

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

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

Par  
Dominique Meilleur

**Distribution de la taille des cristaux (DTC) et géochimie des laves rhyolitiques de la chaîne volcanique *Inyo, Long Valley, Californie***

Juin 2004



### 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

La cristallisation est un aspect important de la pétrologie ignée et son étude peut être faite grâce aux textures présentes dans les roches. L'étude qualitative de ces textures est utilisée fréquemment et ce, contrairement à l'étude quantitative qui est moins développée. Cette étude quantitative peut être effectuée grâce à la méthode de la distribution de la taille des cristaux (DTC). L'objectif général de ce projet vise donc à caractériser le matériel rhyolitique qui forme la chaîne volcanique des dômes *Inyo* à l'aide de la DTC mise en parallèle avec la géochimie et la pétrologie.

Les trois dômes volcaniques de la chaîne *Inyo*, *Obsidian Dome*, *Glass Creek Dome* et *Deadman Dome* forment une chaîne volcanique nord-sud longue de 11 kilomètres qui se trouve sur le flanc nord-ouest de la caldeira de *Long Valley*. Les dômes sont composés de différents types de rhyolites présents sous forme de trois groupes texturaux distincts: le groupe *coarsely porphyritic* (Cp), avec plus de 25% de phénocristaux de plagioclase et de sanidine, celui *finely porphyritic* (Fp) avec moins de 5% de phénocristaux de feldspath et un groupe intermédiaire au point de vue du pourcentage de cristaux (Im). Le groupe textural Fp est subdivisé en trois sous-groupes (Fp (1, 2 et 3)). Cette subdivision est un outil qui permet d'effectuer des distinctions entre les échantillons au point de vue de la DTC ainsi que d'en observer les variations spatiales. Les limites de chacun de ces sous-groupes sont définies selon leur contenu en Th, Sc et Ba afin de faciliter la classification des échantillons.

La distribution des échantillons selon le groupe auquel ils appartiennent, à l'intérieur des dômes volcaniques, permet de constater que *Obsidian Dome*, au nord de la chaîne volcanique, est exclusivement composé des échantillons de Fp et plus particulièrement des groupes Fp (1) et Fp (2) ainsi que du groupe Fp (3) mais de façon plus locale. Alors que *Glass Creek Dome* et *Deadman Dome* sont formés par les échantillons des groupes texturaux Cp, Im ainsi que de quelques échantillons du groupe Fp (3).

La DTC est représentée par une courbe et elle indique la quantité de cristaux par taille dans un intervalle donné. Des courbes de DTC sont effectuées pour les échantillons des groupes texturaux provenant des trois dômes volcaniques. Les courbes de DTC des groupes Fp (1) et Fp (2) sont similaires, elles sont droites et courtes. Alors que celles des groupes Fp (3), Cp et Im ont une forme concave et sont plus longues.

L'interprétation de ces courbes jumelée à l'étude géochimique permet de distinguer deux principaux processus de cristallisation dans ce système volcanique. Les échantillons des groupes Fp (1 et 2), qui forment principalement *Obsidian Dome*, montrent un processus de fractionnement. Alors que ceux des groupes Fp (3), Cp et Im, qui constituent *Glass Creek Dome* et *Deadman Dome*, montrent plutôt un processus de mélange de deux populations de cristaux qui peut être modélisé par la juxtaposition de deux droites de représentant ces différentes populations.

Les différences au point de vue de la DTC ainsi que de la géochimie permettent de distinguer des différences entre *Obsidian Dome*, qui se situe au nord de la chaîne volcanique, et *Glass Creek Dome* ainsi que *Deadman Dome* qui sont au sud. La source des magmas ayant contribué à la mise en place des dômes peut soit être unique avec des conduits provenant de niveaux différents de la chambre magmatique ou être constituée de deux systèmes à chaque extrémité de la chaîne volcanique.

## REMERCIEMENTS

Tout au long de ce projet, j'ai bénéficié de l'aide et des précieux conseils de certaines personnes que je tiens à remercier.

Premièrement, un merci particulier au Dr. Michael D. Higgins, le directeur de ce projet, pour sa disponibilité ainsi que ses commentaires judicieux. Ensuite je veux remercier Dr. Pierre Cousineau et Dre. Sarah-Jane Barnes, les membres de mon comité, pour le temps qu'ils ont consacré à la lecture et à la correction de ce mémoire en plus de leurs suggestions pour son amélioration.

Je tiens aussi à remercier M. Joseph N. Moore, de l'Université de l'Utah, pour m'avoir permis d'échantillonner les forages des dômes *Inyo*.

Finalement, mes derniers remerciements s'adressent à ma famille et à mes amis pour leur soutien constant et leurs encouragements, tout au long de ce projet, autant dans les bons moments que dans ceux plus difficiles.

Merci!

## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b>	ii
<b>REMERCIEMENTS</b>	iii
<b>LISTE DES FIGURES</b>	vi
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	viii
<b>LISTE DES ANNEXES</b>	ix
<b>CHAPITRE I INTRODUCTION</b>	1
<b>1.1 Objectifs</b>	2
<b>1.2 Caractéristiques des rhyolites</b>	2
<b>1.3 Distribution de la taille des cristaux</b>	3
<b>CHAPITRE II CADRE GÉOLOGIQUE</b>	5
<b>2.1 Localisation</b>	6
2.1.1 Caldeira de Long Valley	6
2.1.2 Chaîne volcanique Inyo	6
<b>2.2 Historique de l'activité volcanique de la région de Long Valley</b>	10
<b>2.3 Travaux antérieurs sur les dômes volcaniques Inyo</b>	12
<b>2.4 Description du système volcanique</b>	14
<b>CHAPITRE III PÉTROLOGIE</b>	19
<b>3.1 Échantillonnage</b>	19
<b>3.2 Observations macroscopiques</b>	20
<b>3.3 Observations microscopiques</b>	22
3.3.1 Caractéristiques des trois groupes texturaux	24
3.3.1.1 Groupe textural Fp	24
3.3.1.2 Groupe textural Im	25
3.3.1.3 Groupe textural Cp	29
<b>CHAPITRE IV GÉOCHIMIE</b>	32
<b>4.1 Méthode d'analyse</b>	32
4.1.1 Échantillonnage	32
4.1.2 Broyage	34
4.1.3 Analyses par fluorescence-X (XRF)	34
4.1.4 Analyses par activation neutronique (INAA)	35
4.1.5 Contrôle de qualité des analyses	36
<b>4.2 Oxydes majeurs</b>	38
4.2.1 Classification et diagrammes de discrimination	38
4.2.2 Diagrammes de variation	42
<b>4.3 Éléments traces et terres rares</b>	45
4.3.1 Éléments traces	46
4.3.2 Diagrammes des éléments terres rares (ETR)	50
<b>4.4 Incidences de l'étude géochimique</b>	55
4.4.1 Différences entre les groupe texturaux	55
4.4.2 Processus de cristallisation	55

<b>CHAPITRE V DISTRIBUTION DE LA TAILLE DES CRISTAUX</b>	65
<b>5.1 Théorie de la DTC</b>	65
<b>5.2 Méthodologie de la DTC</b>	66
5.2.1 Acquisition des données	68
5.2.2 Traitement des résultats	71
5.2.2.1 Longueur caractéristique	78
<b>5.3 Vérification des mesures de la DTC</b>	79
<b>5.4 Description des courbes de DTC</b>	83
5.4.1 Courbes de DTC par groupes texturaux	83
5.4.2 Courbes de DTC par dômes	88
<b>5.5 Relation entre le pourcentage volumique et la longueur caractéristique</b>	88
5.5.1 Selon les groupes texturaux	91
<b>CHAPITRE VI DISCUSSION</b>	94
<b>6.1 Cristallisation fractionnée</b>	95
6.1.1 Processus physique de la cristallisation fractionnée	95
6.1.2 Effets minéralogiques	96
6.1.3 Effets chimiques	96
6.1.4 Effets sur les courbes de DTC	97
<b>6.2 Mélange</b>	99
6.2.1 Processus physique de mélange	99
6.2.2 Effets minéralogiques	101
6.2.3 Effets chimiques	102
6.2.4 Effets sur les courbes de DTC	102
<b>6.3 Discussion des données selon les deux processus de cristallisation</b>	102
6.3.1 Sous-groupes Fp	103
6.3.1.1 Cristallisation fractionnée	103
6.3.1.2 Mélange	104
6.3.2 Groupes texturaux Fp, Im et Cp	106
6.3.2.1 Cristallisation fractionnée	106
6.3.2.2 Mélange	107
<b>CHAPITRE VII CONCLUSION</b>	114
<b>RÉFÉRENCES</b>	119
<b>ANNEXES</b>	124

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 2.1</b>	Carte géologique simplifiée de la région de <i>Long Valley</i>	7
<b>Figure 2.2</b>	Localisation des structures volcaniques associées à la chaîne volcanique <i>Inyo</i>	8
<b>Figure 2.3</b>	Localisation des trois forages dans <i>Obsidian Dome</i>	13
<b>Figure 2.4</b>	Photographies de terrain représentant les deux groupes texturaux observés lors de l'échantillonnage	15
<b>Figure 2.5</b>	Modèle magmatique de Bailey	17
<b>Figure 2.6</b>	Modèle magmatique de Fink	17
<b>Figure 3.1</b>	Orientation des coupes effectuées pour l'échantillonnage des trois dômes volcaniques <i>Inyo</i>	21
<b>Figure 3.2</b>	Relation entre le pourcentage de phénocristaux et leur taille maximale pour les trois différents groupes texturaux tels qu'identifiés lors des travaux de terrain	23
<b>Figure 3.3</b>	Photographies en lame mince du groupe textural Fp	26
<b>Figure 3.4</b>	Photographies en lame mince du groupe textural Im	27
<b>Figure 3.5</b>	Photographie en lame mince du groupe textural Cp	30
<b>Figure 4.1</b>	Localisation des stations d'échantillonnage réparties dans les trois dômes volcaniques <i>Inyo</i> et position des forages dans <i>Obsidian Dome</i>	33
<b>Figure 4.2</b>	Diagrammes de discrimination des éléments majeurs	40
<b>Figure 4.3</b>	Diagrammes d'oxydes majeurs en fonction de SiO <sub>2</sub>	43
<b>Figure 4.4</b>	Division des échantillons du groupe textural Fp en trois sous-groupes	47
<b>Figure 4.5</b>	Localisation des échantillons selon les groupes ou sous-groupes texturaux auxquels ils appartiennent	49
<b>Figure 4.6</b>	Patrons de terres rares pour chaque groupe textural (Fp, Im et Cp) et sous-groupes de Fp (1, 2 et 3)	53
<b>Figure 4.7</b>	Diagramme de Sc en fonction de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56
<b>Figure 4.8</b>	Fractionnement et accumulation de plagioclase et de sanidine	56
<b>Figure 4.9</b>	Diagrammes de Th en fonction des oxydes majeurs	58
<b>Figure 5.1</b>	Localisation des échantillons et des forages utilisés pour la méthode de la DTC	67
<b>Figure 5.2</b>	Critères de détermination pour les mesures de longueur et de largeur des cristaux lors de la numérisation	70
<b>Figure 5.3</b>	Exemple de la lame mince (DM-01-22) numérisée et traitée avec le logiciel <i>Measure</i>	70
<b>Figure 5.4</b>	Graphique représentant une courbe de DTC	72
<b>Figure 5.5</b>	Problèmes liés à la conversion 2D à 3D des données	74
<b>Figure 5.6</b>	Interface du logiciel <i>CSD Corrections 1.3</i>	75
<b>Figure 5.7</b>	Pourcentage volumique déterminé avec le logiciel <i>CSD Corrections</i> en fonction de celui calculé à partir des aires totales des intersections des cristaux	82
<b>Figure 5.8</b>	Courbes de DTC de la sanidine pour chaque groupe et sous-groupe texturaux	84

<b>Figure 5.9</b>	Courbes de DTC du plagioclase pour chaque groupe et sous-groupe texturaux	86
<b>Figure 5.10</b>	Courbes de DTC de la sanidine pour les dômes volcaniques	89
<b>Figure 5.11</b>	Courbes de DTC du plagioclase pour les dômes volcaniques	90
<b>Figure 5.12</b>	Pourcentage volumique en fonction de la longueur caractéristique pour chaque groupe textural selon les deux minéraux étudiés	92
<b>Figure 6.1</b>	Modèles des courbes de DTC pour différents processus qui modifient le système	98
<b>Figure 6.2</b>	Mélange entre le matériel Cp et celui Fp	100
<b>Figure 6.3</b>	Courbes obtenues par la modélisation du processus de mélange	110
<b>Figure 6.4</b>	Juxtaposition des courbes modèles avec les courbes de DTC pour les groupes texturaux	111



**LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 4.1</b>	Comparaison de la moyenne des analyses de l'échantillon SH-0032 effectuées dans le cadre de ce projet avec les valeurs acceptées pour l'échantillon de référence interne SH-0032	37
<b>Tableau 4.2</b>	Valeurs de chondrite pour la normalisation des terres rares et rayons ioniques utilisés dans les diagrammes d'ETR	51
<b>Tableau 4.3</b>	Coefficients de partition utilisés dans le calcul des vecteurs de fractionnement	51
<b>Tableau 5.1</b>	Forme des cristaux selon le groupe textural et le type de minéral analysé	77
<b>Tableau 5.2</b>	Limites minimum et maximum utilisées pour la détermination de la longueur caractéristique	80

**LISTE DES ANNEXES**

<b>Annexe I</b>	Sommaire des caractéristiques macroscopiques des échantillons des dômes <i>Inyo</i> et des forages	124
<b>Annexe II</b>	Sommaire des observations microscopiques des échantillons des dômes <i>Inyo</i> et des forages	128
<b>Annexe III</b>	Résultats des analyses géochimiques pour les éléments majeurs et les éléments traces des échantillons provenant des trois dômes volcaniques <i>Inyo</i>	130
<b>Annexe IV</b>	Pourcentages volumiques et longueurs caractéristiques calculés pour la sanidine et le plagioclase dans chaque échantillon	136

# CHAPITRE I

## INTRODUCTION

La pétrologie ignée est un domaine où la cristallisation occupe une très grande place. En effet, la formation des roches passe par la solidification du magma qui s'effectue par différents processus de cristallisation. L'étude de la cristallisation permet donc de développer des concepts et des idées dans ce domaine particulier de la géologie.

Les textures, qui apparaissent durant la formation des roches volcaniques, préservent la mémoire de l'histoire de leur cristallisation (Cashman, 1993). La cristallisation peut être étudiée de façon qualitative ou quantitative à l'aide de la chimie et de l'observation directe des textures. De ce fait, la quantification du développement textural permet d'avoir une meilleure compréhension des processus de cristallisation ayant formé la roche. Par contre, bien que l'observation et l'étude qualitative des textures soient bien développées, peu de travaux sont effectués sur l'étude des textures faites de façon quantitative.

## **1.1 Objectifs**

L'objectif général de ce projet vise à caractériser le matériel rhyolitique, provenant de l'éruption des dômes volcaniques *Inyo*, en Californie, à l'aide de la méthode de la distribution de la taille des cristaux (DTC) et de la géochimie. Et ce, afin d'avoir une meilleure compréhension de la cristallisation dans ce système volcanique felsique. Pour ce faire, les objectifs spécifiques suivants devront être complétés : 1) déterminer, par la pétrologie et la géochimie, les caractéristiques des différents types de rhyolite qui constituent le système volcanique 2) établir les courbes obtenues par la DTC pour ces échantillons rhyolitiques 3) faire le lien entre la pétrologie, la géochimie et la DTC 4) identifier les variations (pétrologie, géochimie et DTC) à l'intérieur et entre les dômes 5) identifier les processus de cristallisation actifs dans la chaîne volcanique *Inyo* et 6) poser une hypothèse quant à la source du magma ayant permis la mise en place des trois dômes volcanique *Inyo*.

## **1.2 Caractéristiques des rhyolites**

Une rhyolite est une roche effusive composée principalement de microlites et de phénocristaux de quartz, feldspath, amphibole et biotite, d'une texture fluidale et d'une pâte vitreuse. La lave rhyolitique est composée de plus de 68% de  $\text{SiO}_2$ , ce qui en fait une lave très visqueuse (entre  $10^8$  et  $10^{14}$  Pa·s). Sa température d'effusion se situe entre 700 et 800 °C et la quantité d' $\text{H}_2\text{O}$  qu'elle contient au départ est de 5%. Mais avec la perte d'eau dans le conduit, cette proportion peut diminuer jusqu'à moins de 1% suivant

l'évolution du système. Alors que son contenu en gaz varie entre 4 et 6% (Sigurdsson *et al.*, 2000 ; Lofgren, 1971).

Le magma de composition rhyolitique se met en place sous forme de dômes (endogènes ou exogènes), lorsque la température est plus basse, et de coulées (<1-2 km) avec une température plus élevée et ce, dû à l'apport constant de lave. Des textures d'écoulement laminaire formées par des structures syn-volcaniques en milieu ductile sont aussi visibles dans les dômes. De plus, le magma rhyolitique peut aussi produire des éruptions pyroclastiques, souvent de nature magmatique, lesquelles sont souvent reliées à la formation de caldeiras (Sigurdsson *et al.*, 2000).

### **1.3 Distribution de la taille des cristaux**

La méthode de la DTC est un domaine d'étude assez récent instauré par Randolph et Larson (1971) pour des applications industrielles en génie chimique. Il faut attendre, les travaux de Marsh (1984), pour voir l'apparition de son application en géologie, c'est-à-dire en pétrologie ignée avec l'étude quantitative des textures. Ce dernier a développé des idées relatives à la cristallisation de laves mafiques. Depuis cette percée, la majorité des auteurs se sont intéressés au matériel volcanique mafique à intermédiaire.

La méthode de la DTC est basée sur un modèle empirique de la nucléation et de la croissance des cristaux qui implique un équilibre de la population de cristaux dans un système donné (Cashman et Marsh, 1988; Marsh, 1988). Elle ne se veut pas un

remplacement de la théorie de la cinétique, mais plutôt un outil avec lequel la cristallisation peut être étudiée dans des systèmes complexes et ce, en posant un minimum d'hypothèses (Marsh, 1988).

