Na<sub>2</sub>O (%).

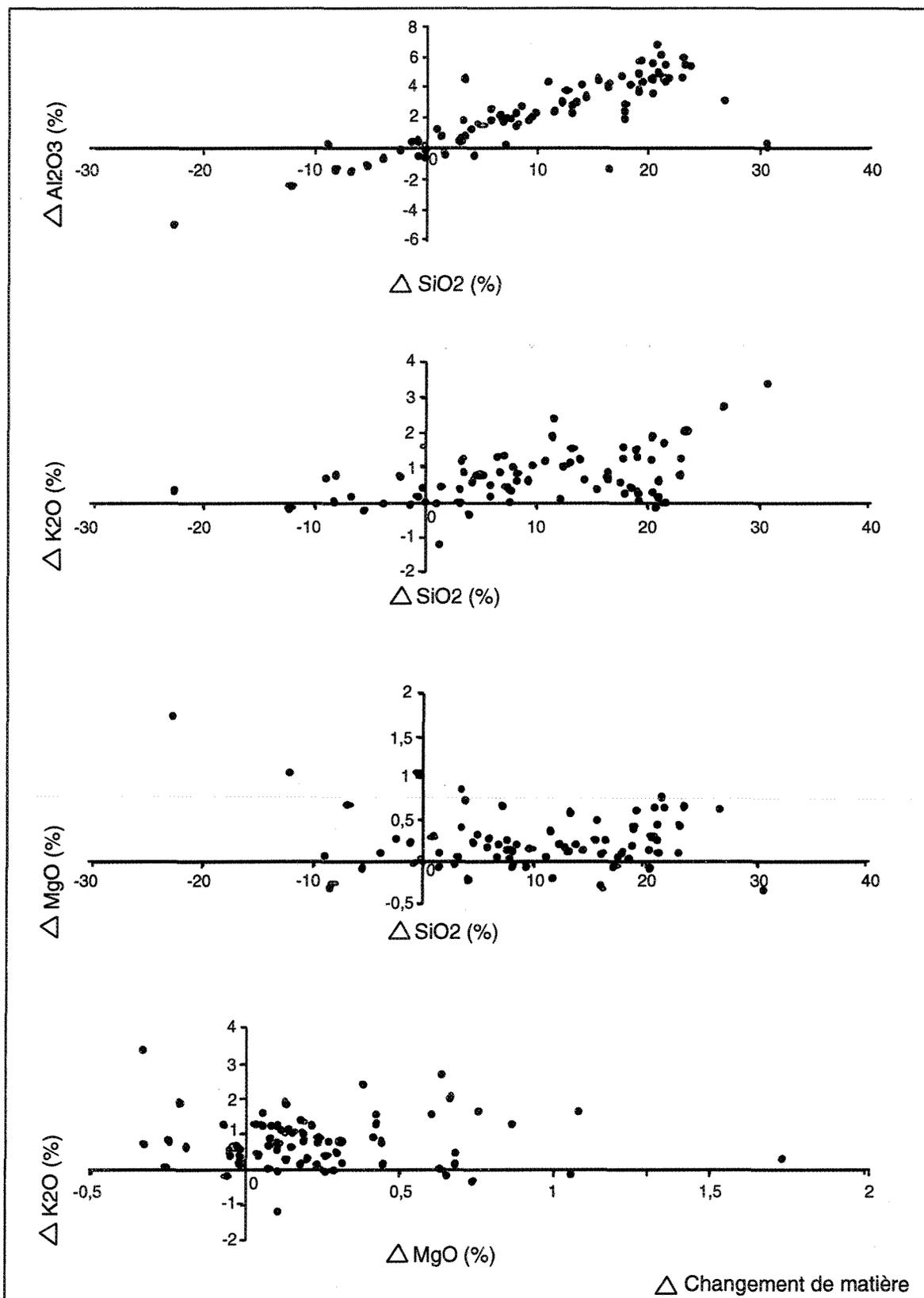


Figure 38. Corrélations entre bilans de matière.

de séricite et de chlorite. Ce gain en silice est probablement attribuable en partie à la formation de veinules à quartz et carbonates et de veines et veinules à quartz et tourmaline.

La méthode des isocones (Grant, 1986) a également été appliquée à quelques échantillons de la Tonalite LGS et aussi à certains échantillons de gabbro et de diorites altérés à divers degrés afin de qualifier géochimiquement l'altération dans ces roches (figures 39 et 40). Cette méthode a été appliquée tout d'abord à la tonalite, afin d'en comparer les résultats avec ceux obtenus par le calcul des bilans de matière, et ensuite aux diorites et au gabbro qui n'ont pu faire l'objet du calcul des bilans de matière puisqu'aucun échantillon n'était assez frais pour le permettre. En ce qui concerne la tonalite, les résultats concordent avec ceux obtenus par la méthode du calcul des bilans de matière, montrant un gain de matière pour la plupart des oxydes et pour le  $\text{CO}_2$  en considérant le Zr et le  $\text{TiO}_2$  immobiles lors de l'altération hydrothermale. Les mêmes relations sont constatées pour les diorites et le gabbro, pour lesquels la comparaison nécessaire pour tracer un isocone a été faite à partir d'un échantillon le moins altéré possible évalué à partir des observations pétrographiques. Même si la composition du protolite n'est pas connue, la méthode des isocones permet d'avoir une appréciation du comportement des éléments majeurs et de certains éléments en traces. Si la composition du protolite avait été connue, il aurait été possible également de quantifier les changements de matière dans les roches altérées. Malgré cela, la méthode des isocones permet de mettre aussi en évidence des gains relatifs en Rb, S,  $\text{CO}_2$ , Ca et des pertes en Sr (destruction du plagioclase).

Facteurs de multiplication pour les oxydes et les éléments en traces concernés:

tonalite

SiO<sub>2</sub> x 0,5  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x 1,5  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> X 2  
MgO x 2  
CaO x 2  
Na<sub>2</sub>O x 1  
K<sub>2</sub>O x 4  
TiO<sub>2</sub> x 20  
MnO x 10  
CO<sub>2</sub> x 10  
S x 5  
Sr x 0,1  
Zr x 0,1  
Cu x 0,01  
Ni x 0,5  
Zn x 0,5  
As x 0,02  
Rb x 0,2

diorite

SiO<sub>2</sub> x 0,5  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x 1,5  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> X 2  
MgO x 2  
CaO x 2  
Na<sub>2</sub>O x 1  
K<sub>2</sub>O x 4  
TiO<sub>2</sub> x 20  
MnO x 10  
CO<sub>2</sub> x 1  
S x 5  
Sr x 0,1  
Zr x 0,2  
Cu x 0,01  
Ni x 0,2  
Zn x 0,2  
As x 1  
Rb x 0,2

gabbro

SiO<sub>2</sub> x 0,5  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x 1,5  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> X 2  
MgO x 2  
CaO x 2  
Na<sub>2</sub>O x 1  
K<sub>2</sub>O x 4  
TiO<sub>2</sub> x 20  
MnO x 10  
CO<sub>2</sub> x 1  
S x 5  
Sr x 0,1  
Zr x 0,2  
Cu x 0,01  
Ni x 0,2  
Zn x 0,2  
As x 1  
Rb x 0,2

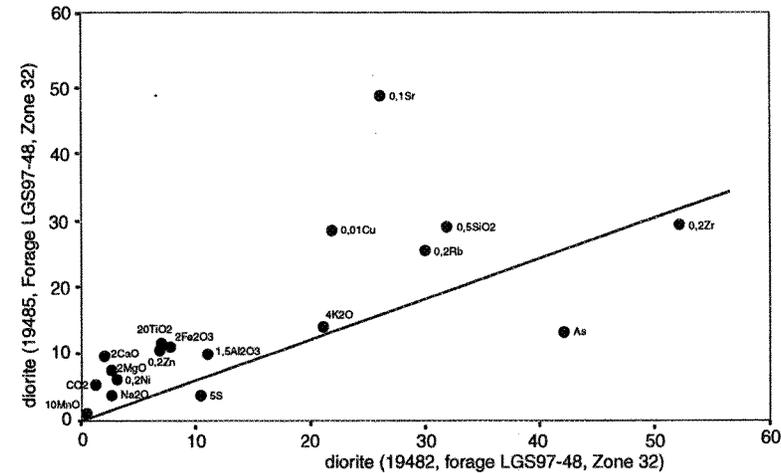
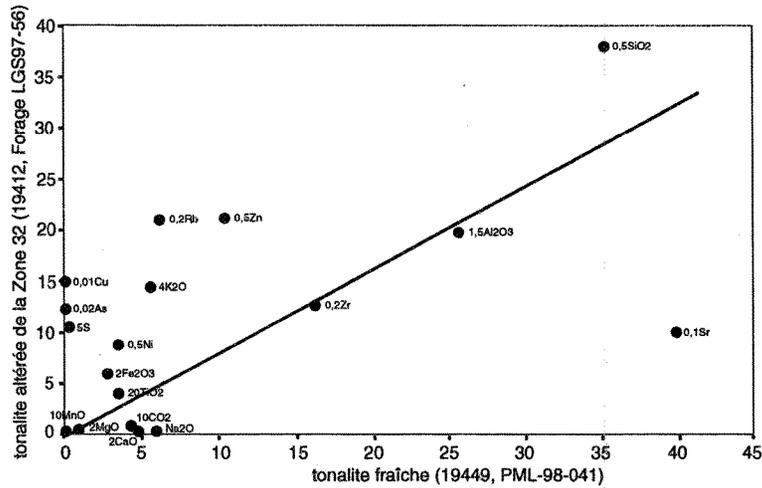
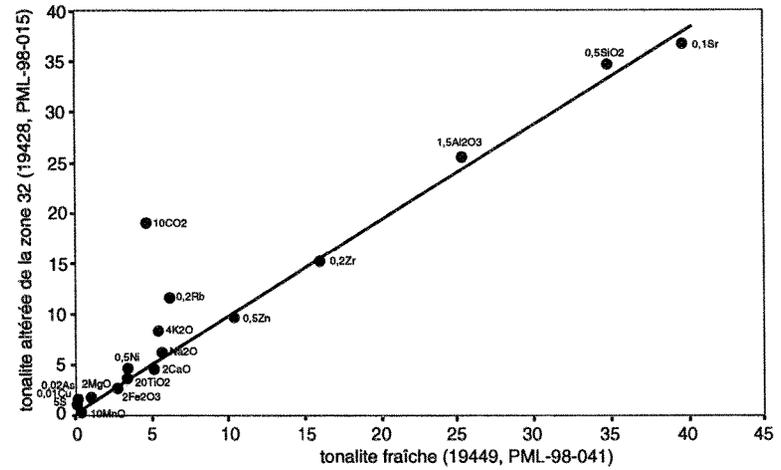


Figure 39. Isocones (Grant, 1986) pour la tonalite, la diorite et le gabbro de la Zone 32.

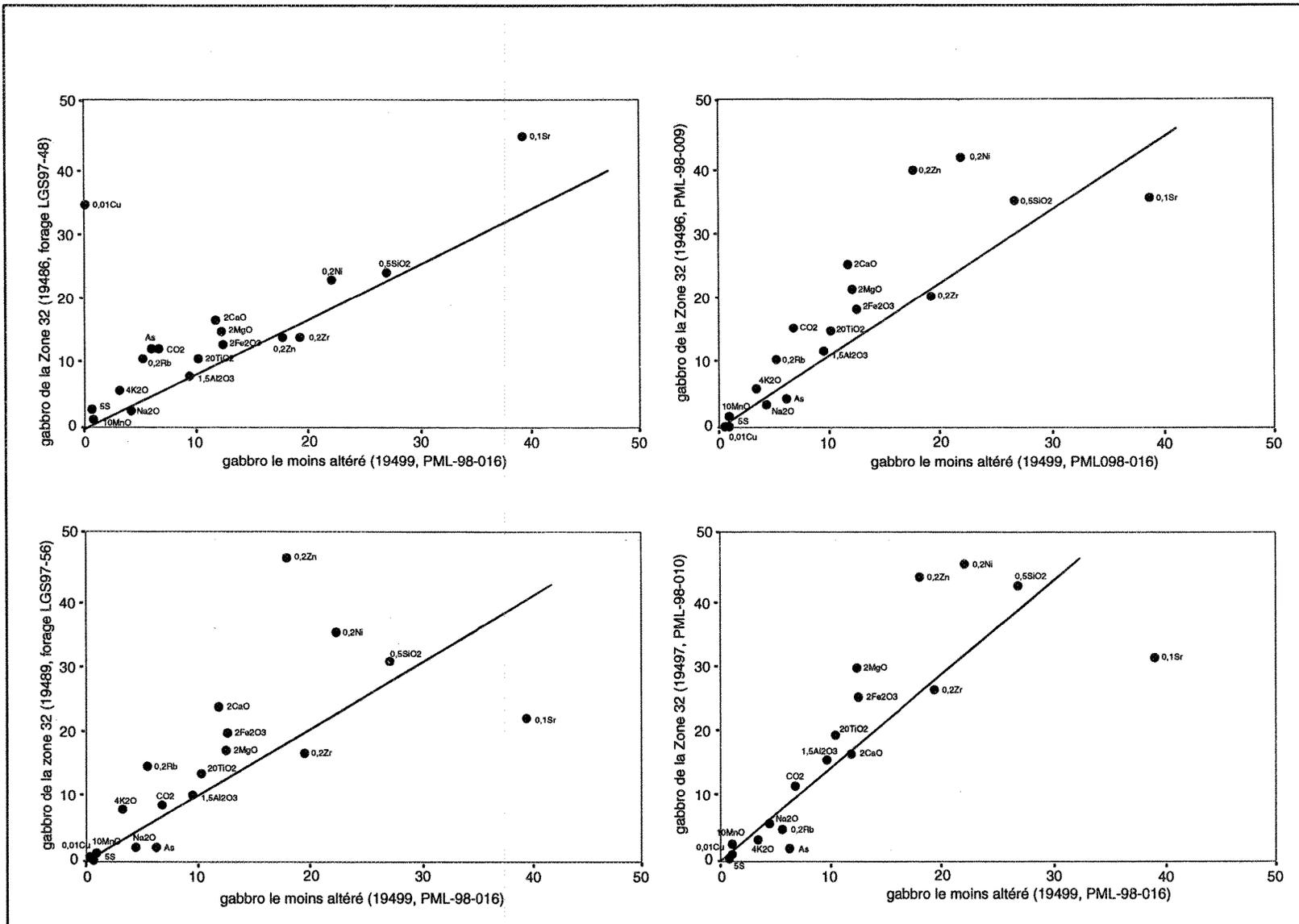


Figure 40. Isocones (Grant, 1986) pour la tonalite, la diorite et le gabbro de la Zone 32.

### 5.3.3 Minéraux normatifs

Les analyses lithogéochimiques provenant des échantillons de tonalite ont été traitées à l'aide du logiciel NORMAT (Piché, 1999) permettant le calcul de minéraux normatifs du faciès des schistes verts (annexe 6). Ces minéraux normatifs sont ensuite utilisés pour le calcul d'indices d'altération directement reliés à l'abondance de minéraux caractéristiques de certaines altérations hydrothermales. La définition de ces indices est également donnée à l'annexe 6. La méthode de mise en carte par interpolation décrite brièvement à la section 5.3.2 à également été appliquée ici pour illustrer les variations spatiales de certains indices d'altération à l'intérieur de la tonalite. Deux différents indices (ISER et IFRAIS) calculés par le logiciel ci-haut mentionné ont été mis en carte (figure 41).

L'indice ISER (Piché, 1999), qui est fonction de la séricite hydrothermale normative, varie entre 0 et 10, comme montré à la figure 41. Les fortes valeurs, c'est-à-dire celles près de 10, correspondent aux échantillons ayant subi la plus forte intensité d'altération en séricite. Ainsi, l'interpolation des valeurs de ISER illustre bien la concentration de l'altération potassique du côté ouest de la tonalite, soit dans le couloir reliant l'indice Mico-Milan et le gîte Zone 32, la valeur maximale étant observée dans la Zone 32. D'autres secteurs d'étendue moins importante apparaissent dans les parties nord et sud-est de l'intrusion. L'indice Brèche se trouve à l'intérieur de la zone de hautes valeurs sud-est.

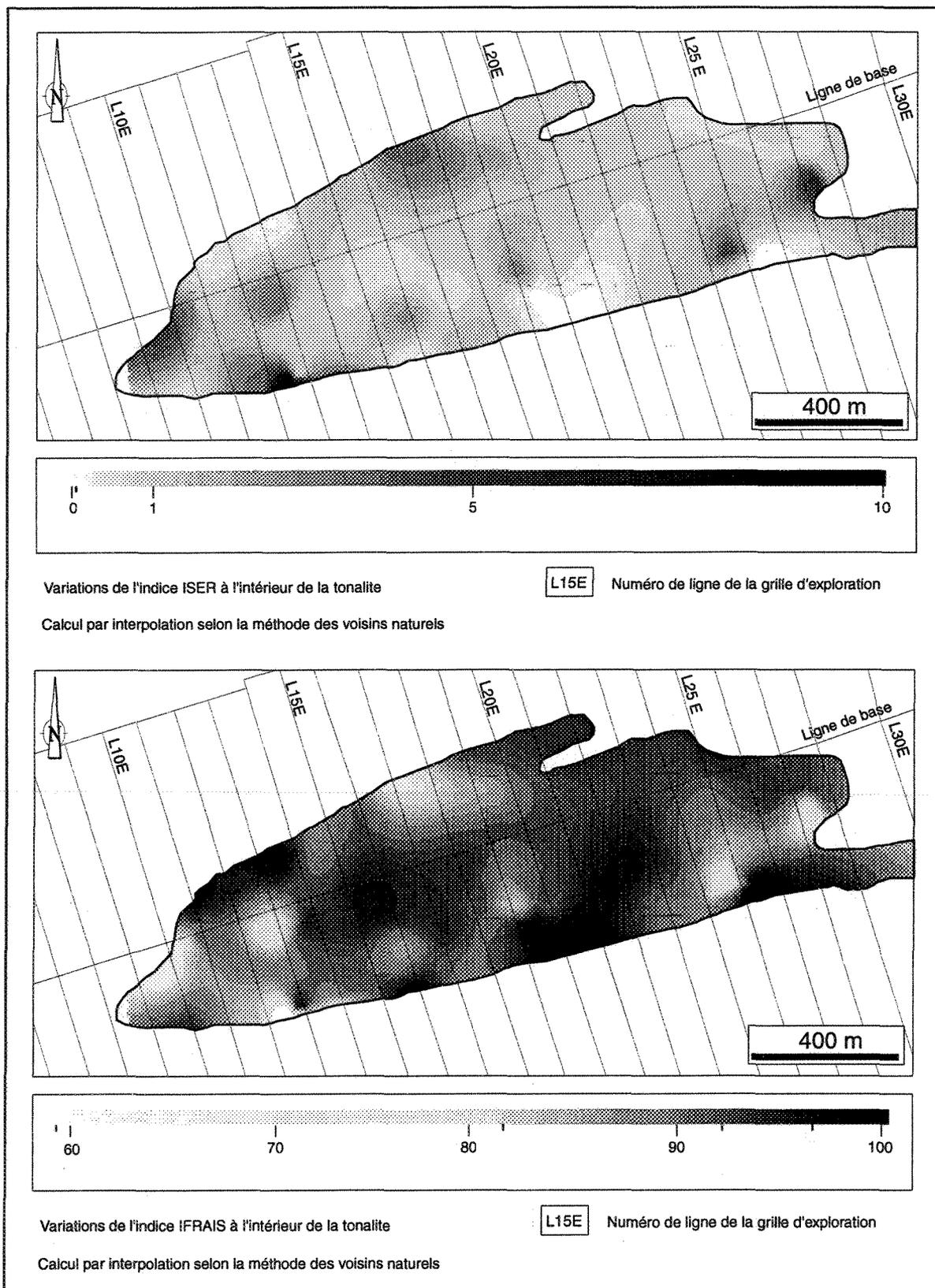


Figure 41. Distribution des valeurs reliées aux indices ISER et IFRAIS.

L'indice IFRAIS est défini par le rapport des minéraux normatifs frais sur la somme des minéraux normatifs frais et altérés. Dans le cas des échantillons provenant de la Tonalite LGS, les valeurs associées à cet indice varient entre 60 et 100 (figure 41). Évidemment, les zones ayant subi la plus forte intensité d'altération sont celles où l'indice est le moins élevé, l'altération se développant aux dépens des minéraux frais. Ainsi, les valeurs les plus faibles se regroupent (i.e. les secteurs les plus altérés) principalement aux extrémités ouest, nord-ouest et sud-est de l'intrusion. La distribution de ces zones reproduit sensiblement le même arrangement que celui défini par l'indice ISER, montrant une concentration de l'altération hydrothermale du côté ouest de la tonalite, avec un maximum dans l'intensité de l'altération correspondant à la Zone 32.

#### **5.3.4 Levé au scintillomètre**

Le levé au scintillomètre effectué dans la Tonalite LGS avait pour but de quantifier l'altération potassique par la mesure des radiations gamma émanant des isotopes radioactifs, tel le potassium  $^{39}\text{K}$ . La figure 42 montre la localisation des profils et présente les résultats obtenus. Les résultats détaillés sont donnés à l'annexe 8. L'examen de ces profils indique que la tonalite est caractérisée par une valeur intrinsèque d'environ 0,8 cps (comptes par seconde) pour l'isotope de potassium. Par contre, les zones fortement séricitisées (schistes à séricite) sont caractérisées par une valeur moyenne de 1,4 cps. Cette valeur est d'environ 0,6 cps et 1,0 cps pour les roches volcaniques encaissantes et les diorites respectivement. Quant à la tonalite à biotite, elle est caractérisée par des valeurs

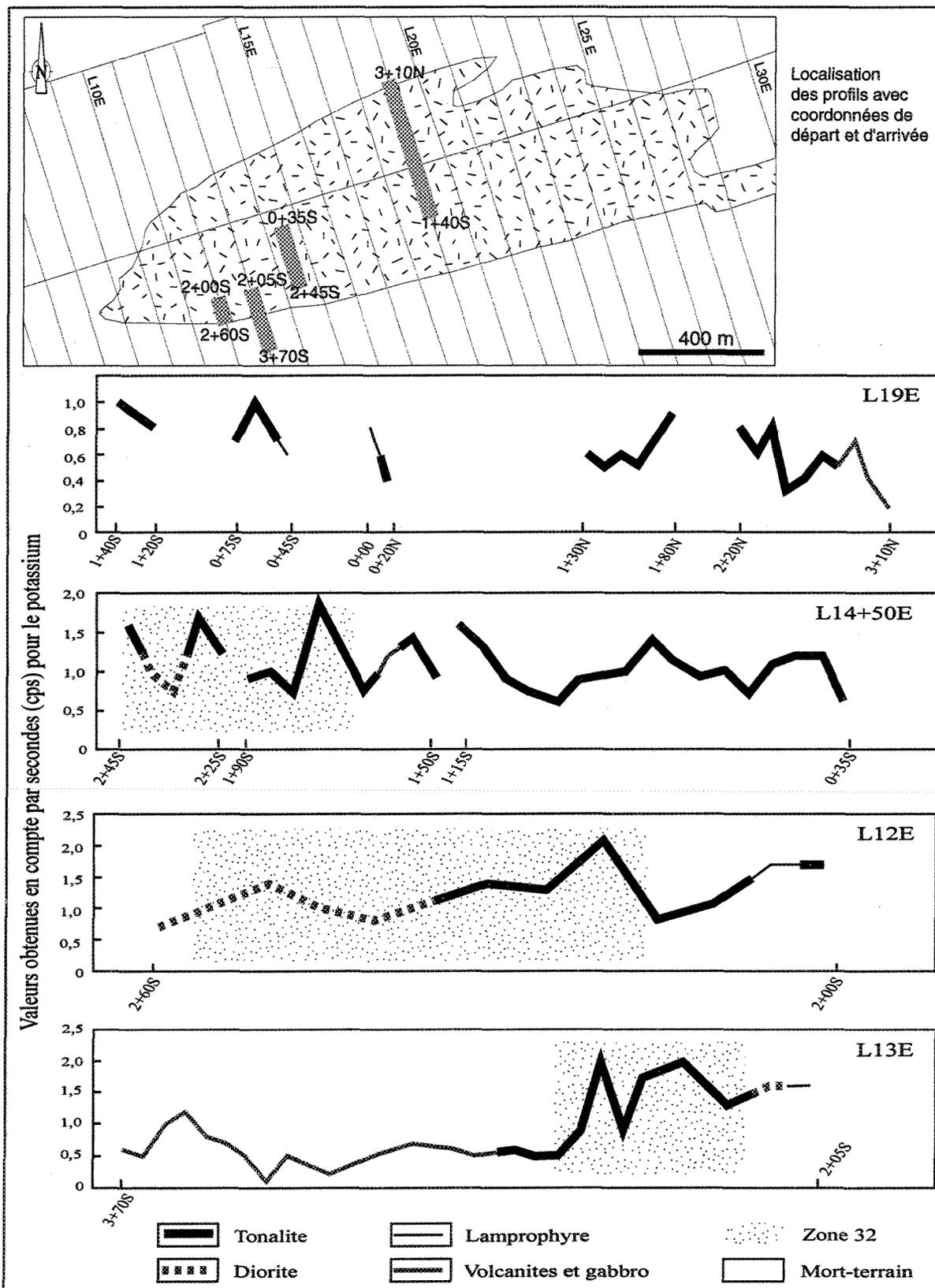


Figure 42 . Profils de levé au scintillomètre pour le potassium (K).

avoisinant 0,9 cps, ce qui n'est que très légèrement supérieur aux valeurs obtenues pour la tonalite à chlorite. Ainsi, les zones séricitisées (enrichies en potassium) se démarquent par des mesures sensiblement plus élevées que pour les autres roches.

Bien que les résultats obtenus par cette méthode sont parfaitement cohérents avec les observations pétrographiques et géochimiques, la sensibilité du spectromètre utilisé est trop faible pour que cela puisse représenter un outil intéressant dans l'étude de zones d'altération. Un appareil plus sensible et mieux calibré avec des temps de lecture plus longs pourrait certainement donner des résultats plus précis et représenter un outil important dans la définition de zones d'altération potassique.

#### **5.4 TYPOLOGIE DE L'ALTÉRATION**

À la lumière de toutes les observations présentées jusqu'ici dans ce chapitre, il est possible de définir la typologie de l'altération ayant affecté le secteur de la Tonalite LGS.

Ainsi, à partir de la minéralogie il a été possible de déterminer cinq principales altérations hydrothermales qui sont l'altération en biotite (disséminée et remplacement dans les brèches), l'épidotisation, la séricitisation, la chloritisation et la carbonatation. La caractérisation géochimique tend à démontrer que ces altérations sont à l'origine d'un gain de matière important pour la plupart des éléments majeurs, ce qui appuie l'hypothèse qu'un système hydrothermal a affecté la composition des roches du secteur à l'étude.

La distribution spatiale des indices d'altération normatifs et des valeurs résultant du calcul des bilans de matière illustre clairement une zonation dans les altérations. La chloritisation est la plus étendue mais la moins prononcée de ces altérations, alors que la séricitisation est plus restreinte mais beaucoup plus intense. La carbonatation est encore moins étendue et se concentre surtout à la bordure sud de la tonalite. La biotitisation, à l'exception des brèches, est localisée au centre de l'intrusion, tout comme l'épidotisation. Ces faits, mis en relation avec les observations pétrographiques, permettent de supposer que la chloritisation et la séricitisation se sont développées à peu près en même temps, bien que l'altération en séricite ait pu se prolonger un peu plus longtemps que la chloritisation, ces deux événements se superposant partiellement à la biotitisation et à l'épidotisation. Les brèches, dont la matrice a été remplacée par de la biotite, ont subi l'altération potassique reconnue ailleurs dans la tonalite. La carbonatation est probablement apparue plus tard et s'est probablement déroulée sur une période de temps plus longue.

Comme ces minéraux sont étroitement liés spatialement et que les relations de recoupement montrent une mise en place à peu près contemporaine de ces phases, il est possible de déterminer des assemblages minéralogiques d'altération. Ainsi, l'assemblage formé par la biotite et l'épidote peut correspondre, selon la terminologie standard, à un épisode d'altération potassique ou propylitique. Dans le cas de l'altération potassique, les autres minéraux clés sont le feldspath potassique, la magnétite, l'apatite, la séricite, la pyrite et la chlorite. Dans le cas de la Tonalite LGS, le feldspath potassique et la magnétite sont absents. Il est possible que ceux-ci n'aient tout simplement jamais existé, ou encore ils

ont été déstabilisés par un épisode de métamorphisme postérieur à l'altération, ces deux phases étant plus ou moins stables au faciès des schistes verts. De l'épidote est également observée dans cette zone à biotite. Ces deux minéraux sont alors en équilibre et remplacent un minéral primaire de la tonalite, probablement une amphibole calcique. Dans le cas de l'altération propylitique, les minéraux clés sont l'épidote, la chlorite, l'albite, la pyrite et la calcite. Toutes ces phases sont reconnues dans la tonalite, constituant ainsi une zone caractérisée par l'assemblage propylitique où la chlorite se développe aux dépens de la biotite (remplacement graduel et augmentation de l'abondance du minéral ferromagnésien). Ceci signifie que spatialement, la tonalite est caractérisée par un assemblage de minéraux d'altération de type potassique dans sa partie centrale qui passe graduellement à un assemblage de type propylitique en périphérie. Ceci s'explique peut-être par la superposition de l'altération propylitique sur l'altération potassique.

La séricite, par sa distribution irrégulière et son abondance très variable, fait partie d'un assemblage différent de ceux présentés ci-haut. Comme cette séricite est localement très abondante et qu'elle est associée à de faibles quantités de chlorite ainsi qu'à des sulfures disséminés permet de supposer qu'elle est associée à un assemblage d'altération phyllique ou séricitique.

L'ankérite, qui est encore moins répandue que la séricite, est relativement limitée dans la tonalite et elle est communément associée à du quartz pour former des veinules très fines et irrégulières. Les plus fortes concentrations de ce minéral se retrouvant hors des zones de

forte séricitisation suggère possiblement que de ces deux phases (séricite et ankérite) ne sont pas reliées. Il se peut cependant que ceci ne soit que le résultat d'une zonation. De façon générale, l'ankérite est un constituant important de l'altération carbonatée de milieu mésothermal, milieu dans lequel la séricite est également présente, tout comme la chlorite et la pyrite. La carbonatation peut toutefois être associée dans quelques cas à des systèmes d'altération anorogéniques.