La technique de la DTC permet d'interpréter des données afin d'en dégager des informations quantitatives sur le taux de croissance des cristaux, la densité de nucléation, le taux de nucléation et sur l'importance des réactions chimiques dominantes (Marsh, 1988). Et ce, dans un système ouvert à l'équilibre qui correspond à un système idéal. L'utilisation de la DTC permet aussi d'établir le temps de résidence d'une population de cristaux et l'environnement de cristallisation (par exemple : Higgins, 1996a ; Mangan, 1990 ; Cashman, 1988). Et ce, toujours en tenant compte du taux de croissance des cristaux, particulier à chaque type de lave.

L'interprétation des courbes de DTC d'après leur forme, suite à la modification du comportement idéal, est utile afin d'identifier les différents processus de cristallisation qui prennent place dans le système étudié tels ; l'accumulation et le fractionnement (Marsh, 1998 ; 1988), le mélange de magmas (Higgins, 1996b) ou le mûrissement textural (par exemple Higgins, 1998). La théorie de la DTC sera expliquée plus en détails au chapitre 5.

## CHAPITRE II

### CADRE GÉOLOGIQUE

La région de *Long Valley*, et plus particulièrement la chaîne volcanique *Inyo*, présentent une problématique particulière. En effet, la chaîne volcanique est formée par un système magmatique très diversifié composé d'une variété de lithologies qui peuvent être observées à différents stades de la cristallisation, sous forme d'obsidienne ou de rhyolite et montrant plusieurs textures différentes. Il est donc difficile de déterminer les caractéristiques des différents types de rhyolite qui, par leur mise en place, ont contribué à la formation de cette chaîne volcanique. Tout comme de déterminer les relations qui lient ces roches montrant une variété de textures. Car les processus qui guident le comportement de ces laves ne sont pas très bien connus.

C'est pourquoi la chaîne volcanique *Inyo* représente un site d'étude qui se prête bien à une étude portant sur la cristallisation. En effet, il est facile d'accès, l'exposition des affleurements est de très bonne qualité alors que l'altération est pratiquement inexistante et que des forages antérieurs sont facilement accessibles.

## 2.1 Localisation

### 2.1.1 Caldeira de *Long Valley*

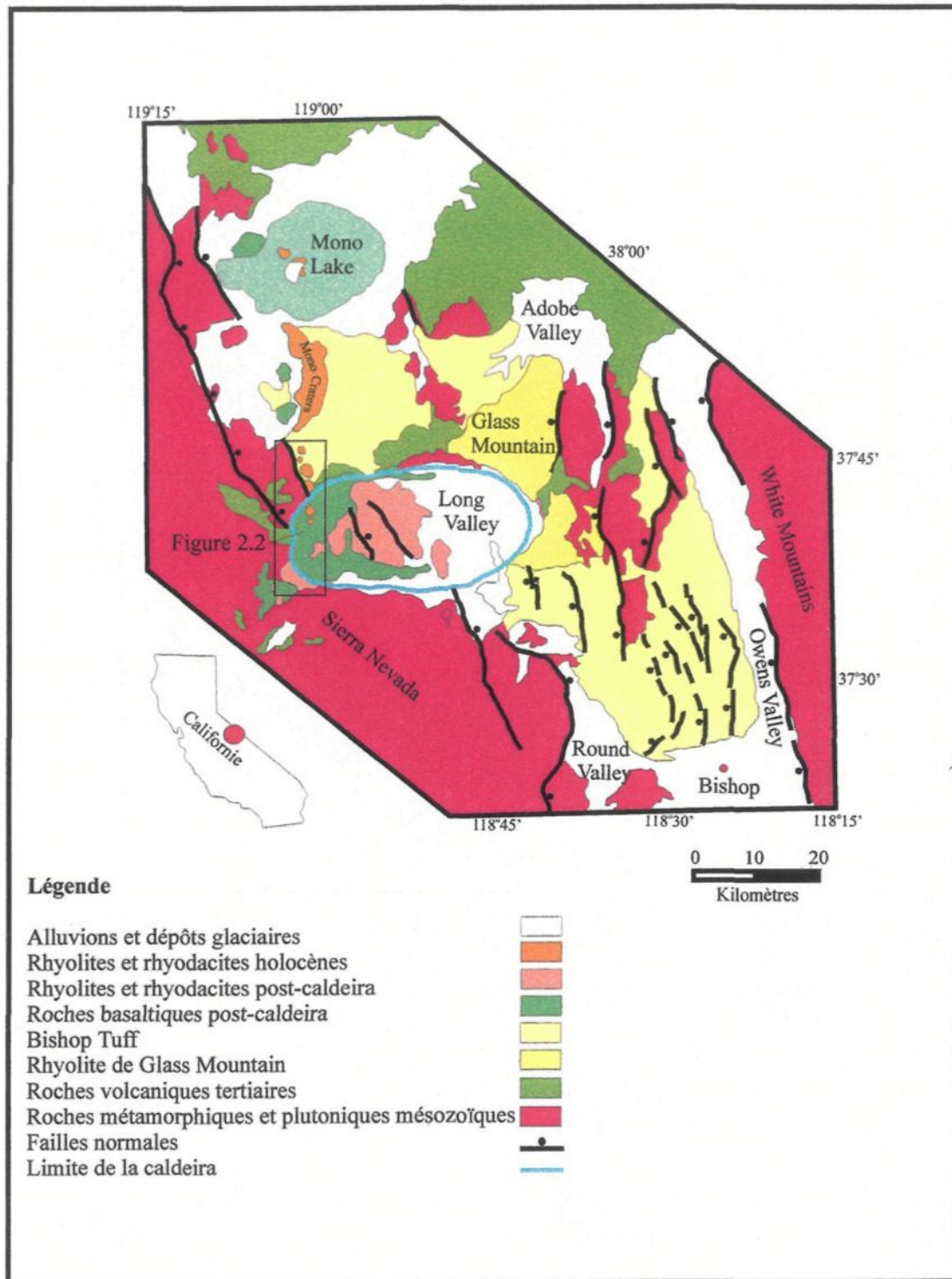
La région de *Long Valley* constitue la frontière entre la *Sierra Nevada*, à l'ouest et la Province de *Basin and Range* à l'est (figure 2.1). La caldeira de *Long Valley* se trouve donc à l'est de la *Sierra Nevada* formant le *Mammoth embayment*, un réentrant dans le front de cette chaîne de montagnes. La caldeira, formée par l'éruption du *Bishop Tuff* il y a 0,7 Ma, est une dépression de forme elliptique de 32 km (E-W) par 17 km (N-S) et elle a une élévation qui passe de 2 070 m dans la partie est à 2 440 m dans la partie ouest (Bailey *et al.*, 1976). C'est aussi l'une des trois caldeiras toujours actives en Amérique du Nord, de taille intermédiaire entre celle de *Yellowstone* (0,6 Ma), au Wyoming, et celle de *Valles* (1,1 Ma) au Nouveau-Mexique. Ces caldeiras contiennent possiblement du magma résiduel dans leur chambre magmatique vu leur jeune âge et leur grande dimension (Bailey *et al.*, 1976). La caldeira de *Long Valley* est résurgente (Smith et Bailey, 1968). De plus, l'hydrothermalisme et l'activité sismique à proximité de la caldeira sont toujours actifs.

### 2.1.2 Chaîne volcanique *Inyo*

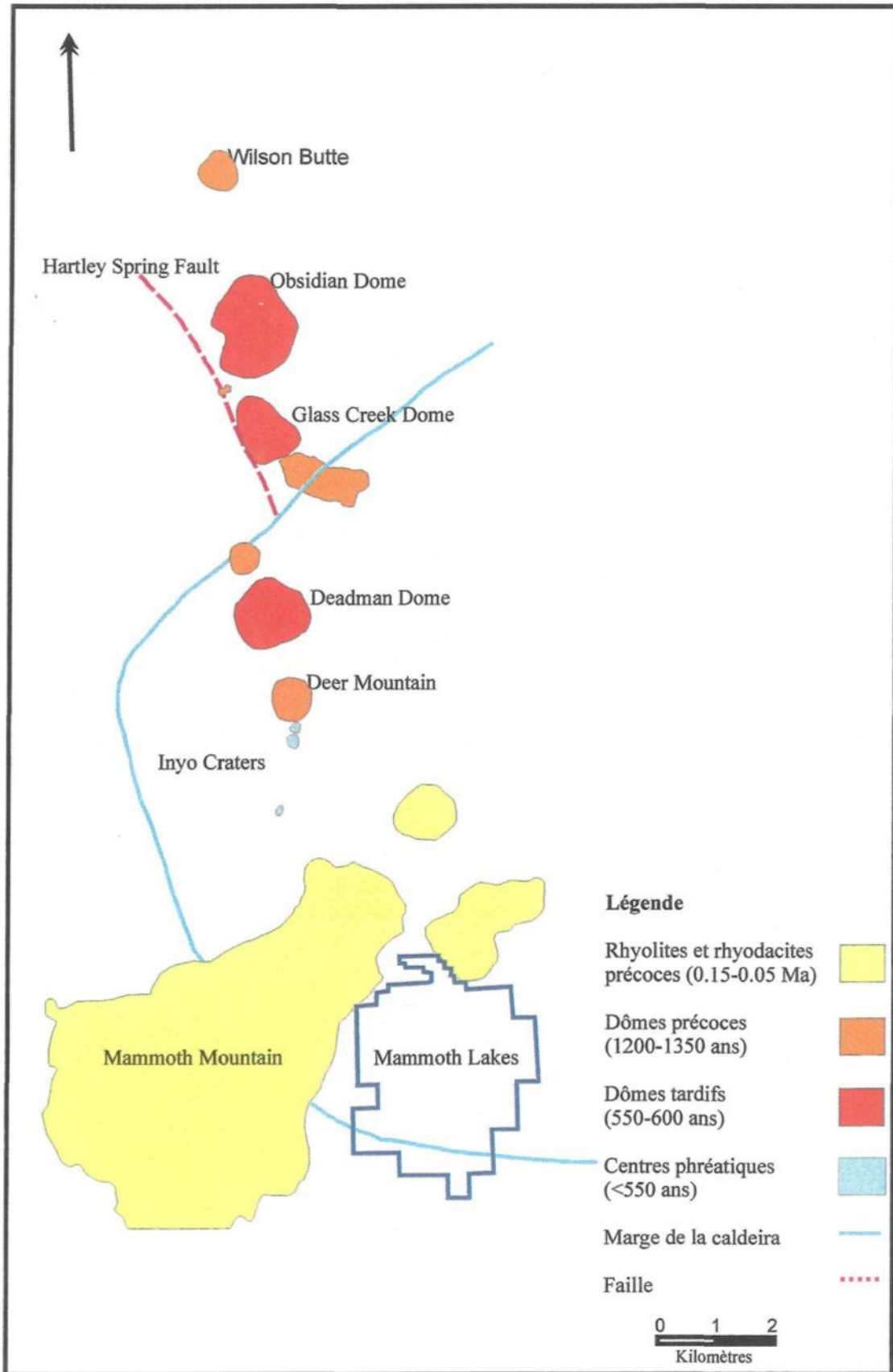
La chaîne volcanique *Inyo* se situe sur le flanc nord-ouest de la caldeira de *Long Valley*, dans la partie centre-est de la Californie (figures 2.1 et 2.2). Les dômes volcaniques *Inyo*, forment une chaîne d'environ 16 km (Miller, 1985) de direction



**Figure 2.1** Carte géologique simplifiée de la région de *Long Valley* (modifiée d'après Bailey *et al.*, 1976). La région de *Long Valley* se trouve dans la partie centre-est de la Californie. Elle est limitée à l'est par la Province de *Basin and Range* et à l'ouest par la *Sierra Nevada*. La localisation de la figure 2.2 est indiquée par l'encadré noir.



**Figure 2.2** Localisation des structures volcaniques associées à la chaîne volcanique *Inyo* (Modifié d'après Fink, 1985). La chaîne volcanique *Inyo* et les centres volcaniques qui y sont associés se trouvent sur le flanc nord-ouest de la caldeira de *Long Valley*. Sur la figure, la marge de la caldeira est indiquée en bleu clair.



N07W (Wood, 1977). Elle est composée de six centres éruptifs magmatiques et de quinze centres phréatiques qui seraient l'expression en surface d'un dyke ou d'un système de dykes d'au moins 8 km de longueur et mis en place il y a 600 ans (Miller, 1983). Les trois dômes volcaniques, à l'étude dans ce projet, se retrouvent parmi les centres magmatiques; *Obsidian Dome*, *Glass Creek Dome* et *Deadman Dome*, qui se sont mis en place lors d'une éruption vieille de 550 à 600 ans. Les deux premiers dômes, au nord, se situent à l'extérieur de la caldeira tandis que *Deadman Dome*, au sud, se trouve à l'intérieur de celle-ci. Ces trois dômes sont répartis sur une longueur de 11 km et une largeur de 2 km et ils se sont mis en place le long de la faille *Hartley Springs*, de direction nord (figure 2.2). Il est toutefois à noter que cette faille ne semble pas avoir joué un rôle important dans les éruptions récentes (Fink, 1985). Comme noté précédemment, d'autres structures constituent la chaîne volcanique *Inyo*. Les *Inyo Craters*, qui sont une série de centres phréatiques, sont situés à l'extrémité sud de la chaîne. À l'extrémité nord se trouve la *Wilson Butte* (~1 200-1 350 ans) (Miller, 1985), du même âge que la *Deer Mountain* (figure 2.2).

Au nord de la chaîne volcanique *Inyo* se trouvent les *Mono Craters* (figure 2.1). La chaîne formée par ces derniers s'étend jusqu'au milieu du *Mono Lake*, à l'extrémité nord de la chaîne. La chaîne *Mono* est formée de 30 dômes rhyolitiques et des roches pyroclastiques qui leur sont associées.

## **2.2 Historique de l'activité volcanique de la région de « Long Valley »**

L'activité volcanique, qui correspond à la formation et à la mise en place des structures associées à la caldeira de *Long Valley*, s'étend de 3,2 Ma à aujourd'hui.

L'activité volcanique débute à 3,2 Ma avec le déplacement de la faille *Sierran* en réponse à l'extension dans la Province de *Bassin and Range* (Hill *et al.*, 1985). L'éruption de laves pré-caldeira (précoces) de composition trachybasaltique à andésitique s'effectue, par plusieurs ouvertures, sur une étendue de 4 000 km<sup>2</sup> (Hill *et al.*, 1985, Mankinen *et al.*, 1986). Localement, il y a aussi des éruptions de lave sous forme de dômes et de coulées. Ces laves, mafiques et intermédiaires, ont une source mantellique ou de croûte profonde et sont les signes précurseurs du développement d'une large chambre magmatique peu profonde (Mankinen *et al.*, 1986).

De 1,9 à 0,8 Ma, la formation du complexe rhyolitique débute avec la construction de *Glass Mountain* (figure 2.1), qui se situe sur le flanc nord-est de la caldeira et qui provient d'éruptions précoces de la chambre magmatique peu profonde nouvellement formée (Metz et Mahood, 1984).

À 0,73 Ma, il y a rupture catastrophique du toit de la chambre magmatique, lors d'une éruption plinienne, qui provoque l'éruption d'environ 600 km<sup>3</sup> de laves felsiques sous forme de cendres et de coulées (Hill *et al.*, 1985). Le dépôt qui en résulte est le *Bishop Tuff* qui couvre près de 1 500 km<sup>2</sup> et qui a une épaisseur maximale d'environ

1 000 m (Hill, 1976) (figure 2.1). Cet événement provoque la formation de la caldeira de *Long Valley*.

Pour les 0,7 Ma suivantes, l'activité post-caldeira, incluant la résurgence du plancher de la caldeira, est confinée à l'intérieur de cette dernière. Et ce, avec l'éruption simultanée de rhyolite précoce (de 0,73 à 0,62 Ma) chaude et fluide. Il y a aussi des éruptions périodiques, à un intervalle d'environ 200 000 ans, de rhyolite plus froide et plus visqueuse provenant des conduits périphériques aux dômes résurgents (Hill *et al.*, 1985).

Les *Mono Craters* ont été mis en place entre 40 000 et 600 ans (Wood, 1983 et Sieh, 1984). De 1 200 à 1 350 ans il y a éruption de la *Wilson Butte* et de la *Deer Mountain*. Et plus récemment à environ 550-600 ans les trois dômes *Inyo* : *Obsidian*, *Glass Creek* et *Deadman* se mettent en place. Ces dates ont été obtenues par datation au  $^{14}\text{C}$  sur du charbon provenant de dépôts fragmentaires (Wood, 1977). Il est aussi à noter la présence d'activité hydrothermale, alors que celle séismique s'est intensifiée depuis 1980 (Rundle *et al.*, 1986).

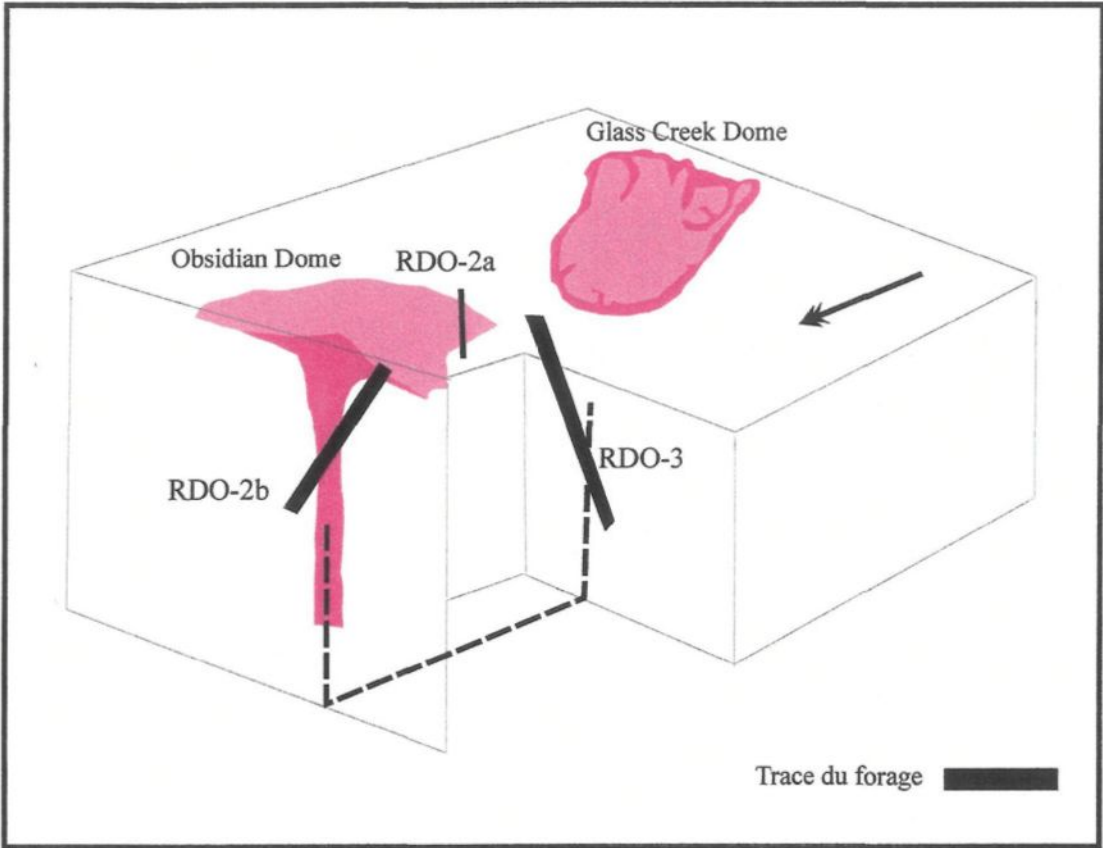
L'activité volcanique des chaînes volcaniques *Inyo* et *Mono* peut donc se résumer à des éruptions à intervalles de 500 ans depuis les 2 000 à 3 000 dernières années alors que celle de la chambre magmatique de *Long Valley* a produit des éruptions à un intervalle de 200 000 ans depuis les 700 000 dernières années (Hill *et al.*, 1985).

### **2.3 Travaux antérieurs sur les dômes volcaniques « Inyo »**

Les travaux effectués sur les dômes volcaniques *Inyo* ont débuté en 1936 par la cartographie structurale des dômes les plus vieux, effectuée par Mayo *et al.*, 1936. Plusieurs auteurs ont travaillé sur la géologie de reconnaissance tels : Bailey et Koeppen (1977); Bailey *et al.* (1976) et Huber et Rinehart (1967). La cartographie structurale le long de la chaîne volcanique ainsi que sur les dômes a été effectuée par Fink (1985). De plus, depuis le début des années 1980, plusieurs études pétrologiques ont vu le jour : Sampson et Cameron (1984); Sampson *et al.* (1984, 1985); Bailey (1983, 1984) ainsi que Bailey *et al.* (1983). Alors que les études géochimiques, effectuées entre autre par Higgins (1988); Sampson (1987); Vogel *et al.* (1987); Vogel et Younker (1985); Sampson et Cameron (1984) et Sampson *et al.* (1983), ont permis de mieux définir les caractéristiques ainsi que les différentes textures des roches qui composent les dômes *Inyo*. Tandis que les travaux de forages sur les dômes *Inyo* ont été principalement effectués par Eichelberger *et al.* (1984, 1985). Ces forages permettent d'avoir un échantillonnage continu du centre d'*Obsidian Dome*, de la bordure et du conduit du dôme et aussi du dyke qui semble joindre *Obsidian Dome* et *Glass Creek Dome* (figure 2.3) (Eichelberger *et al.*, 1985).



**Figure 2.3** Localisation des trois forages dans *Obsidian Dome* (Modifié d'après Vogel *et al.*, 1987). Le forage RDO-2a recoupe la bordure de *Obsidian Dome*, celui RDO-2b recoupe le centre de *Obsidian Dome* et son conduit et RDO-3 recoupe le dyke reliant *Obsidian Dome* à *Glass Creek Dome*.



## **2.4 Description du système volcanique**

Comme mentionné précédemment les éruptions volcaniques ainsi que les tremblements de terre, dans la région de *Long Valley*, sont contrôlés principalement par la tectonique d'extension régionale de la province de *Basin and Range*. Les travaux de Swanson *et al.* (1989) démontrent que les dômes volcaniques *Inyo* font partie d'un système volcanique structurellement simple, formé par la mise en place de magmas rhyolitiques.

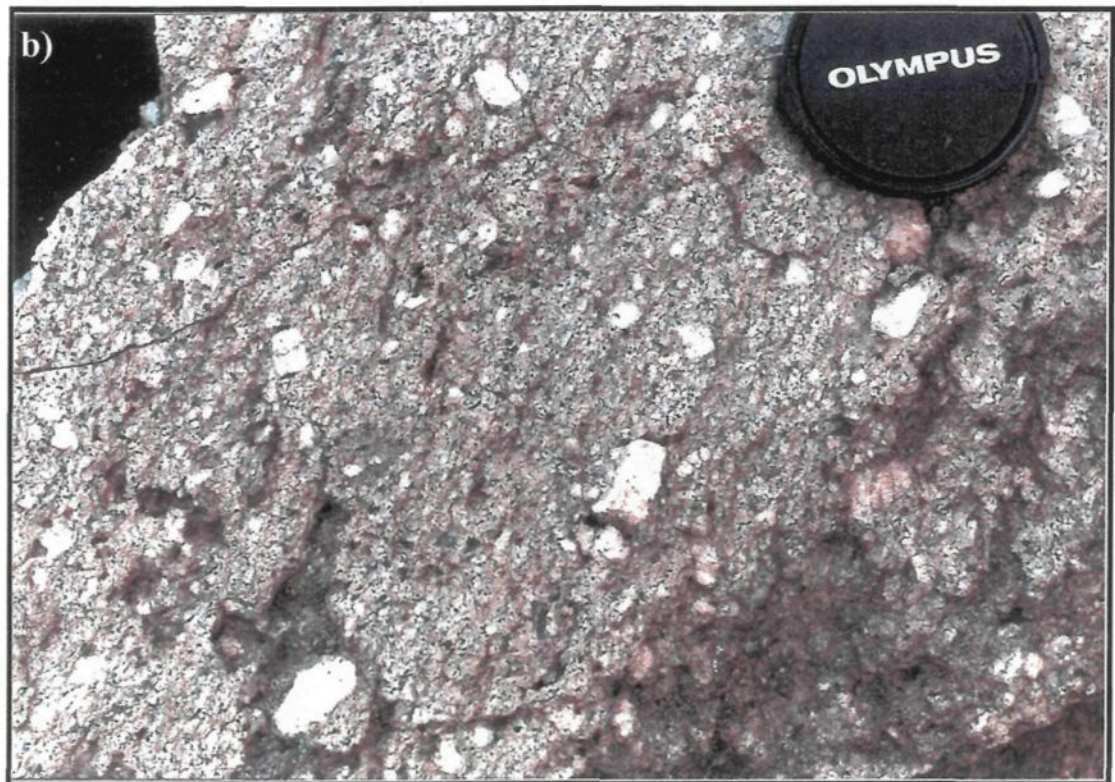
Les dômes qui forment la chaîne volcanique *Inyo* sont composés de différentes coulées de magmas rhyolitiques, qui montrent des différences texturales. Il est possible de trouver des échantillons à texture *finely porphyritic* (Fp) (figure 2.4a) et d'autres *coarsely porphyritic* (Cp) (figure 2.4b) (Sampson, 1987). Selon Sampson et Cameron (1984), le groupe textural Cp est assez homogène alors que celui Fp montre des textures et une chimie beaucoup plus variables. Il est possible de constater que Cp comporte plus de 25% de phénocristaux alors que, dans Fp, on en retrouve moins de 5% (figure 2.4). Les échantillons du groupe Cp sont de couleur gris pâle alors que ceux Fp sont plus foncés (gris foncé à noir), compte tenu de la matrice vitreuse présente en plus grande proportion.

Pour ce qui est des trois dômes volcaniques qui constituent ce système, il a été noté que *Obsidian Dome* est constitué en majorité de magma Fp. Alors que *Deadman Dome* et *Glass Creek Dome* sont formés des deux groupes texturaux (Fp et Cp). Dans les

**Figure 2.4** Photographies de terrain représentant les deux groupes texturaux observés lors de l'échantillonnage

a) Affleurement du groupe Fp montrant une texture fluidale visible par contraste entre des bandes vitreuses (noires) et des bandes plus cristallisées (rose pâle).

b) Affleurement du groupe Cp avec une pâte à cristaux fins avec phénocristaux de feldspath jusqu'à 1,5 cm.



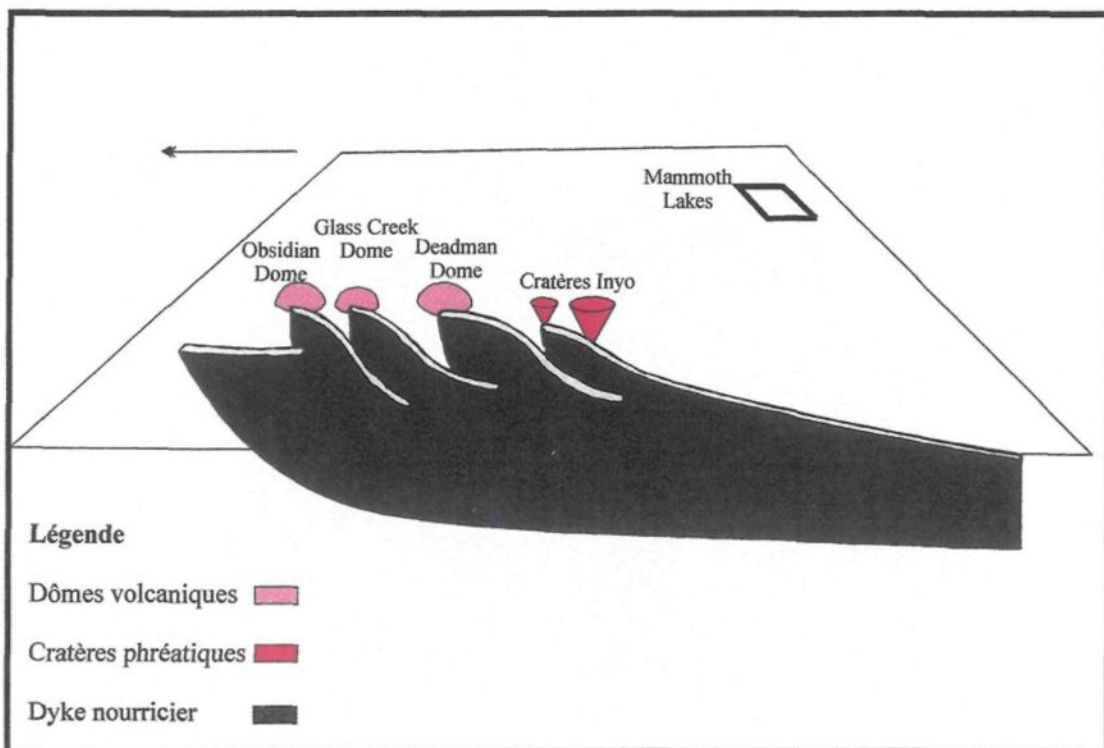
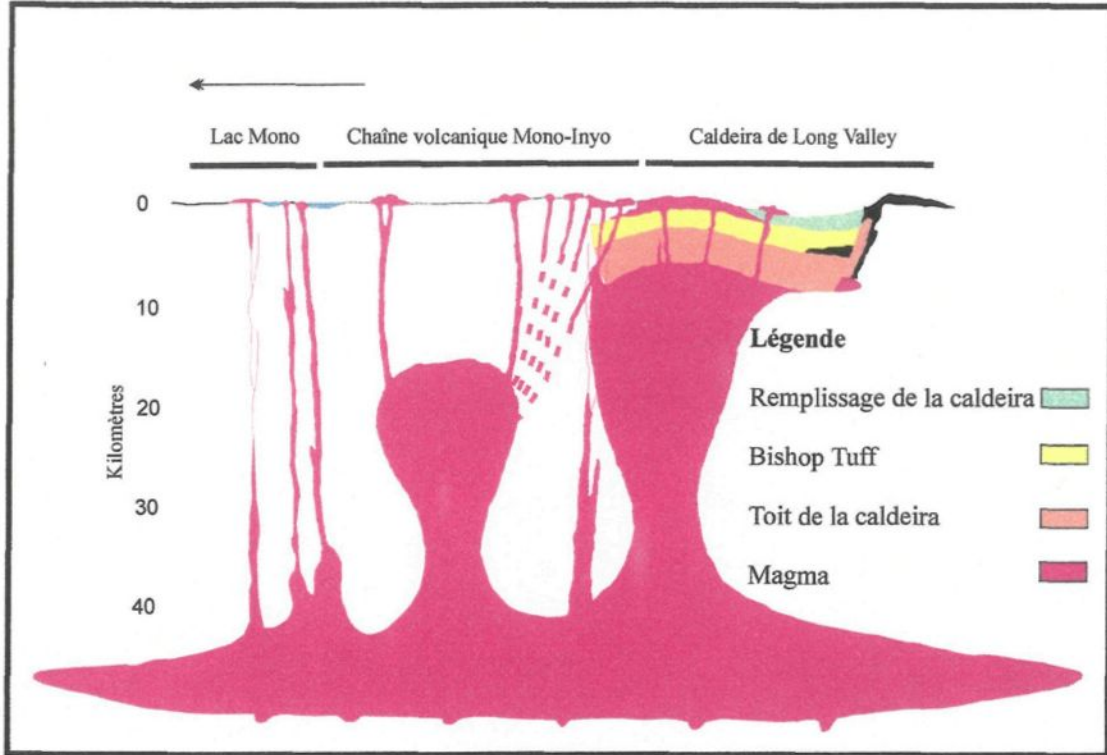
dômes contenant ces deux groupes, il est possible d'observer que le magma Cp se retrouve principalement dans la partie centrale du dôme alors que celui Fp est à la périphérie.

La mise en place ainsi que les processus de cristallisation du matériel rhyolitique ayant formé les dômes *Inyo* sont discutables. En effet, Bailey (1982) et Bailey *et al.* (1983) suggèrent une chambre magmatique chimiquement zonée, sous forme de dyke annulaire, dont le toit est à environ 10 à 20 km sous la chaîne *Mono* et d'où serait entièrement dérivé le magma formant les trois dômes ainsi que ceux qui constituent la chaîne *Mono* (figure 2.5). Ceci est démontré à partir d'arguments géologiques et géochimiques. Alors que Miller (1985) et Eichelberger *et al.* (1984), suggèrent que les laves les plus jeunes de la chaîne *Inyo* sont nourries par un dyke peu profond et mises en place dans une zone d'extension crustale. Ce dyke mesurant entre 8 et 12 km de longueur a une direction nord et il approche jusqu'à 200 m de la surface avant que des éruptions permettent la mise en place des dômes. Eichelberger *et al.* (1988) en viennent à la conclusion qu'il est possible que le dyke de direction nord, continu sous la chaîne volcanique, est nourri par de multiples réservoirs de magma. Sampson et Cameron (1987,1984) et Sampson *et al.* (1983), quant à eux, considèrent que les dômes sont probablement dérivés de deux systèmes magmatiques chimiquement isolés et présents sous la région, et ce, en tenant compte de la chimie différente du magma Cp et de celui Fp. Fink (1985), quant à lui, suggère que les dômes ont été nourris par un dyke se propageant vers le nord et vers le haut (figure 2.6) à partir du flanc nord de *Mammoth Mountain* (figure 2.2).

**Figure 2.5** Modèle magmatique de Bailey (Modifié d'après Bailey, 1982). La chaîne volcanique *Inyo-Mono* mise en place par l'éruption de lave provenant de la partie supérieure d'une chambre magmatique qui est distincte de celle de la caldeira de *Long Valley* (nord vers la gauche).

**Figure 2.6** Modèle magmatique de Fink (Modifié d'après Fink, 1985). Dômes volcaniques et cratères phréatiques mis en place par un dyke unique se propageant du sud vers le nord (nord vers la gauche).







En somme, le système volcanique *Inyo* est mis en place dans une région où l'activité volcanique est importante sur une longue période de temps. Les dômes volcaniques *Inyo* montrent l'occurrence de différents types de rhyolite avec des textures variables dont les relations ainsi que les processus de cristallisation sont peu connus. Le nombre ainsi que l'endroit d'où proviennent les différents magmas, qui forment cette chaîne volcanique, demeurent incertains. Aux chapitres suivants l'étude pétrographique ainsi que la géochimie vont être utiles afin de reconnaître les relations entre les échantillons provenant des différents groupes texturaux présents dans le système. Alors que la DTC va donner des indications quant aux processus de cristallisation ayant menés à la mise en place des trois dômes volcaniques tels qu'observés aujourd'hui.

## CHAPITRE III

### PÉTROLOGIE

L'étude pétrologique des échantillons provenant des trois dômes volcaniques *Inyo* est primordiale en vue d'effectuer la méthode de la distribution de la taille des cristaux sur certains d'entre-eux. Ce chapitre, portant sur la pétrologie, constitue donc la première étape quant au choix et à l'organisation des échantillons afin que la démarche suivie par la suite soit la plus efficace possible.