Les veines à quartz et tourmaline avec ou sans chlorite représentent, dans le cas de la Tonalite LGS, un événement hydrothermal tardif (ce dont il est discuté au chapitre précédent) par rapport aux altérations décrites plus haut. Ce type de veine est caractéristique des environnements mésothermaux (Robert et Brown, 1986) dans lesquels l'altération au contact des veines peut être très faible sinon absente.

La figure 43 illustre de manière générale la distribution des altérations (potassique, propylitique, séricitique et carbonatée), déduite à partir des observations pétrographiques et de la géochimie, à l'intérieur de la Tonalite LGS.

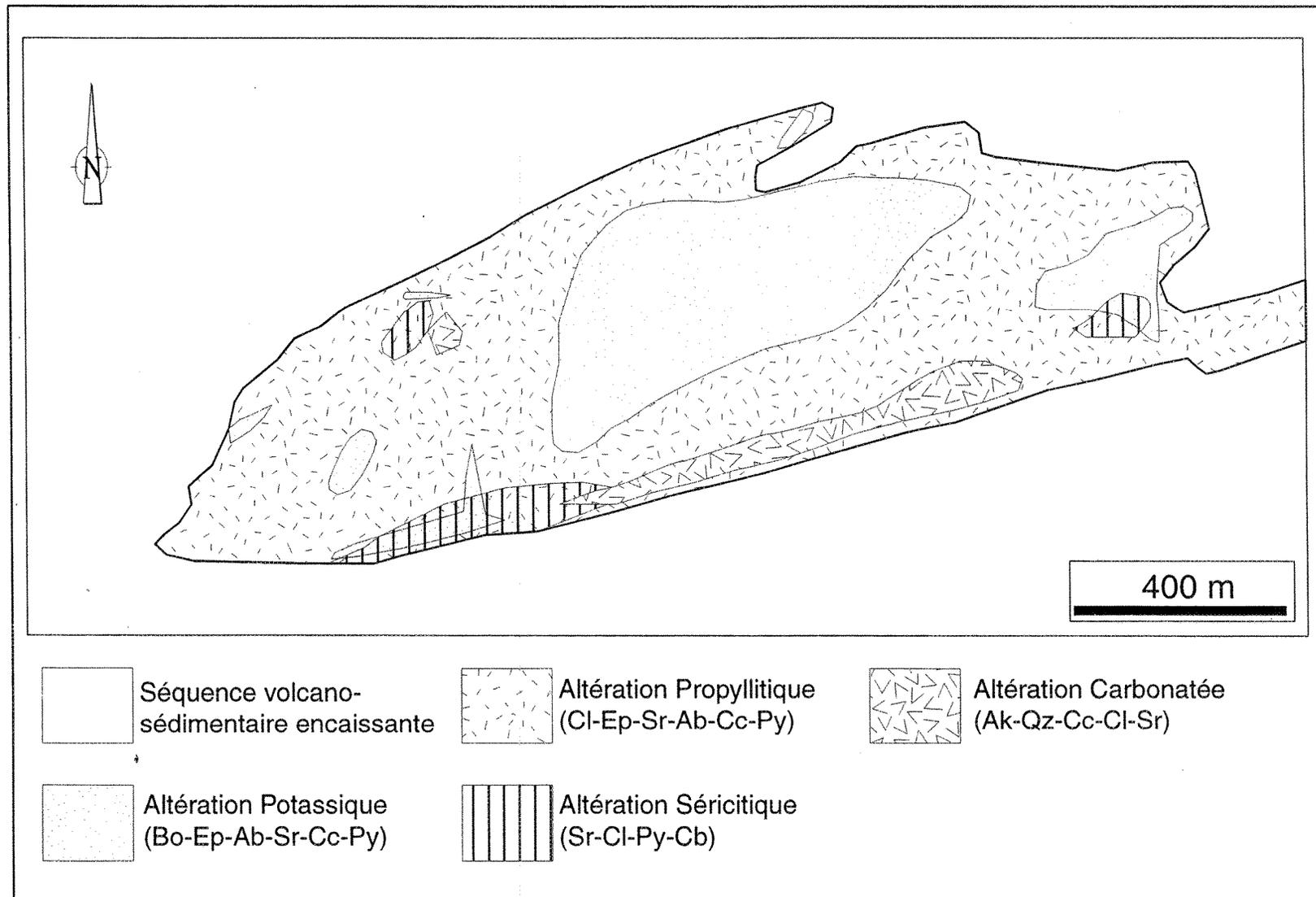


Figure 43. Distribution des altérations à l'intérieur de la Tonalite LGS

## CHAPITRE VI

### SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS ET DISCUSSION

#### 6.1 SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS

Cette section se veut une révision des principales observations présentées dans les précédents chapitres afin de permettre une meilleure compréhension des événements qui pourraient être responsables de la formation des minéralisations aurifères et cuprifères à l'intérieur de la Tonalite LGS.

##### 6.1.1 Contexte local

La Tonalite LGS est encaissée dans une séquence volcano-sédimentaire (Groupe de Yasinski) qui a été affectée par au moins deux événements importants de déformation, le premier (D1) étant à l'origine du développement d'une fabrique pénétrative S1 localement mylonitique, laquelle a ensuite été plissée et transposée par un clivage de crénulation et des cisaillements E-O représentant l'épisode de déformation D2. Les roches volcaniques à proximité de la tonalite sont caractérisées par la présence d'albite, d'actinote et de chlorite, signifiant un métamorphisme près du faciès des schistes verts supérieurs (Yardley, 1989). Ce métamorphisme est antérieur à ou syn-D2 puisque ces minéraux sont affectés par la

fabrique S2. Cet épisode de métamorphisme peut être contemporain de l'épisode de déformation D1, ce genre de relation étant communément observé dans les ceintures de roches vertes archéennes (Windley, 1995).

### **6.1.2 Pétrogénèse de la Tonalite LGS**

La Tonalite LGS se présente comme étant une intrusion felsique finement grenue composée essentiellement de plagioclase (60 %), de quartz (25 %) et de biotite, chlorite, épidote, séricite, calcite, apatite, ilménite et leucoxène. Certaines de ces phases sont attribuables à l'altération hydrothermale et/ou métamorphique. Ainsi, le plagioclase est de composition sodique (albite), possiblement en réponse au métamorphisme, et n'est pas nécessairement primaire. La biotite, qui n'est reconnue qu'au centre de l'intrusion, semble remplacer une phase primaire, probablement la hornblende, cette dernière étant une composante commune des tonalites et des trondhémities archéennes (Martin, 1987). L'ilménite et le leucoxène sont associés spatialement, le leucoxène dérivant sans doute du métamorphisme ou de l'altération de l'ilménite. Si cet assemblage est d'origine métamorphique, il définit un métamorphisme au faciès des schistes verts à l'intérieur de la tonalite (Yardley, 1989). Dans le cas d'une origine hydrothermale, il est en équilibre avec les conditions métamorphiques régionales déduites des observations faites dans la séquence volcano-sédimentaire encaissante.

Géochimiquement, la Tonalite LGS se classe, selon les classifications présentées au chapitre 2, parmi les tonalites ou les trondhjémites d'affinité calco-alcaline à caractère peralumineux. Les classifications pétrogénétiques tendent à démontrer une origine syn-volcanique dans un environnement d'îles-en-arc pour cette intrusion. Les analyses isotopiques U-Pb donnent un âge de  $2734 \pm 2$  Ma, ce qui correspond à l'âge de la séquence volcano-sédimentaire encaissante et suggère que la mise en place de la tonalite est contemporaine au volcanisme.

Les gabbros, les diorites et les enclaves mafiques se retrouvant dans la tonalite peuvent être comagmatiques comme mentionné précédemment. L'étroite association spatiale entre ces roches, les similitudes texturales et le fait que l'altération et la minéralisation se distribuent dans toutes ces roches suggèrent une mise en place contemporaine de ces roches. Il est donc possible que la Tonalite LGS représente une intrusion polyphasée où le faciès felsique serait largement dominant (tonalite). Les dykes de lamprophyre à enclaves recoupant la tonalite représentent un épisode tardif de magmatisme calco-alcalin à alcalin peut-être relié à l'évolution magmatique locale, ce dont il sera discuté plus loin.

### **6.1.3 Déformation**

Au moins deux événements structuraux distincts, appelés D1 et D2, ont affecté la Tonalite LGS. Ces épisodes de déformation sont à l'origine d'une anisotropie planaire

d'intensité variable à l'intérieur de l'intrusion qui résulte de la superposition des fabriques S1 et S2 associées respectivement aux épisodes D1 et D2.

L'épisode de déformation D1 est souligné par une fabrique subverticale non-pénétrative d'orientation NNE localement entraînée par la fabrique S2. La fabrique S1, qui est soulignée par les grains de quartz et la biotite, est mieux développée en bordure de l'intrusion qu'en son centre où elle est tout de même reconnue.

L'épisode D2 se caractérise par le développement d'une fabrique pénétrative subverticale d'orientation régulière N070. Cette schistosité varie en intensité à l'intérieur de la tonalite, l'intensité maximale étant concentrée le long des bordures de l'intrusion. Cette fabrique se signale par l'alignement des phyllosilicates (biotite, séricite et chlorite) et des sous-grains de quartz dans les plages recristallisées dynamiquement pendant la déformation.

Une linéation verticale bien développée est observée dans la tonalite. Cette linéation, qui peut avoir été initiée par l'aplatissement associé à la fabrique S1, s'est développée lors de l'épisode de déformation D2.

Une zone de cisaillement recoupe la Tonalite LGS dans le secteur de la Zone 32 (bordure sud). Ce couloir de déformation intense est particulier à la Zone 32 en ce sens qu'il s'agit d'un secteur caractérisé par la présence de bandes de cisaillement (S3) venant

modifier l'orientation E-O de la fabrique S2 qui forme alors une fabrique composite avec la schistosité S1. Ces bandes de cisaillement d'amplitude millimétrique (observées au microscope) sont orientées approximativement à N110 et sont compatibles avec un entraînement dextre. Le développement de ces bandes représente soit un réajustement tardif lors de l'épisode D2 pour compenser le gonflement induit par le cisaillement sur le plan S2, soit un réajustement attribuable à un épisode de déformation D3.

Diverses structures tardives sont d'ailleurs reconnues à l'intérieur de la tonalite ; kink bands, cisaillements et failles. La plupart de ces structures indiquent un entraînement dextre.

#### **6.1.4 Minéralisations**

Un gîte et quatre indices encaissés dans la tonalite rapportent des valeurs importantes en or et parfois en cuivre (gîte Zone 32 et indices Mico-Milan, Pari, Brèche et Zone Veine). Quelques échantillons de la Zone 32 montrent également des valeurs notables en argent. La minéralisation reconnue à ces indices prend différentes formes définies comme des types distincts. Ainsi, le type le plus important est la minéralisation disséminée caractérisée par l'abondance (3-5%) de grains millimétriques de sulfures (Py-Cp-Sp) encaissés dans des zones fortement altérées et généralement fortement déformées (schiste à séricite) et dans la matrice des brèches à biotite. L'or dans ce type de minéralisation s'observe communément

en grains sub-millimétriques libres dans la gangue ou en inclusions dans les sulfures énumérés plus haut. Des grains sub-millimétriques de tellures ont également été observés.

Le second type de minéralisation est constitué de veinules à sulfures (Py-Cp-Sp) d'épaisseur millimétrique à centimétrique et de continuité irrégulière, ainsi que par des amas centimétriques de sulfures (pyrite, chalcopirite, sphalérite). Ces veinules sont probablement le résultat de la remobilisation syn-déformation de la minéralisation disséminée puisque ces deux types sont spatialement associés et que les mêmes phases les composent.

Les fines veinules à carbonate et quartz d'orientation irrégulière contenant localement des sulfures (Py-Cp-Sp), auxquels de l'or est associé, forment un troisième type de minéralisation reconnu très localement.

Un autre type important de minéralisation est représenté par le stockwerk à sulfures (As-Py-Cp) d'amplitude métrique présent à l'indice Mico-Milan.

Des veines d'extension à quartz et tourmaline aurifères sont présentes dans la tonalite. Ces veines peuvent contenir de faibles quantités de sulfures auxquels l'or peut être associé. De l'or libre en grains millimétriques caractérise également ces veines.

Des grains fins de pyrite et, dans quelques cas de chalcopyrite, sont communément observés dans toute la tonalite à l'extérieur des indices minéralisés. Ces sulfures sont parfois fracturés et sont de façon générale spatialement associés à la chlorite fine.

Globalement, l'or et le cuivre montrent une corrélation évidente, tant du point de vue pétrographique que géochimique. Il y a aussi une corrélation faible mais nette entre l'or et le zinc, l'argent, le mercure et, à la limite, l'antimoine. Par contre, aucune corrélation n'est observée entre l'or et le molybdène, ni entre l'or et l'arsenic.

#### **6.1.5 Altération hydrothermale**

Cinq principaux types d'altération ont été reconnus pétrographiquement: la biotitisation, l'épidotisation, la séricitisation, la chloritisation et la carbonatation.

La biotitisation s'exprime de deux façons : en remplacement de la matrice des brèches en bordure de l'intrusion et en amas millimétriques disséminés en remplacement d'une phase primaire dans la partie centrale de la tonalite ainsi que dans les dykes de gabbro, les masses dioritiques et les dykes de lamprophyre à enclaves. De la biotite fine est aussi observée dans les roches volcaniques près du contact ouest de la tonalite.

De l'épidote (pistachite) est associée à la biotite disséminée dans la tonalite. Ces deux phases sont en équilibre et semblent remplacer une phase primaire comme une amphibole.

La séricitisation varie en intensité selon les secteurs, l'intensité maximale correspondant à la Zone 32 et à l'indice Mico-Milan. Cette altération forme localement un réseau anastomosé isolant des fragments ou des "îlots" de tonalite plus fraîche, à l'image d'une brèche hydrothermale. Ultiment, les zones séricitisées forment des lentilles de schiste à séricite dans lesquelles la déformation s'est préférentiellement développée, ce qui est notamment le cas à la Zone 32.

La chloritisation est observée dans toute la tonalite, bien qu'elle soit très faiblement développée dans le centre de l'intrusion. La chlorite remplace graduellement la biotite vers les bordures de l'intrusion ou forme de fines veinules définissant des stockwerks d'étendue décimétrique à localement métrique. Ces stockwerks sont observés dans certaines parties des indices minéralisés.

La carbonatation se manifeste par l'apparition d'ankérite et de calcite dans la tonalite, les diorites et les gabbros, ainsi que dans les brèches hydrothermales. L'ankérite est reconnue dans les échantillons provenant de la bordure sud de l'intrusion, et plus particulièrement au gîte Zone 32. Ce carbonate se retrouve sous la forme de veinules millimétriques irrégulières avec du quartz et de la séricite et sous forme d'amas localement diffus. Cette altération est beaucoup moins étendue que la séricitisation et la chloritisation. Quant à la calcite, elle est surtout reconnue dans les parties centrale et nord de la Tonalite

LGS et est probablement reliée au métamorphisme et à la destruction partielle du plagioclase.

Ces principaux minéraux d'altération forment des assemblages qui définissent trois grands types d'altération précoces qui sont l'altération potassique (biotite, épidote, séricite, albite, calcite et pyrite), l'altération propylitique (chlorite, séricite, albite, calcite, épidote et pyrite) et l'altération séricitique (séricite, quartz et pyrite). La carbonatation (ankérite et quartz) est tardive par rapport aux trois premiers types d'altérations et est associée aux épisodes de déformation D1 et plus particulièrement D2. Les observations pétrographiques montrent que l'altération potassique se concentre au centre de l'intrusion, dans les dykes et dans les brèches, et est reprise par l'altération propylitique en bordure de la tonalite. Ces deux altérations sont partiellement à totalement effacées par l'altération séricitique localisée notamment à la Zone 32 et à l'indice Mico-Milan. La carbonatation responsable de la formation de l'ankérite se superpose à ces altérations dans le couloir de déformation de la Zone 32.

Ces altérations sont responsables d'un gain important en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  et  $\text{K}_2\text{O}$ . Ces gains de masse définissent une certaine zonation à l'intérieur de la tonalite, bien que l'épisode de déformation D2 ait sévèrement affecté les zones fortement altérées. Ainsi, il semble y avoir un couloir N-S particulièrement altéré entre l'indice Mico-Milan et le gîte Zone 32, alors que le centre de l'intrusion montre, de façon très générale, une signature géochimique qui contraste de celle des bordures. Les gains et pertes de masse relatifs dans

les gabbros et diorites concordent avec les résultats obtenus pour la tonalite, ce qui suggère que toutes ces roches ont subi les mêmes épisodes d'altération.

## 6.2 RELATION ENTRE LES ÉLÉMENTS OBSERVÉS

Plusieurs des évidences pétrogénétiques et géochronologiques présentées suggèrent une origine intrusive felsique syn-volcanique pour la Tonalite LGS. Il est cependant moins évident de définir la séquence des événements structuraux et hydrothermaux à avoir affecté ce stock tonalitique pendant et après sa mise en place.

Le premier épisode d'altération reconnu dans la tonalite est illustré par l'assemblage biotite, épidote, séricite, calcite, albite et leucoxène dans la partie centrale de l'intrusion, définissant ainsi une zone d'altération potassique. L'albite, la séricite et la calcite peuvent provenir en partie de la destruction chimique d'un feldspath calcique ou potassique primaire, la biotite et l'épidote d'une hornblende primaire. Ces suppositions sont supportées par les observations pétrographiques qui montrent une association spatiale entre le plagioclase, la séricite et la calcite et un lien entre la biotite et l'épidote qui forment communément des amas rappelant la forme de phénocristaux de hornblende (pseudomorphisme). Tous ces minéraux sont reconnus dans les roches felsiques métamorphisées au faciès des schistes verts ou des schistes verts supérieurs (Yardley, 1989), mais peuvent également être reconnus dans divers types d'altération hydrothermale affectant des intrusions de composition felsique (Thompson et Thompson, 1996). Comme

la biotite contient des inclusions de rutile, l'origine hydrothermale est favorisée. Il est tout de même possible que cet épisode hydrothermal se soit partiellement déroulé de façon isochemique (Yardley *et al.*, 1995) ou suite à un autométasomatisme de l'intrusion (Gaboury et Daigneault, 1999), mais le gain en potassium mesuré ailleurs dans la tonalite indique également un apport externe de potassium par des fluides hydrothermaux.

Puisque les brèches à biotite représentent une altération potassique intense associée à une carbonatation notable, il est naturel de la mettre en relation avec l'altération potassique rencontrée au centre de l'intrusion (biotite). Elles font donc partie du système d'altération potassique – propylitique – séricitique. La biotitisation affecte également les dykes de gabbro et les diorites dans la tonalite, ce qui suggère que ces roches ont subi les mêmes événements d'altération.

La chloritisation représente l'étape suivante dans la séquence des événements hydrothermaux. En effet, les observations pétrographiques montrent que la chlorite s'est développée en partie à partir de la biotite décrite plus haut, ce qui est démontré par le remplacement graduel de cette biotite par la chlorite en s'approchant des bordures de l'intrusion, de même que dans les dykes de gabbro et les diorites.

Cette chlorite est remplacée partiellement ou encore totalement oblitérée par la séricitisation (altération séricitique) et la carbonatation. Cette altération en séricite s'est développée tardivement par rapport à la chlorite ou bien ces deux altérations sont

contemporaines. Il est également possible que la séricitisation se soit déroulée sur une plus longue période de temps, ou encore que la séricite se soit simplement développée de façon plus localisée et plus intense. Pétrographiquement, la séricite semble apparaître avant le carbonate et s'être formée durant une plus longue période de temps. Ceci est illustré par la présence de carbonates dans certains secteurs localisés des zones de séricitisation et par la présence de séricite dans quelques veinules à carbonate et quartz.

L'hématite observée à quelques endroits dans la tonalite ne semble pas être affectée par les déformations et n'est pas associée spatialement aux autres altérations, rendant difficile l'interprétation de cette altération et son intégration dans la séquence des événements. Il ne semble pas y avoir de lien entre cette altération et la minéralisation puisque qu'il n'y a pas d'association spatiale entre ces deux phénomènes.

Le lien intime entre les minéralisations et les altérations démontre un lien génétique entre la formation de minéraux d'altération et la mise en place de sulfures et d'or. Ainsi, la présence d'une minéralisation disséminée dans certaines zones et la fine dissémination de pyrite observée partout dans la tonalite s'accorde avec l'existence d'un vaste système d'altération, lequel étant associé à l'assemblage rencontré dans la partie centrale de l'intrusion (altération potassique). Les sulfures disséminés rencontrés dans les zones d'altération séricitique et les brèches hydrothermales à biotite représentent l'expression de concentrations de métaux dues à la décharge importante des fluides minéralisateurs à ces endroits suite à une interaction fluide/roche forte. Les sulfures directement associés aux

zones carbonatées et aux veinules à carbonate et quartz peuvent faire partie du même système que la minéralisation disséminée mais être le résultat d'une remobilisation locale des métaux par des fluides carbonatés. Les veinules et amas millimétriques à centimétriques de sulfures sont le résultat d'un épisode de remobilisation dynamique associé à D2 puisque cette forme de minéralisation n'est observée qu'en présence des zones à sulfures disséminés dans les zones de forte déformation.

Le stockwerk à sulfures de l'indice Mico-Milan est plissé par la fabrique S2 et certains grains allongés se retrouvent en bandes millimétriques associées à de la séricite et à des carbonates, suggérant une mise en place à peu près synchrone aux sulfures disséminés également associés à la séricitisation et à la carbonatation, donc pré-D2.

L'or retrouvé dans les veines d'extension à quartz et tourmaline formées lors de l'épisode de déformation D2 peut provenir d'une source externe comme d'une remobilisation de l'or déposé plus tôt dans la tonalite. C'est-à-dire qu'il est possible qu'un second épisode hydrothermal aurifère se soit déroulé dans le secteur.

Tous ces types d'altération et les minéralisations qui leur sont associées sont affectés à différents degrés par la déformation D2, ce qui signifie qu'elles sont apparues avant ou durant les épisodes de tectonisme D1 et D2. Cette affirmation est supportée par différentes observations, entre autres par la remobilisation des sulfures, le recoupement des zones d'altération par les veines à quartz et tourmaline syn-D2, l'accentuation importante de la

schistosité S2 à la rencontre des zones fortement altérées et la présence de dykes de lamprophyre pré-D2 contenant des fragments de tonalite minéralisée. Par contre, la relation avec D1 est moins évidente. Les épisodes d'altération et de minéralisation peuvent être pré-syn- ou post-D1.

L'observation faite dans certaines petites zones lenticulaires à séricite indique que la fabrique S2 est fortement accentuée dans les zones fortement altérées alors que la fabrique S1 n'y est pas mieux développée (figure 32). Ceci démontre l'importance de S2 par rapport à S1 en ce qui a trait à l'intensité de la déformation qui leur est associée.

Les relations constatées dans les brèches des indices Pari, Brèche et Mico-Milan suggèrent une mise en place de l'altération potassique avant la formation de la fabrique S1 puisqu'une fabrique antérieure à S2 est reconnue dans les fragments de tonalite. Cette fabrique, entraînée par S2 et soulignée par le quartz et les trainées de sulfures, peut représenter la fabrique S1 observée dans toute la tonalite. L'orientation montrée par ces divers éléments, par la zone bréchifiée et par la fabrique à l'extérieur de la brèche est cohérente, c'est-à-dire qu'il y a une continuité, l'enveloppe NE à NNE de la schistosité S1 étant conservée. Ces observations démontrent que la brèche de l'indice Pari s'est mise en place avant l'épisode de déformation D1.

Dans le cas de la brèche de l'indice Brèche, qui est associée à un dyke de lamprophyre à enclaves, la bréchification est clairement pré-D2, puisque la foliation S2 est reconnue

dans la matrice de la brèche, et post-D1 car des fragments de tonalite montrant la schistosité S1 ont subi une rotation, détruisant la continuité de l'enveloppe de la fabrique S1.

Les dykes de gabbro observés dans la tonalite ainsi que les fragments ou enclaves mafiques observés à la Zone 32 sont légèrement à fortement plissés par la fabrique S2, indiquant qu'ils se sont développés avant ou pendant D2. Comme certains de ceux-ci sont altérés (dans les zones d'altération de la tonalite), ceci suggère une mise en place pré-D2. Comme les altérations affectant ces dykes sont la carbonatation et la biotitisation, partiellement rétrogradée en chlorite (chloritisation), il est évident qu'ils ont subi les altérations décrites précédemment. Certains de ces dykes ont subi D1 (mise en place pré-D1) puisque la fabrique S1 y est observée (Daigneault, 1997) alors que quelques-uns de ces dykes recoupent la fabrique S1 ou montrent une zone de trempe où des grains reliques de tonalite sont conservés, ces xénocristaux étant aplatis dans le plan S1, suggérant également une mise en place tardi- à post-D1 pour ces quelques dykes. Suite à ces observations, il apparait que la mise en place des dykes de gabbro a débuté avant D1 pour se terminer pendant ou après D1. Les mêmes observations sont faites dans le cas des diorites observées à la Zone 32, lesquelles ont subi les mêmes événements que les dykes de gabbro, ce qui signifie qu'elles se sont mises en place très tôt dans la séquence des événements qui ont affecté la Tonalite LGS. Il est d'ailleurs possible que ces dykes et ces enclaves mafiques aient favorisé le développement des altérations et la précipitation des métaux dans ces secteurs.

La datation isotopique U-Pb (figure 15) a rapporté deux différents âges, le premier ( $2734 \pm 2$  Ma) correspondant à la formation de la Tonalite LGS (magmatisme) et le second ( $2721 \pm 4$ ) pouvant correspondre à l'hydrothermalisme responsable des altérations précoces et de la minéralisation disséminée à l'intérieur de la Tonalite LGS. Ce second âge a été obtenu à partir de couronnes de surcroissance sur les zircons primaires ayant servi à établir l'âge du magmatisme.

Une séquence évolutive est proposée pour expliquer les relations présentes dans la Tonalite LGS. Cette séquence, illustrée à la figure 44, montre la chronologie relative de chacun des événements qui ont affecté la Tonalite LGS.

### 6.3 DISCUSSION

Toutes ces relations permettent de comparer au moins quatre modèles pouvant expliquer la présence d'or à cet endroit. Le premier modèle, le moins restrictif du point de vue génétique, est celui de la formation d'un gîte d'or disséminé de type remplacement. Le second modèle propose une mise en place de l'or épigénétique dans un gîte orogénique encaissé dans un granitoïde (syn-tectonique). Le troisième cas possible fait appel au modèle de type porphyre aurifère et cuprifère. La dernière possibilité implique une superposition de plusieurs épisodes avec d'importants événements de remobilisation de l'or (quatrième hypothèse). Évidemment, il est possible que plusieurs de ces suppositions s'avèrent véridiques. La discussion qui suit s'applique à établir ou à démontrer laquelle ou lesquelles

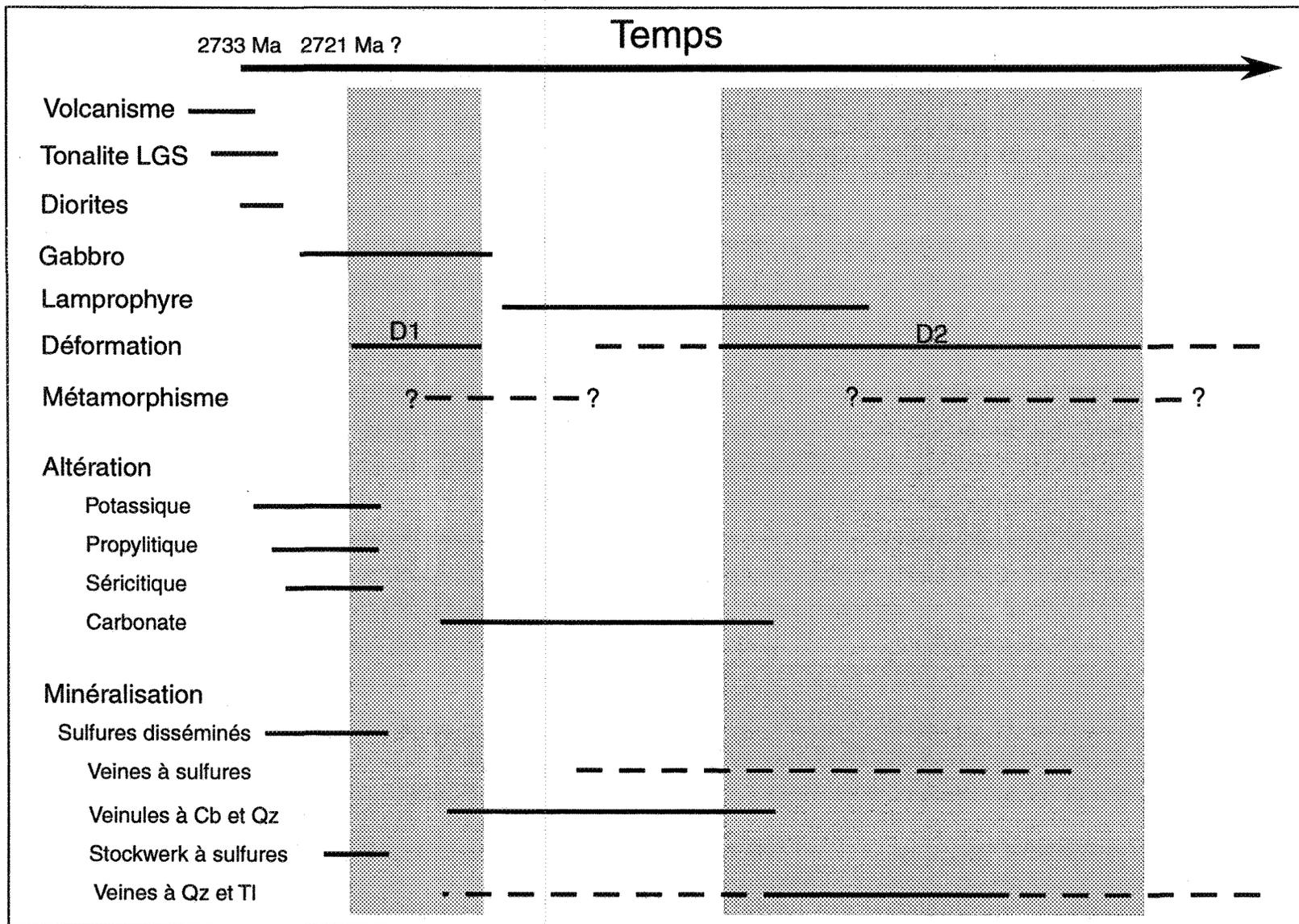


Figure 44. Séquence des événements.

de ces idées explique le mieux les éléments caractérisant la Tonalite LGS et les minéralisation qui y sont reconnues.

### **6.3.1 Gîte d'or disséminé de type remplacement**

Au sens large, ce type de gîte regroupe les minéralisations présentant peu de filons et qui se composent d'or finement dispersé dans des roches de composition variable où l'on décèle peu de contrôle des fabriques sur la minéralisation (Poulsen, 1996). Les dépôts aurifères de ce type montrent quelques caractéristiques essentielles (Poulsen, 1996) : 1) ce sont des gîtes sulfurés dans lesquels la répartition de la minéralisation aurifère n'est pas contrôlée par la présence de filons de quartz, 2) ils sont généralement encaissés dans des roches volcaniques ou clastiques auxquelles sont parfois associées des dykes et des stocks de composition variable, 3) les valeurs en or dépassent celles en argent et les métaux usuels sont très faiblement enrichis (moins de 1% des métaux combinés) et 4) la séricitisation est omniprésente, notamment dans le cas des minéralisations situées dans des environnements volcaniques. Tous les gîtes reconnus de cette catégorie se trouvent dans des terrains ayant subi un métamorphisme régional à l'origine de l'apparition de minéraux qui, bien que normalement attribuables à une altération hydrothermale, apparaissent dans la paragenèse de roches métamorphisées mais non altérées. Les assemblages de minéraux associés à ces gîtes sont donc caractérisés par la présence de séricite, de biotite, de microcline (feldspath potassique) et de carbonates qui se distinguent par leur faible abondance par rapport à la

séricite. À ces minéraux d'altération est associé un enrichissement en Au, Hg, Mo, Sb, et As.

Plusieurs exemples de ce type de gisement existent, par exemple le dépôt de Hemlo (Poulsen, 1996), qui contient environ 600 tonnes d'or et qui date de l'Archéen. Ce gisement est encaissé principalement par des tufs felsiques et des wackes recoupés par des dykes porphyriques à feldspaths.

Certaines observations faites dans la Tonalite LGS sont compatibles avec ce modèle. Ainsi, la présence de sulfures disséminés dans des zones d'altération séricitique, la carbonatation restreinte, l'absence de filons de quartz associés à l'épisode principal de minéralisation, la faible teneur en métaux usuels et des valeurs en or supérieures aux valeurs en argent dans la tonalite représentent des caractères pouvant à première vue être associés à un gîte d'or disséminé de type remplacement. Par contre des contradictions importantes sont notées entre ce type de gîte et les minéralisations encaissées dans la tonalite. Tout d'abord l'encaissant est de nature intrusive, ce qui n'est pas le cas pour les dépôts aurifères de remplacement qui sont généralement encaissés dans des roches volcano-sédimentaires. De plus, l'altération potassique dans la tonalite prend la forme de biotite plutôt que de microcline comme prévu dans le modèle de remplacement. L'enrichissement en Mo, Sb, As, Hg normalement observé dans ces gîtes n'est pas reconnu dans la tonalite, le molybdène et l'antimoine se présentant en quantités faiblement anormales dans quelques échantillons de la tonalite.

Il apparaît donc suite à cette courte analyse que certaines caractéristiques importantes des gîtes d'or disséminé de remplacement sont manquantes dans les minéralisations reconnues à l'intérieur de la Tonalite LGS, incitant ainsi à écarter ce premier modèle.

### 6.3.2 Gîte orogénique encaissé dans un granitoïde

Ce type de gîte fait référence à ce qui est communément appelé gîte d'or mésothermal syn-tectonique ou encore "lode-gold" en Amérique du Nord et qui a été décrit en détail entre autres par Robert et Brown (1986a, b) et par Robert et Poulsen (1997). Le terme orogénique a été proposé par Groves *et al.* (1998). Un sous-groupe dans cette classification a ensuite été mis de l'avant par Cassidy *et al.* (1998) pour désigner plus particulièrement les gîtes orogéniques encaissés dans des granitoïdes d'âge Archéen. Comme les minéralisations étudiées dans le cadre de ce travail sont encaissées dans une tonalite archéenne faisant partie d'un assemblage tectonisé, il est possible que les minéralisations qui y sont présentes fassent partie d'un système dit orogénique, donc syn-tectonique.

Les principales caractéristiques de ce type de gisement, en plus d'être encaissé dans des roches granitiques datant de l'Archéen, sont : 1) un contrôle structural à différentes échelles, 2) la présence de minéralisations dans les séquences supracrustales adjacentes, 3) une altération et des veines ou veinules auxquelles sont associés des gains de SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, S et des gains variables en Na<sub>2</sub>O à l'origine du développement de l'assemblage quartz – biotite – albite – calcite/ankérite – pyrite – séricite – chlorite – épidote - tourmaline. Bien

que les granitoïdes encaissants ne soient pas la source dominante des fluides, ils favorisent le développement de pièges structuraux et parfois chimiques responsables de la mise en place des métaux (Cassidy *et al.*, 1998). Généralement, le métamorphisme caractérisant les séquences encaissantes varie du faciès des schistes verts au faciès des amphibolites. La minéralisation dans ces systèmes se met en place durant ou après l'épisode de métamorphisme. Cette minéralisation peut se mettre en place en plus d'une étape, la première étape se caractérisant par un régime structural ductile à cassant et les épisodes subséquents se caractérisant par un régime structural fragile. Ainsi, la minéralisation peut aussi bien être associée à des veines qu'à des cisaillements ou des brèches (Eisenlohr, 1988 ; Cassidy, 1992). Les phases constituant la minéralisation sont largement dominées par les sulfures, la pyrite étant le plus abondant de ces sulfures bien que de la pyrrhotite, de la chalcopyrite, de la sphalérite et de la galène soient occasionnellement reconnus. L'association métallique typique de ces gîtes est Au-Ag-As-W-Pb-Mo (Cassidy, 1998).

Le gisement de la mine Sigma, en Abitibi, représente peut-être le meilleur exemple de ce type de gîte au Québec. Ce gisement, caractérisé par un réseau de veines à quartz-tourmaline-carbonate aurifères développées dans des cisaillements, contient près de 300 tonnes d'or (Robert et Poulsen , 1997). Ces veines recoupant l'assemblage formé de roches métavolcaniques, de dykes dioritiques et de dykes prophyriques à feldspaths plus âgés que la minéralisation associée aux veines.

Suite à l'énumération de ces caractéristiques, il est possible de constater qu'une grande partie des observations faites dans la Tonalite LGS cadrent avec ce modèle de gîte d'or épigénétique. En effet, les minéralisations des indices encaissés dans la tonalite sont affectées à différentes échelles par la déformation, les assemblages minéralogiques et les changements de matière résultant de l'altération hydrothermale sont sensiblement les mêmes et d'autres minéralisations aurifères sont rencontrées dans la séquence encaissante. Dans le cas à l'étude, la minéralisation pourrait donc s'être mise en place lors des épisodes de déformation D1 et D2. La présence d'arsénopyrite et de veines et veinules à tourmaline, quartz et sulfures et la carbonatation cadrent également bien dans un modèle orogénique syn-D2.

Toutefois, certains détails importants reconnus à la Tonalite LGS viennent contredire ce modèle. D'une part, bien que l'assemblage minéralogique résultant de l'altération concorde avec celui défini pour les gîtes orogéniques dans les granitoïdes, l'étendue de l'altération dans la tonalite par rapport à la distribution des minéralisations n'est pas celle attendue pour les minéralisations associées à des pièges structuraux. Les altérations dans la tonalite sont très importantes et de forte étendue, contrairement aux gîtes structurellement contrôlés puisque l'altération y est limitée généralement à quelques centimètres ou quelques mètres de part et d'autre de la zone de déformation porteuse de la minéralisation (Ridley *et al.*, 1996). D'autre part, les altérations de la Tonalite LGS s'étendent même dans les zones peu affectées par la déformation.

Des différences sont également notées du point de vue de la minéralisation. Certaines zones très faiblement déformées sont parfois minéralisées et contiennent des grains disséminés de pyrite et occasionnellement de chalcopyrite. L'or dans la Tonalite LGS est communément associé à de la sphalérite, ce qui n'est pas commun dans le cas des gîtes orogéniques où la sphalérite n'est qu'une constituante occasionnelle des minéralisations. De plus, l'association métallique entre l'Au, le Mo, le W et le Pb n'est pas évidente sinon absente dans le cas des minéralisations encaissées dans la tonalite.

Toutes ces observations permettent de dire que le modèle orogénique ou mésothermal ne suffit pas à expliquer la formation des altérations et la mise en place des minéralisations aurifères dans la Tonalite LGS.

### **6.3.3 Gîtes aurifères et cuprifères de type porphyre**

Le troisième modèle proposé pour expliquer les événements qui ont affecté la Tonalite LGS touche au modèle des gîtes aurifères et cuprifères de type porphyre. Ce modèle de minéralisation précoce est bien connu et est retrouvé dans des terrains de différents âges, notamment archéens. Ces terrains correspondent généralement à des environnements d'arc continental ou océanique (Sillitoe, 1993). Les caractéristiques fondamentales qui permettent de reconnaître ce type de gîte, selon Sillitoe (1993), sont énumérées ici : Un stock syn-volcanique felsique à intermédiaire de forme cylindrique verticale encaissant une partie ou la totalité de la minéralisation doit être présent, ce stock pouvant être polyphasé. Il

est cependant à noter que certains gîtes de type porphyre ont également été reconnus dans des intrusions syn-tectoniques mises en place dans des bassins de type "pull-apart" (Poulsen *et al.*, 2000 ; Mueller et Donaldson, 1992). La texture peut être porphyrique, alors que la composition peut varier entre calco-alkaline pauvre en potassium, calco-alkaline riche en potassium et alcaline en se basant sur le rapport  $K_2O/SiO_2$ . L'intrusion doit être de type I (igné). Cinq types principaux d'altération sont reconnus dans et autour des systèmes de type porphyre : potassique, propylitique, intermédiaire argileuse, phyllique (séricitique) et argileuse avancée. L'altération potassique contient généralement de la biotite disséminée ou en veinules à laquelle peuvent être associés des feldspaths potassiques, de l'amphibole magnésienne, de l'épidote et de l'albite. Des grains de sulfures disséminés (pyrite, chalcopryrite et/ou bornite) sont retrouvés dans cette altération. La magnétite est une phase minérale importante dans cette altération, pouvant composer jusqu'à 5 et même 10 % de la roche.

L'altération propylitique, caractérisée par la coexistence de chlorite, d'épidote, de calcite et d'albite, entoure l'altération potassique. La chlorite se développe aux dépens de la biotite. La pyrite disséminée fait également partie de cet assemblage. L'altération argillique est généralement très large et se compose de quantités variables de séricite, illite, smectite, chlorite et calcite. La magnétite est marmitisée (hématisée) et de la pyrite est présente, avec ou sans chalcopryrite.

L'altération phyllique ou séricitique, qui n'apparaît pas dans tous les porphyres aurifères ou qui y est peu développée, se caractérise par une destruction partielle ou totale des textures primaires et se superpose à l'altération potassique et à l'altération argillique. La séricite domine largement cet assemblage. De la pyrite disséminée ou en veinules est associée à la séricite. Dans certains cas la minéralisation en cuivre et or se retrouve dans les zones d'altération séricitique.

L'altération argillique avancée se retrouve au sommet du système et s'étend surtout dans la séquence volcanique sus-jacente. L'assemblage rencontré est composé de quartz, d'alunite, de pyrophyllite, de diaspore et de kaolinite. Cette altération peut dans certains cas se superposer aux altérations décrites précédemment. En plus de ces altérations, des brèches hydrothermales sont communément associées aux gisements aurifères de type porphyre. Ces brèches sont générées tôt dans le système par des fluides hydro-magmatiques (magmatique et hydrothermal) et s'accompagnent d'une forte altération potassique à laquelle peuvent être associées des quantités importantes de cuivre et d'or.

Enfin, l'or dans ce type de gîte se met en place lors de l'épisode d'altération potassique, c'est-à-dire relativement tôt dans la séquence des événements, et se concentre généralement en corps cylindriques. Les valeurs en or et en cuivre montrent généralement une corrélation positive, l'or étant intimement associé aux sulfures de fer et de cuivre, soit en inclusions, soit en excroissances. Le rapport Au/Ag est généralement supérieur à 1. Des sulfures de zinc et de molybdène peuvent être rencontrés. Cependant, les porphyres

aurifères semblent former un terme extrême du spectre des minéralisations associées à ces systèmes, les porphyres à molybdène formant l'autre extrémité de ce spectre (Cox et Singer, 1988), ce qui signifie que des valeurs anormales en molybdène sont normalement peu communes dans les porphyres aurifères. L'or libre est communément observé près des sulfures. Des tellurures sont reconnus dans certains gisements mais sont considérés comme des ajouts tardifs.

Plusieurs exemples de ce type de gisement sont observés dans le monde. Au Canada, plusieurs dépôts de type porphyre sont présents, plus particulièrement dans l'Ouest, ces gisements s'étant formés en grande partie au Mésozoïque. Les exemples archéens sont plus rares. Le gisement Troilus, au Québec, montre plusieurs caractéristiques des gîtes aurifères et cuprifères de type porphyre (Carles *et al.*, 1999 ; Fraser, 1993).

À la lumière de cette énumération, il semble que le modèle de type porphyre aurifère et cuprifère peut accommoder plusieurs des observations faites dans la Tonalite LGS. Tout d'abord l'encaissant est bel et bien un stock intrusif felsique syn-volcanique d'affinité calco-alkaline, lequel montre également la signature géochimique des granitoïdes mis en place dans un environnement d'îles-en-arc. La question de la texture de la tonalite mérite attention. En effet, la texture porphyrique n'est pas reconnue à première vue sur le terrain comme en lame mince, mais comme il est mentionné dans le chapitre sur les déformations, il est possible que la forme actuelle des grains de quartz soit le résultat de la déformation de phénocristaux millimétriques primaires de quartz. Quant au plagioclase, les

observations faites au coeur de la tonalite montrent que cette phase se présente sous la forme de cristaux équi-granulaires et non en phénocristaux. Seulement quelques cristaux zonés ont été observés en lame-mince mais les cristaux maclés ont été communément observés. Par contre, certains dykes situés du côté ouest ainsi qu'au sud-est de l'intrusion montrent quant à eux une texture porphyrique à quartz et plagioclase bien développée et relativement bien conservée. Il est toutefois important de noter que des gîtes dits de type porphyre peuvent également apparaître dans des intrusions à texture équi-granulaire (Goldie *et al.*, 1980).

Du côté des altérations, il a été démontré que la tonalite est affectée par différents assemblages minéralogiques attribués à divers types d'altération. Ces assemblages correspondent aux altérations potassique, propylitique, séricitique et carbonatée. Ces altérations présentent une zonalité à l'intérieur de l'intrusion, l'altération potassique se retrouvant au coeur du stock et l'altération propylitique enveloppant l'altération potassique et occupant la périphérie de la tonalite. L'altération séricitique est plus localisée, moins étendue, comme dans le cas des gîtes de type porphyre. Bien que ces altérations et leur disposition les unes par rapport aux autres semblent montrer un arrangement typique des gîtes porphyriques aurifères, certains faits constatés dans la tonalite ne s'accordent pas avec le modèle accepté. Tout d'abord, la magnétite caractérisant normalement l'altération potassique est absente dans le cas à l'étude. Il est possible que cette magnétite ait été détruite lors du métamorphisme ou qu'elle ait été oxydée (hématisée). Il n'y a cependant pas vraiment d'hématite dans la tonalite à l'exception de certaines zones hématisées de

couleur rougeâtre, lesquelles ne sont toutefois pas associées à la minéralisation. Il est également possible que cette magnétite n'ait jamais été présente dans la tonalite, comme ça semble être le cas pour plusieurs gisements d'or de type porphyre (Fraser, 1993). La possibilité que l'or ait été transporté principalement sous forme de complexes sulfurés plutôt que dans la magnétite est à considérer. Dans ce cas, même un magma à caractère oxydant pourra être à l'origine d'un enrichissement en or. Ainsi, l'or plutôt que de précipiter par réduction au contact de la magnétite, précipitera suite à la dilution, au refroidissement ou à la séparation des phases gazeuse et liquide de la solution hydrothermale porteuse (Seward et Barnes, 1997 ; Candela, 1989). Il est finalement possible que la magnétite ait bel et bien été présente mais qu'elle se soit déposée dans une partie de la tonalite aujourd'hui érodée. Il semble toutefois plus probable que cette magnétite n'ait jamais existé et que la magma à l'origine de la Tonalite LGS et des altérations qui y sont reconnues ait été plutôt oxydant.

Un autre point de discussion concerne les altérations. En effet, seulement trois types d'altération sur les cinq types classiques sont reconnus dans la Tonalite LGS (potassique, propylitique et séricitique). Les altérations argillique et argillique avancée n'ont soit jamais existé dans le secteur à l'étude, soit elles ont été détruites par le métamorphisme. Il est également possible que ces altérations aient pris place dans des secteurs aujourd'hui érodés ou déplacés structurellement car ces altérations se développent dans les niveaux supérieurs des systèmes porphyriques.

Une autre caractéristique importante des gîtes aurifères et cuprifères de type porphyre observée dans la Tonalite LGS est la présence de brèches hydrothermales. La description de ces brèches dans les chapitres concernant l'altération et les minéralisations a permis d'émettre l'hypothèse que ces structures se soient formées de façon précoce dans la séquence des événements et qu'elles soient reliées à l'altération potassique. Sillitoe (1985), dans sa revue des différents types de brèches, réserve une section aux brèches magmatiques-hydrothermales associées aux dépôts de type porphyre, en faisant une classe particulière. Les principales caractéristiques rapportées pour ces structures sont : 1) formes et tailles très variées, 2) continuité variant de quelques mètres à un ou deux kilomètres, 3) terminaisons caractérisées par des stockwerk discontinus, 4) fragments de l'encaissant anguleux à arrondis, 5) altération potassique importante dominée par la biotite, séricitisation avec carbonates et chlorite et, 6) concentrations en métaux supérieures à celles mesurées dans les roches encaissantes. Toutes ces caractéristiques correspondent au cas de la brèche de l'indice Pari. Bien que la brèche de l'indice Mico-Milan ne soit pas identique à celle de l'indice Pari, elles sont probablement reliées au même mécanisme de formation puisque deux brèches montrant des géométries et des textures différentes dans un même environnement peuvent très bien être reliées au même événement (Sillitoe, 1985).

Comme certains dykes de gabbro ainsi que les masses dioritiques se retrouvant dans la tonalite sont également altérés et minéralisés, il est fortement probable qu'ils se sont mis en place très tôt dans la séquence des événements. Il n'a pas été démontré dans le cadre de cette étude que ces intrusions sont comagmatiques avec la tonalite, cependant ceci n'est

basé que sur l'analyse des éléments majeurs et les éléments traces Y et Zr. Une étude à l'aide de spectres de terres rares pourrait certainement donner des résultats plus fiables. Il est donc possible que ces roches forment un stock polyphasé dans lequel la phase felsique (tonalitique) est dominante. Il est également possible que les dykes de gabbro aient été des conduits nourriciers pour les laves sus-jacentes. En considérant la possibilité que ces roches ne soient pas nécessairement comagmatiques ou cogénétiques, rien n'empêche qu'elles se soient mise en place de façon à peu près contemporaine, ayant donc subi les mêmes événements hydrothermaux et structuraux subséquents à leur mise en place.

De plus, des dykes felsiques tonalitiques, parfois micro-porphyriques, sont observés du côté ouest de la tonalite et dans les roches volcaniques de la séquence encaissante. Ces dykes, bien que d'épaisseur généralement inférieure à un mètre et de relativement faible abondance, apportent une évidence de système magmatique de type porphyre dans la secteur La-Grande-Sud.

Les dykes de lamprophyre à enclaves observés dans la Tonalite LGS, et ailleurs dans le secteur La-Grande-Sud, sont peut-être associés au système magmatique-hydrothermal de type porphyre discuté. En effet, l'association entre des gîtes de type porphyre et des intrusions lamprophyriques tardives est commune et d'une grande importance dans la genèse de gîtes métallifères (Wyman et Kerrich, 1988). Keith *et al.* (1998) ont démontré que les processus magmatiques opérant dans les systèmes de type porphyre se déroulent en trois grandes étapes : 1) fractionnement d'un magma calco-alcalin de composition

intermédiaire dans une chambre magmatique subvolcanique afin d'atteindre une saturation en eau adéquate dans un volume de magma significatif, 2) interception ou sous-placage du magma intermédiaire par un faible volume de magma mafique et, 3) convection d'un magma enrichi en volatiles à partir de la base vers le sommet de la chambre magmatique dans une coupole subvolcanique où se produit la séparation des volatiles et l'enfoncement du magma dégazé. Physiquement, ceci signifie qu'un magma mafique (lamprophyre) se mélange avec un magma intermédiaire (diorite) et fournit des concentrations importantes de  $\text{SO}_2$ , de  $\text{H}_2\text{O}$ , de Cu, d'Or et d'autres éléments chalcophiles à la chambre magmatique subvolcanique. La convection de ces volatiles insolubles, qui peuvent inclure du  $\text{CO}_2$  et du  $\text{H}_2\text{S}$ , contribue à la formation de fluides minéralisateurs. Ensuite, la cristallisation le long des murs de la chambre magmatique permet la formation de fluides riches en eau, qui, à leur tour, provoquent une baisse de la pression. Cette baisse de pression associée avec la mise en place de stocks felsiques (tonalite) permet le relâchement de fluides minéralisateurs enrichis en métaux et en gaz sulfureux dans les roches sus-jacentes comme les stocks et les dykes mis en place précocement dans le système. Finalement, les lamprophyres peuvent être injectés dans la séquence et recouper les minéralisations et les stocks précoces (Keith *et al.*, 1998).

C'est donc dire qu'il est possible que les dykes de lamprophyre soient l'expression finale de la chambre magmatique à l'origine des fluides minéralisateurs ayant formé les minéralisations (et les altérations) de type porphyre rencontrées à l'intérieur de la Tonalite LGS, ce qui vient appuyer l'hypothèse d'un système de type porphyre à La-Grande-Sud.

Les minéralisations de la Tonalite LGS ressemblent également beaucoup aux gîtes aurifères et cuprifères de type porphyre du point de vue minéragraphique. L'or se retrouve associé aux sulfures disséminés et en veinules, soit en inclusions, soit en grains micrométriques libres dans les zones à sulfures et montre une corrélation positive avec le cuivre et le rapport Au/Ag est nettement supérieur à 1. Les sulfures sont dominés par la pyrite et la chalcopyrite, la sphalérite est également présente. Le molybdène est localement en quantité anormale. Des tellures sont reconnus très localement. Spatialement, la minéralisation est présente dans toute la tonalite, mais se concentre dans les brèches et dans les zones d'altération séricitique. La coïncidence entre la minéralisation la plus importante (gîte Zone 32) et une zone de séricitisation intense n'est pas exceptionnelle, ceci étant observé dans d'autres gisements du même type (Sillitoe, 1993).

En résumé, ce modèle explique une bonne partie des observations concernant les altérations et les minéralisations de la Tonalite LGS.

#### **6.3.4 Intégration et interprétation des données à partir des modèles proposés**

Des trois modèles ou hypothèses proposés, seule la première a pu être écartée définitivement (gîte d'or disséminé de type remplacement) pour les raisons évoquées plus haut, les deux autres pouvant expliquer une partie des observations faites dans la Tonalite LGS. Ceci amène donc la proposition d'une quatrième hypothèse, soit la possibilité de la

superposition d'un ou plusieurs épisodes d'altération et de minéralisation. Comme il vient d'être établi, la Tonalite LGS et les minéralisations qu'elle renferme s'intègrent bien dans un système aurifère et cuprifère archéen de type porphyre. Cependant, une partie de l'altération et de la minéralisation observée correspond à un système syn-tectonique ou orogénique. Le tableau 5 présente une comparaison entre les modèles proposés et les observations faites dans le cadre de cette étude.

Ainsi, un premier épisode de circulation de fluides hydrothermaux s'est donc déroulé également relativement tôt dans l'histoire de l'intrusion, suivi par un premier événement de déformation (D1) venant affecter la tonalite. Les fluides hydrothermaux sont responsables de la zonation des assemblages d'altération (potassique, propylitique et séricitique) et de l'apparition de pyrite, de chalcoppyrite et de sphalérite disséminés. Cet événement correspond également à un premier épisode de mise en place d'or. La figure 45 illustre, de façon idéalisée, la géométrie possible du gîte aurifère et cuprifère de type porphyre. Ainsi, la formation précoce de zones d'altération localement intense a certainement favorisé la localisation des déformations subséquentes en formant des secteurs rhéologiquement plus faibles que le reste de la tonalite.

Un second épisode de déformation (majeure) a affecté la tonalite et ses minéralisations. Cet épisode (D2), est responsable, en plus du plissement des unités et de l'étirement vertical, du développement de zones de cisaillement dans lesquelles se sont développées des veinules à quartz et carbonates avec carbonatation des épontes, suivies de la formation

Tableau 5. Comparaison des trois modèles proposés avec la Tonalite LGS.

Caractéristiques	Tonalite LGS	Gîte d'or disséminé de remplacement *	Gîte orogénique (mésothermal) *	Gîte aurifère et cuprifère de type porphyre *
Lithologie encaissante (composition et texture)	Tonalite ou trondhjémite calco-alcaline syn-volcanique de milieu d'îles-en-arc.	Roches volcanoclastiques et sédimentaires. Parfois association avec dykes.	Roches volcaniques et intrusives fortement affectées par la déformation.	Corps intrusifs calco-alcalins à alcalins. Felsiques à intermédiaires.
Structure	Deux épisodes de déformation D1 et D2, ductiles et fragiles.	Présente ou non. Stratification dominante, dépôts semi-concordants.	Présence de cisaillements importants et de zones de cisaillements satellites. Déformation ductile et fragile.	Présente ou non. Mise en place en régime extensif. Autofracturation discrète. Brèches (fragile).
Altérations principales	Potassique (biotite, épidote, calcite, albite, pyrite). Propylitique (chlorite, albite, pyrite, calcite). Séricitique (séricite, sulfures, quartz). Carbonatée (ankérite, quartz, séricite). Étendue restreinte à large.	<i>Altération potassique (feldspath potassique). Séricitisation Sulfuration (pyrite disséminée). Étendue restreinte à large. Altération alumineuse et silicification.</i>	<i>Carbonatation (ankérite, calcite, quartz). Séricitisation Sulfuration. Chloritisation. Étendue restreinte.</i>	Potassique (biotite, feldspath-K, magnétite, épidote). Propylitique (chlorite, épidote, calcite). Séricitique (séricite, quartz, sulfures). Argileuse et argileuse avancée (argiles, quartz). Étendue restreinte à large.
Typologie des minéralisations	Sulfures disséminés (Py-Cp-Sp), veinules et stockwerk à carbonate et quartz avec sulfures (Py-Cp-As), veinules à quartz et tourmaline et veinules à sulfures (Py-Cp-Sp). Brèches à sulfures disséminés. Au-Cu+Ag	<i>Sulfures disséminés (Py) avec Au. Très peu ou pas de veines.</i>	<i>Veines à quartz et carbonates aurifères. Veines à quartz et tourmaline. Sulfures disséminés dans les épontes ou dans les zones de cisaillement. Au-As-Sb-Te</i>	<i>Sulfures disséminés ou en fines veinules irrégulières dans l'intrusion ou dans les roches encaissantes. Au-Cu-Mo.</i>
Exemple de gisement		Hemlo (Ontario)	Sigma (Québec)	Troilus (Québec)

\* *En italique* = Caractéristiques du modèle présentes dans la Tonalite LGS.

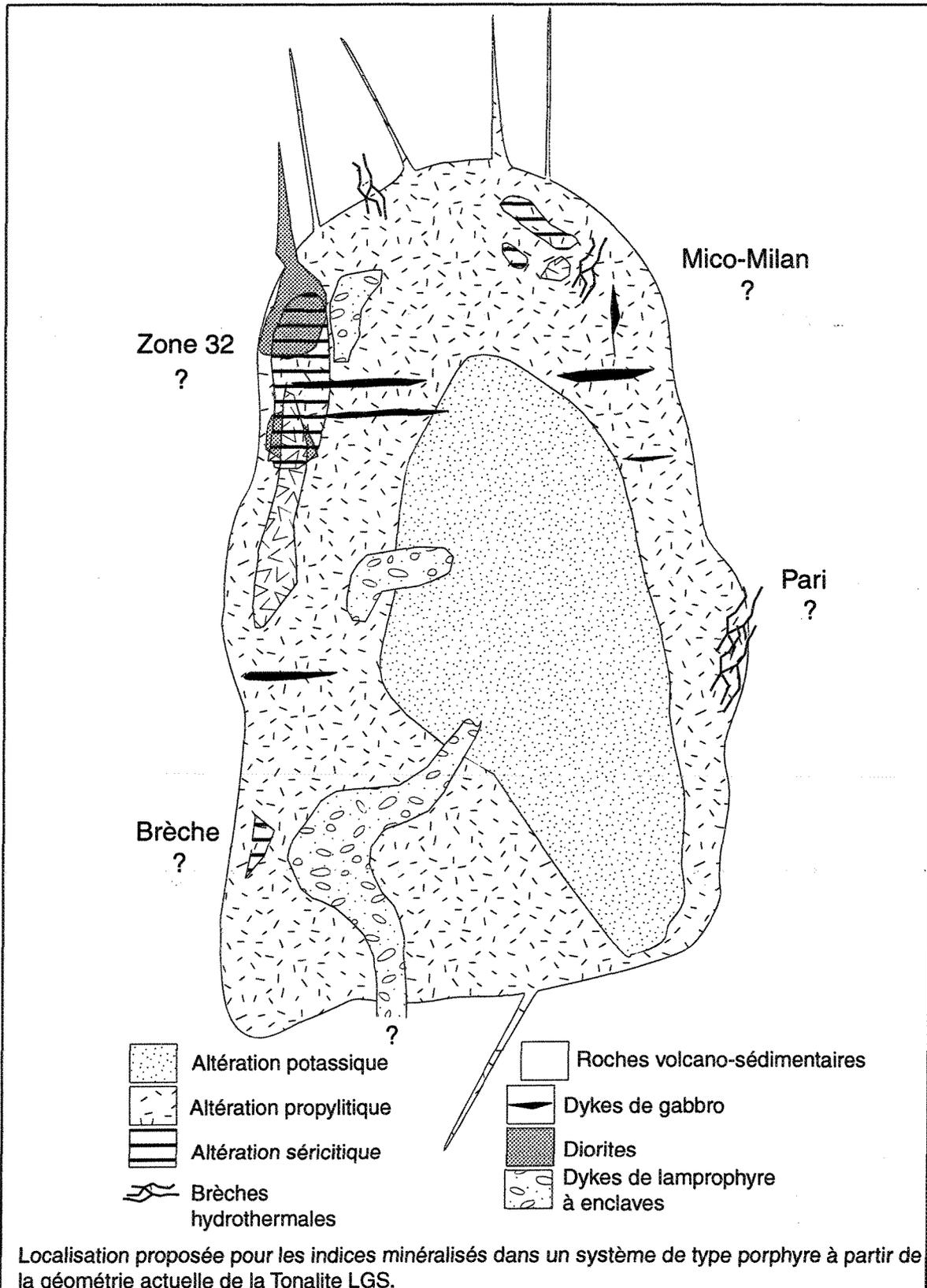


Figure 45. Modèle idéalisé de type porphyre.

dans le reste de la tonalite de veines d'extension sub-horizontales et subverticales à quartz et tourmaline contenant de la chlorite "cristalline" et localement quelques sulfures et de l'or visible. Encore une fois, la source de l'or peut être locale (remobilisation) ou externe. De plus, la déformation D2 est à l'origine de la remobilisation importante des sulfures disséminés par l'entremise du fluide carbonaté, ceci ayant mené à l'apparition des minéralisations de type veines, veinules et amas à sulfures. Les veines sub-horizontales et subverticales syn-D2 se comparent aux gîtes mésothermaux typiques de la région de Val-d'Or. Dans ce cas, la tonalite n'a servi que de piège structural. Des déformations fragiles et ductiles tardives sont responsables de la légère déformation ou de certains déplacements des zones altérées et minéralisées. La figure 46 illustre de façon schématisée l'évolution structurale de la Tonalite LGS.