#### 3.1 Échantillonnage

L'échantillonnage des dômes a été fait systématiquement le long de deux coupes qui traversent chaque dôme. Les stations d'échantillonnage, à une distance d'environ 100 m, ont été inscrites sur une carte topographique et les coordonnées ont été prises en note à l'aide d'un GPS. L'orientation des coupes (figure 3.1) dépend des voies d'accès jusqu'aux dômes. Ainsi, pour *Obsidian Dome*, la première coupe est environ W-NE alors que la deuxième à un segment S-NW et un autre NW-E. Pour *Glass Creek Dome*, la première coupe est NW-SE et la deuxième SW-NE alors que pour *Deadman Dome*, elles sont toutes deux approximativement N-S. Ainsi, pour chaque dôme, des échantillons provenant de la bordure, de la zone intermédiaire ainsi que du centre ont été recueillis. Et ce, afin d'avoir des informations sur les changements latéraux dans les

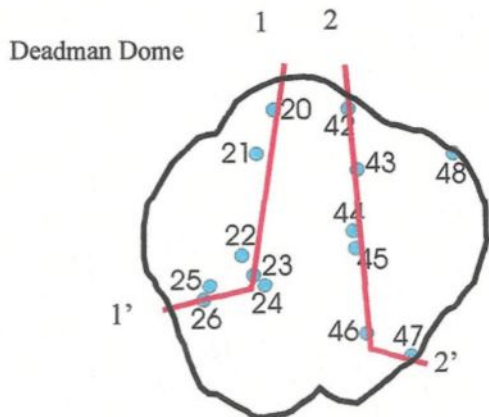
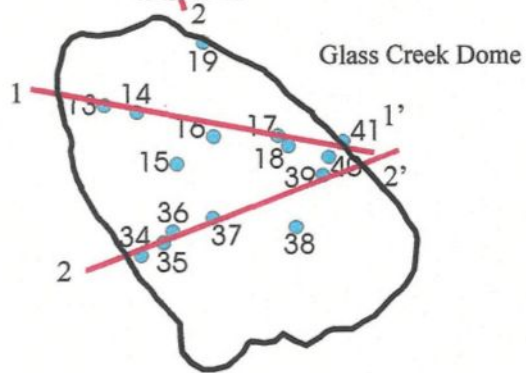
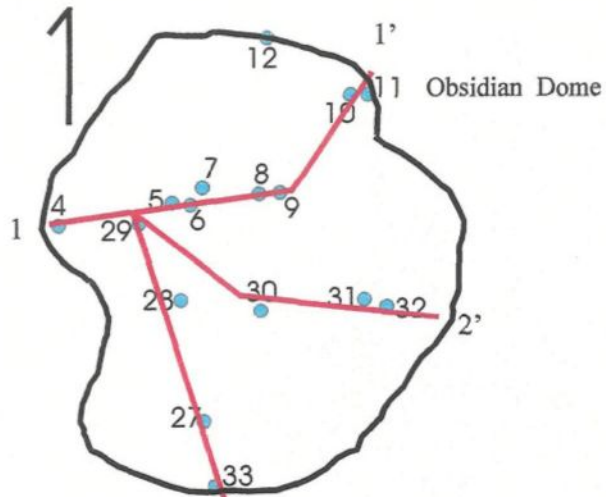
différents magmas rhyolitiques qui constituent ces dômes volcaniques. Alors que l'échantillonnage des trous de forages, fait à l'Université de l'Utah à *Salt Lake City*, permet d'avoir l'extension en profondeur.

### **3.2 Observations macroscopiques**

L'échantillonnage des dômes volcaniques a permis de recueillir des échantillons provenant des deux groupes texturaux (Fp et Cp) tels que décrits au chapitre II. De plus, lors de l'échantillonnage, un troisième groupe intermédiaire a été identifié et nommé groupe Im.

Ainsi, les échantillons Fp possèdent entre 1 et 5% de phénocristaux dont la taille peut atteindre jusqu'à 13 mm. Les échantillons passent de massifs à foliés et le matériel est vitreux à cristallisé et souvent vésiculaire. Ces échantillons sont assez homogènes. Alors que, dans les échantillons provenant des forages et inclus dans le groupe Fp, une texture fluidale est observée dans la majorité d'entre-eux. La texture fluidale est indiquée par des bandes vitreuses qui alternent avec d'autres bandes plus cristallisées en plus de l'alignement des cristaux qui indique un écoulement. Pour les échantillons Im, le pourcentage de phénocristaux se situe entre 5 et 25% et certains ont une taille allant jusqu'à 14 mm. Ce groupe a été ajouté car les textures ainsi que les caractéristiques observées sur le terrain sont différentes de celles observées dans les groupes Fp et Cp, tant au niveau du nombre de cristaux que de la pâte des échantillons. Ces derniers sont principalement massifs mais montrent quelques fois une foliation. De plus, ils sont

**Figure 3.1** Orientation des coupes effectuées pour l'échantillonnage des trois dômes volcaniques *Inyo*. Chaque dôme volcanique est traversé par 2 coupes dont la localisation correspond aux voies d'accès sur les dômes. La trace des coupes est indiquée par une ligne rouge alors que les stations d'échantillonnage sont marquées en bleu.



**Légende**

Affleurements ●

Coupes —

500 mètres

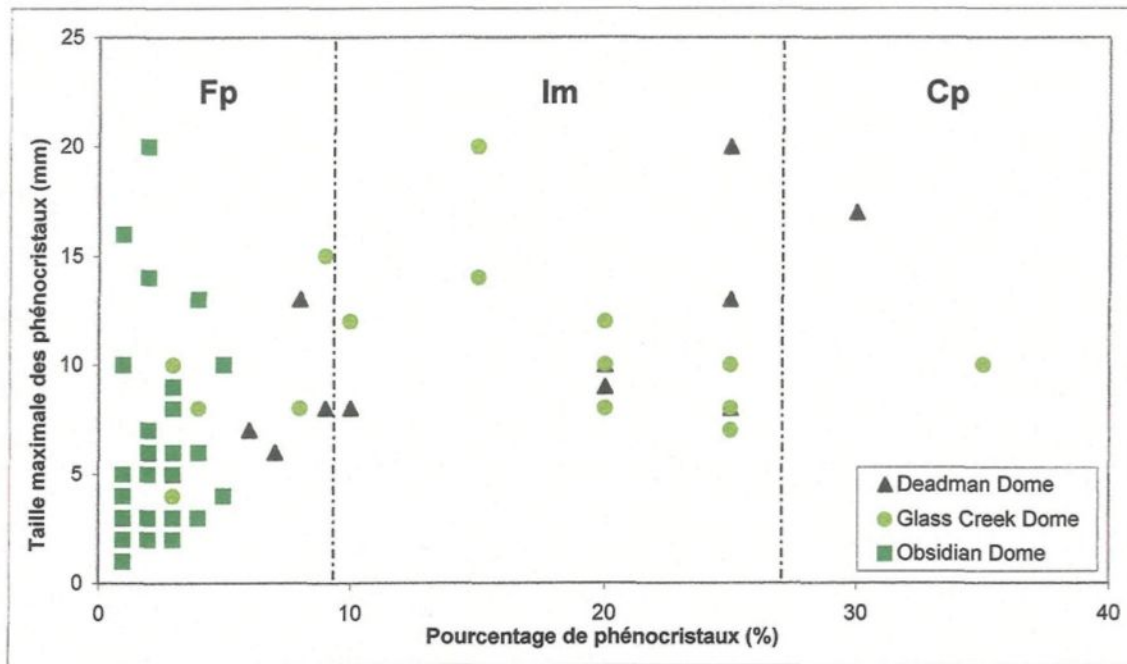
généralement homogènes et sont entièrement ou en grande partie cristallisés. Pour ce qui est des échantillons Cp, leur proportion de phénocristaux est supérieure à 25% et la taille maximale qu'ils atteignent est environ de 20 mm. Les échantillons sont massifs à foliés et tout comme ceux Im, ils sont cristallisés. Le sommaire des observations de terrain pour chaque station d'échantillonnage se retrouve à l'annexe I.

Dans ce projet, la quantité de phénocristaux contenus dans chaque échantillon est importante afin de déterminer la texture du magma qui le constitue. La relation entre le pourcentage de phénocristaux, qui comprend autant les cristaux de plagioclase que ceux de sanidine, est déterminée en fonction de la taille maximale des phénocristaux telle qu'observée sur le terrain (figure 3.2). Sur le diagramme, il est donc possible de constater que peu importe le groupe textural et le pourcentage de phénocristaux, la taille maximale des cristaux qui est observée est principalement entre 10 et 20 mm.

### **3.3 Observations microscopiques**

Pour l'étude pétrologique, un total de 39 lames minces ont été faites à partir des 93 échantillons récoltés durant l'échantillonnage. Ces lames minces correspondent aux échantillons sélectionnés pour la DTC (Chapitre 5). Ainsi, les 39 lames minces correspondent à 31 petites et 5 grandes (cette étude) provenant des dômes et des forages, ainsi que trois lames minces déjà existantes. Ces dernières proviennent des forages RDO-2a-70.2, RDO-2b-1616.1 et RDO-3-2344 et ont été échantillonnées par Higgins (1988).

**Figure 3.2** Relation entre le pourcentage de phénocristaux et leur taille maximale pour les trois différents groupes texturaux tels qu'identifiés lors des travaux de terrain. Le pourcentage de phénocristaux (qui comprend les cristaux de sanidine et de plagioclase) n'est généralement pas influencé par leur taille maximale excepté pour quelques échantillons Fp où un faible pourcentage de phénocristaux correspond à une taille maximale plus petite que les autres échantillons. La détermination du pourcentage de phénocristaux ainsi que de leur taille maximale a été effectuée visuellement lors de l'échantillonnage.





### 3.3.1 Caractéristiques des trois groupes texturaux

L'observation des lames minces permet de bien visualiser les trois textures rhyolitiques telles que définies avec les observations de terrain. Les principales caractéristiques relevées lors de cette étude pétrologique sont la minéralogie, la présence et la taille des phénocristaux, la proportion de vésicules ainsi que les textures présentes dans chaque échantillon. Ceci, en considérant que l'étude de la DTC (chapitre 5) tient compte des cristaux de plagioclase et de sanidine et que les échantillons, qui sont utilisés pour cette technique, doivent montrer une faible vésicularité. Il est à noter qu'une synthèse des observations microscopiques de tous les échantillons se trouve à l'annexe II.

#### 3.3.1.1 Groupe textural Fp

Dans le groupe Fp, la pâte constitue entre 96 et 99% de la roche et montre principalement une alternance de bandes vitreuses avec des bandes cristallisées à microlites de petite à grande taille. La partie cristallisée est parfois argilitisée et les différentes bandes montrent une texture d'écoulement laminaire (fluidiale) plus ou moins claire selon les échantillons et contournant les phénocristaux (figure 3.3a). Il est aussi à noter que, dans certaines lames minces, des cristaux de biotite tabulaires se retrouvent dans la même direction que celle de l'écoulement. Toutefois, certains échantillons sont massifs (figure 3.3b).

Les phénocristaux qui se trouvent dans les échantillons Fp (1 à 4%), sont constitués des minéraux suivants : sanidine-plagioclase-biotite-pyroxène ± hornblende et traces de quartz et sont distribués de façon homogène à hétérogène selon les différents échantillons. La taille de ces phénocristaux, observés en lame mince, peut atteindre 6 mm. De plus, les cristaux de sanidine et de plagioclase montrent une zonation plus ou moins forte dans pratiquement tous les échantillons. La texture graphique est aussi présente dans quelques-uns des phénocristaux de feldspath.

Les échantillons Fp possèdent presque tous des vésicules, mais avec une proportion et une forme différente. En effet, dans certains échantillons les vésicules sont difficiles à observer étant donné une forte déformation qui les a aplaties. D'autres échantillons possèdent entre 1 et 5% de vésicules arrondies à allongées qui sont localement concentrées. Alors que dans certains autres échantillons plus vésiculaires (10 à 40%), elles ont une forme arrondie à allongée et irrégulière (figure 3.3c).

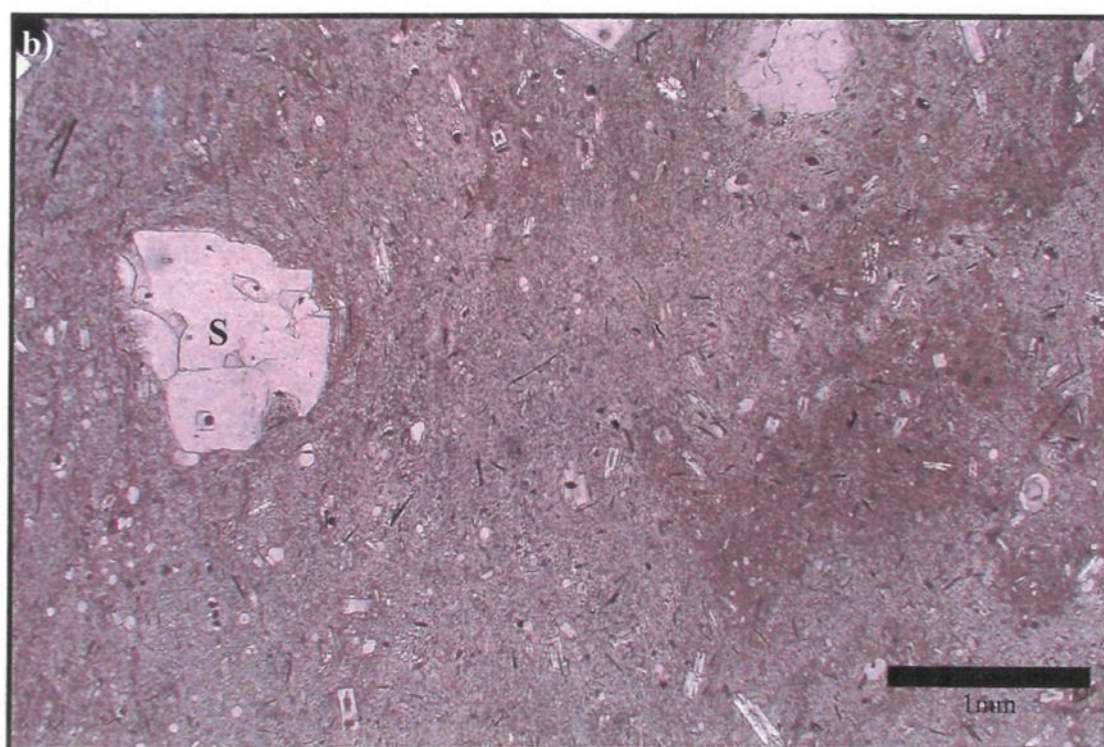
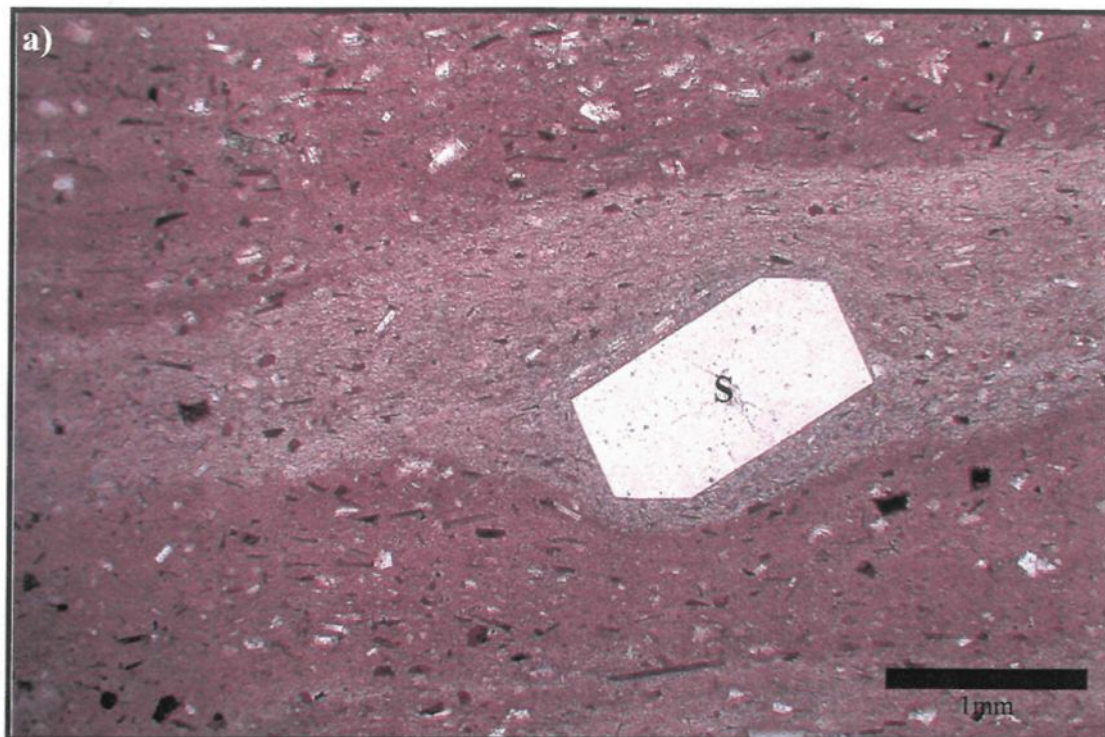
### 3.3.1.2 Groupe textural Im

La pâte des échantillons Im forme entre 75 et 95% des roches (figure 3.4a). Elle est principalement vitreuse et contient donc très peu de microlites (cristaux inférieurs à 0,1 mm). Aussi, en plus d'avoir une taille inférieure à 0,1 mm, les microlites se reconnaissent à leur forme rectangulaire et idiomorphe qui est caractéristique. Par contre, certains échantillons sont dévitrifiés et dans ce cas il y a présence d'une texture d'écoulement laminaire qui contourne les phénocristaux (figure 3.4b) et qui est montrée

**Figure 3.3** Photographies en lame mince du groupe textural Fp.

a) Échantillon RDO-2a-157 du groupe Fp (en lumière naturelle) avec alternance de bandes vitreuses (claires) avec des bandes dévitrifiées et argilitisées (brunâtres) qui mettent en évidence une texture d'écoulement laminaire qui contourne un cristal de sanidine (S) bien formé.