Ainsi, la fabrique S1, qui représente une déformation d'intensité modérée à l'intérieur de la Tonalite LGS, peut être corrélée avec la fabrique S1 observée dans la séquence volcano-sédimentaire encaissante, qui est parallèle au S0 (litage). L'apparition de cette fabrique peut être le résultat d'un chevauchement, qui serait lui-même responsable de la verticalisation des unités lithologiques et de la Tonalite LGS. La Tonalite pouvant en fait être un filon-couche injecté dans la séquence volcano-sédimentaire (figure 45). La fabrique S2 se serait alors développée suite au raccourcissement N-S associé au plissement de S1 et S0 et à des mouvements principalement verticaux suivis de déplacements dextres tardifs.

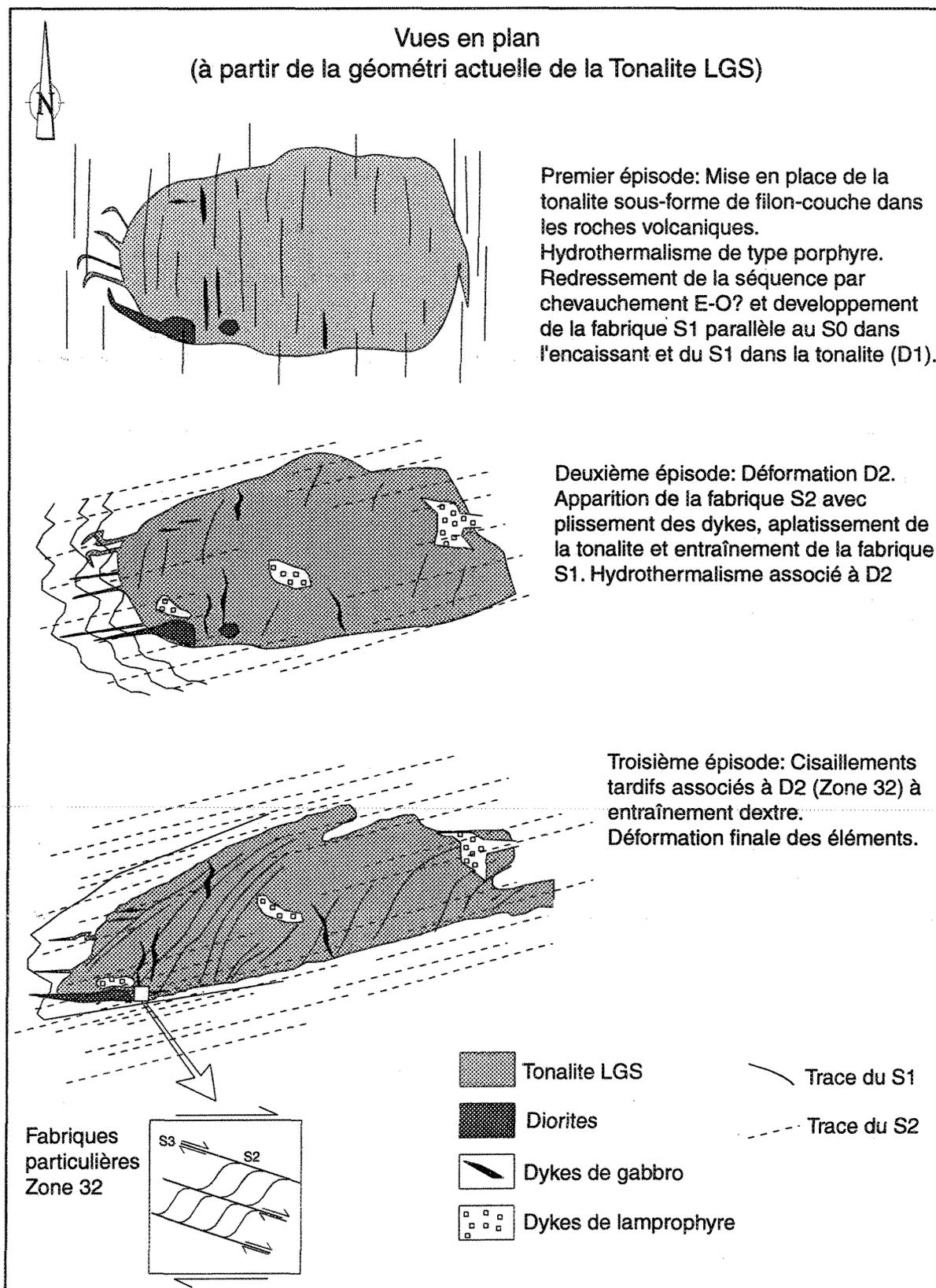


Figure 46. Histoire structurale de la Tonalite LGS.

Donc, la Tonalite LGS et les minéralisations qui y sont observées sont le résultat de la superposition d'une séquence complexe d'événements géologiques, les derniers événements venant masquer partiellement les événements les ayant précédé. Toutefois, les minéralisations associées à la Tonalite LGS montrent plusieurs évidences permettant d'affirmer qu'il s'agit à l'origine d'un système aurifère et cuprifère archéen de type porphyre.

### **6.3.5 Implications pour l'exploration**

La géométrie actuelle des minéralisations aurifères prenant place dans la Tonalite LGS est le résultat de la superposition de plusieurs événements géologiques importants qui sont responsables de la mise en place de l'or, en une ou plusieurs étapes, et de la remobilisation de l'or mis en place tôt dans la séquence des événements. Ceci fait en sorte que l'or peut être présent à peu près à n'importe quel endroit dans la tonalite. D'autres zones d'altération séricitique enrichies en or peuvent être présentes en profondeur et ne pas apparaître en surface, d'autres brèches hydrothermales peuvent également exister. De plus, il est possible que des pièges structuraux propices à la concentration de l'or "orogénique syn-D1 ou syn-D2" soient mieux développés en profondeur dans les zones de cisaillement.

Évidemment, à l'échelle régionale, la reconnaissance d'intrusions syn-volcaniques s'avère d'un grand intérêt, pouvant elles aussi contenir des minéralisations aurifères et cuprifères de type porphyre. De la même façon, les couloirs de déformation D1 et D2 sont à

considérer puisqu'il est possible qu'un ou plusieurs épisodes de circulation de fluides minéralisateurs ou de remobilisation de minéralisations pré-existantes soient associés au développement de ces structures. D'ailleurs, comme mentionné dans le chapitre I, d'autres indices aurifères sont reconnus dans la séquence encaissant la Tonalite LGS. L'indice Wedding, situé à moins de trois kilomètres à l'ouest de la tonalite, est l'hôte d'une minéralisation aurifère sous forme de veines et veinules à quartz, tourmaline et carbonates subverticales et subhorizontales dans lesquelles l'or est associé à des quantités variables d'arsénopyrite. Cette minéralisation de type mésothermal (Claveau, 1999) s'est développée tardivement par rapport à D1 et durant l'épisode de déformation D2 dans des pièges structuraux tardi-D1 et syn-D2. Ce type de veine peut être comparé aux veines à quartz et tourmaline reconnues dans la tonalite. Un autre indice, As, situé à un kilomètre à l'ouest de la Tonalite LGS, est caractérisé par une minéralisation aurifère dans des veines d'extension subverticales tardi-D1 à syn-D2 développées dans une zone de déformation D1 intense reprise par D2 (Daigneault, 1996). À l'indice Ugo, situé à quelques centaines de mètres du contact est de la tonalite (Mailhot, 1999), deux types de minéralisations sont reconnus : des veinules à quartz et arsénopyrite associées à D2 et des sulfures disséminés dans des zones d'altérations affectant les roches volcaniques injectées de dykes felsiques. L'existence de ces trois indices vient supporter la possibilité d'un événement minéralisateur orogénique (mésothermal) tardi-D1 à syn-D2 à l'échelle de la propriété tout comme la possibilité d'un épisode d'altération-minéralisation précoce synchroné à la mise en place de la Tonalite LGS et de dykes felsiques dans la séquence volcano-sédimentaire encaissante.

De plus, une connaissance poussée des lithologies volcaniques et sédimentaires encaissant la Tonalite LGS pourrait permettre de définir la stratigraphie locale et ainsi reconstituer la géométrie de l'édifice volcanique local ou régional. Si tel était le cas, il deviendrait très intéressant de chercher une évolution dans les styles de minéralisations à l'intérieur de la séquence. Il est, depuis quelque temps déjà, reconnu que les systèmes volcano-plutoniques felsiques représentent des cibles à fort potentiel pour l'exploration minérale (p.ex : Elston, 1994). Ainsi, plusieurs types de minéralisations peuvent se retrouver dans une même région à l'intérieur de tels systèmes. La figure 47 illustre ce qu'a pu être l'environnement de formation de la Tonalite LGS avec les différents types de minéralisation pouvant être associés à ce système volcano-plutonique.

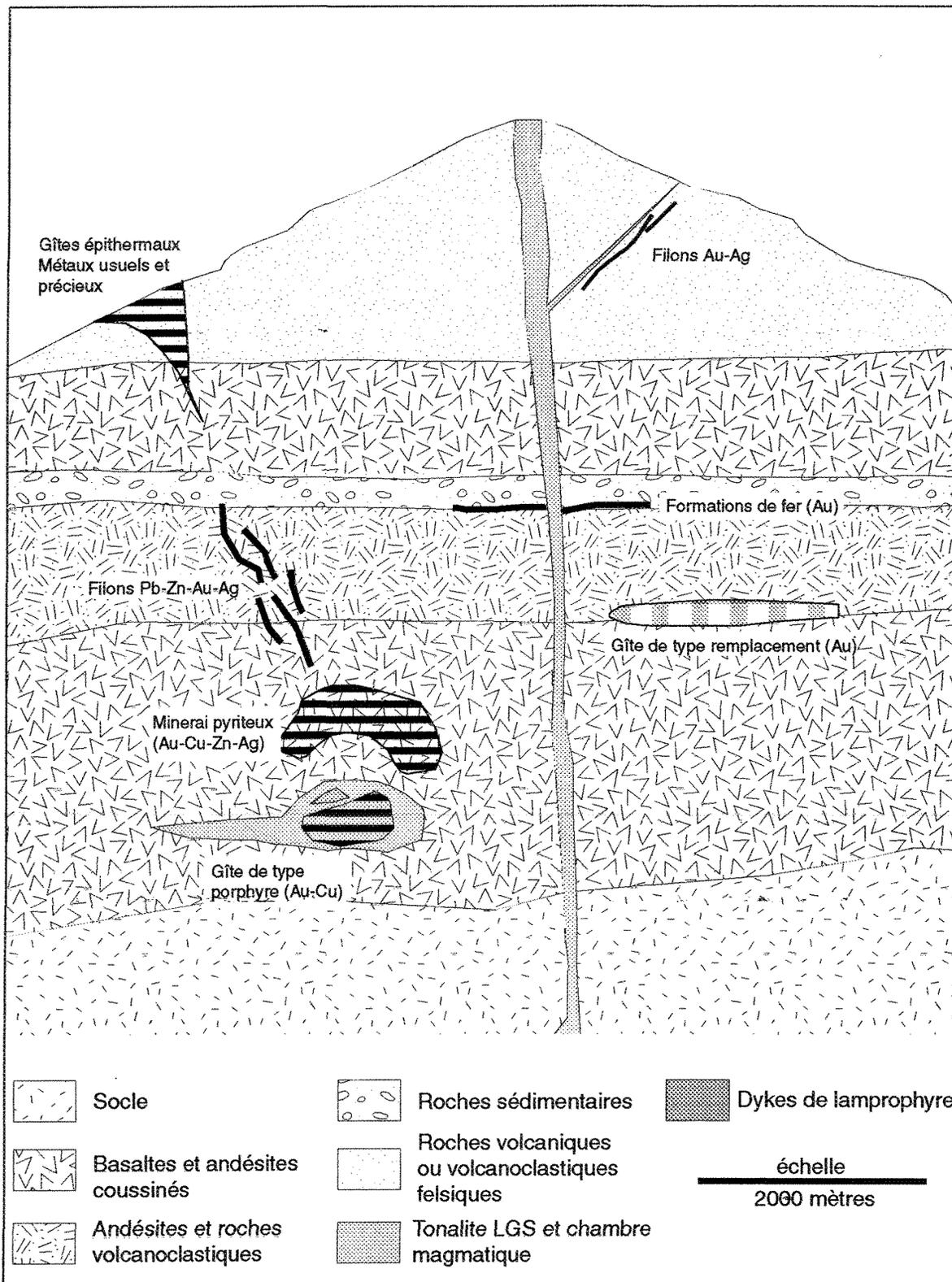


Figure 47. Potentiel minéral associé au système minéralisateur de type porphyre de la Tonalite LGS.

## CHAPITRE VII

### CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'étude pétrographique, géochimique et structurale de la Tonalite de La-Grande-Sud et des indices aurifères qu'elle renferme (Zone 32, Mico-Milan, Pari, Brèche et Zone Veine) a permis de définir l'évolution structurale de la tonalite ainsi que la typologie des altérations et des minéralisations caractérisant ces indices et de proposer un modèle de formation pour ces minéralisations.

Les analyses géochimiques indiquent que la tonalite présente une affinité calco-alcaline à caractère peralumineux, qu'elle provient d'un magma trondhjémitique et qu'elle se place dans le champ des intrusions syn-volcaniques d'îles-en-arc. Les analyses U-Pb confirment cet âge syn-volcanique. Des enclaves de diorite et de gabbro sont observées dans la tonalite et font probablement partie d'un système intrusif polyphasé avec la tonalite.

Deux épisodes de déformation ont affecté la tonalite, le premier, d'intensité modérée, est responsable de l'apparition d'une fabrique NNE verticale définie par les grains de quartz aplatis, le second, d'intensité prononcée, représente un raccourcissement N-S ayant

mené à la formation d'une fabrique E-O verticale définie par les phyllosilicates et au développement de couloirs de cisaillement E-O.

L'étude des altérations et des minéralisations permet d'affirmer que la Tonalite LGS a été affectée en premier lieu par un système aurifère et cuprifère de type porphyre sur lequel s'est ensuite superposé un système hydrothermal de type orogénique ou mésothermal associé aux déformations D1 et D2.

La minéralisation de type porphyre se signale par la présence de zones d'altération importantes montrant une zonalité particulière à l'intérieur de la tonalite. Ainsi, la partie centrale de l'intrusion est caractérisée par l'assemblage de type potassique prenant le forme de biotite disséminée, en remplacement d'un minéral primaire, associée à de l'épidote, de la séricite, de la calcite, de l'albite et de la pyrite. Cette biotite est observée également dans les gabbros, les diorites ainsi que dans les roches volcaniques près du contact ouest de la tonalite. Cette zone centrale passe graduellement vers les bordures de l'intrusion à un assemblage de type propylitique où la biotite disséminée est remplacée partiellement à totalement par de la chlorite. Des zones d'altération séricitique intense à pyrite et chalcopryrite  $\pm$  sphalérite en grains disséminés sont observées en bordure de l'intrusion, plus particulièrement à la Zone 32 et à l'indice Mico-Milan, et se superposent aux altérations potassique et propylitique. La carbonatation à ankérite à laquelle sont associées les veinules à carbonate et quartz se retrouve le long de la bordure sud de la tonalite. Des brèches hydrothermales d'amplitude métrique, reconnues aux indices Pari et Mico-Milan,

se sont développées lors de l'altération hydrothermale potassique précoce alors qu'une brèche à l'indice Brèche s'est formée lors de la mise en place d'un dyke de lamprophyre.

Les minéralisations précoces, également reliées au système de type porphyre, et associées aux altérations décrites ci-haut, se rencontrent sous diverses formes et sont affectées à différents degrés par les déformations. Le type de minéralisation le plus important se compose de sulfures disséminés (pyrite, chalcopyrite et sphalérite) auxquels l'or est associé dans les zones d'altération séricitique et parfois propylitique ainsi que dans les brèches hydrothermales à biotite. Un stockwerk à sulfures et des veinules à carbonate et quartz sont également présents.

Quant à la minéralisation de type orogénique, elle se signale par la présence de veines d'extension aurifères sub-horizontales et subverticales à quartz, tourmaline  $\pm$  chlorite et sulfures. Ces veines se sont développées lors des épisodes de déformation D1 et D2 et sont affectées à divers degrés par ces déformations (plissement et boudinage) et par les épisodes de déformation tardifs dextres. Des veinules à sulfures ainsi que des amas de sulfures sont également reconnus et sont le résultat de la remobilisation des sulfures disséminés lors de l'épisode de déformation D2.

Ainsi, la reconnaissance de contextes similaires, c'est-à-dire d'intrusions syn-volcaniques altérées et/ou déformées, ailleurs dans la région devient très intéressante car

des minéralisations syngénétiques et des minéralisations épigénétiques sont possibles et la superposition des deux types semble être particulièrement prometteuse.

### **Recommandations**

Suite aux observations faites dans le cadre de cette étude, plusieurs recommandations peuvent être proposées relatives à l'exploration et à la définition des minéralisations. Ainsi, à l'échelle de la tonalite, il est important de chercher les zones d'altération séricitique qui encaissent la minéralisation syngénétique caractérisant les indices Zone 32 et Mico-Milan. Il est tout aussi impératif de reconnaître les zones de brèches hydrothermales, lesquelles peuvent contenir de l'or syngénétique ou épigénétique. Ces zones sont reconnues sur le terrain, pétrographiquement et géochimiquement. Il est également possible de les distinguer par spectrométrie gamma. Les zones de déformation sont également d'un grand intérêt puisque la déformation D2 est à l'origine de la remobilisation de la minéralisation et possiblement de nouveaux apports d'or. À l'échelle régionale, il est important d'accorder une attention particulière aux intrusions syn-volcaniques qui peuvent elles aussi renfermer des minéralisations de type porphyre même si leur texture n'est pas porphyrique. Les zones de déformation associées à D1 comme à D2 sont à prospecter pour les minéralisations orogéniques et les remobilisations. Les dykes de lamprophyre à enclaves montrant un enrichissement en or devraient être considérés comme de bons indicateurs de zones minéralisées dans la ou les unités encaissantes. Une attention toute particulière devrait également être portée aux minéralisations volcanogènes en métaux usuels et précieux près

de la Tonalite LGS qui pourraient faire partie d'un continuum de type porphyrique – épithermal avec la tonalite, suggérant ainsi un vaste système minéralisateur.

En ce qui concerne la Tonalite LGS, d'autres études pourraient être faites afin de mieux définir le mode de mise en place des altérations et des minéralisations. Il serait donc très intéressant de procéder à l'analyse des éléments des terres-rares (ETR) et procéder à l'analyse de diagrammes multi-éléments afin de mieux caractériser la tonalite, les diorites et les gabbros (environnement tectonique de mise en place, phases comagmatiques, etc.). La détermination à la microsonde ou au microscope électronique à balayage de la composition des minéraux opaques et des phyllosilicates (biotite, séricite, chlorite et carbonates) permettrait de définir les températures de formation de la minéralisation et les conditions de remobilisation des sulfures. Des analyses isotopiques d'oxygène et d'hydrogène (isotopes stables) pourraient permettre de définir la composition des fluides minéralisateurs et leur provenance, alors que des mesures de Rb-Sr, K-Ar ou Ar-Ar pourraient permettre de dater la minéralisation ou du moins l'altération hydrothermale. L'étude des inclusions fluides donnerait de bonnes informations sur la composition et la température des fluides. Tout cela permettrait de confronter les hypothèses proposées dans cette étude aux résultats obtenus par ces méthodes de grande précision.

## RÉFÉRENCES

- Bambic, P. 1997. Lithogeochemical study of the Zone 32 and Pari Zone, La Grande Sud. Services Techniques Géonordic, Rapport interne. 40 pages.
- Barker, F. 1979. Trondhjemite, definition, environment and hypotheses of origin. *In* : Trondhjemites, Dacites and Related Rocks. *Édité par* F. Barker. Elsevier Amsterdam, pp. 1-12.
- Barnes, H.L. 1997. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. Third edition. John Wiley and Sons, New York. 972 pages.
- Barrett, T.J., et MacLean, W.H. 1994. Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VHMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks. *In* : Alteration and Alteration Processes Associated with Ore-Forming Systems. *Édité par* D.R. Lentz. Geological Association of Canada, Short Course Notes Volume 11, pp. 433-467.
- Barton, P.B., et Bethke, P.M. 1987. Chalcopyrite disease in sphalerite : Pathology and epidemiology. *American Mineralogist* **72** : 451-467.
- Batchelor, R.A., et Bowden, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology* **48** : 43-55.
- Belbakir, A., Robert, F., Vu, L., et Hubert, C. 1993. The influence of dykes on auriferous shear zone development within granitoid intrusions : the Bourlamaque Pluton, Val-d'Or district, Abitibi greenstone belt. *Journal canadien des Sciences de la Terre* **30** : 1924-1933.
- Boily, M., et Goutier, J. en préparation. Géochimie du plutonisme archéen dans la sous-province de La Grande (feuillelet 33F) : influence d'un proto-craton (2,77-2,90 Ga) dans la génèse des granitoïdes. Ministère des Ressources naturelles du Québec.
- Burrows, D.R., et Spooner, E.T.C. 1988. Relationships between Archean gold quartz-vein-shear zone mineralization and igneous intrusions in the Val-d'Or and Timmins area, Abitibi subprovince, Canada. *Economic Geology monograph* **6** : pp. 424-444.
- Cameron, E.M. 1993. Precambrian gold: perspectives from the top and bottom of shear zones. *The Canadian Mineralogist* **31**: 917-944.
- Candela, P.A. 1989. Felsic magmas, volatils and metallogenesis. *In* : Ore Deposition Associated with Magmas, *Reviews in Economic Geology*, Vol **4**, pp. 223-233.
- Card, K.D. 1990. A review of the Superior Province of the Canadian Shield, a product of Archean accretion. *Precambrian Research* **48**: 99-156.

- Card, K.D., et Ciesielsky, A. 1986. Subdivisions of the Superior Province of the Canadian Shield. *Geoscience Canada* **13** : 5-13.
- Carles, P., Goodman, S., Williams-Jones, A.E., Dion, C., et Boily, B. 1999. Les phases d'altération et de minéralisation du gisement Au-Cu de Troilus, Province du Supérieur, Québec : un système porphyrique archéen ? Ministère des Ressources naturelles du Québec. DV 99-03, p. 26.
- Cassidy, K.F. 1992. Archean granitoid-hosted gold deposits in greenschist to amphibolite facies terrains : a high P-T to low P-T depositional continuum equivalent to greenstone-hosted deposits. Thèse de doctorat, University of Western Australia, Nedlands, Australia.
- Cassidy, K.F., Groves, D.I., and McNaughton, N.J. 1998. Late-Archean granitoid-hosted lode-gold deposits, Yilgarn Craton, western Australia: deposit characteristics, crustal architecture and implications for ore genesis. *Ore Geology Reviews* **13**: 65-102.
- Claveau, M.-J. 1999. Étude métallogénique de l'indice Wedding, Propriété La Grande Sud, Baie-James. Projet de fin d'études, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec.
- Colvine, A.C. 1988. An empirical model for the formation of Archean gold deposits: products of final cratonization or the Superior Province, Canada. *Economic Geology Monograph* **6**, pp. 37-53.
- Couture, J.F., Pilote, P., Machado, N., et Desrochers, J.P. 1994. Timing of gold mineralization in the Val-d'Or district, southern Abitibi belt: evidence for two distinct mineralizing events. *Economic geology* **89**: 1542-1551.
- Cox, D.P. et Singer, D.A. 1988. Distribution of gold in porphyry copper deposits. U.S. Geological Survey, Open file report 88-46.
- Cox, K.G., Bell, J.D., et Pankhurst, R.J. 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen and Unwin, London.
- Daigneault, R. 1996. Travaux d'analyse structurale, projet La Grande Sud. Rapport présenté à Mines d'Or Virginia. Centre d'Études sur les Ressources Minérales, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.
- Daigneault, R. 1997. Rapport des travaux de terrain 1997, projet La Grande Sud. Rapport présenté à Mines d'Or Virginia. Cahier 98-1, Centre d'Études sur les Ressources Minérales, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.
- David, J., et Parent, M. 1997. Géochronologie U-Pb du projet Moyen-Nord. Rapport du Géotop soumis au Ministère des Ressources naturelles du Québec. Montréal, Québec.

Davies, J.F., Whitehead, R.E.S, Cameron, R.A., et Duff, D. 1982. Regional and local patterns of CO<sub>2</sub>-K-Rb-As alteration : a guide to gold in the Timmins area. Canadian Institute of Mining and Metallurgy. Special Volume 24.

De la Roche, H., Leterrier, J., Grande Claude, P., et Maschal, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major element analyses – its relationships and current nomenclature. *Chemical Geology* **29** : 183-210.

Dion, C., Goutier, J., Ouellet, M.-C., Houlé, M., et Mercier-Langevin, P. 1999 Métallogénie de la région de LG-Trois, Baie-James. Ministère des Ressources naturelles du Québec. DV 99-03, pp. 50.

Dion, C., Goutier, J., Ouellet, M.-C., Houlé, M., et Mercier-Langevin, P. 1998 Métallogénie de la région du lac Sakami et du réservoir Robert-Bourassa, Baie-James. Ministère des Ressources naturelles du Québec. DV 98-05, pp. 45.

Dion, C., Goutier, J., Beausoleil, C., et Chalifour, S. 1997 Métallogénie de la région du lac Yasinsky, Baie-James phase 2. Ministère des Ressources naturelles du Québec. DV 97-03, pp. 41.

Eade, K.E. 1966. Fort George and Kaniapiskau river (west half) map-areas, New Quebec. Geological Survey of Canada. Memoir 339.

Eade, K.E., Heywood, W.W., et Lee, H.A. 1967. Sakami lake area, New Quebec. Geological Survey of Canada. Carte 23-1957.

Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D., et Thorpe, R.I. 1996. Géologie des Types de Gîtes Minéraux du Canada. Commission Géologique du Canada, Géologie du Canada no 8, Ottawa, Ontario.

Eisenlohr, B.N. 1988. The structural development and controls on mineralization of the northern sector of the Norseman-Wiluna belt, Western Australia. Thèse de doctorat, University of Western Australia, Nedlands, Australia.

Eisenlohr, B.N., Groves, D.I., and Partington, G.A. 1989. Crustal-scale shear zones and their significance to Archean gold mineralization in western Australia. *Mineralium Deposita* **24**: 1-8.

Elston, W.E. 1994. Siliceous volcanic centers as guides to mineral exploration : review and summary. *Economic Geology* **89** : 1662-1686.

Etchecopar, A., et Vasseur, G. 1987. A 3-D kinematic model of fabric development in polycrystalline aggregates: comparisons with experimental and natural examples. *Journal of Structural Geology* **9**: 705-717.

Fallara, F., Moorhead, J., Ross, P.-S., et Goutier, J. 1999. Caractéristiques et potentiel pour les minéralisations de type sulfures massifs volcanogènes des séquences volcaniques du lac Sakami et de la rivière Eastmain. Ministère des Ressources naturelles du Québec. MB 99-37.

Feng, R., and Kerrich, R. 1992. Geochemical evolution of granitoids from the Archean Abitibi southern volcanic zone and the Pontiac subprovince, Superior Province, Canada: implications for tectonic history and source regions. *Chemical Geology* **98**: 23-70.

Fouques, J.P., et Schumacher, F. 1979. Rapport de synthèse des travaux réalisés depuis 1974 jusqu'au 31 décembre 1978 sur le permis SES. Rapport statutaire, Québec. GM 37017.

Fraser, R.J. 1993. The lac Troilus gold-copper deposit, northwestern Quebec : a possible archaic porphyry system. *Economic Geology* **88** : 1685-1699.

Gaboury, D., et Daigneault, R. 1999. Evolution from seafloor-related to sulfide-rich quartz vein type gold mineralization during deep submarine volcanic construction : the Géant Dormant gold mine, Archean Abitibi belt, Canada. *Economic Geology* **94** : 3-22.

Gauthier, M., Laroque, M., et Chartrand, F. 1997. Cadre géologique, style et répartition des minéralisations métalliques du bassin de la Grande Rivière, Territoire de la Baie-James. Ministère des Ressources naturelles du Québec. MB 97-30.

Gebre-Mariam, M., Hageman, S.G., and Groves, D.I. 1995. A classification scheme for epigenetic Archean lode-gold deposits. *Mineralium Deposita* **30**: 408-410.

Gilligan, L.B., et Marshall, B. 1987. Textural evidence for remobilization in metamorphic environments. *Ore Geology Reviews* **2**: 205-229.

Goldie, R., Kotila, B., et Seward, D. 1980. The Don Rouyn mine : an archaic porphyry copper deposit near Noranda, Quebec. *Economic Geology* **75** : 1680-1684.

Goutier, J., Ouellet, M.-C., Houlé, M., Mercier-Langevin, P., et Dion, C. 1998a. Géologie de la région du lac Sakami et du réservoir Robert-Bourassa, Baie-James. Ministère des Ressources naturelles du Québec. DV 98-05, pp. 44.

Goutier, J., Doucet, P., Dion, C., Beausoleil, C., David, J., Parent, M., et Dion, D.-J. 1998b. Géologie de la région du lac Kowskatehkaknow (SNRC 33F06). Ministère des Ressources naturelles du Québec. RG 98-09.

Goutier, J., Doucet, P., Dion, C., Beausoleil, C., Dion, D.-J. 1998c. Géologie de la région du lac Esprit (SNRC 33F05). Ministère des Ressources naturelles du Québec. RG 98-09.

- Goutier, J., Ouellet, M.-C., Houlié, M., Mercier-Langevin, P., et Dion, C. 1999a. Géologie de la région de LG-Trois, Baie-James. Ministère des Ressources naturelles du Québec. DV 99-03, pp. 50.
- Goutier, J., Dion, C., Lafrance, I., David, J., Parent, M., et Dion, D.-J. 1999b. Géologie de la région des lacs Langelier et Threefold (SNRC 33F03 et 33F04). Ministère des Ressources naturelles du Québec. RG 98-18.
- Goutier, J., Dion, C., David, J., et Dion, D.-J. 1999c. Géologie de la passe Chimusuminu et du lac Vion (SNRC 33F11 et 33F12). Ministère des Ressources naturelles du Québec. RG 98-17.
- Goutier, J., Dion, C., Ouellet, M.-C., David, J., et Parent, M. 2000a. Géologie de la région des lacs Guillaumat et Sakami (SNRC 33F02 et 33F07). Ministère des Ressources naturelles du Québec. RG 99-15.
- Goutier, J., Dion, C., Ouellet, M.-C., et Mercier-Langevin, P. 2000b. Géologie de la région de la colline Masson et de la passe Awapakamich (SNRC 33F09 et 33F10). Ministère des Ressources naturelles du Québec ; en préparation.
- Grant, J.A. 1986. The isocon diagram - A simple solution to gresen's equation for metasomatic alteration. *Economic geology* **81**: 1976-1982.
- Gresens, R.L. 1967. Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology* **2**: 47-65.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hageman, S.G., and Robert, F. 1998. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews* **13**: 7-27.
- Hanmer, S., et Passchier, C. 1991. Shear-sense indicators : a review. Geological Survey of Canada Paper 90-17.
- Harris, L.B., et Cobbold, P.R. 1984. Development of conjugate shear bands during bulk simple shearing. *Journal of Structural Geology* **7** : 37-44.
- Heald, P., Foley, N.K., and Hayba, D.O. 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. *Economic Geology* **82**: 1-26.
- Hodgson, C.J., et Hamilton, J.V. 1988. Gold mineralization in the Abitibi greenstone belt : end-stage result of Archean collisional tectonics ? *Economic Geology monograph* **6**, pp. 86-100.

- Hutchinson, R.W. 1993. A multi-stage, multi-process genetic hypothesis for greenstone-hosted gold lodes. *Ore Geology Reviews* **8**: 349-382.
- Irvine, T.N., et Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Journal canadien des Sciences de la Terre* **8** : 523-548.
- Jensen, L.S. 1976. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Division of Mines Miscelanneous paper 66.
- Johnson, S.E. 1999. Back-rotation during crenulation cleavage development : implications for structural facing and cleavage forming processes. *Journal of Structural Geology* **21** : 139-145.
- Keith, J.D., Christiansen, E.H., Maughan, D.T., et Waite, K.A. 1998. The role of mafic alkaline magmas in felsic porphyry-Cu and Mo systems. *In* : Mineralized intrusion-related skarn systems. *Édité par* D.R. Lentz. Mineralogical Association of Canada, Short Course Volume 26.
- Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., et Duke, J.M. éditeurs 1993. Mineral Deposit Modeling. Second edition. Geological Association of Canada, Special Paper 40.
- Large, R.R., Huston, D.L., McGoldrick, P.J., Ruxton, P.A., et McArthur, G. 1989. Gold distribution and genesis in australian volcanogenic massive sulfide deposits and their significance for gold transport models. *Economic Geology Monograph* 6, pp. 520-535.
- Legault, M., et Simard, P. 1998. Propriétés La Grande Sud et Lac Bonfait, Rapport des travaux de terrain, volume 1. Rapport présenté à Mines d'Or Virginia. 60 pages.
- Lister, G.S., et Snoke, A.W. 1984. S-C Mylonites. *Journal of Structural Geology* **6**: 617-638.
- Lister, G.S., et Williams, P.F. 1983. The partitioning of deformation in flowing rock masses. *Tectonophysics* **92** : 1-33.
- Mailhot, M.-J. 1999. Étude pétrographique et métallogénique de l'indice Ugo, Propriété La Grande Sud, Baie-James. Projet de fin d'études, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec.
- MacLean, W.H. 1990. Mass change calculations in altered rock series. *Mineralium Deposita* **25**: 44-49.
- MacLean, W.H., et Barrett, T.J. 1993. Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration* **48** : 109-133.

- MacLean, W.H., et Kranidiotis, P. 1987. Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology* **82**: 951-962.
- Maniar, P.D., et Piccoli, P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin* **101**: 635-643.
- Martin, H. 1987. Petrogenesis of Archean trondhjemites, tonalites, and granodiorites from Eastern Finland : major and trace element geochemistry. *Journal of Petrology* **28** : 921-953.
- McClay, K.R., et Ellis, P.G. 1983. Deformation and recrystallisation of pyrite. *Mineralogical Magazine* **47**: 527-538.
- McClay, K.R., and Ellis, P.G. 1984. Deformation of pyrite. *Economic Geology* **79**: 400-403.
- Mercier-Langevin, P. Daigneault, R., Dion, C., Goutier, J., Legault, M., Ouellet, J.-F., Simard, P., Chapdelaine, M., et Archer, P. 1998. Les minéralisations aurifères au sein de la Tonalite de La Grande Sud. Ministère des Ressources naturelles du Québec. DV 98-05, pp. 45.
- Mercier-Langevin, P. Daigneault, R., Dion, C., Goutier, J., Legault, M., Ouellet, J.-F., Simard, P., Chapdelaine, M., et Archer, P. 1999a. Les minéralisations aurifères au sein de la Tonalite de La Grande Sud. Association professionnelle des Géologues et Géophysiciens du Québec, Rouyn-Noranda 1999, Actes du Congrès, pp. 333.
- Mercier-Langevin, P. Daigneault, R., Dion, C., Goutier, J., Legault, M., Ouellet, J.-F., Simard, P., Chapdelaine, M., et Archer, P. 1999b. Timing and structural relationships of gold mineralization within the La Grande Sud tonalite, James-Bay, Quebec. *Geological Association of Canada – Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts*, **24**, pp. 83.
- Mills, J.P. 1965. Sakami lake South area. Long lake map area. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. DP-100.
- Mills, J.P. 1967. Long lake map area. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. DP-141.
- Mills, J.P. 1973. Sakami lake North area. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. DP-148.
- Mills, J.P. 1974. Petrological studies in the Sakami lake greenstone belt of northwestern Quebec. Thèse de doctorat, University of Kansas, Kansas, États-Unis.

- Moorhead, J., Bernier, L.R., Goutier, J., Fallara, F., et Laflèche, M. en préparation. Caractéristiques des zones d'altération alumineuses stratiformes, région du lac Shpogan. Ministère des Ressources naturelles du Québec. Série des manuscrits bruts.
- Mortensen, J.K., et Ciesielsky, A. 1987. U-Pb zircon and sphene geochronology of archean plutonic and orthogneissic rocks of the James Bay region and Bienville Domain, Quebec. Dans : Radiogenic age and isotopic studies : report 1. Geological Survey of Canada. Paper 87-2, pp. 129-134.
- Mueller, W., et Donaldson, J.A. 1992. Development of sedimentary basins in the Archean Abitibi belt, Canada : An overview. *Canadian Journal of Earth Sciences* **29** : 2249-2265.
- Müller, D., et Groves, D.I. 1993. Direct and indirect associations between potassic igneous rocks, shoshonites and gold-copper deposits. *Ore Geology Reviews* **8**: 383-406.
- Ojala, V.J., Ridley, J.R., Groves, D.I., and Hall, G.C. 1993. The Granny Smith gold deposit: the role of heterogeneous stress distribution at an irregular granitoid contact in a greenschist facies terrane. *Mineralium Deposita* **28**: 409-419.
- Paquette, L. 1998. Étude stratigraphique et métallogénique d'une séquence arénitique archéenne à conglomérats pyriteux et uranifères, Baie-James, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec.
- Paquette, L., et Gauthier, M. 1997. Séquences archéennes du lac Sakami, Baie-James. Ministère des Ressources naturelles du Québec. MB 97-02.
- Park, J.M., et Guilbert, C.F. 1985. *The Geology of Ore Deposits*. W.H. Freeman, New York.
- Paterson, S.R., Vernon, R.H., et Tobish, O.T. 1989. A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids. *Journal of Structural Geology* **11**: 349-363.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., et Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* **25**: 956-983.
- Perring, C.S., Groves, D.I., Shellabear, J.N., Hallberg, J.A. 1991. The "porphyry-gold" association in the Norseman-Wiluna belt of Western Australia : implications for models of Archean gold metallogeny. *Precambrian Research* **51** : 85-113.
- Piché, M. 1999. NORMAT – programme de calcul de norme de minéraux du faciès des schistes verts. Non-publié.

- Platt, J.P. 1984. Secondary cleavages in ductile shear zones. *Journal of Structural Geology* **6**: 439-442.
- Platt, J.P., et Visser, R.L. 1980. Extensionnal structures in anisotropic rocks. *Journal of Structural Geology* **2** : 397-410.
- Poulsen, K.H. 1996. Gîtes d'or disséminé de remplacement. *In* : Géologie des Types de Gîtes Minéraux du Canada. Commission Géologique du Canada, Géologie du Canada no. 8, pp. 423-434.
- Poulsen, K.H., Card, K.D., and Franklin, J.M. 1992. Archean tectonic and metallogenic evolution of the Superior Province of the Canadian Shield. *Precambrian Research* **58**: 25-54.
- Poulsen, K.H., Robert, F., et Dubé, B. 2000. Geological classification of canadian gold deposits. Commission Géologique du Canada, Bulletin 540, 106 p.
- Ramsay, J.G. 1980. Shear zone geometry: a review. *Journal of Structural Geology* **2**: 83-99.
- Ridley, J., Mickuki, E.J., et Groves, D.I. 1996. Archean lode-gold deposits : fluid flow and chemical evolution in vertically extensive hydrothermal systems. *Ore Geology Reviews* **10** : 279-293.
- Rivard, B. 1985. Petrochemistry of a layered archean magma chamber and its relation to models of basalt evolution. Mémoire de maîtrise, McGill University, Montréal, Québec.
- Rivard, B., et Francis, D. 1984 Preliminary models for basalt evolution in the La Grande greenstone belt. *In* : Chibougamau – Stratigraphy and mineraliation. *Édité par* J. Guha et E.H. Chown. Institut canadien des Mines et de la Métallurgie, volume spécial 34, pp. 48-56.
- Robert, F. 1996. Filons de quartz-carbonates aurifères. *In* : Géologie des Types de Gîtes Minéraux du Canada. Commission Géologique du Canada, Géologie du Canada no 8, pp. 387-405.
- Robert, F., and Brown, A.C. 1986. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma mine, Abitibi greenstone belt, Quebec: part I. Geologic relations and formation of the vein system. *Economic Geology* **81**: 578-592.
- Robert, F., and Brown, A.C. 1986. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma mine, Abitibi greenstone belt, Quebec: part II. Vein paragenesis and hydrothermal alteration. *Economic Geology* **81**: 593-616.

Robert, F., et Poulsen, K.H. 1997. World-class Archean gold deposits in Canada : an overview. *Australian Journal of Earth Sciences* **44** : 329-351.

Rock, N.M.S., and Groves, D.I. 1988. Do lamprophyres carry gold as well as diamonds? *Nature* **332**: 253-255.

Rock, N.M.S., Groves, D.I., Perring, C.S., and Golding, S.D. 1988. Gold, lamprophyres, and porphyries: what does their association mean? *Economic Geology Monograph* 6, pp. 609-625.

Seward, T.M., et Barnes, H.L. 1997. Metal transport by hydrothermal ore fluids. *In* : *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, third edition. *Édité par* H.L. Barnes. Pp. 435-486.

Sharma, K.N.M. 1977. Région de la Grande Rivière. Ministère des Richesses naturelles, Québec. RG-184.

Sillitoe, R.H. 1985. Ore-related breccias in volcano-plutonic arcs. *Economic Geology* **80**: 1467-1514.

Sillitoe, R.H. 1993. Gold-rich porphyry copper deposits: geological model and exploration implications. *In* : *Mineral Deposit Modeling*. *Édité par* R.V. Kirkham, W.D. Sinclair, R.I. Thorpe et J.M. Duke . Geological Association of Canada, Special Paper **40**: 465-478.

Simard, P. et Landry, N. 1997. Propriété La Grande Sud, Rapport des travaux de terrain, volume 1. Rapport présenté au Ministère des Ressources naturelles. GM 55234.

Skulsky, T. 1985. The tectonic and magmatic evolution of the central segment of the Archean La Grande greenstone belt, central Quebec. Mémoire de maîtrise, McGill University, Montréal, Québec.

Skulsky, T., Hynes, A., Francis, D. 1984. Stratigraphic and lithogeochemical characterization of cyclic volcanism in the LG-3 area, La Grande river greenstone belt, Quebec. *In* : *Chibougamau – stratigraphy and mineralization*. *Édité par* J. Guha et E.H. Chown. Institut canadien des Mines et de la Métallurgie, volume spécial 34 : 57-72.

Skulsky, T., Hynes, A., Francis, D. 1988. Basic lavas of the Archean La Grande greenstone belt : products of polybaric fractionation and crustal contamination. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **100** : 236-245.

Streckeisen, A., et la Maitre, R.W. 1979. A chemical approximation to the modal QAFP classification of igneous rocks. *Neues Jahrb. Mineral. Abh.* **136** : 169-206.

Thompson, A.J.B., et Thompson, J.F.H. éditeurs 1996. Atlas of Alteration – A field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals. Geological Association of Canada – Mineral Deposit Division. St John's, Terre-Neuve.

Tremblay, J.-F. 1999. Dykes de lamprophyre et brèche en relation avec la minéralisation aurifère, Tonalite La Grande Sud, Baie-James. Projet de fin d'études, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.

Turcotte, S. 1998. Séquence d'altération, minéralisation et déformation de la Zone 32, Projet La Grande Sud, Baie James. Projet de fin d'études, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.

Wilson, M. 1989. Igneous Petrogenesis. Unwin Hyman, London.

Winchester, J.A., et Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* **20** : 325-343.

Windley, B.F. 1995. *The Evolving Continents*. Third edition. John Wiley and Sons, New York.

Witt, W.K., et Vanderhor, F. 1998. Diversity within a unified model for Archean gold mineralization in the Yilgarn Craton of western Australia: an overview of the late-orogenic, structurally-controlled gold deposits. *Ore Geology Reviews* **13**: 29-64.

Wyman, D., et Kerrich, R. 1988. Alkaline magmatism, major structures, and gold deposits: implications for greenstone belt gold metallogeny. *Economic Geology* **83**: 454-461.

Yardley, B.W.D. 1989. *An Introduction to Metamorphic Petrology*. Longman Earth Science Series, Longman Scientific and Technical, John Wiley and Sons, New York.

Yardley, B.W.D., MacKenzie, W.S., et Guilford, C. 1995. *Atlas des roches métamorphiques*. Masson, Paris.

**ANNEXE 1**  
**LISTE DES STATIONS DE LEVÉ**

<i>Numéro station</i>	<b>Localisation</b>		<b>Type de roche</b>	<b>Faciès</b>	<b>Structure</b>		<b>Intensité déformation</b>
	UTME	UTMN			Type	Mesure	
St-1	397756	5932400	Tonalite	2	S2	064/81	2
St-2	397773	5932396	Tonalite	1	S2	072/86	
St-3	397811	5932409	Tonalite	1	S2	072/86	
St-4	397825	5932396	Gabbro	7			4,5
St-5	397838	5932408	Basalte	7	S0	262/70	
St-6	397808	5932428	Andésite	7	S0	262/70	
St-7	397780	5932421	Tonalite	2	S2	064/81	2
St-8	397853	5932363	Basalte	7	S0	262/70	
St-9	397847	5932383	Basalte	7	S0	262/70	
St-10	397766	5932432	Tonalite	2	S1	234/88	
					S2	082/82	4
St-11	397815	5932492	Tonalite	2			
St-12	397801	5932493	Tonalite	2			
St-13	397821	5932503	Tonalite	2			
St-14	397805	5932504	Tonalite	2			
St-15	397885	5932579	Gabbro				
St-16	397903	5932561	Basalte	7	S0	210/80	3
St-17	397766	5932658	Basalte	7	S0	263/73	
St-18	397663	5932651	Andésite	7	S0	085/86	
St-19	397637	5932715	Andésite	7	S0	085/86	
St-20	397574	5932602	Tonalite	3	S2	260/75	
St-21	397576	5932560	Tonalite	2	S2	260/75	
St-22	397599	5932482	Tonalite	2	S2	260/75	2,5
St-23	397616	5932434	Tonalite	2	S2	260/75	
St-24	397658	5932303	Tonalite	1	S1	054/77	
					S2	080/84	4
St-25	397579	5932271	Tonalite	1	S1	054/77	
					S2	080/84	4
St-26	397515	5932248	Tonalite	2	S1	204/80	
					S2	253/89	3
St-27	397666	5932555	Tonalite	2	S1	269/78	
					S2	269/78	4
St-28	397680	5932490	Tonalite	5	S1	242/68	
					S2	254/83	3
St-29	397511	5932424	Tonalite	2	S1	228/78	
					S2	247/71	3

Numéro Station	Localisation		Type de roche	Faciès	Structure		Intensité déformation
	UTME	UTMN			Type	Mesure	
St-30	397490	5932541	Tonalite	1	S1	072/81	3
					S2	072/81	
St-31	397477	5932567	Tonalite	3			
St-32	397335	5932699	Basalte	7	S0	060/89	
					S1	060/89	
St-33	397414	5932453	Tonalite	2	S2	060/89	2,5
					S1	227/87	
St-34	397464	5932313	Tonalite	2	S2	076/74	2,5
					S1	130/90	
					S2	260/89	
					Lé	287/84	
					L21	283/86	
St-35	397477	5932268	Tonalite	2	S1	208/87	
					S2	080/89	
St-36	397435	5932211	Tonalite	6	S1	208/87	
					S2	069/82	4,5
St-37	397164	5932696	Tonalite	2	S1	235/89	
					S2	059/84	4
					Lé	235/65	
St-38	396837	5932635	Tonalite	2	S2	064/90	4
St-39	396851	5932582	Tonalite	3	S1	155/77	
					S2	244/86	3
St-40	396872	5932509	Tonalite	3	S2	068/80	3
					S1	038/90	
					Lé	220/74	
St-41	396909	5932361	Tonalite	3			2
St-42	396921	5932332	Tonalite	3	S2	263/88	3
St-43	396944	5932254	Tonalite	1	S2	063/83	3,5
St-44	396971	5932186	Tonalite	6	S1	206/84	
					S2	247/76	3,5
St-45	396906	5932171	Tonalite	6			3,5
St-46	396798	5932103	Tonalite	2			3
St-47	396799	5932058	Tonalite	4	S2	078/84	4,5
St-48	396682	5932095	Tonalite	3	S1	233/85	
					S2	067/90	3
St-49	396584	5932025	Tonalite	2	S1	199/78	
					S2	084/83	3,5
					Lé	235/72	
St-50	396533	5932044	Tonalite	1	S1	178/83	3
St-51	396510	5932131	Tonalite	2	S1	202/75	
					S2	076/82	3,5
St-52	396500	5932196	Tonalite	2	S1	202/75	
					S2	076/82	3,5
					Lé	242/70	
St-53	396479	5932261	Tonalite	2	S1	202/75	
					S2	076/82	3,5
St-54	396516	5932286	Tonalite	2	S1	216/83	
					S2	251/88	3,5
St-55	396571	5932235	Tonalite	2			

Numéro station	Localisation		Type de roche	Faciès	Structure		Intensité déformation
	UTME	UTMN			Type	Mesure	
St-56	396457	5932450	Tonalite	1	S1	226/87	3
					S2	070/88	
St-57	396548	5932473	Tonalite	1	S1	226/87	3
					S2	070/88	
St-58	396550	5932512	Tonalite	1			3,5
St-59	396650	5932541	Tonalite	2	S2	060/87	
St-60	396747	5932570	Tonalite	2	S2	063/87	4
St-61	396193	5932280	Tonalite	2	S2	067/84	4
					Lé	238/75	4
St-62	396157	5932189	Tonalite	2	S2	069/84	
					S1	034/85	
					Lé	244/55	
St-63	396279	5932228	Tonalite	2	S1	215/81	2
St-64	396241	5932364	Tonalite	5	S2	244/70	4
St-65	396255	5932312	Tonalite	2	S1	232/68	3
					S2	248/83	
St-66	396342	5932357	Tonalite	2	S1	243/66	3,5
					S2	243/66	
St-67	396389	5932350	Tonalite	2	S2	247/82	4
St-68	396409	5932306	Tonalite	2	S2	228/88	4
St-69	396399	5932250	Tonalite	2	S1	015/82	3,5
					S2	060/85	
St-70	396431	5932224	Tonalite	2	S1	205/74	3
					S2	065/90	
St-71	396441	5932187	Tonalite	2	S1	064/84	4
					S2	064/84	
St-72	396450	5932160	Tonalite	1	S1	230/78	
					S2	074/85	
St-73	396480	5931948	Basalte	7	S2	066/81	
					Lé	253/69	
St-74	396506	5931997	Tonalite	4	S2	260/83	5
St-75	396450	5931996	Tonalite	4	S1	076/80	4,5
					S2	076/80	
					Lé	225/56	
St-76	396338	5931966	Tonalite	4	S2	075/83	5
St-77	396296	5931974	Tonalite	5	S1	044/87	3,5
					S2	074/78	
					Lé	248/66	
					L21	218/86	
St-78	396421	5932087	Tonalite	2	S1	200/90	2,5
					S2	068/90	
					Lé	249/65	
					K	175/90	
St-79	396347	5932168	Tonalite	2	K	110/90	3,5
					S1	220/90	
					S2	077/88	3,5
St-80	396254	5932132	Tonalite	1	S1	212/90	
					S2	084/80	2,5

Numéro station	Localisation		Type de Roche	Faciès	Structure		Intensité déformation
	UTME	UTMN			Type	Mesure	
St-81	396302	5932139	Tonalite	3	S1	234/85	2
St-82	396203	5931963	Tonalite	2	S2	244/75	4
St-83	396152	5932118	Tonalite	2	S1	203/75	2
St-84	396039	5932148	Tonalite	6	S1	225/79	
					S2	060/70	2,5
St-85	397229	5932356	Tonalite	3			2,5
St-86	397071	5932450	Tonalite	3			2
St-87	396105	5931945	Diorite	7			4
St-88	395967	5932057	Tonalite	6	S1	226/84	
					S2	074/88	2,5
St-89	395848	5932086	Tonalite	6			
St-90	395764	5932018	Tonalite	6			
St-91	395765	5931989	Tonalite	6			3

Localisation UTM NAD 83 (zone 18)

**ANNEXE 2**  
**LISTE DES ÉCHANTILLONS**

Numéro	Localisation		Analyse	Lames minces	
	Propriété	UTM E			UTM N
PML-98-001	L12+70E, 2+40S	396370	5931989	19419	PML-98-001A et B
PML-98-002	L12+90E, 2+45S	396392	5931996	19420	PML-98-002
PML-98-003	L11+95E, 2+35S	396295	5931975	19421	PML-98-003
PML-98-004	L13+05E, 2+27S	396399	5932010	19422	PML-98-004
PML-98-005	L12+85E, 2+45S	396385	5931991		-
PML-98-006	L13+05E, 2+05S	396392	5932033	19494	PML-98-006
PML-98-007	L13+33E, 2+40S	396427	5932010	19495	PML-98-007A et B
PML-98-008	L14+00E, 2+70S	396499	5932002	19423	-
PML-98-009	L13+95E, 1+65S	396463	5932111	19496	PML-98-009
PML-98-010	L13+85E, 0+85S	396445	5932173	19497	PML-98-010
PML-98-011	L14+00E, 0+35S	396432	5932221	19424	PML-98-011
PML-98-012	L10+00E, 2+20S	396108	5931932	19426	-
PML-98-013	L10+15E, 0+25S	396061	5932128	19427	PML-98-013
PML-98-014	L14+00E, 2+33S	396491	5932036	19498	PML-98-014
PML-98-015	L14+45E, 2+30S	396534	5932046	19428	-
PML-98-016	L14+45E, 1+40S	396506	5932141	19499	PML-98-016
PML-98-017	L14+55E, 0+35S	396485	5932239	19429	PML-98-017
PML-98-018	L15+35E, 1+15S	396573	5932242	19430	PML-98-018
PML-98-019	L11+19E, 0+12S	396150	5932192	19431	PML-98-019
PML-98-020	L11+48E, 1+02S	396154	5932283	19432	PML-98-020
PML-98-021	L11+44E, 0+57N	396161	5932239		PML-98-021A et B
PML-98-022	L12+60E, 1+20N	396253	5932324	19433	PML-98-022
PML-98-023	L13+60E, 1+40N	396342	5932379	19434	PML-98-023
PML-98-024	L22+33E, 2+05N	397171	5932691	19435	PML-98-024
PML-98-025	L22+58E, 2+17N	397180	5932714		PML-98-025A et B
PML-98-026	L22+65E, 2+22N	397186	5932718	19351	PML-98-026
PML-98-027	L35+70E, 5+05S	398674	5932440	19436	PML-98-027
PML-98-028	L30+50E, 4+25S	398108	5932327	19437	PML-98-028
PML-98-029	L26+75E, 0+85S	397667	5932542	19438	PML-98-029
PML-98-030	L26+81E, 1+65S	397694	5932456	19439	PML-98-030
PML-98-031	L26+90E, 2+32S	397716	5932407	19440	-
PML-98-032	L24+10E, 1+00S	397413	5932447	19441	PML-98-032
PML-98-033	L24+15E, 2+15S	397468	5932292	19442	PML-98-033
PML-98-034	L25+40E, 1+80S	397475	5932382	19443	PML-98-034
PML-98-035	L49+50E, 5+70S	399956	5932800	19444	PML-98-035
PML-98-036	L18+95E, 1+45S	396943	5932257	19445	PML-98-036
PML-98-037	L19+00E, 0+65S	396918	5932341	19446	PML-98-037
PML-98-038	L19+00E, 0+20S	396907	5932367	19352	PML-98-038

Numéro	Localisation		Analyse	Lames minces	
	Propriété	UTM E			UTM N
PML-98-039	L19+00E, 0+45N	396892	5932445	19447	PML-98-039
PML-98-040	L19+00E, 1+65N	396860	5932553	19448	PML-98-040
PML-98-041	L19+00E, 2+00N	396847	5932593	19449	PML-98-041
PML-98-042	L19+00E, 2+50N	396834	5932641	19451	PML-98-042
PML-98-043	L22+35E, 2+17N	397178	5932716	19353	-
PML-98-044	L17+00E, 2+35N	396643	5932568	19452	PML-98-044
PML-98-045	L16+00E, 2+05N	396549	5932506	19453	PML-98-045
PML-98-046	L15+05E, 1+85N	396469	5932455	19454	PML-98-046
PML-98-047	L14+00E, 0+40N	396412	5932296	19455	PML-98-047
PML-98-048	L11+40E, 1+02N	396147	5932281	-	PML-98-048
PML-98-049	L14+00E, 5+65S	396587	5931717	-	PML-98-049
PML-98-050	L14+00E, 5+50S	396584	5931727	19354	PML-98-050-1, -2
PML-98-051	L14+00E, 5+35S	396579	5931745	19355	PML-98-051
PML-98-052	L14+00E, 3+00S	396510	5931973	19356	PML-98-052-1, -2
PML-98-053	L10+15E, 0+20S	396060	5932131	19357	PML-98-053
PML-98-054	L10+10E, 0+35S	396061	5932117	19358	PML-98-054-1, -2
PML-98-055	L26+86E, 1+95S	397708	5932447	19359	-
PML-98-056	L08+00E, 0+25N	395841	5932111	19360	PML-98-056
PML-98-057	L08+00E, 0+15N	395844	5932102	19361	PML-98-057
PML-98-058	L09+00E, 1+85N	395889	5932294	19362	PML-98-058
PML-98-059	L10+50E, 2+00N	396032	5932348	19363	PML-98-059
PML-98-060	L11+50E, 1+75N	396134	5932352	19364	-
PML-98-061	L12+00E, 0+75S	396254	5932126	19456	PML-98-061
PML-98-062	L18+00E, 0+25S	396815	5932345	19457	PML-98-062
PML-98-063	L18+00E, 1+20S	396845	5932257	19458	PML-98-063
PML-98-064	L18+25E, 1+80S	396886	5932210	19459	PML-98-064
PML-98-065	L17+00E, 1+60S	396761	5932190	19460	PML-98-065
PML-98-066	L17+00E, 3+00S	396800	5932056	19461	PML-98-066-A, B
PML-98-067	L16+00E, 2+80S	396702	5932047	19462	-
PML-98-068	L16+00E, 1+75S	396669	5932148	19463	PML-98-068
PML-98-069	L19+25E, 2+20S	396993	5932197	19464	PML-98-069
PML-98-070	L20+00E, 3+00S	397092	5932142	19465	-
PML-98-071	L19+75E, 1+50S	397017	5932276	19466	PML-98-071
PML-98-072	L24+00E, 0+75N	397361	5932616	19467	PML-98-072
PML-98-073	L25+00E, 0+75N	397456	5932646	19468	PML-98-073
PML-98-074	L26+00E, 0+85N	397549	5932681	19469	PML-98-074
PML-98-075	L26+00E, 0+75S	397596	5932527	19470	PML-98-075
PML-98-076	L26+00E, 3+00S	397660	5932311	19471	PML-98-076
PML-98-077	L25+00E, 3+00S	397564	5932283	19472	PML-98-077
PML-98-078	L23+25E, 2+90S	397395	5932244	19473	PML-98-078
PML-98-079	L13+00E, 2+48S	396401	5931991	-	PML-98-079
PML-98-080	L12+67E, 2+45S	396364	5931983	-	PML-98-080
PML-98-081	L12+67E, 2+45S	396364	5931983	-	-
PML-98-082	L14+50E, 1+90S	396518	5932090	-	-
PML-98-083	L13+00E, 0+40S	396340	5932190	19474	PML-98-083
PML-98-084	L13+00E, 1+25S	396365	5932108	19476	PML-98-084
PML-98-085	L11+10E, 0+75S	396170	5932099	19477	PML-98-085
PML-98-086	L09+00E, 2+20S	396011	5931902	19365	-
PML-98-087	L09+00E, 0+75S	395963	5932038	-	PML-98-087
PML-98-088	-	-	-	-	-