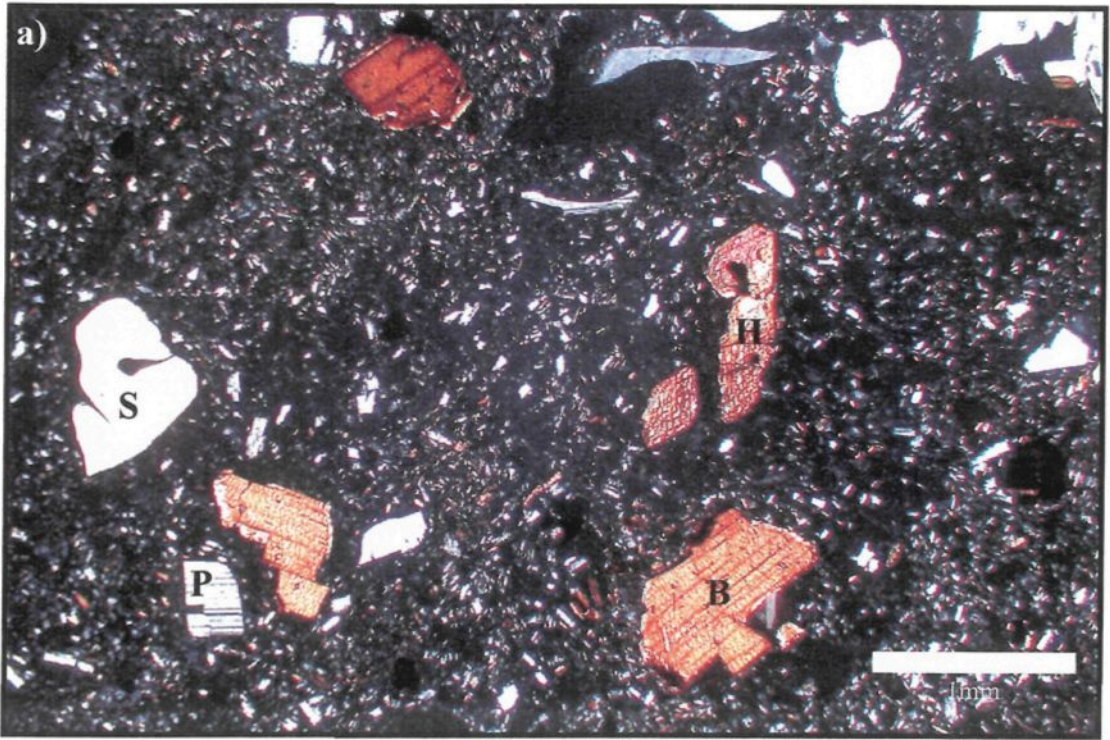
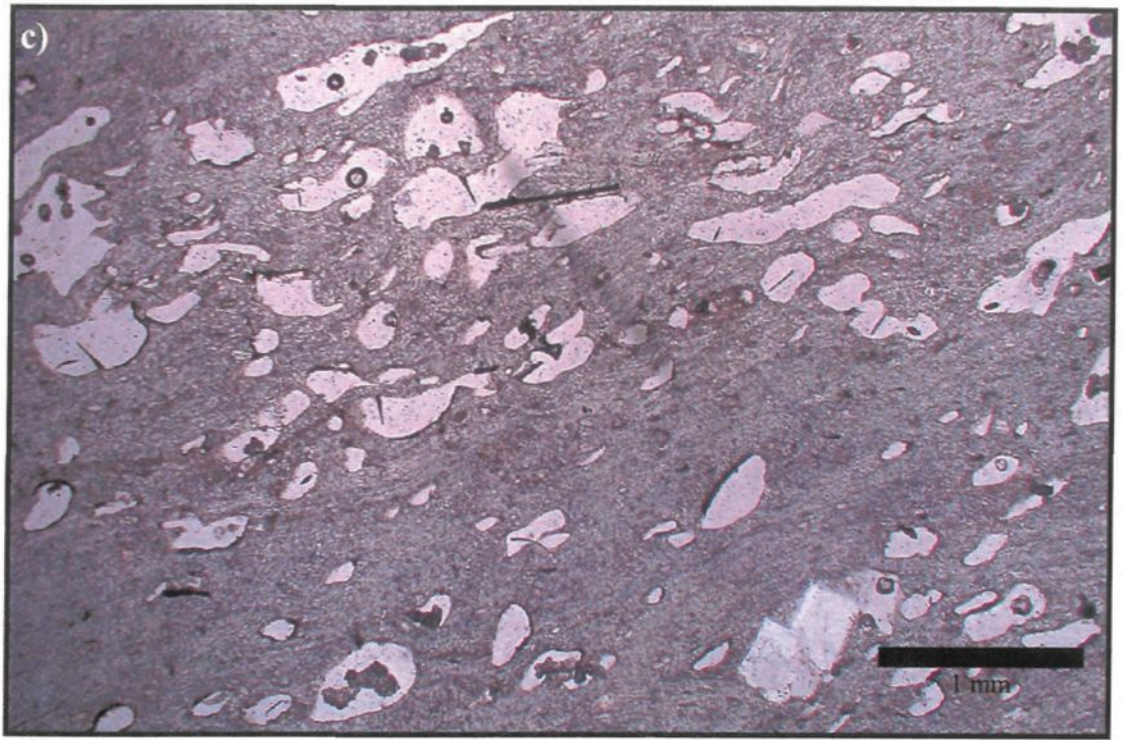
b) Échantillon DM-01-47b du groupe Fp (en lumière naturelle) massif avec pâte vitreuse à faiblement dévitrifiée, 5% de vésicules arrondies et cristal de sanidine (S) hypidiomorphe.



c) Échantillon RDO-2a-70.2 du groupe Fp (en lumière naturelle) avec faible foliation montrée par l'allongement et l'alignement des vésicules. Ces dernières ont une forme irrégulière et occupent jusqu'à 30% de la lame mince.

**Figure 3.4** Photographies en lame mince du groupe textural Im. a) Échantillon DM-01-36 du groupe Im (en lumière polarisée) massif avec phénocristaux de sanidine (S), plagioclase (P), biotite (B) et hornblende (H) répartis de façon généralement homogène et texture résorbée dans un cristal de sanidine (à gauche de la photographie).

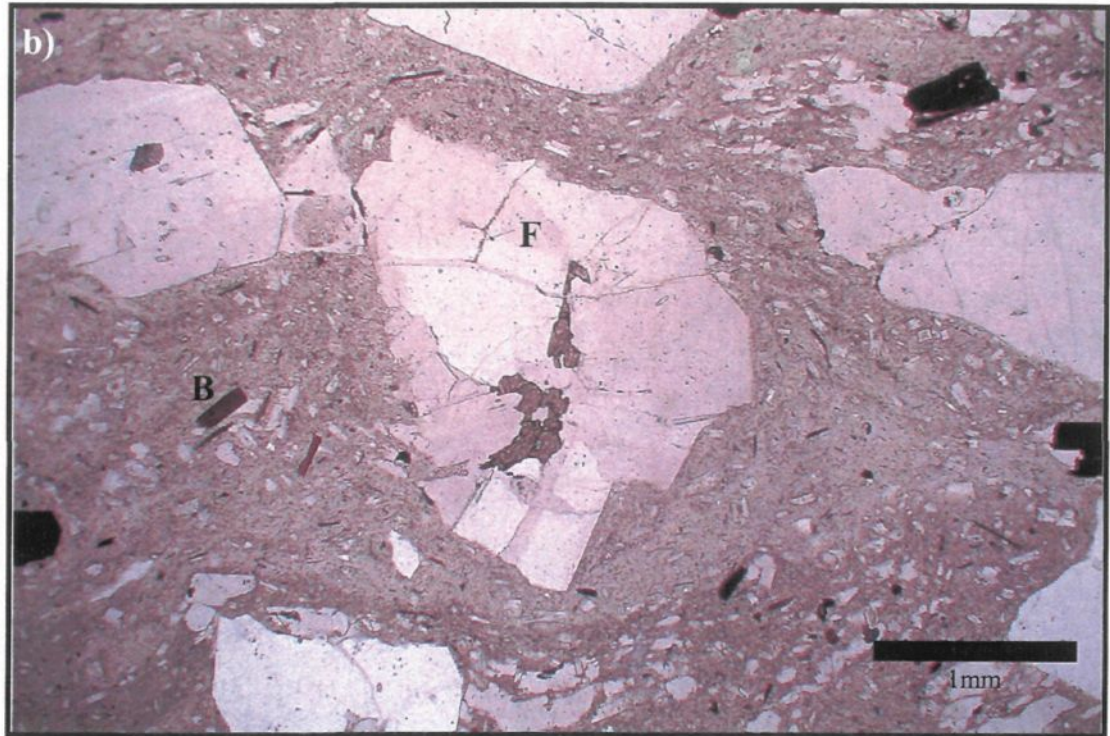




b) Échantillon DM-01-46 du groupe Im (en lumière naturelle) avec texture d'écoulement laminaire montrée par l'alternance de bandes vitreuses (claires) et de bandes dévitrifiées (foncées) qui contournent les phénocristaux de feldspath (F) et les cristaux de biotite (B). Environ 20% de vésicules allongées dans la même direction que celle de l'écoulement.

c) Échantillon DM-01-43 du groupe Im (en lumière polarisée) à pâte dévitrifiée et massive dans laquelle se retrouve un cristal de sanidine (S) (au centre) ainsi qu'un cristal de plagioclase (P) (en haut) montrant tous les deux une zonation.







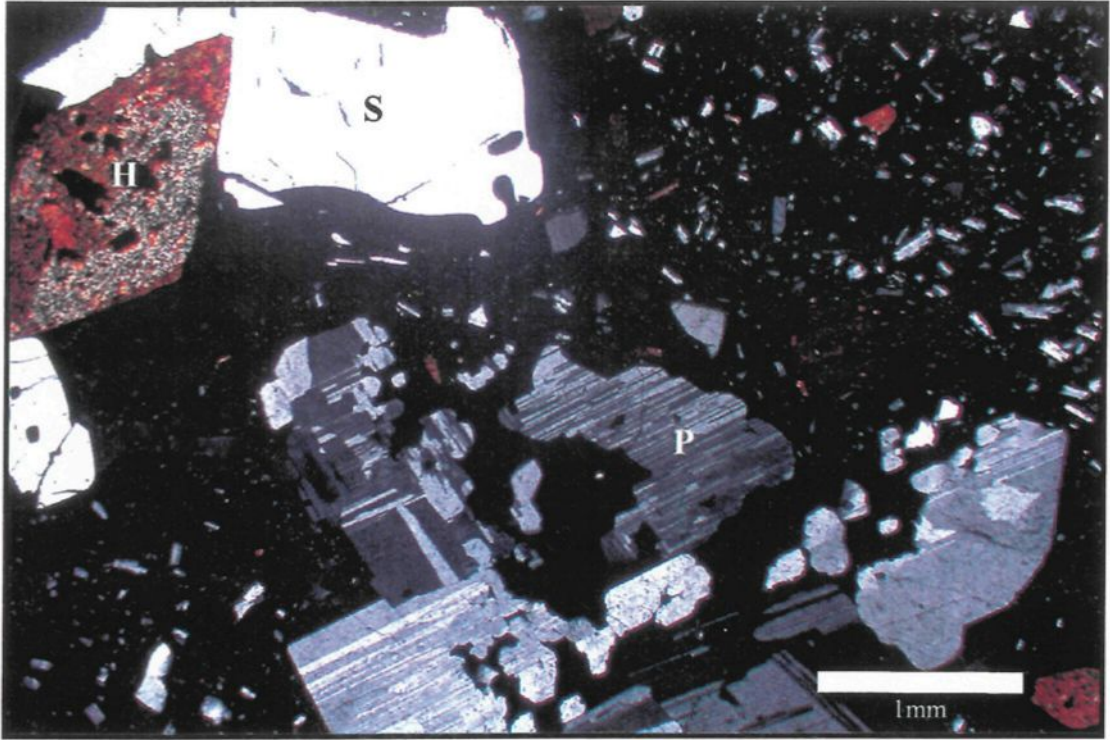
par l'alignement préférentiel des microlites de feldspath. Il est à noter que quelques échantillons sont massifs comparativement aux échantillons qui ont une texture d'écoulement. De plus, en comparaison avec les échantillons Fp, ceux Im possèdent moins de microlites tel qu'observé en lames minces.

Les phénocristaux présents dans le groupe Im sont formés par les minéraux suivants : sanidine-plagioclase-biotite-hornblende  $\pm$  quartz et traces de pyroxène et constituent entre 5 et 15% des échantillons. Il est à noter que la majorité des échantillons Im possèdent des phénocristaux de quartz. De plus, dans presque tous les échantillons de ce groupe, plusieurs phénocristaux de feldspath sont zonés (figure 3.4c) ou montrent une texture graphique. Les échantillons Im possèdent des cristaux de feldspath à texture résorbée (figure 3.4a), alors que cette texture est absente dans ceux Fp. Aussi, la répartition des phénocristaux à l'intérieur de la lame mince est assez homogène pour tous les échantillons. Ces derniers se retrouvent autant isolés qu'en amas. Les lames minces des échantillons Im montrent aussi une vésicularité entre 25 et 35% avec des vésicules arrondies à allongées (figure 3.4b).

### 3.3.1.3 Groupe textural Cp

Les échantillons Cp (figure 3.5) possèdent une pâte qui montre des différences tout dépendant des échantillons et qui constitue entre 65 à 75% des roches. En effet, elle peut être vitreuse à faiblement dévitrifiée, avec quelques microlites fins à grossiers, et dans ce dernier cas, elle a une texture massive. Alors que d'autres échantillons sont

**Figure 3.5** Photographie en lame mince du groupe textural Cp. Échantillon DM-01-45 (en lumière polarisée) montrant la texture résorbée d'un cristal de sanidine (S), en haut, et la texture graphique observée dans un amas formé de cristaux de plagioclase (P) et de sanidine (en bas). Présence d'un cristal de hornblende (H) idiomorphe.



plutôt dévitrifiés et possèdent une texture d'écoulement plus ou moins nette qui contourne les phénocristaux.

Aussi, dans les échantillons Cp, il y a entre 25 et 35% de phénocristaux composés des minéraux sanidine-plagioclase-biotite-hornblende et trace de quartz et qui ont une taille qui atteint jusqu'à 10 mm. Au point de vue de la minéralogie des phénocristaux, il est possible de constater l'absence de pyroxène dans les échantillons à texture Cp. Les phénocristaux de feldspath montrent aussi, dans plusieurs lames minces, une texture graphique et ou résorbée (figure 3.5) ainsi qu'une zonation. Ces phénocristaux ont, de plus, une taille qui peut atteindre jusqu'à 9 mm. Tout comme dans le groupe Im, les phénocristaux sont répartis de façon assez homogène dans tous les échantillons. Les échantillons Cp possèdent une proportion de vésicules, de forme arrondie à allongée et irrégulière, qui varie entre 20 et 35%. Il est aussi à noter qu'une altération en carbonates est visible localement dans certaines lames minces.

Suite à l'observation macroscopique et microscopique des échantillons provenant des dômes volcaniques *Inyo*, l'étude géochimique, qui suit au chapitre 4, va permettre de distinguer les caractéristiques géochimiques de trois groupes texturaux (Fp, Im et Cp). Alors que la DTC, au chapitre 5, va aider à caractériser de façon quantitative les textures observées dans ces différents échantillons.

## CHAPITRE IV

### GÉOCHIMIE

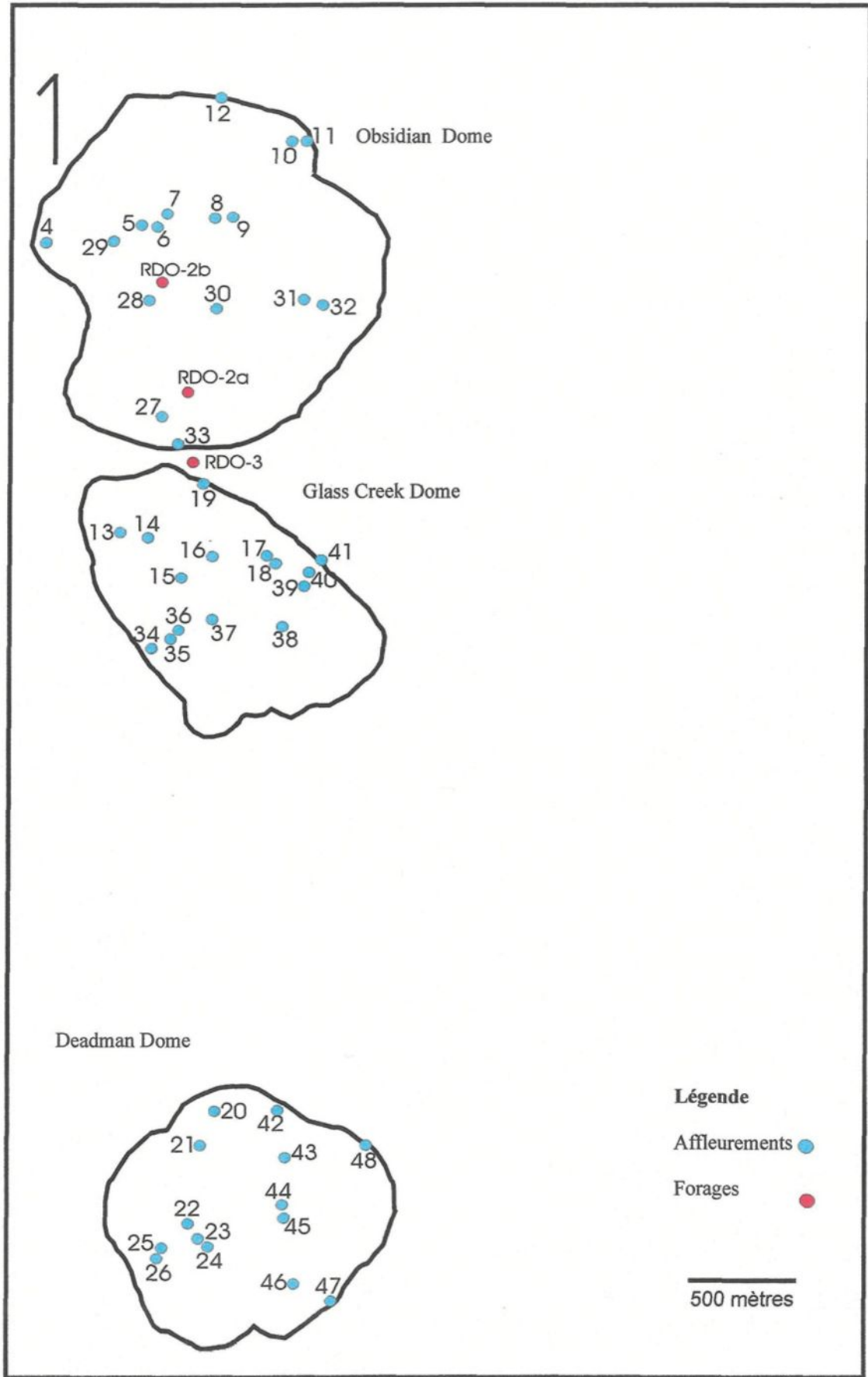
Dans le cadre de ce projet, des analyses chimiques pour les oxydes majeurs et les éléments traces (incluant les éléments terres rares) ont été effectuées sur les échantillons recueillis au cours des travaux de terrain faits en juin 2001. L'étude géochimique a pour but de mettre en parallèle les observations de la distribution de la taille des cristaux (DTC) avec les analyses chimiques. Ceci, afin de déterminer si les différences observées sont seulement d'ordre textural ou si elles ont une incidence géochimique.