Numéro	Localisation			Analyse	Lames minces
	Propriété	UTM E	UTM N		
PML-98-089	-	-	-	-	-
PML-98-090	L26+94E, 1+87S	397716	5932450	-	-
PML-98-091	L26+91E, 1+90S	397713	5932445	-	PML-98-091
PML-98-092	L26+90E, 1+83S	397711	5932453	-	PML-98-092
PML-98-093	L24+15E, 2+60S	397480	5932260	-	-
PML-98-094	L25+10E, 3+85S	397600	5932204	-	PML-98-094
PML-98-095	L22+49E, 2+04N	397178	5932695	-	PML-98-095
PML-98-096	L22+50E, 2+03N	397180	5932695	-	PML-98-096
PML-98-097	L18+00E, 2+45N	396737	5932605	-	PML-98-097
PML-98-098	L10+05E, 0+10N	396044	5932156	-	-
PML-98-099	L09+00E, 0+65S	395961	5932051	-	PML-98-099
PML-98-100	L11+32E, 0+35N	396155	5932213	-	-
PML-98-101	L11+34E, 0+19N	396163	5932199	-	-
PML-98-102	L11+35E, 0+90N	396144	5932267	-	-
PML-98-103	L10+97E, 0+06N	396131	5932175	19478	PML-98-103
PML-98-104	L11+42E, 0+75N	396155	5932253	-	PML-98-104-1-2-3
PML-98-105	L11+35E, 1+10N	396137	5932288	-	PML-98-105
PML-98-106	L22+00E, 1+35S	397229	5932356	19479	PML-98-106
PML-98-107	L20+75E, 0+00	397071	5932450	19480	PML-98-107
PML-99-001	L12+00E, 2+60S	396287	5932010	-	PML-99-001
PML-99-002	L12+25E, 2+55S	396317	5932000	-	PML-99-002
PML-99-003	L12+30E, 2+60S	396327	5931990	-	PML-99-003
PML-99-004	L12+50E, 2+50S	396352	5932001	-	-
PML-99-005	L13+60E, 2+65S	396457	5932010	-	-
PML-99-006	L14+65E, 2+40S	396547	5932060	-	-
PML-99-007	L14+65E, 2+35S	396547	5932065	-	-
PML-99-008	L14+40E, 2+25S	396507	5932120	-	PML-99-008
PML-99-009	L14+40E, 1+75S	396502	5932060	-	-
PML-99-010	L13+40E, 2+50S	396417	5932030	-	-
PML-99-011	L13+40E, 0+20S	396367	5932211	-	-
PML-99-012	L10+95E, 0+05N	396127	5932180	-	-
PML-99-013	L11+50E, 0+60N	396167	5932240	-	-
PML-99-014	L10+80E, 1+00N	396197	5932270	-	PML-99-014
PML-99-015	L11+45E, 1+00N	396167	59320265	-	PML-99-015
PML-99-016	L11+40E, 0+65N	396162	5932245	-	-
PML-99-017	L19+10E, 1+65N	396867	5932560	-	-
PML-99-018	L18+95E, 0+45N	396887	5932440	-	PML-99-018A, B1, B2
PML-99-019	L22+25E, 2+20N	397147	5932720	-	PML-99-019
PML-99-020	L22+10E, 2+30N	397137	5932730	-	PML-99-020
PML-99-021	L26+75E, 0+85S	397677	5932540	-	PML-99-021
PML-99-022	L33+75E, 2+60S	398307	5932610	-	-
PML-99-023	-	-	-	-	-
PML-99-024	L9+00E, 0+75S	395957	5932050	-	-
PML-99-025	L22+20E, 3+00S	397287	5932235	-	PML-99-025
PML-99-026	L27+60E, 3+70S	397807	5932360	-	PML-99-026
PML-99-027	L27+65E, 3+80S	397812	5932350	-	-
Datation	L13+50E, 1+65S	396422	5932090	U-Pb	-

*Échantillons de forage*

Numéro	No. Corr.	Lames-minces
LGS-97-48-5,5	-	48-A
LGS-97-48-11 à 11,5	19401	48-B
LGS-97-48-11,5	-	-
LGS-97-48-20,2	-	48-C
LGS-97-48-20,3	-	-
LGS-97-48-26,4	-	-
LGS-97-48-26 à 26,4	19402	-
LGS-97-48-29,3	-	-
LGS-97-48-31,5	-	48-G
LGS-97-48-32 à 32,5	19481	-
LGS-97-48-35,9	-	-
LGS-97-48-39,0	-	-
LGS-97-48-38,45 à 39,0	19482	-
LGS-97-48-43,9 à 44,4	19483	-
LGS-97-48-44,45	-	-
LGS-97-48-47,1 à 47,5	19484	-
LGS-97-48-47,45	-	-
LGS-97-48-50,0	-	48-L
LGS-97-48-52,4 à 52,85	19485	-
LGS-97-48-52,85	-	-
LGS-97-48-57,2	-	-
LGS-97-48-59,5	-	-
LGS-97-48-64,2	-	-
LGS-97-48-64,2 à 65,0	19403	-
LGS-97-48-79,4 à 80,0	19486	-
LGS-97-48-79,6	-	-
LGS-97-48-78,8	-	-
LGS-97-48-82,9	-	-
LGS-97-48-83,35 à 83,9	19404	-
LGS-97-48-83,7	-	48-T
LGS-97-48-87,0	-	-
LGS-97-48-91,2	-	-
LGS-97-48-91,2 à 91,6	19405	-
LGS-97-48-94,25	-	-
LGS-97-48-94,1 à 95,5	19487	-
LGS-97-48-97,0	-	-
LGS-97-48-98,9	-	-
LGS-97-48-102 à 102,5	19406	-
LGS-97-48-102,5	-	-
LGS-97-48-105,2	-	-
LGS-97-48-108,2	-	-
LGS-97-48-108,9 à 109,2	19407	-
LGS-97-48-109,05	-	-
LGS-97-48-112,0	-	-
LGS-97-48-125,0 à 125,4	19488	-

Numéro	No. Corr.	Lames-minces
LGS-97-48-125,1	-	48-EE
LGS-97-56-9,25	-	-
LGS-97-56-19,8	-	-
LGS-97-56-28,9	-	-
LGS-97-56-34,2 à 34,7	19489	-
LGS-97-56-34,3	-	-
LGS-97-56-33,6	-	-
LGS-97-56-63,5	-	-
LGS-97-56-63,5 à 63,9	19408	-
LGS-97-56-73,8	-	56-G
LGS-97-56-93,9 à 94,3	19409	-
LGS-97-56-93,85	-	56-H
LGS-97-56-107,0	-	56-I
LGS-97-56-107,0 à 107,5	19490	-
LGS-97-56-107,8	-	-
LGS-97-56-116,7	-	56-K
LGS-97-56-122,0	-	-
LGS-97-56-156,7 à 158,0	19410	-
LGS-97-56-156,8	-	-
LGS-97-56-166,0 à 166,4	19411	-
LGS-97-56-166,25	-	-
LGS-97-56-177,2	-	-
LGS-97-56-183,35	-	-
LGS-97-56-188,1 à 188,5	19412	-
LGS-97-56-188,2	-	56-Q
LGS-97-56-196,45	-	-
LGS-97-56-201,2	-	56-S
LGS-97-56-206,6 à 207,0	19413	-
LGS-97-56-206,8	-	-
LGS-97-56-214,0	-	-
LGS-97-56-217,2 à 217,6	19414	-
LGS-97-56-217,3	-	-
LGS-97-53-12,8	-	-
LGS-97-53-12,55 à 13,0	19415	-
LGS-97-53-28,5	-	-
LGS-97-53-32,5 à 32,9	19416	-
LGS-97-53-33,8	-	-
LGS-97-53-37,0	-	-
LGS-97-53-61,4	-	-
LGS-97-53-69,5	-	53-F
LGS-97-53-78,1	-	53-G
LGS-97-53-107,8	-	53-H
LGS-97-53-123,5 à 123,9	19491	-
LGS-97-53-123,9	-	-

Numéro	No. Corr.	Lames-minces
LGS-97-53-134,0	-	53-J
LGS-97-53-141,0	-	-
LGS-97-53-154,7	-	-
LGS-97-53-162,0	-	-
LGS-97-53-166,0	-	53-N
LGS-97-53-188,1 à 188,5	19417	-
LGS-97-53-188,3	-	-
LGS-97-53-197,0	-	53-P
LGS-97-53-205,5	-	-
LGS-97-98-138,3	-	-
LGS-97-98-151,0	-	98-B
LGS-97-98-165,4	-	-
LGS-97-98-184,4	-	98-D
LGS-97-98-189,2	-	98-E
LGS-97-98-196,3	-	-
LGS-97-103-97,6	-	103-A
LGS-97-103-99,8	-	-
LGS-97-103-155	-	103-C
LGS-97-103-264	-	-
LGS-97-103-347,5	-	103-E
LGS-97-44-3,25 à 3,55	19418	-
LGS-97-44-3,35	-	-
LGS-97-44-8,92	-	-
LGS-97-44-16,40	-	44-C
LGS-97-44-23,9 à 24,25	19492	-
LGS-97-44-24,25	-	44-D
LGS-97-44-33,45 à 33,7	19493	-
LGS-97-44-33,65	-	44-E
PML-99-028 (LGS-98-150-40,0)	-	-
PML-99-029 (LGS-98-154-39,5)	-	-
PML-99-030 (LGS-98-153-242,5)	-	-

Localisation (UTM NAD 83 zone 18)

LGS97-48 : UTME 396510 UTMN 5932293 gîte Zone 32

LGS97-56 : UTME 396394 UTMN 5932329 gîte Zone 32

LGS97-53 : UTME 396494 UTMN 5932345 gîte Zone 32

LGS97-98 : UTME 396614 UTMN 5932301 gîte Zone 32

LGS97-103 : UTME 396404 UTMN 5932291 gîte Zone 32

LGS97-44 : UTME 397214 UTMN 5932706 indice Zone Pari

LGS-98-150 : UTME 396584 UTMN 5932411

LGS-98-153 : UTME 397654 UTMN 5932721 indice Brèche

LGS-98-154 : UTME 397714 UTMN 5932701 indice Brèche

### ANNEXE 3 – SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS PÉTROGRAPHIQUES EN MICROSCOPIE

Lithologie	Lames observées	Textures	Minéralogie et particularités
Tonalite à biotite  « tonalite fraîche »	PML-98-036, 037, 039, 040, 041, 042, 063, 064, 066A, 066B, 072, 073, 106, 107 56-G, 56-H PML-99-018A, 018B1, 018B2	Textures primaires conservées. Texture primaire dominante équi-granulaire Texture secondaire granoblastique suturé. Granulométrie fine (2 mm) Surimposition locale de la déformation (S1 et/ou S2), intensité variable (1 à 4)	- 45 à 70% (64%) de plagioclase sodique (albite) communément maclé, rarement zoné. Damouritisé légèrement Hypidiomorphe à xénomorphe, Dmoy de 2 mm. - 15 à 25% de quartz recristallisé hypidiomorphe à xénomorphe de Dmoy = 2 mm. - 3 à 5% de biotite fine (Dmoy = 0,5 mm) xénoblastique rarement fraîche en amas. - Tr à 1% de feldspath potassique primaire hypidiomorphe à xénomorphe de Dmoy de 1,8 mm. Une seule myrmékite observée. - Tr à 5% d'épidote (pistachite) xénoblastique en association avec la biotite. - 1 à 5 % de carbonate xénoblastique dans ou en bordure du plagioclase. - Traces de leucoxène et ilménite avec amas de biotite. - Quantité variable de séricite très fine associée au plagioclase. - Quantité variable de chlorite en altération de la biotite.
Tonalite à chlorite  « tonalite altérée »	PML-98-001 à 004, 011, 013, 017 à 024, 027, 028, 030, 032 à 035, 044 à 048, 061, 062, 065, 068, 069, 071, 074 à 080, 083 à 085, 097, 103 48-A, B, C, T, 53-F, G, H, P, T, 98-D, 56-Q, 103-C PML-99-002, 008, 014, 020, 025, 026	Textures primaires localement conservées. Texture primaire équi-granulaire Texture secondaire granoblastique Granulométrie fine (2 mm) Surimposition commune de la déformation (S1 et/ou S2), intensité variable (1 à 4)	- 50 à 68% (60%) de plagioclase sodique (albite) communément maclé, rarement zoné. Damouritisé légèrement à fortement Hypidiomorphe à xénomorphe, Dmoy de 2 mm. - 15 à 25% de quartz recristallisé hypidiomorphe à xénomorphe de Dmoy = 2 mm. - 1 à 6% de chlorite fine (Dmoy = 0,5 mm) xénoblastique disséminée en remplacement de la biotite ou en veinules. - Tr à 1% de feldspath potassique primaire hypidiomorphe à xénomorphe de Dmoy de 1,8 mm. - Traces d'épidote (pistachite) xénoblastique et de tourmaline hydrothermale fine - Quantité variable de carbonate xénoblastique dans le plagioclase ou en veinule. - Traces de leucoxène et ilménite avec amas de chlorite. - Quantité variable de séricite très fine associée au plagioclase et en veinule. - Tr à 3% d'opacques idiomorphes à xénomorphes disséminés ou dans veinules. - Traces d'apatite fine (Dmoy = 0,2 mm).
Dykes de tonalite  (contact ouest)	PML-98-099, 057	Textures primaires conservées. Texture porphyrique à plagioclase et quartz. Granulométrie fine.	- Composition similaire à celle de la tonalite à biotite et de la tonalite à chlorite. - Plagioclase : 60% en phénocristaux de 2 mm de diamètre et 40% en microcristaux de 0,1 mm de diamètre dans la matrice avec les autres phases. - Quartz : 90% en phénocristaux de 1,8 mm de diamètre et 10% en microcristaux de 0,1 mm de diamètre dans la matrice avec les autres phases. - Autres phases : Chlorite, biotite, carbonate, séricite, apatite, épidote, opacques et tourmaline. La biotite et la tourmaline sont d'origine hydrothermale.

Lithologie	Lames observées	Textures	Minéralogie et particularités
Diorite (diorite à quartz et diorite à hornblende)	PML-98-014, 053 103-A, 103-E 48-G, 48-L 56-S 98-B	Textures primaires localement préservées Texture primaire dominante équigranulaire. Fabrique magmatique faiblement développée ou mal préservée.	- 50 à 70% de plagioclase sodique de Dmoy variant entre 1,1 et 0,5 mm. Parfois maclé, hypidiomorphe à xénomorphe, damouritisé à divers degrés. - 0-30% de biotite de Dmoy = 0,1 mm en amas pseudomorphes (hornblende). - 2 à 5% de chlorite xénomorphe fine en altération de la biotite. - 2 à 20% de carbonate xénomorphe dans le plagioclase ou en veinule. - 0 à 2% de quartz xénomorphe de Dmoy = 0,5 mm , parfois dans veinules. - 2 à 8% de séricite fine xénoblastique et xénomorphe. - 0 à 10% d'opaques idiomorphes à xénomorphes de 0,1 mm à 1 mm. - Traces d'épidote xénoblastique fine.
Gabbro (dykes dans la tonalite)	PML-98-007A et B, 009, 010, 016, 104- 1, 2, 3 56-K	Textures primaires mal préservées Texture primaire équigranulaire. Granulométrie fine	- 32 à 60% de plagioclase sodique de Dmoy variant entre 0,2 et 0,5 mm. Parfois maclé, hypidiomorphe à xénomorphe, damouritisé à divers degrés. - 0-16% de biotite de Dmoy = 0,8 mm hypidiomorphe avec inclusions. - 0 à 20% de chlorite xénomorphe de Dmoy = 0,5 mm. - 0 à 40% de carbonate xénomorphe dans le plagioclase ou en veinule. - Traces d'ilménite et de leucoxène an amas sub-millimétriques xénomorphes. - 0 à 12% de séricite fine xénoblastique et xénomorphe. - Tr à 2% d'opaques idiomorphes à xénomorphes de 0,1 mm.
Brèches	PML-98-025, 029, 091, 092, 095, 096, 105 PML-99-019, 021	Épaisseur variable, granulométrie fine. Fragments préservés et fragments partiellement assimilés. Taille variable.	- Les zones de brèche hydrothermale sont d'étendue variable, généralement de largeur restreinte et d'étendue métrique. - Les brèches sont reconnues à la composition de la matrice très riche en biotite fine localement chloritisée. La matrice contient également des quantités variables de plagioclase, d'épidote et de carbonate.
Lampro – phyre	PML-98-006, 038	Granulométrie fine à moyenne. Présence d'enclaves de composition hétérogène.	- Les dykes de lamprophyre à enclaves sont essentiellement composés de plagioclase xénomorphe matriciel, de phénocristaux primaires de hornblende verte et de hornblende matricielle, de biotite fine (0,1 mm) , de chlorite, carbonate et épidote en altération. Quelques feldspath-K ont été observés.
Volcanites encaissant la tonalite	PML-98-049, 050-1, 2, 052-1, 2, 054-1, 2, 056, 058, 059, 48-EE	Granulométrie fine. Laves et pyroclastites. Composition variable.	- Les roches volcaniques retrouvées à proximité de la tonalite sont de composition variable (felsique à mafique). - Les phases à noter sont l'actinote, le hornblende, la biotite et l'épidote qui marquent le métamorphisme et l'altération hydrothermale de ces roches. Ces phases sont distribuées en fonction des lithologies volcaniques.

Phases métalliques – Lames-minces polies.

Minéral	Lames-minces polies	Textures principales	Caractéristiques
Pyrite	PML-98-001A et B, 021A et B, 076, 080, 091 48-B-G-L-T, 53-F-G-H-J-N, 56-Q-S, 98-B-E, 44-C PML-99-003, 015	Idiomorphe à xénomorphe. Dmax = 5 mm Dmin = 0,1 mm Fracturation, recristallisation.	Observée dans tous les échantillons minéralisés. Communément à inclusions de chalcopyrite, sphalérite et or. Fracturation forte dans certains grains. Sulfure dominant. Disséminée dans encaissant ou concentré dans veinules à carbonates. De 0 à 15% de la roche localement. Localement fortement météorisée.
Chalcopyrite	PML-98-001A et B, 021A et B, 048, 076, 080, 091 48-B-L-T, 53-F-J-H-N, 56-Q-S, 103-C, 98-B, E, 44-C PML-99-003, 015	Xénomorphe À inclusions ou en inclusion Aplatissement	Abondante, commune dans les zones minéralisées en or. Presque toujours associée à la pyrite, en inclusion ou en remplissage de fractures. Souvent disséminée dans zones séricitisées et veinules à carbonates. Communément en exsolution avec la sphalérite. Contient parfois des inclusions d'or. Parfois 10% de l'échantillon.
Sphalérite	PML-98-001A et B, 021A et B, 076, 080. 48-B-G-L-T 53-F-H-J, 56-Q-S, 103-C, 98-B PML-99-003	Xénomorphe À inclusions ou en inclusion. D = variable	Associée aux zones fortement minéralisées. En exsolution avec la chalcopyrite. Contient des inclusions d'or et de l'or dans des micro-fractures. Grains difformes dans les zones altérées. Communément observée mais jamais abondante, 0 à 3%.
Arsénopyrite	PML-98-021A et B, 048 56-Q, 48-B, 53-H-J, 44-C PML-99-015	Idiomorphe à hypidiomorphe Dmoy = 0,5 mm.	Abondante dans certains échantillons de l'indice Mico-Milan. Peu abondante dans la zone 32. Associée à pyrite et chalcopyrite et à l'or dans quelques échantillons de veines minéralisées.
Pyrrothite	PML-98-001A, B, 021A, B 048, 44-C	Xénomorphe D variable	Rarement observée, associée à la pyrite, à la chalcopyrite dans les zones fortement altérées. Plages de granulométrie fine.
Or	PML-98-001B, 080, 56-Q-S, 53-F-H-J-N, 98-B, 103-C PML-99-003, 015	Xénomorphe, amiboïde. En inclusion, fractures	Présent sous forme libre, en inclusions dans la pyrite, la chalcopyrite, la sphalérite et l'arsénopyrite. Granulométrie très fine, sauf dans veines de quartz-tourmaline tardives. Dans fractures de sphalérite.
Tellurures	53-J, 48-B, 56-S	Xénomorphe, fins	Dans veines de quartz et carbonates et veines de quartz-tourmaline. Associés à valeurs anormales en Hg-Zn-Co-Ag-Bi.
Ilménite	PML-98-001B, 076, 091, 48-T, 56-Q-S, 53-J, 44-C PML-99-003	Hypidiomorphe, en amas sub-millimétriques.	En cristaux très fins isolés dans la roche. Associée à leucoxène en lumière naturelle. Peu abondante. Très répandue.
Hématite	48-B, 48-L	Xénomorphe, paillettes fines.	Libre dans la roche ou en altération de surface (météorisation) de la pyrite.

## ANNEXE 4

## RÉSULTATS D'ANALYSES LITHOGÉOCHIMIQUES

Ensemble A01

Élément	Limite de détection
SiO <sub>2</sub>	0,10%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (tot.)	0,10%
MgO	0,05%
CaO	0,02%
Na <sub>2</sub> O	0,10%
K <sub>2</sub> O	0,01%
TiO <sub>2</sub>	0,01%
MnO	0,01%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01%
Perte au feu 1100°C	0,01%

Ensemble A03

Élément	Limite de détection
Baryum	1 ppm
Béryllium	1 ppm
Cadmium	2 ppm
Cérium	3 ppm
Cobalt	3 ppm
Cuivre	1 ppm
Dysprosium	1 ppm
Europium	1 ppm
Lanthane	2 ppm
Lithium	1 ppm
Molybdène	4 ppm
Néodyme	25 ppm
Nickel	1 ppm
Plomb	12 ppm
Praséodyme	10 ppm
Samarium	2 ppm
Scandium	1 ppm
Vanadium	2 ppm
Zinc	2 ppm

Ensemble A04

Élément	Limite de détection
Etain	10 ppm
Gallium	3 ppm
Niobium	3 ppm
Rubidium	3 ppm
Strontium	3 ppm
Tantale	5 ppm
Tellure	10 ppm
Thorium	3 ppm
Yttrium	3 ppm
Zirconium	3 ppm

Ensemble A06

Élément	Limite de détection
Antimoine	0,1 ppm
Arsenic	1 ppm
Brome	1 ppm
Césium	1 ppm
Or	5 ppb
Sélénium	10 ppm
Thulium	2 ppm
Tungstène	1 ppm
Uranium	0,2 ppm

Ensemble A10

Élément	Limite de Détection
FeO	<0,01%
Soufre	<0,01%

Ensemble	Élément	Méthode de dosage	Limite de détection
B02	Argent	SAA*	0,5 ppm
B06	Bismuth	SAA*	5 ppm
B59	Bore	SEAP**	10 ppm
B13	Carbone total CO <sub>2</sub>	LECO CR-12	0,01%
B14	Chrome	SAA*	20 ppm
B27	Mercure	SAA (vapeur froide)	10 ppb

\* Spectrophotométrie d'absorption atomique

\*\* Spectrométrie d'émission au plasma,

Élément	19401 LGS97-48	19402 LGS97-48	19403 LGS97-48	19404 LGS97-48	19405 LGS97-48	19406 LGS97-48	19407 LGS97-48	19408 LGS97-56
SiO <sub>2</sub> (%)	68,0	68,9	69,8	70,2	68,2	69,4	66,3	69,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	17,4	16,4	16,7	15,7	16,5	17,2	16,3	17,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2,20	1,50	0,96	1,06	1,50	1,19	2,13	1,46
MgO (%)	0,54	0,74	0,92	1,07	1,26	0,56	1,23	0,63
CaO (%)	1,09	2,05	1,61	1,81	2,04	2,06	2,99	3,50
Na <sub>2</sub> O (%)	5,32	3,87	5,05	5,82	4,87	5,60	5,93	5,49
K <sub>2</sub> O (%)	2,39	3,19	2,41	1,65	2,41	2,09	1,58	1,38
TiO <sub>2</sub> (%)	0,17	0,15	0,16	0,21	0,20	0,18	0,27	0,18
MnO (%)	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,06	0,08	0,06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PAF (%)	2,51	3,55	3,04	3,15	3,87	2,63	4,03	1,63
Total	99,69	100,43	100,73	100,77	100,95	100,99	100,88	100,86
Éléments individuels								
Ba (ppm)	446	598	406	432	552	398	398	466
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cd (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Ce (ppm)	5	5	5	5	5	5	6	5
Co (ppm)	14	5	4	3	4	3	8	5
Cu (ppm)	2300	61	45	958	175	42	24	1
Dy (ppm)	1	1	1	1	1	1	2	2
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	2	2	2	2	2	2	4	2
Li (ppm)	16	18	7	8	12	6	10	25
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	4	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	9	6	5	11	18	5	19	6
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	12	12	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	1	1	1	2	2	2	5	2
Sm (ppm)	2	2	2	2	2	2	3	2
V (ppm)	12	11	11	18	20	13	31	14
Zn (ppm)	68	21	15	12	12	12	25	36
Ga (ppm)	18	17	17	16	17	17	16	18
Nb (ppm)	3	3	3	5	3	3	3	3
Rb (ppm)	77	97	69	48	69	58	47	27
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	215	261	243	252	300	303	271	402
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	14	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Y (ppm)	5	5	4	10	6	3	9	9
Zr (ppm)	76	70	69	75	77	73	87	85
As (ppm)	31	17	4	4	4	3	5	3
Au (ppb)	1400	22	100	1300	230	24	7	5
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs (ppm)	1	3	2	2	1	1	1	1
Sb (ppm)	150	6,5	1,8	1,9	1,5	2,0	2,1	1,8
Se (ppm)	11	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	13	4	4	2	2	4	2	2
U (ppm)	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
W (ppm)	16	7	3	4	2	3	2	1
FeO (%)	-	0,74	0,50	0,54	0,73	0,62	1,50	0,65
S (%)	1,26	0,15	0,06	0,20	0,19	0,01	0,04	0,01
Ag (ppm)	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bi (ppm)	22	5	2,5	2,5	7,5	2,5	2,5	0,5
CO <sub>2</sub> (%)	0,96	2,35	2,07	2,47	2,43	1,76	3,04	0,79
Cr (ppm)	20	20	20	20	20	20	69	35
Hg (ppb)	133	10	10	10	10	10	10	10
B (ppm)	47	25	38	49	85	17	20	12

Élément	19409 LGS97-56	19410 LGS97-56	19411 LGS97-56	19412 LGS97-56	19413 LGS97-56	19414 LGS97-56	19415 LGS97-53	19416 LGS97-53
SiO <sub>2</sub> (%)	69,4	72,7	70,4	75,7	57,8	69,2	69,1	69,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	16,5	15,2	15,7	13,0	14,6	16,2	17,0	17,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1,36	1,25	1,32	2,82	5,41	1,06	1,47	1,32
MgO (%)	0,58	0,85	0,44	0,13	2,69	0,51	1,16	0,59
CaO (%)	2,78	1,06	2,09	0,02	5,87	2,81	1,10	2,84
Na <sub>2</sub> O (%)	5,23	2,84	5,19	0,10	3,63	5,42	7,40	6,00
K <sub>2</sub> O (%)	2,11	3,04	2,13	3,56	1,99	2,07	0,98	0,21
TiO <sub>2</sub> (%)	0,16	0,16	0,15	0,20	0,59	0,16	0,17	0,17
MnO (%)	0,02	0,02	0,01	0,01	0,09	0,02	0,02	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,05	0,05	0,05	0,02	0,13	0,05	0,06	0,06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PAF (%)	2,64	3,01	2,80	2,84	7,79	3,45	1,82	1,15
Total	100,84	100,19	100,29	98,41	100,60	100,96	100,29	98,77
Ba (ppm)	622	708	1700	1500	500	455	272	487
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cd (ppm)	2	2	2	12	2	2	2	2
Ce (ppm)	5	5	5	5	20	5	5	5
Co (ppm)	5	4	7	15	21	4	5	4
Cu (ppm)	8	3200	732	1480	81	24	4	2
Dy (ppm)	1	1	1	1	3	2	1	2
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	2	2	2	2	12	2	2	2
Li (ppm)	16	9	9	6	26	8	18	18
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	4	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	7	6	6	17	49	6	6	6
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	18	12	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	2	2	1	2	13	2	1	2
Sm (ppm)	2	2	2	2	8	2	2	2
V (ppm)	13	16	11	10	88	14	12	13
Zn (ppm)	17	12	14	42	29	248	29	32
Ga (ppm)	17	15	16	12	16	17	16	17
Nb (ppm)	3	3	3	5	4	4	3	3
Rb (ppm)	52	94	69	104	65	63	26	27
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	394	121	267	98	261	199	159	431
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Y (ppm)	6	6	4	3	17	4	3	4
Zr (ppm)	73	62	66	62	105	69	76	79
As (ppm)	2	14	4	610	21	7	4	6
Au (ppb)	5	980	1400	40000	29	21	22	5
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs (ppm)	2	1	1	1	2	1	1	1
Sb (ppm)	1,8	2,8	2,2	55	1,8	2,4	3,0	2,4
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	4	3	2	2	2	3	4	3
U (ppm)	0,3	0,4	0,3	1,7	0,4	0,2	0,2	0,5
W (ppm)	4	16	7	29	10	3	2	1
FeO (%)	0,53	-	-	-	3,99	0,63	0,91	0,50
S (%)	0,09	0,46	0,36	2,08	0,14	0,05	0,11	0,03
Ag (ppm)	0,5	1,5	0,5	7,0	0,5	0,5	0,5	0,5
Bi (ppm)	0,5	12	15	5	0,5	5	5	5
CO <sub>2</sub> (%)	1,70	1,62	1,85	0,06	6,38	2,61	0,79	0,36
Cr (ppm)	20	20	20	45	64	20	20	20
Hg (ppb)	10	39	57	3500	17	85	10	10
B (ppm)	18	78	34	53	36	25	18	15