#### **4.1 Méthode d'analyse**

##### 4.1.1 Échantillonnage

L'échantillonnage, effectué lors des travaux de terrain dans la chaîne volcanique *Inyo*, a permis de recueillir 93 échantillons dont 59 provenaient des trois dômes volcaniques, *Obsidian*, *Deadman* et *Glass Creek* et 34 des trois forages (RDO-2a, RDO-2b et RDO-3). Les stations d'échantillonnage ainsi que l'emplacement des forages sont indiqués à la figure 4.1. Il faut savoir que l'échantillonnage est réparti de façon homogène entre les trois dômes et est représentatif de toutes les variations des lithologies observées sur le terrain. Les forages ont été effectués en 1984 dans le cadre d'un programme de recherche multidisciplinaire sur la chaîne volcanique des dômes

**Figure 4.1** Localisation des stations d'échantillonnage réparties dans les trois dômes volcaniques *Inyo* et position des forages dans *Obsidian Dome*. Les stations d'échantillonnage sont indiquées en bleu alors que les forages sont marqués en rouge.



*Inyo* (Eichelberger *et al.*, 1985). Ces derniers ont été échantillonnés en juin 2001 à l'Université de l'Utah, où ils sont conservés.

#### 4.1.2 Broyage

Tous les échantillons récoltés durant les travaux de terrain de l'été 2001 ont été broyés successivement dans un broyeur à mâchoires en acier pour réduire l'échantillon en fragments d'environ 8 mm, dans un broyeur à disques en porcelaine où les grains sont réduits à une taille d'environ 0,25 mm et finalement pulvérisés dans un broyeur *shatterbox* en porcelaine. La poudre recueillie lors de cette dernière étape a ensuite été utilisée pour les analyses géochimiques.

#### 4.1.3 Analyses par fluorescence-X (XRF)

Des analyses par fluorescence-X ont été faites sur les 30 échantillons qui correspondent aux lames minces qui sont numérisées et utilisées pour l'étude de la distribution de la taille des cristaux (DTC). Sur ces 30 échantillons, 24 proviennent des trois dômes volcaniques alors que les 6 autres viennent des forages.

Ces analyses ont été effectuées au *Geoscience Laboratories* de Sudbury. Pour ce faire, 4 à 5 grammes de matériel ont été pesés dans des contenants de plastique et envoyés pour l'analyse. Un disque de verre fusionné, fait à partir de chaque échantillon, a été utilisé pour la procédure. Les résultats obtenus lors de ces analyses donnent la concentration des oxydes majeurs ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,



K<sub>2</sub>O et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en %poids pour chaque échantillon. Ces résultats sont ensuite retournés sur support informatique où ils sont prêts à être manipulés. Les résultats d'analyse, pour chacun des échantillons, se retrouvent à l'annexe III.

#### 4.1.4 Analyses par activation neutronique (INAA)

Tous les échantillons recueillis lors des travaux de terrain ont été analysés par activation neutronique. Ainsi, 59 échantillons provenant des trois dômes volcaniques en plus de 34 échantillons pris dans les forages (figure 4.1) ont été analysés par cette méthode. Pour procéder à ce type d'analyse, entre 2 et 4 grammes de chaque échantillon ont été pesés et mis en capsule pour ensuite être irradiés au réacteur *Slowpoke II* à l'École Polytechnique de Montréal. Deux irradiations différentes ont été effectuées sur les échantillons. La première, d'une durée de 3 minutes, permet de déterminer les valeurs de TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, V, Dy, Cl, In et Sr. La deuxième irradiation permet d'analyser le reste des éléments. Un spectre pour chaque échantillon est ensuite récolté durant 10 000 secondes 7 à 10 jours suivant l'irradiation (Bédard et Barnes, 2002). Ce spectre, formé d'un ou plusieurs pics dont l'aire est proportionnelle à la quantité de cet élément, est ainsi obtenu avec l'énergie dégagée par chaque élément contenu dans l'échantillon. Il est ensuite traité avec le logiciel *EPAA*, créé par Greg Kennedy à l'École Polytechnique de Montréal, afin d'obtenir des concentrations en ppm pour chaque élément. Les résultats obtenus par activation neutronique se retrouvent à l'annexe III. Il est à noter que les résultats pour la perte au feu ne sont pas disponibles pour certains échantillons, mais que les valeurs sont basses lorsqu'on observe les analyses des échantillons pour les éléments majeurs faites par fluorescence-X.

#### 4.1.5 Contrôle de qualité des analyses

Afin de valider les résultats, des échantillons du standard interne SH-0032 ont été inclus avec les échantillons envoyés pour l'analyse par fluorescence-X ainsi que dans chacun des cinq groupes d'échantillons envoyés pour l'analyse par activation neutronique. Comme ces derniers ont été analysés à des temps différents la moyenne de ces analyses a été considérée pour chaque élément. Le tableau 4.1 indique la compilation des valeurs du standard interne SH-0032 ainsi que celles obtenues pour SH-0032 dans le cadre de ce projet.

Suite à la comparaison des données géochimiques provenant des analyses avec celles du standard interne, il est possible d'observer que les valeurs des éléments majeurs et traces obtenues par activation neutronique se trouvent à l'intérieur des valeurs acceptées pour presque tous les échantillons excepté pour le  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (3,28% comparativement à 3,63%) et le  $\text{MgO}$  (2,60% vs 2,74%), qui sont plus faibles que la valeur acceptée. Pour ce qui est des valeurs obtenues pour les éléments majeurs par fluorescence-X, elles se trouvent aussi dans l'intervalle d'erreur des valeurs acceptées mis à part le  $\text{K}_2\text{O}$  (6,79% comparativement à 6,39%) et le  $\text{MgO}$  (2,92% vs 2,74%) qui sont plus élevés que la valeur acceptée. Alors que le  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  est plus faible que la valeur acceptée (3,42% vs 3,63%).

En ce qui concerne la précision des résultats d'analyse par fluorescence-X, elle ne peut pas être calculée directement étant donné que le standard interne a seulement été

**Tableau 4.1**  
 Comparaison de la moyenne des analyses de l'échantillon  
 SH-0032 effectuées dans le cadre de ce projet avec les valeurs acceptées pour l'échantillon  
 de référence interne SH-0032 (modifié d'après Bédard, 2002)

Élément	Valeur acceptée*	Écart-type	n	XRF**	AN***	Écart-type AN	Écart-type relatif (AN)
SiO <sub>2</sub>	57,6	0,88	14	57,5			
TiO <sub>2</sub>	0,91	0,03	14	0,87	0,87	0,15	17,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,0	0,20	14	13,1	12,9	2,8	21,64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,63	0,12	14	3,42	3,28	0,04	1,22
MnO	0,04	0,01	14	0,04	0,04	0,01	25,00
MgO	2,74	0,09	14	2,92	2,6	0,38	14,62
CaO	1,65	0,07	14	1,69			
Na <sub>2</sub> O	0,90	0,08	14	0,92	0,84	0,01	1,19
K <sub>2</sub> O	6,39	0,15	14	6,79	6,34	1,05	16,56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	0,01	14	0,07			
PAF	13,3	0,44	14	12,6			
As	20,0	3,20	84		21,6	0,4	1,67
Ba	652	59,0	100		644	15	2,30
Ce	68,0	4,00	24		64,1	1,8	2,82
Co	27,5	2,40	101		26,7	1,1	4,17
Cr	116	5,00	101		110	1	1,03
Cs	2,98	0,35	100		2,67	0,08	3,00
Eu	0,75	0,41	24		1,14	0,08	7,02
Hf	3,95	0,34	97		3,70	0,24	6,49
La	31,7	2,30	101		31,0	0,5	1,64
Lu	0,46	0,05	101		0,43	0,01	2,33
Nd	29,1	4,70	101		28,38	0,22	0,78
Ni	132	42,0	94		115	20	17,21
Rb	133	7,90	100		132	3	2,57
Sb	1,38	0,15	99		1,38	0,04	2,90
Sc	19,6	0,98	101		18,4	0,2	0,92
Se	2,10	0,41	60		2,04	0,23	11,27
Sm	5,50	0,45	101		5,40	0,07	1,30
Ta	1,30	0,15	99		1,35	0,09	6,67
Tb	0,74	0,12	100		0,75	0,02	2,67
Th	9,20	0,56	100		9,26	0,15	1,62
U	4,80	0,41	100		4,82	0,14	2,90
V	313	35,0	9		354	64	18,12
W	70,0	10,0	99		69,4	0,7	1,01
Yb	2,76	0,19	101		2,75	0,03	1,09
Zr	162	24,0	13		141	53	37,57

\*Valeurs acceptées des analyses du standard SH (Bédard, communication personnelle)

\*\* Résultats obtenus par fluorescence-X provenant de l'OGS

\*\*\* Moyenne des 5 analyses du shale (SH-0032) par activation neutronique

analysé une seule fois. Par contre, le standard interne a été déterminé par fluorescence-X 14 fois dans les derniers 10 ans et l'écart-type relatif est inférieur à 5% pour tous les éléments majeurs excepté pour MnO qui est proche de la limite de détection et Na<sub>2</sub>O qui a un écart-type relatif de 8% (Barnes, communication personnelle).

Pour l'activation neutronique, un estimé de la précision peut être effectuée car le standard interne a été analysé 5 fois dans le cadre de cette étude. Pour les oxydes majeurs le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et le Na<sub>2</sub>O ont des écart-types relatifs inférieurs à 5%. Par contre, pour les autres oxydes (TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO et K<sub>2</sub>O) l'écart-type relatif est plus élevé que ceux qui ont été observées avec la fluorescence-X. Il est donc possible d'affirmer que les résultats obtenus par activation neutronique ne sont pas acceptables pour ces oxydes. Alors que pour la majorité des éléments traces, l'écart-type relatif est inférieur à 10%. Mis à part les éléments suivants : Ni, Se et V qui ont des écart-types relatifs qui se situent entre 10 et 20% ainsi que Zr (35,57%).

## **4.2 Oxydes majeurs**

### **4.2.1 Classification et diagrammes de discrimination**

L'étude géochimique des éléments majeurs permet, dans un premier temps, de déterminer de quelle composition sont les échantillons utilisés lors de ce projet. Premièrement, la classification et la nomenclature des roches volcaniques déterminée en utilisant le total des alkalis en fonction de la silice selon le diagramme de LeMaitre (1989), sont utilisées. Il est donc possible d'observer que tous les échantillons analysés

sont felsiques avec des concentrations en  $\text{SiO}_2$  et en alkalis respectivement supérieures à 66%poids et 8%poids (figure 4.2a). De plus, la majorité des échantillons se trouvent dans le champ des rhyolites. Bien que certains d'entre eux aient une composition qui tend plus vers les trachydacites (figure 4.2a). Par contre, pour ce qui est de ce projet, la composition de tous les échantillons sera considérée comme rhyolitique. De plus, suite à l'observation de ce diagramme, il est possible de constater que les échantillons Fp sont les plus riches en alkalis, alors que ceux Cp et Im ont les compositions les plus faibles en alkalis.

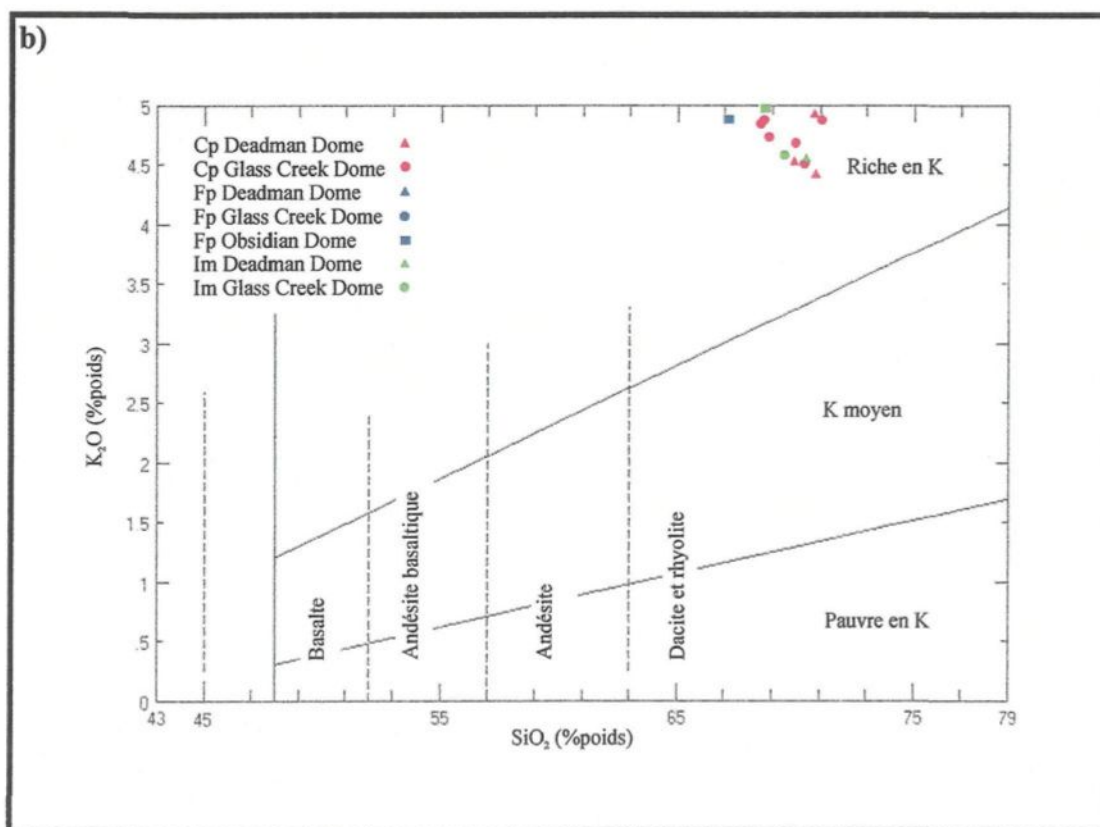
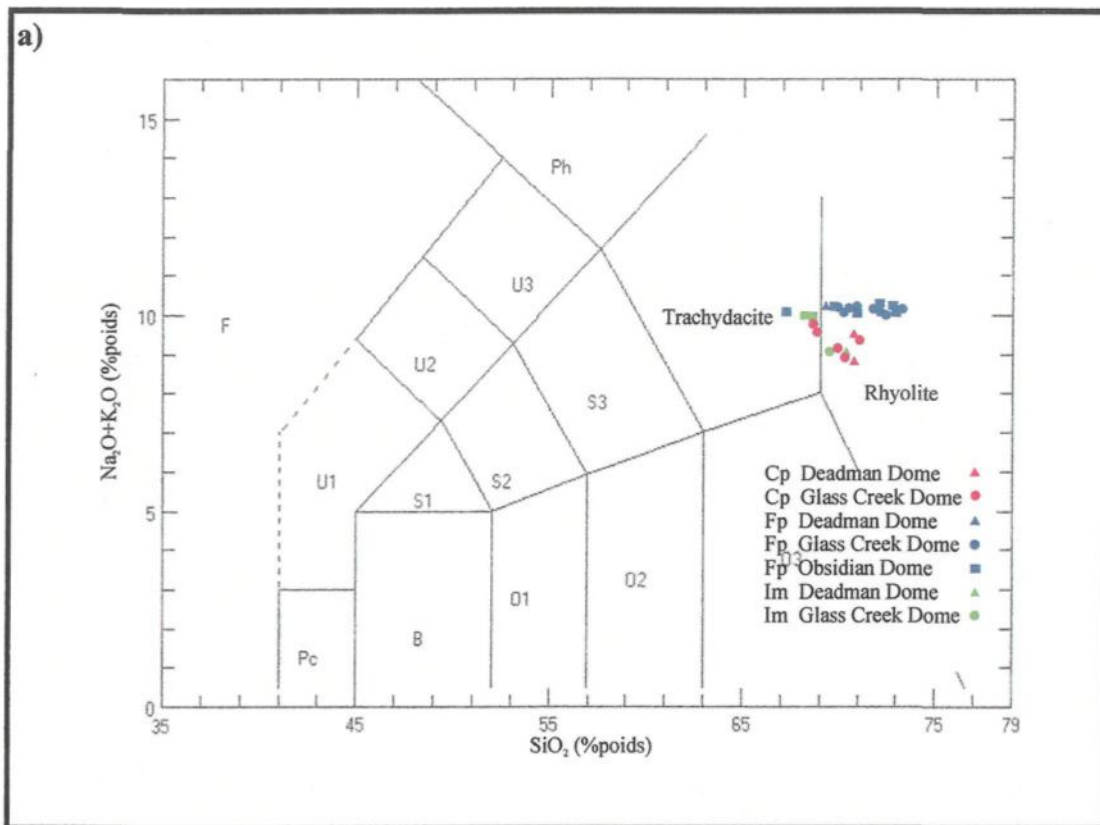
Sur le diagramme de LeMaitre (1989) avec  $\text{K}_2\text{O}$  en fonction de  $\text{SiO}_2$  (figure 4.2b), il est aussi possible de constater que tous les échantillons ont une composition rhyolitique et qu'ils appartiennent à la série calc-alkaline riche en potassium, avec des concentrations en  $\text{K}_2\text{O}$  supérieures à 4% poids.

Un autre diagramme de discrimination est utilisé afin de déterminer à quelle série magmatique appartiennent les échantillons provenant des dômes volcaniques *Inyo*. Le total des alkalis en fonction de la silice est encore une fois utilisé sur le diagramme de Irvine et Baragar (1971). Ce diagramme (figure 4.2c) montre que les échantillons se trouvent dans le champ de la série sub-alkaline.

**Figure 4.2** Diagrammes de discrimination des éléments majeurs. Les échantillons de Deadman Dome (DD) sont indiqués par des triangles, ceux de Glass Creek Dome (GCD) par des ronds et ceux de Obsidian Dome (OD) par des carrés. Les symboles représentant les échantillons Fp sont en bleu, ceux de Cp sont en rouge et ceux de Im en vert. La même légende est utilisée pour les 3 diagrammes suivants.

a) Diagramme de LeMaitre (1989) montrant le total des alcalis en fonction de  $\text{SiO}_2$  pour la classification des roches volcaniques.