Élément	19417 LGS97-53	19418 LGS97-44	19419 98-001	19420 98-002	19421 98-003	19422 98-004	19423 98-008	19424 98-011
SiO <sub>2</sub> (%)	62,5	69,9	70,3	66,9	70,6	68,0	70,6	67,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	15,8	17,2	12,7	15,7	15,4	16,3	16,6	16,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2,43	1,25	4,52	2,70	1,62	0,86	1,01	1,40
MgO (%)	1,66	0,53	0,14	1,50	0,45	0,24	0,73	0,56
CaO (%)	4,53	2,17	0,20	2,17	2,14	3,20	1,21	2,74
Na <sub>2</sub> O (%)	6,06	5,30	3,53	4,10	4,26	4,38	5,20	5,43
K <sub>2</sub> O (%)	1,31	2,03	1,70	2,80	2,39	2,71	2,28	2,04
TiO <sub>2</sub> (%)	0,38	0,18	0,15	0,18	0,16	0,12	0,15	0,17
MnO (%)	0,06	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,10	0,07	0,05	0,08	0,06	0,04	0,04	0,06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PAF (%)	5,60	1,72	2,87	4,34	2,50	3,48	2,48	3,07
Total	100,44	100,37	96,18	100,51	99,60	99,36	100,33	99,80
Ba (ppm)	257	575	590	819	635	374	381	495
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cd (ppm)	2	2	3	2	2	5	2	2
Ce (ppm)	6	5	5	5	5	5	5	5
Co (ppm)	12	3	48	9	5	3	3	4
Cu (ppm)	51	3	2010	329	2200	38	9	9
Dy (ppm)	2	1	1	1	1	2	1	1
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	3	2	2	3	2	2	2	2
Li (ppm)	10	12	7	15	10	11	6	10
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	4	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	26	5	29	56	12	6	6	9
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	12	12	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	6	2	2	3	2	2	1	2
Sm (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
V (ppm)	41	15	5	28	14	8	12	14
Zn (ppm)	24	25	44	14	17	12	14	18
Ga (ppm)	16	18	15	17	17	15	17	17
Nb (ppm)	5	4	3	3	3	3	3	4
Rb (ppm)	35	61	50	95	71	77	63	70
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	342	308	179	371	237	272	181	292
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Y (ppm)	11	3	5	3	4	6	5	6
Zr (ppm)	91	74	67	80	66	69	65	70
As (ppm)	9	1	130	15	11	290	3	5
Au (ppb)	40	5	5200	270	330	86	7	6
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs (ppm)	1	4	1	2	1	2	2	3
Sb (ppm)	1,3	1,8	19,0	1,5	2,0	1,7	1,7	2,2
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	3	4	5	2	4	6	4	5
U (ppm)	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,5	0,2	0,3
W (ppm)	5	3	14	10	7	3	2	1
FeO (%)	1,78	0,50	-	-	-	0,30	0,36	0,75
S (%)	0,03	0,01	3,53	0,30	0,34	0,01	0,01	0,01
Ag (ppm)	0,5	0,5	7,0	0,5	1,0	0,5	0,5	5,0
Bi (ppm)	5,0	2,5	22,0	2,5	10,0	0,5	0,5	5,0
CO <sub>2</sub> (%)	4,8	0,64	0,13	2,73	1,69	2,59	1,60	2,50
Cr (ppm)	52	20	20	31	20	20	20	77
Hg (ppb)	10	10	620	32	80	10	10	10
B (ppm)	15	15	41	37	232	89	28	21

Élément	19426 98-012	19427 98-013	19428 98-015	19429 98-017	19430 98-018	19431 98-019	19432 98-020	19433 98-022
SiO <sub>2</sub> (%)	68,1	70,6	68,6	68,6	68,6	69,5	68,5	67,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	17,8	17,8	16,9	16,7	16,3	17,2	16,3	17,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1,38	1,03	1,29	1,37	1,16	1,80	1,70	1,63
MgO (%)	0,61	0,29	0,74	0,45	0,42	0,48	0,49	0,47
CaO (%)	2,48	1,70	2,16	2,71	2,99	2,72	2,85	2,75
Na <sub>2</sub> O (%)	7,10	5,07	5,90	5,69	5,43	5,87	5,71	6,19
K <sub>2</sub> O (%)	1,14	2,46	1,97	1,66	1,71	1,25	1,55	1,53
TiO <sub>2</sub> (%)	0,16	0,17	0,18	0,18	0,17	0,18	0,16	0,19
MnO (%)	0,03	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,07	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PAF (%)	1,62	1,44	2,71	2,51	2,78	1,50	2,70	2,18
Total	100,5	100,63	100,52	99,95	99,63	100,58	100,04	100,03
Ba (ppm)	428	864	527	498	488	386	630	593
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cd (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Ce (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Co (ppm)	3	3	5	3	4	7	4	3
Cu (ppm)	26	5	92	4	3	26	27	10
Dy (ppm)	1	2	2	2	2	2	2	2
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Li (ppm)	8	8	12	9	11	10	16	10
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	4	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	11	6	9	8	6	7	6	7
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	12	12	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	2	1	2	2	2	2	2	2
Sm (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
V (ppm)	17	15	15	13	12	13	13	14
Zn (ppm)	16	13	19	20	14	23	17	15
Ga (ppm)	16	20	17	17	18	18	18	19
Nb (ppm)	3	4	3	4	3	3	5	4
Rb (ppm)	32	52	56	43	40	32	40	36
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	333	291	363	252	300	405	294	325
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Y (ppm)	4	5	4	8	5	6	7	6
Zr (ppm)	61	92	75	77	72	87	81	80
As (ppm)	3	2	4	1	2	9	14	12
Au (ppb)	5	5	72	5	5	11	7	5
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs (ppm)	1	3	2	2	1	2	1	2
Sb (ppm)	1,0	1,1	5,3	1,4	1,2	1,7	1,1	1,4
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	6	2	4	3	2	4	2	4
U (ppm)	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2
W (ppm)	4	1	5	6	2	1	2	2
FeO (%)	0,99	0,25	0,66	0,68	0,67	0,90	0,94	0,98
S (%)	0,01	0,01	0,03	0,07	0,08	0,06	0,13	0,04
Ag (ppm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bi (ppm)	2,5	5	5	5	0,5	0,5	0,5	2,5
CO <sub>2</sub> (%)	1,10	0,38	1,88	1,71	1,96	0,63	1,87	1,56
Cr (ppm)	20	31	20	20	20	20	20	20
Hg (ppb)	10	10	10	10	10	10	10	10
B (ppm)	13	19	42	15	16	16	49	13

Élément	19434 98-023	19435 98-024	19436 98-027	19437 98-028	19438 98-029	19439 98-030	19440 98-031	19441 98-032
SiO <sub>2</sub> (%)	68,2	68	69,5	70,1	68,7	70,8	67,3	69,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	16,8	17,0	16,6	17,2	16,8	17,0	17,1	17,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1,41	1,16	1,04	1,18	1,55	0,83	1,81	1,21
MgO (%)	0,53	0,47	0,49	0,50	0,54	0,88	0,70	0,62
CaO (%)	3,13	2,59	2,85	1,91	2,09	0,95	3,12	2,30
Na <sub>2</sub> O (%)	5,82	5,67	6,10	5,75	6,56	5,07	4,85	6,19
K <sub>2</sub> O (%)	1,72	2,31	1,26	1,70	1,30	2,59	2,04	1,44
TiO <sub>2</sub> (%)	0,19	0,17	0,16	0,16	0,15	0,17	0,19	0,19
MnO (%)	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PAF (%)	2,56	2,93	2,48	1,55	1,99	2,40	2,62	1,50
Total	100,45	100,37	100,55	100,13	99,74	100,76	99,81	100,62
Ba (ppm)	545	785	370	577	467	661	536	438
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cd (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Ce (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Co (ppm)	3	3	6	3	6	5	6	5
Cu (ppm)	1	1	3	1	1	29	40	1
Dy (ppm)	2	2	2	2	1	1	2	1
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Li (ppm)	9	15	18	12	10	13	15	17
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	4	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	7	7	10	8	7	7	11	8
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	12	12	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	2	2	2	2	1	1	2	2
Sm (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
V (ppm)	16	15	13	13	10	14	28	15
Zn (ppm)	14	15	27	18	20	11	14	24
Ga (ppm)	19	18	15	16	15	16	16	16
Nb (ppm)	3	3	3	3	3	3	3	3
Rb (ppm)	52	90	27	35	33	74	46	33
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	314	261	311	380	389	169	298	307
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Y (ppm)	6	4	5	3	3	3	4	5
Zr (ppm)	80	73	63	66	63	62	62	66
As (ppm)	3	2	3	3	7	2	13	3
Au (ppb)	5	5	5	5	14	17	21	5
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs (ppm)	3	5	1	1	3	2	1	1
Sb (ppm)	4,2	4,6	2,5	1,6	1,4	2,0	2,0	3,0
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	4	2	5	4	3	4	2	3
U (ppm)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
W (ppm)	2	1	1	1	1	2	1	2
FeO (%)	0,67	0,47	0,45	0,46	-	0,27	-	0,64
S (%)	0,01	0,10	0,05	0,02	0,91	0,20	0,66	0,01
Ag (ppm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bi (ppm)	0,5	0,5	2,5	0,5	0,5	0,5	5,0	2,5
CO <sub>2</sub> (%)	1,77	2,03	1,64	0,70	0,90	0,97	1,49	0,63
Cr (ppm)	20	20	20	20	20	20	20	20
Hg (ppb)	10	10	10	10	10	10	10	10
B (ppm)	23	15	17	39	12	23	29	13

Élément	19442 98-033	19443 98-034	19444 98-035	19445 98-036	19446 98-037	19447 98-039	19448 98-040	19449 98-041
SiO <sub>2</sub> (%)	68,5	69,5	70,3	69,2	69,0	70,3	70,8	70,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	18,0	17,6	16,1	17,4	17,2	17,2	16,7	17,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1,08	0,95	1,08	1,34	1,28	1,28	1,22	1,37
MgO (%)	0,47	0,46	0,34	0,57	0,72	0,62	0,45	0,50
CaO (%)	1,77	1,98	2,58	1,80	2,52	3,05	2,16	2,50
Na <sub>2</sub> O (%)	5,16	5,95	5,20	5,72	5,59	5,68	5,32	5,86
K <sub>2</sub> O (%)	2,18	1,54	2,00	2,02	1,72	1,26	1,80	1,38
TiO <sub>2</sub> (%)	0,18	0,18	0,15	0,17	0,20	0,18	0,16	0,17
MnO (%)	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,05	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PAF (%)	2,08	1,54	2,95	1,71	1,93	1,09	1,79	1,17
Total	99,49	99,77	100,77	100,01	100,24	100,73	99,87	100,33
Ba (ppm)	464	382	709	568	343	410	442	494
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cd (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Ce (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Co (ppm)	5	4	4	3	3	5	4	5
Cu (ppm)	22	17	4	17	54	1	1	1
Dy (ppm)	1	2	2	1	2	2	2	2
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Li (ppm)	14	16	9	21	14	14	13	13
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	4	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	8	7	7	8	10	9	7	7
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	12	12	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	1	1	2	1	2	2	2	2
Sm (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
V (ppm)	16	14	13	15	22	14	14	17
Zn (ppm)	19	20	33	23	19	24	25	21
Ga (ppm)	17	18	16	17	18	17	18	18
Nb (ppm)	3	3	4	3	3	3	5	4
Rb (ppm)	55	44	41	50	54	31	33	31
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	261	294	280	253	310	479	439	400
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Y (ppm)	3	3	4	5	5	3	7	8
Zr (ppm)	69	62	64	68	74	69	80	81
As (ppm)	2	4	2	2	3	2	1	1
Au (ppb)	5	12	5	16	111	5	5	5
Br (ppm)	1	1	1	1	1	2	1	1
Cs (ppm)	1	1	2	3	3	1	2	3
Sb (ppm)	2,8	5,5	2,0	3,6	2,7	1,6	1,1	1,5
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	3	4	2	4	2	4	4	3
U (ppm)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2
W (ppm)	7	3	4	3	1	1	1	1
FeO (%)	0,37	0,43	0,43	0,54	0,61	0,48	0,38	0,54
S (%)	0,12	0,05	0,01	0,01	0,11	0,01	0,07	0,05
Ag (ppm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bi (ppm)	5,0	5,0	5,0	0,5	2,5	2,5	5,0	2,5
CO <sub>2</sub> (%)	0,73	0,66	2,05	0,73	0,85	0,17	0,45	0,46
Cr (ppm)	230	20	56	40	28	28	20	20
Hg (ppb)	10	10	10	10	10	10	10	10
B (ppm)	47	16	15	11	12	13	12	42

Élément	19451 98-042	19452 98-044	19453 98-045	19454 98-046	19455 98-047	19456 98-061	19457 98-062	19458 98-063
SiO <sub>2</sub> (%)	69,3	65,4	70,8	70,1	65,5	69,0	69,5	68,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	16,6	19,2	15,9	17,8	18,6	16,6	17,1	17,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1,33	1,58	1,32	0,99	1,62	1,30	0,77	1,48
MgO (%)	0,55	0,81	0,30	0,28	0,62	0,41	0,45	0,75
CaO (%)	2,59	3,46	2,08	2,59	3,49	2,33	2,75	3,65
Na <sub>2</sub> O (%)	5,95	4,77	5,39	5,83	5,49	5,55	5,61	5,37
K <sub>2</sub> O (%)	1,31	2,00	1,92	1,63	2,20	1,75	1,96	1,33
TiO <sub>2</sub> (%)	0,19	0,16	0,16	0,19	0,22	0,16	0,15	0,20
MnO (%)	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,05	0,05	0,05	0,07	0,06	0,05	0,04	0,06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PAF (%)	1,78	2,71	2,43	1,71	2,91	2,13	2,12	1,43
Total	99,67	100,19	100,37	101,21	100,74	99,30	100,47	100,69
Ba (ppm)	526	816	766	587	604	530	615	420
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cd (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Ce (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Co (ppm)	4	10	3	3	3	3	3	7
Cu (ppm)	5	2	1	1	5	8	24	1
Dy (ppm)	2	2	1	1	2	1	1	2
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Li (ppm)	13	7	6	10	14	16	14	20
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	4	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	7	7	5	4	7	6	8	12
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	12	12	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	2	1	1	1	2	1	1	2
Sm (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
V (ppm)	15	16	14	16	19	13	12	19
Zn (ppm)	36	14	15	11	21	24	13	33
Ga (ppm)	18	17	19	21	21	17	15	17
Nb (ppm)	5	2	5	4	4	4	3	3
Rb (ppm)	34	78	65	35	57	40	51	33
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	311	309	297	410	356	308	242	523
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Y (ppm)	6	6	8	6	7	6	3	3
Zr (ppm)	77	73	78	92	88	71	61	81
As (ppm)	2	4	2	2	2	4	2	2
Au (ppb)	5	5	5	5	5	6	20	5
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs (ppm)	4	4	2	2	3	2	4	3
Sb (ppm)	3,4	3,2	5,8	2,3	4,6	2,2	0,9	2,8
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	3	2	3	3	2	2	3	4
U (ppm)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
W (ppm)	1	1	1	4	1	3	4	1
FeO (%)	0,61	-	0,39	0,26	0,68	0,62	0,23	0,72
S (%)	0,01	0,27	0,04	0,12	0,01	0,03	0,01	0,02
Ag (ppm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bi (ppm)	5,0	2,5	5,0	5,0	7,5	2,5	2,5	0,5
CO <sub>2</sub> (%)	1,00	1,69	1,56	0,78	1,76	0,31	1,19	0,78
Cr (ppm)	20	20	20	20	20	20	27	24
Hg (ppb)	10	10	10	10	10	10	10	10
B (ppm)	27	22	18	91	13	18	14	12

Élément	19459 98-064	19460 98-065	19461 98-066	19462 98-067	19463 98-068	19464 98-069	19465 98-070	19466 98-071
SiO <sub>2</sub> (%)	70,1	67,8	68,2	69,8	68,0	68,4	67,7	70,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	17,1	17,4	17,2	15,8	16,7	16,1	16,4	16,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1,40	1,65	1,29	1,25	1,41	1,56	1,34	0,99
MgO (%)	0,67	0,75	0,58	0,50	0,93	0,85	0,52	0,43
CaO (%)	2,07	3,56	2,56	2,34	2,04	2,32	3,68	2,48
Na <sub>2</sub> O (%)	6,43	5,70	5,44	6,16	5,30	6,58	5,20	5,87
K <sub>2</sub> O (%)	1,26	1,25	2,16	1,32	2,23	0,98	1,57	1,44
TiO <sub>2</sub> (%)	0,17	0,21	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
MnO (%)	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PAF (%)	1,27	2,21	2,91	2,46	4,21	2,18	4,37	1,78
Total	100,54	100,62	100,59	99,88	101,06	99,20	101,03	100,81
Ba (ppm)	292	287	428	329	652	691	437	430
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cd (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Ce (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Co (ppm)	5	5	7	3	4	6	13	4
Cu (ppm)	1	1	5	30	21	4	3	12
Dy (ppm)	1	1	2	2	2	2	2	3
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Li (ppm)	30	17	8	8	17	28	33	19
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	4	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	9	9	12	9	11	17	9	10
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	13	12	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	1	2	2	2	2	2	2	2
Sm (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
V (ppm)	12	18	17	13	16	18	15	14
Zn (ppm)	47	28	21	22	25	28	22	17
Ga (ppm)	16	18	17	14	16	15	14	16
Nb (ppm)	3	3	4	3	4	3	3	4
Rb (ppm)	32	26	57	30	51	27	41	37
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	437	439	268	266	175	276	300	379
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Y (ppm)	4	4	5	5	5	3	4	4
Zr (ppm)	73	78	67	65	62	61	67	65
As (ppm)	2	1	4	4	1	3	4	2
Au (ppb)	5	5	6	16	23	5	5	15
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	2	1
Cs (ppm)	3	2	1	1	2	2	3	1
Sb (ppm)	3,2	4,4	2,5	1,4	2,6	2,2	3,0	2,5
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	2	3	2	4	3	3	3	3
U (ppm)	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
W (ppm)	1	1	1	4	2	3	2	4
FeO (%)	0,68	0,85	0,66	0,67	0,58	0,95	0,59	0,38
S (%)	0,01	0,01	0,03	0,07	0,02	0,01	0,05	0,05
Ag (ppm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bi (ppm)	2,5	0,5	2,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
CO <sub>2</sub> (%)	0,60	1,28	1,91	1,87	1,49	1,39	3,15	0,98
Cr (ppm)	33	20	20	25	20	23	24	20
Hg (ppb)	10	10	10	10	10	10	10	10
B (ppm)	40	17	44	19	15	11	101	15

Élément	19467 98-072	19468 98-073	19469 98-074	19470 98-075	19471 98-076	19472 98-077	19473 98-078	19474 98-083
SiO <sub>2</sub> (%)	70,0	68,9	68,5	70,4	68,3	68,1	69,4	66,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	17,0	17,0	16,9	16,4	16,6	16,3	17,3	16,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1,34	1,31	1,19	1,24	1,51	1,36	1,10	3,73
MgO (%)	0,49	0,59	0,61	0,71	0,86	0,71	0,36	0,66
CaO (%)	3,15	3,17	2,10	2,49	3,78	3,24	2,18	1,07
Na <sub>2</sub> O (%)	5,57	5,62	5,78	5,83	5,30	6,05	6,02	5,63
K <sub>2</sub> O (%)	1,54	1,78	2,38	1,63	0,95	1,16	1,52	1,91
TiO <sub>2</sub> (%)	0,16	0,16	0,17	0,16	0,18	0,17	0,17	0,16
MnO (%)	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PAF (%)	1,47	2,20	2,71	2,49	3,09	3,53	2,54	3,19
Total	100,80	100,81	100,42	101,42	100,65	100,71	100,66	100,03
Ba (ppm)	433	418	1000	476	298	367	449	630
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cd (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Ce (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Co (ppm)	4	4	4	4	7	8	3	47
Cu (ppm)	2	2	2	32	139	50	4	32
Dy (ppm)	3	3	3	3	3	3	3	3
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Li (ppm)	14	18	15	17	20	20	12	14
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	4	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	9	10	9	9	14	12	9	16
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	12	12	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	2	1	1	2	3	2	2	1
Sm (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
V (ppm)	16	16	16	17	19	17	16	14
Zn (ppm)	23	21	27	23	22	20	17	14
Ga (ppm)	17	16	17	16	15	14	16	18
Nb (ppm)	3	3	3	3	3	3	3	3
Rb (ppm)	35	43	50	42	24	31	35	56
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	463	305	342	189	352	249	267	304
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Y (ppm)	4	4	3	5	5	5	6	3
Zr (ppm)	73	65	73	62	62	62	65	74
As (ppm)	2	2	8	2	2	2	1	18
Au (ppb)	5	5	160	39	23	7	5	51
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs (ppm)	1	3	4	1	2	1	2	2
Sb (ppm)	1,9	2,1	2,0	2,8	2,5	2,8	3,1	5,4
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	4	4	3	4	3	3	4	3
U (ppm)	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
W (ppm)	1	2	1	2	5	4	2	6
FeO (%)	0,39	0,54	-	0,58	0,95	0,76	0,48	-
S (%)	0,04	0,01	0,24	0,06	0,05	0,06	0,01	2,11
Ag (ppm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bi (ppm)	0,5	5,0	0,5	2,5	5,0	0,5	5,0	13
CO <sub>2</sub> (%)	0,72	1,36	1,47	1,38	2,30	2,81	1,85	0,42
Cr (ppm)	24	24	20	20	24	20	20	20
Hg (ppb)	10	10	10	10	10	10	10	10
B (ppm)	12	10	60	10	22	26	10	80

Élément	19476 98-084	19477 98-085	19478 98-103	19479 98-106	19480 98-107	19481 LGS97-48	19482 LGS97-48	19483 LGS97-48
SiO <sub>2</sub> (%)	70,3	69,1	68,5	64,9	68,5	61,90	64,10	63,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	16,8	17,9	17,2	16,2	17,3	15,50	16,60	16,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1,29	1,18	1,41	3,25	1,39	3,75	3,83	2,84
MgO (%)	0,88	0,62	0,78	0,45	0,60	1,84	1,31	1,35
CaO (%)	1,78	2,44	1,92	3,34	2,55	3,34	1,07	2,68
Na <sub>2</sub> O (%)	6,57	6,06	5,30	4,83	5,87	4,55	2,56	4,24
K <sub>2</sub> O (%)	1,10	1,44	2,14	2,34	1,92	3,66	5,32	4,91
TiO <sub>2</sub> (%)	0,16	0,17	0,17	0,15	0,17	0,35	0,35	0,36
MnO (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,06	0,07	0,06	0,05	0,05	0,22	0,22	0,22
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PAF (%)	1,69	1,78	2,61	4,39	1,81	4,25	3,97	3,84
Total	100,64	100,78	100,11	99,92	100,18	99,41	99,36	99,68
Ba (ppm)	275	427	755	877	527	895	1000	1100
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	2
Cd (ppm)	2	2	2	2	2	2	7	2
Ce (ppm)	5	5	5	5	5	55	53	57
Co (ppm)	4	5	6	30	5	16	45	12
Cu (ppm)	4	1	12	446	120	143	2200	1600
Dy (ppm)	3	3	3	3	2	3	3	3
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	2	2	2	2	2	30	30	32
Li (ppm)	15	11	11	20	15	18	33	15
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	4	101
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	10	9	8	13	10	14	15	10
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	13	17	19
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	1	2	2	2	2	8	6	7
Sm (ppm)	2	2	2	2	2	7	7	9
V (ppm)	15	15	17	15	17	52	49	49
Zn (ppm)	37	57	23	13	23	31	34	23
Ga (ppm)	17	16	18	16	16	18	20	20
Nb (ppm)	3	3	3	3	3	12	12	14
Rb (ppm)	26	32	65	79	56	82	151	104
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	263	308	282	255	299	546	263	478
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	17	10
Y (ppm)	3	3	6	4	3	16	13	14
Zr (ppm)	64	74	83	60	71	232	261	251
As (ppm)	3	2	8	4	3	41	42	21
Au (ppb)	11	5	15	110	70	190	2400	1700
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs (ppm)	1	2	3	4	1	3	3	2
Sb (ppm)	2,0	2,5	2,0	7,1	1,8	3,1	18,0	6,3
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	3	2	4	4	2	2	6	2
U (ppm)	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	4,3	7,0	3,9
W (ppm)	1	2	3	9	1	15	22	19
FeO (%)	0,80	0,65	0,73	-	0,40	-	-	-
S (%)	0,02	0,01	0,07	2,0	0,2	1,12	2,09	0,65
Ag (ppm)	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,5	1,0
Bi (ppm)	5,0	2,5	5,0	0,5	0,5	5	25	5
CO <sub>2</sub> (%)	0,81	0,76	1,25	2,37	0,91	3,99	1,21	2,93
Cr (ppm)	20	20	20	20	20	57	65	51
Hg (ppb)	10	10	14	167	10	74	500	120
B (ppm)	10	10	10	10	10	31	34	13

Élément	19484 LGS97-48	19485 LGS97-48	19486 LGS97-48	19487 LGS97-48	19488 LGS97-48	19489 LGS97-56	19490 LGS97-56	19491 LGS97-53
SiO <sub>2</sub> (%)	63,00	56,60	47,70	52,60	51,60	49,30	48,80	50,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	16,00	14,30	11,40	13,10	14,20	12,50	14,60	12,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,83	5,31	6,33	5,32	10,20	7,84	8,23	6,67
MgO (%)	1,61	3,48	7,37	4,89	4,39	6,92	5,25	6,24
CaO (%)	2,78	4,72	8,23	7,60	7,07	9,55	6,85	7,84
Na <sub>2</sub> O (%)	4,74	3,64	1,99	3,37	3,07	1,82	2,36	3,05
K <sub>2</sub> O (%)	4,96	3,44	1,34	1,89	0,53	1,59	4,32	1,91
TiO <sub>2</sub> (%)	0,37	0,54	0,51	0,59	0,96	0,55	0,70	0,76
MnO (%)	0,04	0,07	0,11	0,08	0,18	0,08	0,13	0,09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,22	0,27	0,07	0,29	0,16	0,08	0,38	0,46
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,02	0,09	0,04	0,02	0,10	0,02	0,05
PAF (%)	2,98	7,16	14,20	10,70	6,95	10,70	8,98	11,20
Total	100,54	99,55	99,34	100,47	99,33	101,03	100,62	100,57
Ba (ppm)	904	951	401	611	77	172	1200	661
Be (ppm)	2	1	1	1	1	1	1	1
Cd (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Ce (ppm)	63	46	21	46	26	11	46	100
Co (ppm)	16	13	19	37	45	28	30	30
Cu (ppm)	706	2800	3400	1700	106	4	4	83
Dy (ppm)	3	2	2	3	1	2	2	5
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	36	25	15	23	16	7	27	51
Li (ppm)	19	26	39	25	14	126	46	46
Mo (ppm)	4	33	4	4	4	4	4	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	15	29	113	89	50	142	55	244
Pb (ppm)	14	12	12	12	12	12	12	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	8	18	23	17	24	23	21	15
Sm (ppm)	8	9	5	13	7	3	11	23
V (ppm)	52	107	153	112	147	140	125	105
Zn (ppm)	42	51	70	41	110	188	66	87
Ga (ppm)	19	18	17	17	16	16	18	17
Nb (ppm)	12	7	3	5	6	4	6	8
Rb (ppm)	132	127	50	69	15	60	111	101
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	571	486	451	457	130	178	766	625
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Y (ppm)	14	16	15	14	23	16	20	19
Zr (ppm)	245	144	70	118	137	68	138	201
As (ppm)	14	13	12	13	3	2	9	35
Au (ppb)	860	990	2000	2500	36	5	5	100
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs (ppm)	7	8	2	5	1	9	9	14
Sb (ppm)	3,9	6,5	4,7	6,8	1,5	4,3	2,6	6,5
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	2	2	3	2	4	3	3	4
U (ppm)	4,4	1,7	0,4	0,9	0,7	0,2	1,1	1,7
W (ppm)	6	17	5	3	1	8	7	5
FeO (%)	-	-	-	-	-	6,07	5,68	-
S (%)	0,44	0,73	0,47	0,37	1,09	0,01	0,04	0,33
Ag (ppm)	0,5	1,9	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5
Bi (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
CO <sub>2</sub> (%)	2,35	5,39	11,70	9,27	6,56	7,11	7,04	8,98
Cr (ppm)	59	111	503	265	88	536	126	302
Hg (ppb)	50	140	70	54	33	20	53	10
B (ppm)	10	29	220	64	15	10	78	398

Élément	19492 LGS97-44	19493 LGS97-44	19494 98-006	19495 98-007	19496 98-009	19497 98-010	19498 98-014	19499 98-016
SiO <sub>2</sub> (%)	65,80	47,60	56,80	54,00	48,70	50,10	64,40	54,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	14,00	11,90	15,00	13,60	12,20	13,70	14,80	14,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	8,86	15,90	8,07	6,41	6,35	7,46	4,04	6,20
MgO (%)	1,16	4,52	4,99	4,10	7,34	8,73	1,55	6,16
CaO (%)	3,34	8,78	5,58	5,53	8,71	4,91	3,14	5,88
Na <sub>2</sub> O (%)	4,78	1,69	4,06	4,78	2,35	3,18	4,50	4,21
K <sub>2</sub> O (%)	1,16	2,63	3,40	2,20	1,04	0,44	4,65	0,76
TiO <sub>2</sub> (%)	0,61	2,37	0,71	0,58	0,52	0,58	0,32	0,51
MnO (%)	0,05	0,19	0,12	0,10	0,12	0,14	0,05	0,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,18	0,39	0,37	0,29	0,08	0,10	0,19	0,12
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,09	0,08	0,01	0,06
PAF (%)	1,23	4,76	1,42	8,24	13,10	10,10	2,85	8,35
Total	101,18	100,74	100,54	99,85	100,60	99,52	100,50	100,52
Ba (ppm)	204	227	976	628	115	95	934	165
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	2	1
Cd (ppm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Ce (ppm)	56	22	50	47	12	13	61	23
Co (ppm)	9	52	30	24	31	39	14	32
Cu (ppm)	38	22	4	436	1	4	492	11
Dy (ppm)	18	6	3	3	2	1	4	3
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	25	9	28	25	7	9	37	13
Li (ppm)	14	47	35	25	54	56	23	41
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	130	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	1	41	53	29	145	135	22	111
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	12	29	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	18	47	22	20	22	23	7	17
Sm (ppm)	18	3	12	11	2	2	10	5
V (ppm)	8	382	136	120	140	155	46	120
Zn (ppm)	35	124	80	55	137	129	42	89
Ga (ppm)	27	21	17	15	14	16	17	16
Nb (ppm)	16	6	6	6	3	4	11	4
Rb (ppm)	84	192	73	87	35	13	109	26
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	200	130	804	531	244	184	508	394
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Y (ppm)	117	45	19	17	13	15	16	17
Zr (ppm)	429	196	147	135	70	78	230	96
As (ppm)	15	17	44	11	3	1	21	6
Au (ppb)	110	5	5	420	9	9	270	10
Br (ppm)	1	1	1	1	1	2	1	1
Cs (ppm)	18	49	3	12	2	1	5	3
Sb (ppm)	1,7	2,7	8,3	2,4	9,8	7,5	4,2	18,0
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	2	4	2	3	4	3	2	4
U (ppm)	0,7	0,5	1,6	1,2	0,5	0,2	2,9	0,8
W (ppm)	1	1	1	5	8	1	10	2
FeO (%)	-	11,50	3,32	-	5,28	6,22	-	4,98
S (%)	0,34	0,13	0,1	0,36	0,01	0,13	0,40	0,10
Ag (ppm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5
Bi (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
CO <sub>2</sub> (%)	0,95	4,29	0,26	7,51	10,50	6,85	2,42	6,49
Cr (ppm)	20	36	111	133	525	488	44	326
Hg (ppb)	10	10	20	142	14	15	53	10
B (ppm)	10	10	10	12	10	10	38	10

Élément	19351 98-026	19352 98-038	19353 98-043	19354 98-050	19355 98-051	19356 98-052	19357 98-053	19358 98-054
SiO <sub>2</sub> (%)	49,90	54,40	27,00	54,00	70,20	66,70	59,20	57,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	12,30	13,70	9,54	12,10	16,50	15,50	16,20	15,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	16,80	9,27	26,20	17,00	3,04	4,67	6,39	8,10
MgO (%)	3,76	7,81	4,05	3,93	0,87	2,08	3,09	3,45
CaO (%)	6,80	7,43	2,27	7,70	2,05	3,87	3,18	4,51
Na <sub>2</sub> O (%)	2,76	3,10	2,09	1,82	6,56	5,02	5,54	3,90
K <sub>2</sub> O (%)	0,12	2,28	1,16	0,64	1,04	1,16	3,04	0,66
TiO <sub>2</sub> (%)	2,06	0,71	0,11	2,73	0,43	0,45	0,60	0,83
MnO (%)	0,16	0,15	0,03	0,39	0,04	0,08	0,07	0,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,38	0,32	0,04	0,37	0,22	0,09	0,39	0,20
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
PAF (%)	5,13	1,17	26,40	0,25	0,51	2,13	2,86	5,58
Total	100,18	100,40	98,90	100,94	101,47	100,76	100,58	100,60
Ba (ppm)	26	738	199	237	1300	234	768	77
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cd (ppm)	2	7	4300	42	2	2	2	2
Ce (ppm)	32	39	34	24	24	24	70	28
Co (ppm)	41	37	40	33	6	16	14	37
Cu (ppm)	36	28	5	38	20	30	1	73
Dy (ppm)	9	2	2	1	1	1	2	3
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
La (ppm)	14	18	15	11	11	17	40	16
Li (ppm)	18	24	20	13	12	10	29	20
Mo (ppm)	4	4	7	4	4	4	4	4
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	25
Ni (ppm)	41	126	60	18	3	35	43	41
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	12	13	12
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sc (ppm)	42	28	7	41	3	11	12	21
Sm (ppm)	4	5	5	4	2	2	7	4
V (ppm)	331	178	31	172	35	64	90	136
Zn (ppm)	99	106	27	132	79	62	83	71
Ga (ppm)	28	16	47	21	22	15	20	15
Nb (ppm)	11	3	6	8	4	5	13	7
Rb (ppm)	6	70	97	22	31	31	121	24
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr (ppm)	189	708	275	115	1300	158	687	152
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	5
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Th (ppm)	10	10	468	10	10	10	12	10
Y (ppm)	63	18	5	36	5	16	15	21
Zr (ppm)	276	103	65	113	190	156	216	149
As (ppm)	8	2	100000	31	6	4	10	26
Au (ppb)	6	12	19000	5	5	5	10	5
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs (ppm)	1	5	4	3	3	1	9	1
Sb (ppm)	0,8	2,6	93,0	0,5	0,2	0,5	3,0	3,6
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tm (ppm)	2	3	17	4	2	3	2	4
U (ppm)	0,3	0,3	0,2	0,4	1,3	0,9	2,7	1,2
W (ppm)	2	1	2300	4	1	2	4	1
FeO (%)	10,10	5,82	-	-	2,00	3,47	4,21	6,53
S (%)	0,20	0,01	10,10	0,40	0,14	0,03	0,01	0,12
Ag (ppm)	0,5	0,5	2,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bi (ppm)	5	5	253	5	5	5	5	5
CO <sub>2</sub> (%)	3,92	0,15	0,62	0,26	0,07	1,39	2,16	4,14
Cr (ppm)	27	351	20	27	20	48	150	71
Hg (ppb)	20	40	140	20	23	23	10	10
B (ppm)	10	38	17	10	10	10	10	43

Élément	19359 98-055	19360 98-056	19361 98-057	19362 98-058	19363 98-059	19364 98-060	19365 98-086	
SiO <sub>2</sub> (%)	55,10	46,80	70,00	47,70	46,40	50,80	54,30	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	15,30	16,60	16,70	16,70	16,90	12,90	16,50	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	7,69	14,30	1,31	14,70	15,10	16,10	9,32	
MgO (%)	5,43	3,31	0,35	5,03	7,64	5,67	5,62	
CaO (%)	4,48	10,20	2,87	8,26	8,48	9,69	3,24	
Na <sub>2</sub> O (%)	3,74	2,29	5,31	2,81	2,88	1,88	5,13	
K <sub>2</sub> O (%)	2,84	0,45	1,62	0,25	0,23	0,33	0,27	
TiO <sub>2</sub> (%)	0,92	2,03	0,16	1,50	1,40	1,96	0,78	
MnO (%)	0,08	0,23	0,02	0,18	0,18	0,24	0,08	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,45	0,18	0,05	0,13	0,11	0,32	0,12	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	
PAF (%)	4,57	2,96	1,30	3,50	1,75	0,76	5,68	
Total	100,63	99,38	99,70	100,78	101,09	100,67	101,06	
Ba (ppm)	551	86	500	76	61	27	65	
Be (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	
Cd (ppm)	6	30	2	2	2	2	2	
Ce (ppm)	59	24	5	14	12	17	18	
Co (ppm)	20	70	3	60	64	51	27	
Cu (ppm)	122	165	7	76	22	64	231	
Dy (ppm)	5	3	1	2	2	4	2	
Eu (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	
La (ppm)	28	11	2	7	7	8	10	
Li (ppm)	47	23	9	26	25	18	37	
Mo (ppm)	4	4	4	4	4	4	4	
Nd (ppm)	25	25	25	25	25	25	25	
Ni (ppm)	70	153	3	125	142	69	115	
Pb (ppm)	12	12	12	12	12	12	12	
Pr (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	
Sc (ppm)	27	39	2	38	34	51	23	
Sm (ppm)	14	5	2	3	2	2	3	
V (ppm)	186	344	13	266	254	363	152	
Zn (ppm)	91	99	18	134	104	133	91	
Ga (ppm)	23	23	19	22	21	22	18	
Nb (ppm)	7	5	3	4	3	6	6	
Rb (ppm)	104	26	41	6	4	5	11	
Sn (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	
Sr (ppm)	377	263	487	158	231	161	307	
Ta (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	
Te (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	
Th (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	
Y (ppm)	29	32	4	21	19	41	15	
Zr (ppm)	143	102	90	86	79	164	108	
As (ppm)	20	31	5	23	9	30	16	
Au (ppb)	110	10	5	5	8	5	210	
Br (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	
Cs (ppm)	10	4	1	1	1	1	2	
Sb (ppm)	20,0	14,0	1,3	1,3	4,9	9,0	3,0	
Se (ppm)	10	10	10	10	10	10	10	
Tm (ppm)	4	2	3	2	2	3	4	
U (ppm)	0,9	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	
W (ppm)	5	1	2	2	1	3	3	
FeO (%)	-	-	0,63	10,80	10,80	10,40	6,90	
S (%)	0,89	0,71	0,01	0,04	0,01	0,18	0,10	
Ag (ppm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Bi (ppm)	5	5	5	5	5	5	5	
CO <sub>2</sub> (%)	3,00	1,98	0,84	2,16	0,15	0,15	2,82	
Cr (ppm)	214	125	20	119	113	93	118	
Hg (ppb)	30	20	20	20	20	15	33	
B (ppm)	52	15	10	10	10	10	15	

## ANNEXE 5

## LISTE ET RÉSULTATS DES COLORATIONS

No. Echantillons	Résultats			
	Plagioclase (%)	Quartz (%)	Feldspath-K	Autres
PML-98-002	59	15	Tr	26
PML-98-003	58	18	Tr	24
PML-98-004	62	22	Tr	16
PML-98-011	62	26	0	12
PML-98-013	65	24	0	11
PML-98-017	59	25	0	16
PML-98-018	62	26	0	12
PML-98-019	61	22	0	17
PML-98-022	62	20	0	18
PML-98-023	63	21	Tr	16
PML-98-024	64	20	Tr	16
PML-98-027	61	22	Tr	17
PML-98-028	65	25	Tr	10
PML-98-029	68	17	0	15
PML-98-030	60	25	0	15
PML-98-032	61	26	0	13
PML-98-035	66	22	0	12
PML-98-036	65	24	Tr	11
PML-98-037	65	20	0	15
PML-98-039	63	21	0	16
PML-98-040	69	21	0	10
PML-98-042	60	25	0	15
PML-98-045	60	20	Tr	20
PML-98-046	63	25	0	12
PML-98-047	70	20	0	10
PML-98-053 (diorite)	65	0	0	35
PML-98-057	77	11	0	12
PML-98-061	63	22	0	15
PML-98-062	70	15	0	15
PML-98-063	66	18	0	16
PML-98-064	63	22	0	15
PML-98-065	65	20	0	15
PML-98-066	61	18	0	21
PML-98-069	58	20	0	22
PML-98-072	65	25	0	10
PML-98-073	68	22	0	10
PML-98-074	64	25	0	11
PML-98-075	65	20	Tr	15
PML-98-076	60	20	0	20
PML-98-078	67	19	0	14
PML-98-084	65	20	0	15
Dyke diorite L10E	55	0	10	35

Feldspath- K = feldspath potassique

Autres = Minéraux ferro-magnésiens, sulfures et oxydes, minéraux d'altération.

Solutions utilisées pour la coloration :

- acide fluorhydrique (HF) 49% comme solution corrosive ;
- cobaltinitrite de sodium saturé  $\text{Na}_2\text{CO}(\text{NO}_2)_6$  comme solution colorante.

Méthode de comptage utilisée :

- mesure de différents champs d'intensité de luminosité sur l'image informatisée (scan) en tons de gris des plaquettes de coloration.

L'intensité de la luminosité est répartie selon un spectre dans lequel sont comptabilisés les pixels correspondant à chaque degré d'intensité.

## ANNEXE 6

**MINÉRAUX NORMATIFS ET INDICES D'ALTÉRATION CALCULÉS PAR LE  
PROGRAMME NORMAT**

<b>No. Analyse</b>	<b>MINFRAIS</b>	<b>MINALT</b>	<b>IFRAIS</b>	<b>ISER</b>	<b>SERHYDR</b>	<b>CO2 normatif</b>
19401	53,21	17,87	74,86	5,73	5,40	0,97
19402	51,57	13,81	78,87	7,42	9,14	1,85
19403	55,43	13,27	80,68	4,61	5,36	1,56
19404	62,76	6,96	90,02	1,57	2,64	1,82
19405	56,78	11,78	82,82	4,22	5,64	2,20
19406	61,47	9,99	86,02	2,76	4,34	1,10
19407	71,10	2,48	96,63	0,50	2,81	2,75
19408	64,37	4,56	93,39	0,94	1,25	0,29
19409	64,67	4,91	92,94	1,48	4,29	1,07
19410	31,57	23,12	57,73	17,46	11,92	1,08
19411	61,81	6,36	90,67	1,98	4,03	1,58
19412	0,00	38,08	0,00	84,92	32,34	0,31
19413	72,12	0,00	100,00	0,00	7,09	6,27
19414	68,34	2,31	96,73	0,66	3,93	1,87
19415	68,02	8,79	88,56	0,91	1,14	0,71
19416	55,26	11,40	82,90	0,38	0,25	0,00
19417	84,44	0,00	100,00	0,00	2,18	3,89
19418	57,64	11,51	83,35	3,35	3,00	0,23
19419	30,93	21,03	59,52	9,73	5,10	1,49
19420	53,79	12,03	81,72	5,66	7,30	2,80
19421	53,08	10,14	83,96	4,32	6,18	0,94
19422	64,50	3,36	95,05	1,43	7,09	1,85
19423	53,59	14,81	78,34	4,84	4,84	1,02
19424	67,14	4,37	93,88	1,21	4,15	1,69
19426	73,67	4,08	94,76	0,50	0,98	0,42
19427	53,15	16,00	76,86	5,60	3,87	0,00
19428	66,31	6,94	90,53	1,71	3,51	1,37
19429	65,93	5,13	92,78	1,16	3,17	0,99
19430	66,82	2,96	95,76	0,73	3,70	1,29
19431	62,37	7,66	89,06	1,34	1,26	0,18
19432	67,74	3,09	95,64	0,66	3,08	1,29
19433	69,87	4,29	94,21	0,81	2,11	0,74
19434	70,74	1,85	97,45	0,41	2,82	1,06
19435	69,73	4,24	94,27	1,21	4,23	1,61
19436	68,89	2,57	96,41	0,43	2,14	1,03
19437	58,95	11,40	83,80	2,63	2,25	0,16
19438	69,16	5,31	92,87	0,82	1,82	0,72

No. Analyse	MINFRAIS	MINALT	IFRAIS	ISER	SERHYDR	CO2 normatif
19439	50,95	17,65	74,27	6,47	5,67	0,82
19440	60,30	8,40	87,77	2,65	4,22	0,77
19441	63,72	8,85	87,81	1,62	1,52	0,18
19442	52,59	17,34	75,20	5,39	4,67	0,28
19443	59,65	11,85	83,43	2,41	2,05	0,15
19444	63,37	4,82	92,93	1,43	4,22	1,57
19445	59,94	11,97	83,35	3,14	2,92	0,24
19446	61,50	8,91	87,34	2,13	2,49	0,40
19447	62,20	6,49	90,55	1,20	0,83	0,00
19448	57,55	10,18	84,97	2,74	1,85	0,00
19449	61,94	7,99	88,58	1,53	1,07	0,00
19451	65,33	5,36	92,41	0,96	1,54	0,47
19452	55,50	14,61	79,16	4,50	4,80	0,53
19453	61,67	6,68	90,23	1,85	3,65	1,15
19454	62,09	8,93	87,42	1,95	2,12	0,31
19455	68,13	6,76	90,97	1,88	4,40	0,98
19456	62,60	7,53	89,26	1,84	2,93	0,64
19457	66,43	4,97	93,04	1,30	2,89	0,70
19458	62,52	5,95	91,31	1,22	1,02	0,09
19459	64,92	7,69	89,41	1,21	1,04	0,10
19460	66,15	4,58	93,53	0,81	1,71	0,62
19461	64,40	7,47	89,61	2,15	4,74	1,32
19462	68,97	2,37	96,68	0,41	2,03	1,36
19463	60,98	9,91	86,02	3,03	4,71	1,94
19464	70,59	2,85	96,12	0,35	1,46	0,95
19465	67,78	1,09	98,41	0,26	4,00	2,37
19466	63,33	6,60	90,56	1,31	1,84	0,44
19467	64,79	4,53	93,47	1,00	1,27	0,25
19468	68,16	3,14	95,59	0,76	2,42	0,74
19469	68,03	6,19	91,65	1,78	3,96	1,48
19470	65,91	4,54	93,55	1,00	2,99	1,05
19471	63,00	3,90	94,16	0,61	2,16	1,17
19472	71,59	0,26	99,63	0,04	2,21	2,25
19473	62,95	8,97	87,53	1,78	3,15	1,02
19474	55,19	15,74	77,81	4,05	3,85	1,95
19476	64,12	8,25	88,59	1,13	1,31	0,34
19477	62,24	9,97	86,20	1,86	1,92	0,29
19478	57,36	12,91	81,63	3,85	5,02	0,91
19479	68,71	2,74	96,16	0,93	5,53	2,72
19480	67,11	6,18	91,57	1,49	2,25	0,44

**Echantillon précurseur**

MINFRAIS = Albite + Actinote + Épidote + Orthose + Trémolite + Sphène

MINALT = Paragonite + Pyrophyllite + Séricite hydrothermale + Chlorite hydrothermale + Diaspore hydroth.

IFRAIS = MINFRAIS \* 100 / (MINFRAIS + MINALT)

ISER = Séricite hydrothermale \* 100 / (MINFRAIS + MINALT)

SERHYDR = Séricite hydrothermale

## ANNEXE 7

## RÉSULTATS DU CALCUL DES BILANS DE MATIÈRE

<i>Analyse</i>	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na2O (%)	K2O (%)	TiO2 (%)	Total (%)
19401	3,32	1,72	1,02	0,08	-1,34	-0,11	1,21	0,02	6,58
19402	11,62	2,37	0,41	0,38	-0,07	-1,29	2,43	0,01	15,71
19403	13,46	2,91	-0,23	0,60	-0,58	0,18	1,52	0,02	17,39
19404	7,23	0,20	-0,21	0,68	-0,51	0,56	0,44	0,06	8,00
19405	3,57	0,75	0,25	0,87	-0,30	-0,60	1,24	0,05	5,19
19406	8,03	2,30	-0,03	0,13	-0,18	0,45	0,98	0,04	10,96
19407	-6,73	-1,49	0,68	0,68	0,37	-0,18	0,13	0,09	-6,90
19408	-3,91	-0,64	0,02	0,10	0,86	-0,61	-0,06	0,00	-4,71
19409	8,05	1,50	0,16	0,15	0,64	0,03	1,00	0,01	10,96
19410	26,89	3,17	0,29	0,63	-1,10	-2,10	2,69	0,05	30,65
19411	17,85	2,52	0,28	0,05	0,11	0,62	1,29	0,02	22,73
19412	30,81	0,19	2,40	-0,34	-2,50	-5,80	3,39	0,10	30,65
19413	-22,70	-5,09	3,13	1,74	2,38	-2,89	0,26	0,32	-22,86
19414	13,08	2,39	-0,10	0,11	0,89	0,66	1,12	0,02	17,39
19415	3,98	1,15	0,21	0,75	-1,34	2,10	-0,34	0,01	6,58
19416	1,48	0,85	-0,02	0,10	0,42	0,29	-1,18	0,01	2,53
19417	-12,11	-2,41	0,90	1,05	1,74	-0,22	-0,17	0,19	-10,99
19418	6,82	1,86	0,00	0,08	-0,11	-0,03	0,86	0,03	9,46
19419	16,57	-1,47	4,24	-0,34	-2,28	-1,53	0,72	0,02	20,90
19420	-0,24	-0,69	1,47	1,08	-0,23	-1,59	1,56	0,02	1,25
19421	17,85	2,09	0,65	0,06	0,16	-0,57	1,61	0,03	22,73
19422	11,69	2,53	-0,34	-0,22	1,36	-0,60	1,90	-0,02	17,39
19423	19,18	3,91	-0,10	0,42	-0,98	0,71	1,51	0,02	24,62
19424	9,91	2,40	0,28	0,16	0,74	0,55	1,04	0,03	15,71
19426	20,88	6,72	0,47	0,31	0,82	3,65	0,14	0,05	32,79
19427	-7,97	-1,40	-0,47	-0,25	-1,01	-1,40	0,80	-0,02	-11,96
19428	5,11	1,46	0,04	0,31	-0,13	0,62	0,79	0,03	8,00
19429	2,99	0,72	0,09	-0,02	0,39	0,21	0,39	0,02	5,19
19430	8,36	1,56	-0,05	-0,02	0,93	0,35	0,58	0,03	12,50
19431	-5,34	-1,04	0,31	-0,06	0,04	-0,38	-0,22	0,00	-6,90
19432	-0,63	-0,55	0,36	-0,01	0,40	-0,06	0,19	-0,01	0,00
19433	-0,85	0,50	0,30	-0,02	0,32	0,48	0,18	0,03	1,25
19434	-0,17	0,15	0,07	0,04	0,72	0,12	0,39	0,03	1,25
19435	6,69	2,13	-0,06	0,03	0,43	0,55	1,24	0,02	10,96
19436	20,59	4,58	-0,02	0,14	1,23	2,11	0,26	0,04	28,57
19437	16,35	4,14	0,08	0,11	-0,15	1,24	0,72	0,03	22,73
19438	19,10	4,74	0,64	0,20	0,21	2,68	0,31	0,03	28,57
19439	23,72	5,45	-0,28	0,67	-1,26	0,86	2,07	0,06	30,65

Analyse	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Total (%)
19440	19,26	5,64	1,04	0,43	1,66	0,58	1,34	0,08	30,65
19441	15,56	4,63	0,12	0,26	0,34	1,78	0,39	0,07	22,73
19442	11,10	4,28	-0,10	0,05	-0,41	0,26	1,21	0,05	17,39
19443	21,19	6,05	-0,13	0,10	0,10	1,97	0,64	0,07	30,65
19444	20,63	3,69	0,02	-0,07	0,83	0,85	1,21	0,03	26,56
19445	12,83	3,79	0,23	0,18	-0,35	1,00	1,05	0,04	19,12
19446	5,98	1,90	0,04	0,29	0,28	0,31	0,52	0,05	9,46
19447	12,40	3,11	0,13	0,23	1,09	0,81	0,10	0,04	17,39
19448	1,52	-0,19	-0,14	-0,05	-0,32	-0,48	0,44	-0,01	1,25
19449	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19451	3,20	0,48	0,03	0,08	0,24	0,44	0,00	0,03	5,19
19452	3,55	4,60	0,41	0,41	1,42	-0,49	0,88	0,01	10,96
19453	4,32	-0,38	0,01	-0,19	-0,32	-0,19	0,64	0,00	3,85
19454	-8,25	-1,36	-0,50	-0,26	-0,21	-0,71	0,06	0,00	-11,96
19455	-8,95	0,33	0,15	0,08	0,78	-0,73	0,69	0,04	-7,95
19456	9,41	2,05	0,13	-0,03	0,19	0,54	0,64	0,02	14,08
19457	23,25	5,90	-0,35	0,10	1,20	1,68	1,26	0,03	32,79
19458	-1,14	0,45	0,11	0,25	1,17	-0,48	-0,05	0,03	0,00
19459	7,75	1,92	0,18	0,24	-0,20	1,30	0,02	0,02	10,96
19460	0,96	1,18	0,36	0,29	1,25	0,12	-0,07	0,05	3,85
19461	13,88	4,11	0,22	0,21	0,66	0,84	1,29	0,04	20,90
19462	18,15	2,89	0,21	0,13	0,46	1,94	0,29	0,03	24,62
19463	21,67	5,47	0,53	0,76	0,25	1,30	1,64	0,05	30,65
19464	21,84	4,56	0,73	0,64	0,62	3,00	-0,07	0,05	32,79
19465	14,52	3,42	0,30	0,15	2,12	0,64	0,58	0,03	20,90
19466	18,66	4,14	-0,13	0,04	0,62	1,52	0,43	0,03	24,62
19467	7,79	1,84	0,12	0,04	1,02	0,34	0,33	0,01	10,96
19468	16,75	4,36	0,28	0,24	1,51	1,23	0,87	0,03	24,62
19469	7,08	1,97	-0,03	0,19	-0,14	0,66	1,31	0,02	10,96
19470	23,26	4,67	0,27	0,44	0,80	1,88	0,78	0,04	30,65
19471	21,03	5,07	0,65	0,65	2,56	1,21	-0,12	0,07	30,65
19472	21,17	4,77	0,45	0,45	1,86	2,26	0,17	0,06	30,65
19473	17,69	4,82	0,02	-0,05	0,26	1,77	0,54	0,05	24,62
19474	4,61	1,58	2,83	0,24	-1,32	0,44	0,76	0,01	9,46
19476	19,46	4,33	0,27	0,62	-0,24	2,53	0,02	0,04	26,56
19477	5,97	2,65	-0,08	0,18	0,19	0,82	0,20	0,02	9,46
19478	-2,39	-0,07	0,02	0,27	-0,61	-0,62	0,74	0,00	-2,41
19479	20,61	5,58	3,20	0,13	2,19	0,89	1,90	0,04	35,00
19480	8,56	2,80	0,22	0,19	0,43	0,89	0,83	0,03	14,08

#### Echantillon précurseur

Calcul : 1) Principaux oxydes recalculés sur une base anhydre = oxyde corrigé

2) Calcul (valeur Zr éch. précurseur / valeur Zr éch. altéré) \* oxyde corrigé éch altéré = oxyde reconstitué de l'échantillon altéré

3) Oxyde reconstitué éch. altéré – oxyde corrigé éch altéré = bilan de matière pour l'oxyde considéré de l'échantillon altéré.

## ANNEXE 8

## STATIONS DE LEVÉ AU SCINTILLOMÈTRE

Station (localisation)		Résultat en compte par seconde (cps)			Lithologie
Estant	Nordant	K	eU	eTh	
L13E	3+70S	0,6	0	0	Basalte
L13E	3+65S	0,5	0	0,1	Andésite
L13E	3+60S	1	0,1	0,5	Andésite
L13E	3+55S	1,2	0,3	0,2	Andésite
L13E	3+50S	0,8	0,2	0,2	Andésite
L13E	3+45S	0,7	0,2	0	Basalte
L13E	3+40S	0,5	0,1	0	Basalte
L13E	3+35S	0,1	0	0	Basalte
L13E	3+30S	0,5	0,1	0	Basalte
L13E	3+20S	0,2	0,2	0	Basalte
L13E	3+10S	0,5	0,2	0	Basalte
L13E	3+00S	0,7	0,2	0	Basalte
L13E	2+90S	0,6	0,2	0,2	Basalte
L13E	2+85S	0,5	0,1	0,2	Basalte
L13E	2+75S	0,6	0,1	0,1	Andésite
L13E	2+70S	0,5	0,2	0	Tonalite
L13E	2+65S	0,5	0	0	Tonalite
L13E	2+60S	0,9	0,2	0	Tonalite
L13E	2+55S	2	0,1	0,1	Tonalite
L13E	2+50S	0,9	0	0	Tonalite
L13E	2+45S	1,7	0	0	Tonalite
L13E	2+35S	2	0,4	0	Tonalite
L13E	2+25S	1,3	0,1	0,1	Tonalite
L13E	2+15S	1,6	0,3	0,4	Diorite
L13E	2+05S	1,6	0,1	0,1	Lamprophyre
L12E	2+60S	0,7	0	0,1	Diorite
L12E	2+50S	1,4	0,3	0,1	Diorite
L12E	2+45S	1	0,4	0,2	Diorite
L12E	2+40S	0,8	0,1	0	Diorite
L12E	2+35S	1,1	0,2	0	Tonalite
L12E	2+30S	1,4	0	0	Tonalite
L12E	2+25S	1,3	0,1	0	Tonalite
L12E	2+20S	2,1	0,1	0	Tonalite
L12E	2+15S	0,8	0	0,1	Tonalite
L12E	2+10S	1,1	0,1	0	Tonalite
L12E	2+05S	1,7	0,6	0,1	Lamprophyre
L12E	2+00S	1,7	0	0	Tonalite
L14+50E	2+45S	1,6	-	-	Tonalite
L14+50E	2+40S	1	-	-	Diorite
L14+50E	2+35S	0,7	-	-	Diorite
L14+50E	2+30S	1,7	-	-	Tonalite
L14+50E	2+25S	1,2	-	-	Tonalite
L14+50E	1+90S	0,9	-	-	Tonalite
L14+50E	1+85S	1	-	-	Tonalite
L14+50E	1+80S	0,7	-	-	Tonalite
L12E	2+00S	1,7	0	0	Tonalite

Station (localisation)		Resultat en compte par seconde (cps)			Lithologie
Estant	Nordant	K	U	Th	
L14+50E	2+45S	1,6	-	-	Tonalite
L14+50E	2+40S	1	-	-	Diorite
L14+50E	2+35S	0,7	-	-	Diorite
L14+50E	2+30S	1,7	-	-	Tonalite
L14+50E	2+25S	1,2	-	-	Tonalite
L14+50E	1+90S	0,9	-	-	Tonalite
L14+50E	1+85S	1	-	-	Tonalite
L14+50E	1+80S	0,7	-	-	Tonalite
L14+50E	1+75S	1,9	-	-	Tonalite
L14+50E	1+70S	1,3	-	-	Tonalite
L14+50E	1+65S	0,7	-	-	Tonalite
L14+50E	1+60S	1,2	-	-	Gabbro
L14+50E	1+55S	1,4	-	-	Tonalite
L14+50E	1+50S	0,9	-	-	Tonalite
L14+50E	1+15S	1,6	-	-	Tonalite
L14+50E	1+10S	1,3	-	-	Tonalite
L14+50E	1+05S	0,9	-	-	Tonalite
L14+50E	1+00S	0,7	-	-	Tonalite
L14+50E	0+95S	0,6	-	-	Tonalite
L14+50E	0+90S	0,9	-	-	Tonalite
L14+50E	0+80S	1	-	-	Tonalite
L14+50E	0+75S	1,4	-	-	Tonalite
L14+50E	0+70S	1,1	-	-	Tonalite
L14+50E	0+65S	0,9	-	-	Tonalite
L14+50E	0+60S	1	-	-	Tonalite
L14+50E	0+55S	0,7	-	-	Tonalite
L14+50E	0+50S	1,1	-	-	Tonalite
L14+50E	0+45S	1,2	-	-	Tonalite
L14+50E	0+40S	1,2	-	-	Tonalite
L14+50E	0+35S	0,6	-	-	Tonalite
L19E	1+40S	1	-	-	Tonalite
L19E	1+30S	0,9	-	-	Tonalite
L19E	1+20S	0,8	-	-	Tonalite
L19E	0+75S	0,7	-	-	Tonalite
L19E	0+65S	1	-	-	Tonalite
L19E	0+55S	0,8	-	-	Tonalite
L19E	0+45S	0,6	-	-	Lamprophyre
L19E	0+00	0,8	-	-	Lamprophyre
L19E	0+20N	0,4	-	-	Tonalite
L19E	1+30N	0,6	-	-	Tonalite
L19E	1+40N	0,5	-	-	Tonalite
L19E	1+50N	0,6	-	-	Tonalite
L19E	1+60N	0,5	-	-	Tonalite
L19E	1+80N	0,9	-	-	Tonalite
L19E	2+20N	0,8	-	-	Tonalite
L19E	2+30N	0,6	-	-	Tonalite
L19E	2+40N	0,8	-	-	Tonalite
L19E	2+50N	0,3	-	-	Tonalite
L19E	2+60N	0,4	-	-	Tonalite
L19E	2+70N	0,6	-	-	Tonalite
L19E	2+80N	0,5	-	-	Tonalite
L19E	2+90N	0,7	-	-	Basalte
L19E	3+00N	0,4	-	-	Gabbro
L19E	3+10N	0,2	-	-	Basalte

Appareil : URTEC UG 135 (spectromètre différentiel).