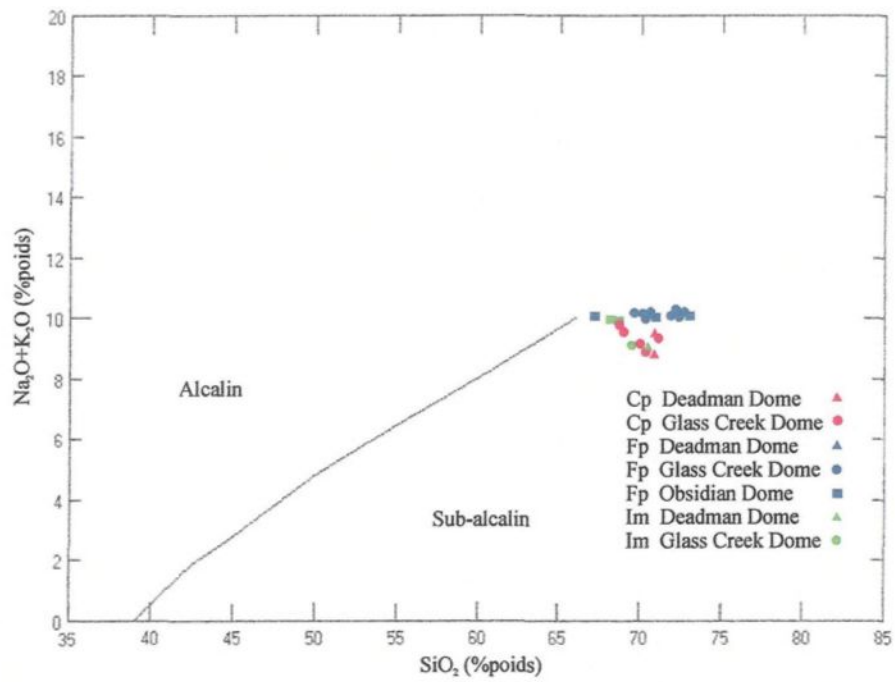
b) Diagramme de LeMaitre (1989), montrant la composition de  $\text{K}_2\text{O}$  en fonction de  $\text{SiO}_2$  pour déterminer la composition des échantillons selon leur concentration en  $\text{K}_2\text{O}$ . Il est à noter que seulement 1 échantillon Fp est visible sur ce diagramme car les autres échantillons provenant de ce groupe textural ont des valeurs de  $\text{K}_2\text{O}$  supérieures à 5%poids (limite supérieure de l'axe de  $\text{K}_2\text{O}$  sur le diagramme).



c) Diagramme de Irvine et Baragar (1971) qui indique la série magmatique à l'aide du total des alkalis en fonction du  $\text{SiO}_2$ .



c)



#### 4.2.2 Diagrammes de variation

Il est important de noter que, pour tous les diagrammes de géochimie qui vont suivre, les échantillons sont divisés selon les groupes texturaux et non selon les dômes volcaniques dans lesquels ils se trouvent. La correspondance entre les groupes et les dômes sera faite plus loin, à la section 4.3.1, et sera discutée au chapitre 6.

Les diagrammes des différents oxydes en fonction de  $\text{SiO}_2$  (figure 4.3) permettent de visualiser quelles sont les phases minérales qui contrôlent la cristallisation des différents échantillons. En général, ces diagrammes montrent deux phases dominantes soit la sanidine et le plagioclase. Dans le cadre de ce projet, les compositions de la sanidine et du plagioclase ont été estimées à l'aide du logiciel *Pelé 5.0*, programmé par Alan E. Boudreau de *Duke University*, qui utilise la thermodynamique afin de déterminer les phases sur le liquidus. Suite aux simulations faites avec ce logiciel, une composition de  $\text{Ab}_{53}\text{-An}_{47}$  est obtenue pour le plagioclase alors que celle pour la sanidine est de  $\text{Or}_{54}\text{-Ab}_{46}$ .

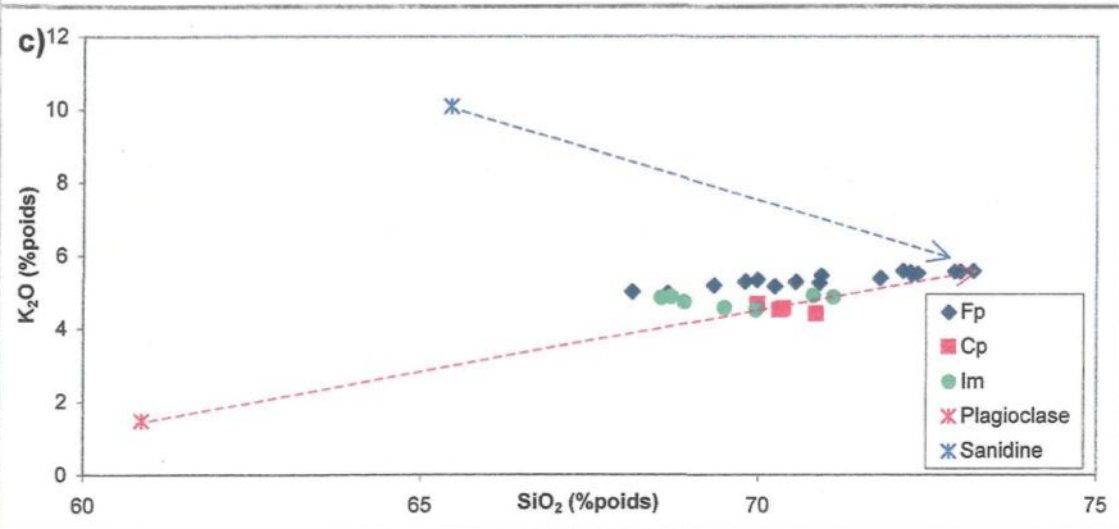
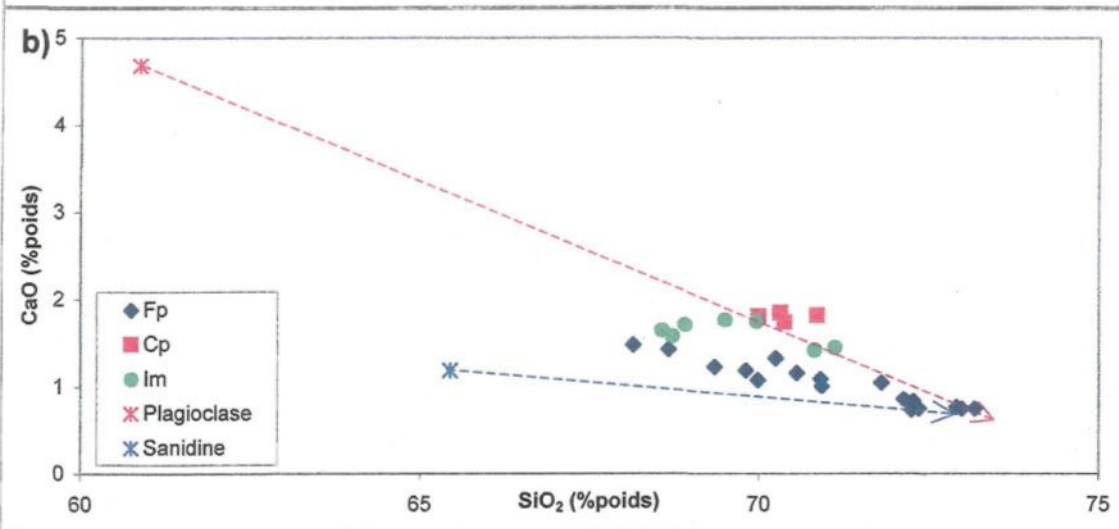
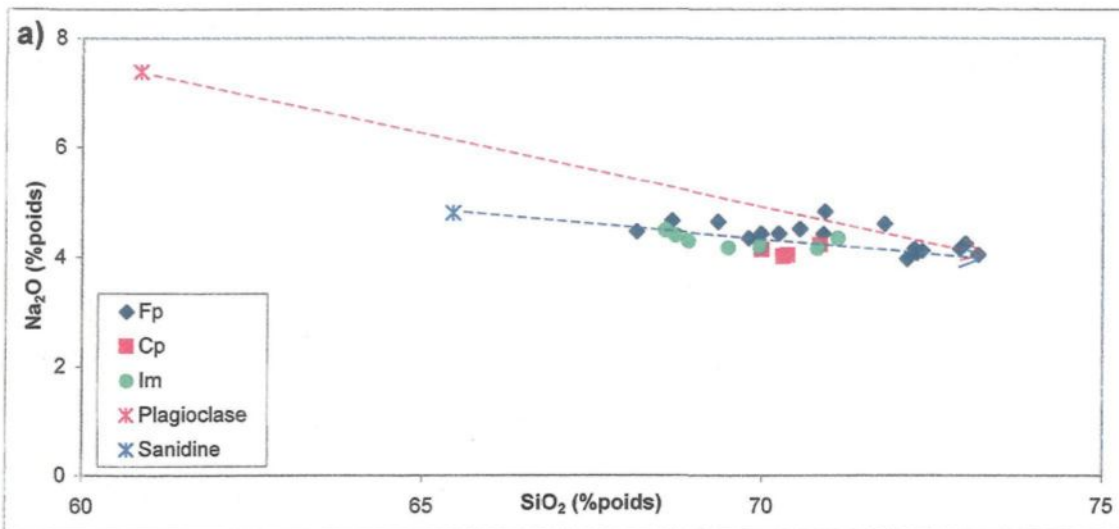
Aussi ces diagrammes permettent de voir que les échantillons Fp se comportent de façon distinctive de ceux Im et Cp (figure 4.3). En effet, ils montrent, que les échantillons Fp suivent un vecteur qui permet de déterminer le minéral qui contrôle leur cristallisation. Alors que les échantillons Cp et Im sont plutôt rassemblés en amas et ne forment aucun vecteur.

**Figure 4.3** Diagrammes d'oxydes majeurs en fonction de SiO<sub>2</sub>. Les lignes pointillées indiquent les vecteurs de cristallisation des minéraux qui contrôlent chaque groupe textural. Les symboles représentant les échantillons Fp sont des losanges bleus, ceux Cp des carrés rouges et ceux Im sont des ronds verts. La même légende est utilisée pour les 4 diagrammes suivants. Les pôles des minéraux sont calculés à partir des compositions pour le plagioclase (symbole rouge) : 60,87 %poids SiO<sub>2</sub>, 4,68 %poids CaO, 1,49 %poids K<sub>2</sub>O, 7,38 %poids Na<sub>2</sub>O, 0,24 %poids Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ; pour la sanidine (symbole bleu) : 65,44 %poids SiO<sub>2</sub>, 1,19 %poids CaO, 10,1 %poids K<sub>2</sub>O, 4,82 %poids Na<sub>2</sub>O ; pour la hornblende (symbole vert) : 45,28 % poids SiO<sub>2</sub>, 17 %poids Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 12 %poids CaO et pour la biotite (symbole brun) : 37,35 %poids SiO<sub>2</sub>, 15,82 %poids Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Deer *et al.*, 1962).

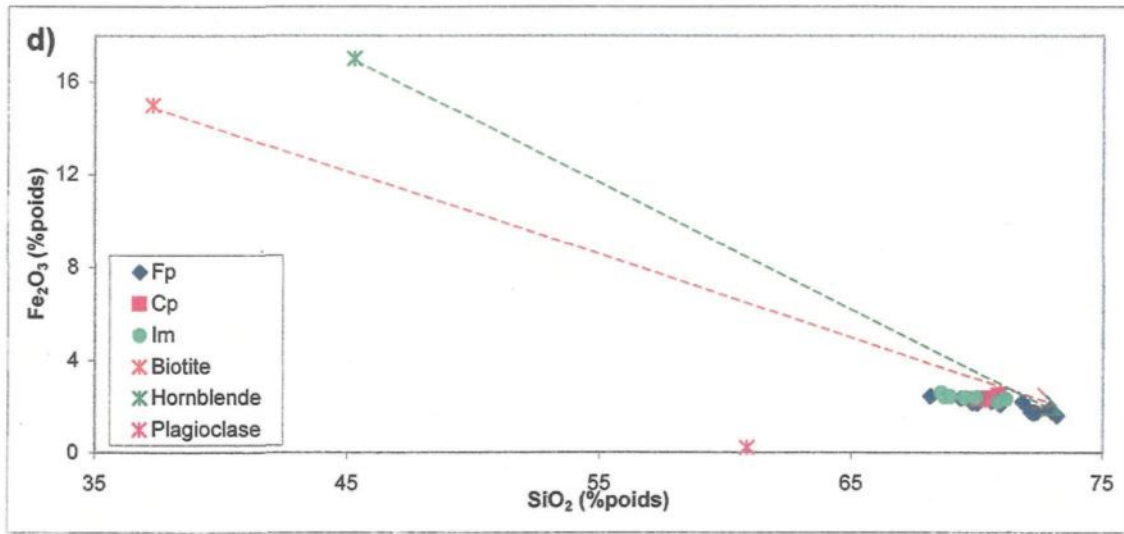
a) Diagramme de SiO<sub>2</sub> vs Na<sub>2</sub>O

b) Diagramme de SiO<sub>2</sub> vs CaO

c) Diagramme de SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O



d) Diagramme de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Fe}_2\text{O}_3$



Les observations sur le diagramme  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O}$  (figure 4.3a) permettent de constater que l'effet de la cristallisation de la sanidine et du plagioclase est très importante. En effet, les échantillons Fp, montrent une tendance qui correspond à un contrôle de ces deux minéraux.

Ensuite, les diagrammes de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{CaO}$  (figure 4.3b) et de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  (figure 4.3c) montrent des différences entre les échantillons Fp et ceux Cp et Im. Ces groupes d'échantillons forment deux tendances différentes où les échantillons Fp ont une composition en  $\text{CaO}$  plus faible et plus riche en  $\text{K}_2\text{O}$  que ceux des groupes Cp et Im. Ce qui peut provenir de l'addition de plagioclase, dans les échantillons du groupe Cp, qui va augmenter le  $\text{CaO}$  et diluer le  $\text{K}_2\text{O}$ .

Tandis que le diagramme de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (figure 4.3d) indique la présence de deux phases mafiques qui contrôlent la cristallisation. Ces minéraux sont la hornblende ainsi que la biotite. Il est à noter que ces deux phases mafiques ont été identifiées dans tous les échantillons lors de l'étude pétrologique.

### **4.3 Éléments traces et terres rares**

Suite à l'analyse effectuée avec les éléments majeurs, il est maintenant possible d'utiliser les éléments traces afin de déterminer les différences entre les groupes texturaux ainsi que les processus qui ont été actifs dans le système volcanique *Inyo*.

Comme il a été mentionné en début de chapitre, ce ne sont pas tous les échantillons analysés qui ont été sélectionnés pour l'étude de la DTC. Donc, il faut porter une attention particulière au 30 échantillons utilisés afin de pouvoir relier la géochimie et la DTC. Et ce, en comparant les processus qui seront déterminés au chapitre suivant et ceux qui ont été observés à l'aide de la géochimie.

#### 4.3.1 Éléments traces

Avant de poursuivre les observations sur les éléments traces, il faut retenir que les échantillons Fp ont été divisés en 3 sous-groupes. Et ce, afin de pouvoir expliquer les variations de DTC entre les échantillons (chapitre 5) ainsi que pour expliquer les variations spatiales qui existent entre les échantillons. Les limites des trois sous-groupes du groupe textural Fp sont exprimées selon le contenu en Th et Sc (figure 4.4a). Cette division, utilisée par Higgins en 1988, a aussi été reprise dans ce projet. Cette division du magma Fp correspond à l'abondance en Th des échantillons Fp. Ainsi, le groupe Fp (1) contient entre 20,9 et 23,7 ppm de Th, celui Fp (2) entre 17,8 et 20,6 et le groupe Fp (3) de 19,1 à 14,2 ppm de Th. Cette division de Fp a aussi été utilisée par Vogel *et al.* (1987) avec la composition en Th et Ba (figure 4.4b). Le groupe Fp (1) est pauvre en Ba (300 à 475 ppm), le groupe Fp (2) a une composition moyenne (485 à 776 ppm) alors que le groupe Fp (3) possède les valeurs en Ba les plus élevées avec une composition entre 796 et 1331 ppm.

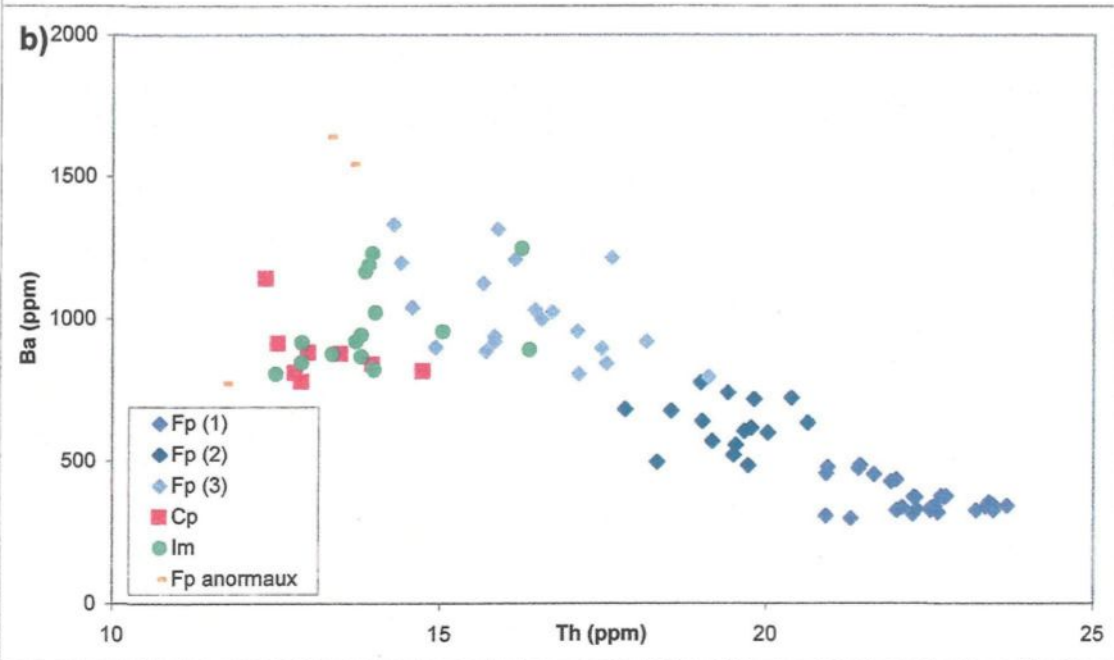
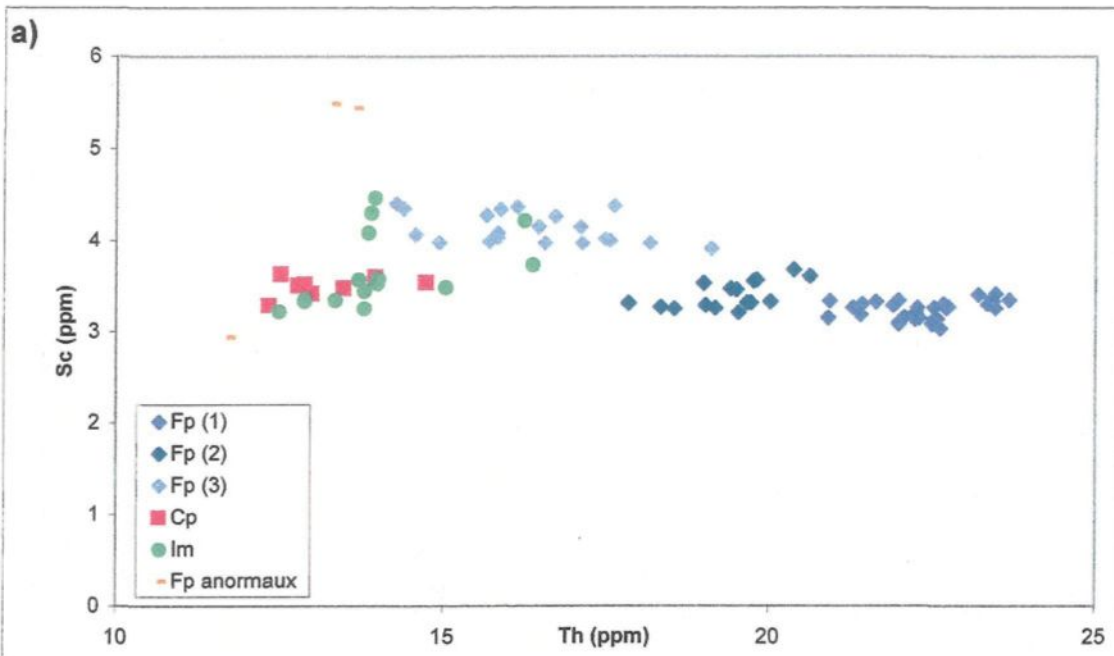
La présente partie, portant sur l'étude des éléments traces, sera donc effectuée en tenant compte des processus qui sont observés dans chacun des 3 sous-groupes Fp ainsi



**Figure 4.4** Division des échantillons du groupe textural Fp en trois sous-groupes. Ces diagrammes montrent les limites de chaque sous-groupe exprimées selon la composition en Th, Sc et Ba.

a) Diagramme de Sc vs Th utilisé par Higgins (1988).

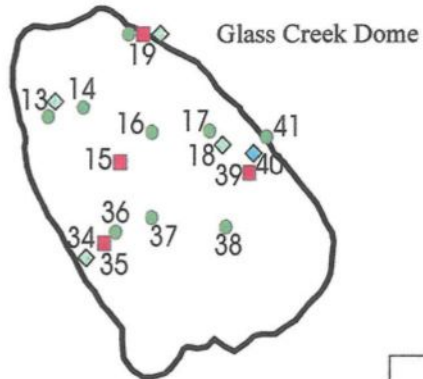
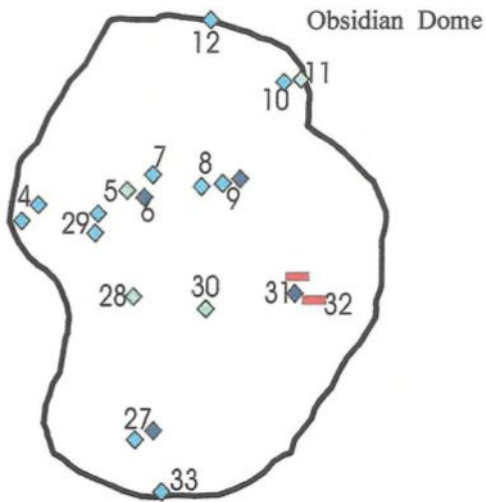
b) Diagramme de Ba vs Th utilisé par Vogel *et al.* (1987).



que dans les groupes Cp et Im. Ces groupes et sous-groupes seront encore une fois utilisés dans le chapitre suivant afin de distinguer les caractéristiques des DTC des échantillons pour chacun d'entre-eux. Il est à noter que cette division n'est pas géochimique car elle n'implique pas des magmas d'origine différente. La géochimie est un moyen de séparer les échantillons Fp avec des compositions chimiques qui les caractérisent. Cette division est donc un outil qui sert à l'interprétation des processus caractéristiques à chaque groupe d'échantillons.

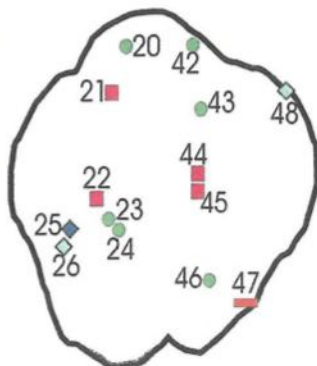
À la figure 4.5, les échantillons des groupes texturaux ont été localisés afin d'établir leur position à l'intérieur des trois dômes volcaniques. Premièrement, il est à noter que tous les échantillons du groupe Fp (1) (excepté DM-01-40 qui se trouve dans *Glass Creek Dome*) proviennent d'*Obsidian Dome*. La même chose est observée pour les échantillons du groupe Fp (2) qui sont tous localisés dans *Obsidian Dome* (sauf DM-01-25 qui vient de *Deadman Dome*). Dans *Obsidian Dome*, il est aussi possible de constater que les échantillons du groupe Fp (2) sont situés au centre du dôme alors que ceux du groupe Fp (1) sont plutôt localisés à sa périphérie. Dans ce même dôme, les échantillons du groupe Fp (3) sont répartis de façon hétérogène. Alors que les échantillons du groupe Fp (3), qui sont localisés dans les dômes *Deadman* et *Glass Creek*, se trouvent en bordure de ceux-ci. Les échantillons Fp se retrouvent dans les trois dômes *Inyo*. Par contre les trois sous-groupes Fp ne s'y trouvent pas tous. Ce sont donc les échantillons Fp qui marquent la différence entre ces dômes. Pour ce qui est des échantillons Cp, ils se retrouvent principalement dans la partie centrale des dômes *Glass Creek* et *Deadman*. Comme indiqué précédemment, aucun échantillon du groupe Cp ne se retrouve dans *Obsidian Dome*. Les échantillons Im se trouvent dans *Glass Creek*

**Figure 4.5** Localisation des échantillons selon les groupes ou sous-groupes texturaux auxquels ils appartiennent. Certaines stations d'échantillonnage comportent plus d'un échantillon appartenant à des groupes de magma différents. Les échantillons Fp sont indiqués par des losanges (bleus : Fp (1), bleus foncés : Fp (2) et bleus clairs : Fp (3)), ceux de Cp par des carrés rouges alors que les ronds verts montrent les échantillons Im.









	Obsidian Dome	Glass Creek Dome	Deadman Dome
Fp (1)	X	DM-01-40	
Fp (2)	X		DM-01-25
Fp (3)	X	X	X
Cp		X	X
IM		X	X
Fp anormaux	DM-01-31b DM-01-32		DM-01-47b

Deadman Dome



Légende

- Fp (1) 
- Fp (2) 
- Fp (3) 
- Cp 
- Im 
- Fp anormaux 

500 mètres

*Dome* et *Deadman Dome*, tout comme ceux du groupe Im, mais autant au centre qu'en bordure de ces dômes. Pour ce qui est des trois échantillons Fp qui montrent un comportement anormal, deux d'entre eux se trouvent dans *Obsidian Dome* (DM-01-31b et DM-01-32) alors que le troisième (DM-01-47b) provient de *Deadman Dome*. Il est à noter que ces échantillons sont placés à la bordure ou près de la bordure des dômes. Dans l'ensemble, *Obsidian Dome* est constitué uniquement d'échantillons Fp (1, 2 et 3) alors que *Glass Creek Dome* et *Deadman Dome* sont formés par des échantillons des trois groupes texturaux, c'est-à-dire des groupes Fp (3), Cp et Im (figure 4.5).

#### 4.3.2 Diagrammes des éléments terres rares (ETR)

Les diagrammes d'ETR ont été faits pour les 3 groupes texturaux ainsi que pour les sous-groupes de Fp. Ces diagrammes sont effectués avec les rayons ioniques de chaque élément (en abscisse) et l'abondance normalisée par les valeurs de chondrite (en ordonnée). Ce type de représentation graphique est utilisé parce que l'espacement entre les éléments correspond aux valeurs de leurs rayons ioniques, ce qui donne une représentation réelle des éléments entre eux. Les valeurs utilisées se trouvent au tableau 4.2.

Les patrons de terres rares, pour les 3 sous-groupes Fp (figures 4.6a, b, c), montrent des courbes plutôt homogènes et une allure générale qui rappelle les patrons des groupes Cp et Im (figure 4.6d, e). En effet, ils montrent tous une pente négative ainsi qu'une anomalie négative en europium. La seule différence importante provient de Fp (1) où l'anomalie négative en Eu de l'échantillon DM-01-04a est plus marquée. Pour ce

**Tableau 4.2**  
Valeurs de chondrite pour la normalisation des terres rares  
et rayons ioniques utilisés dans les diagrammes d'ETR

Éléments	Valeurs de chondrite (ppm)*	Rayons ioniques (10 <sup>-8</sup> cm)**
La	0,2446	0,113
Ce	0,6379	0,109
Nd	0,4738	0,106
Sm	0,1540	0,104
Eu	0,0580	0,103
Tb	0,0375	0,100
Dy	0,2541	0,099
Yb	0,1651	0,095
Lu	0,0254	0,094

\*Evensen et al., 1978 (Moyenne des chondrites C1)

\*\*Whittaker et Muntus, 1970

**Tableau 4.3**  
Coefficients de partition utilisés dans le  
calcul des vecteurs de fractionnement

Élément	Minéral	Plagioclase	Feldspath-K
Ba		1,515	4,3
Th		0,048	0,018

qui est des échantillons de Fp anormaux (figure 4.6f), leurs patrons de terres rares montrent une variation semblable à celle observée pour les patrons des autres groupes texturaux.

La pente des patrons d'ETR pour tous les échantillons est négative ce qui indique un enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes. La forme des courbes est concave de La à Sm. Il y a ensuite une anomalie négative en Eu et la courbe redevient relativement droite mis à part une faible anomalie négative en Dy. En somme, le seul groupe qui se distingue des autres est Fp (1) avec une variation due en grande partie à l'échantillon DM-01-04a.

Les diagrammes d'ETR indiquent aussi des différences entre les trois groupes texturaux (Fp, Im et Cp) (figure 4.6) où le groupes Fp possèdent les compositions les plus enrichies par rapport à la chondrite (entre 240 et 315 fois chondrite pour La) alors que les groupes Cp et Im ont des compositions en ETR plus faibles avec des valeurs de La de 180 fois chondrite. Pour ce qui est des trois sous-groupes de Fp, celui Fp (1) a une valeur de 315 fois chondrite pour La, 280 fois chondrite pour Fp (2) et finalement une valeur de La de 242 fois chondrite pour Fp (3).

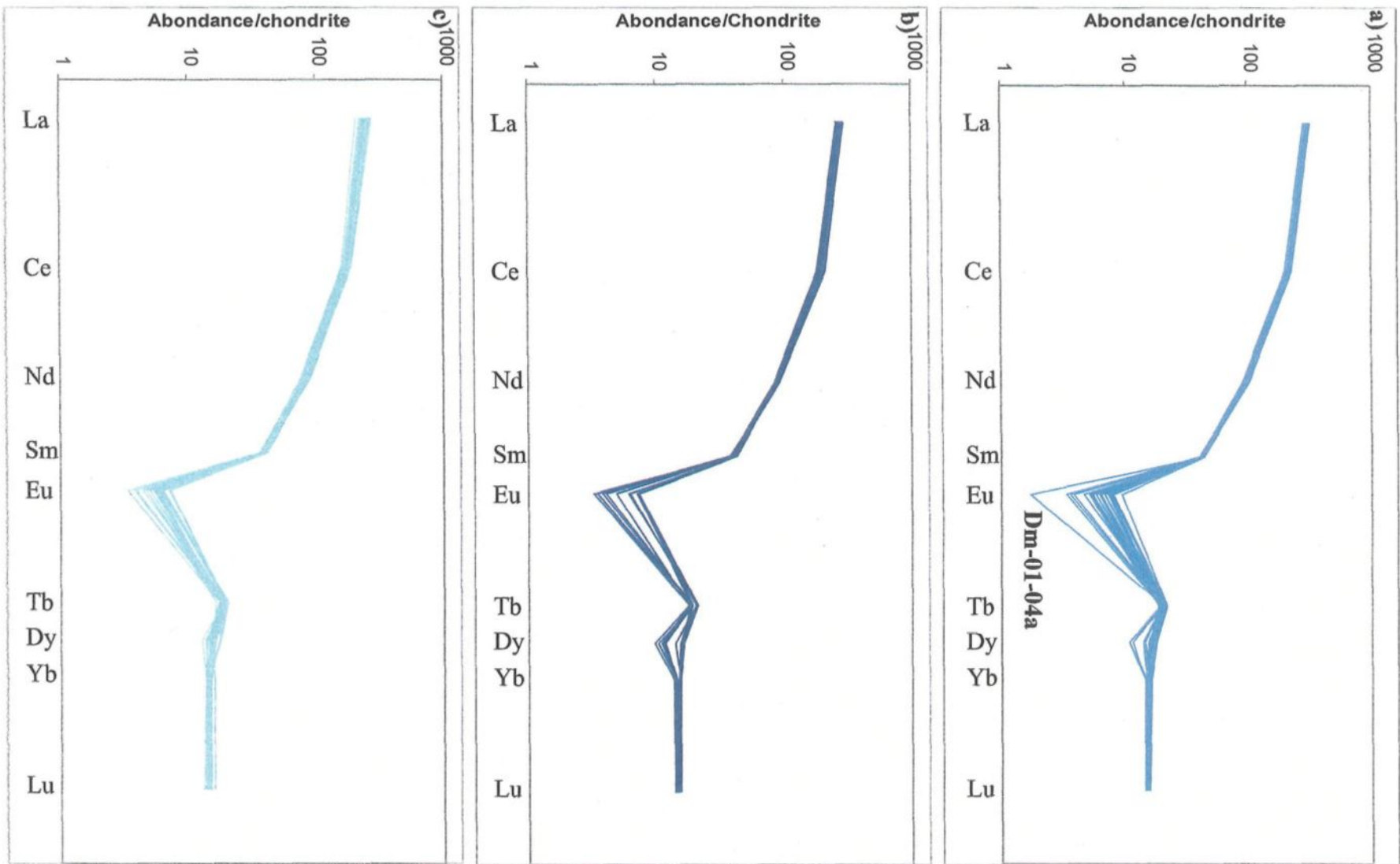
Donc, les patrons de terres rares montrent une similitude. De plus, il n'y a aucune variation significative de l'anomalie d'euporium entre les tous les échantillons, mis à part une faible variation dans les patrons d'ETR du groupe Fp (1). La variation des anomalies d'euporium, qui vont donner des indications quant au fractionnement du



**Figure 4.6** Patrons de terres rares pour chaque groupe textural et sous-groupes de Fp  
a) Groupe Fp (1) en bleu

b) Groupe Fp (2) en bleu foncé

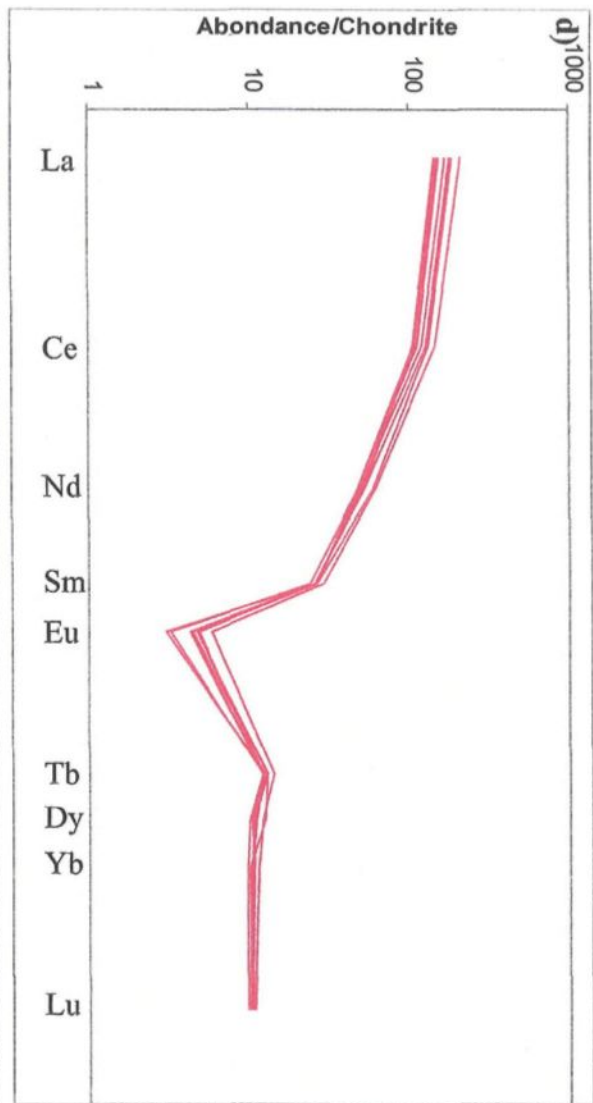
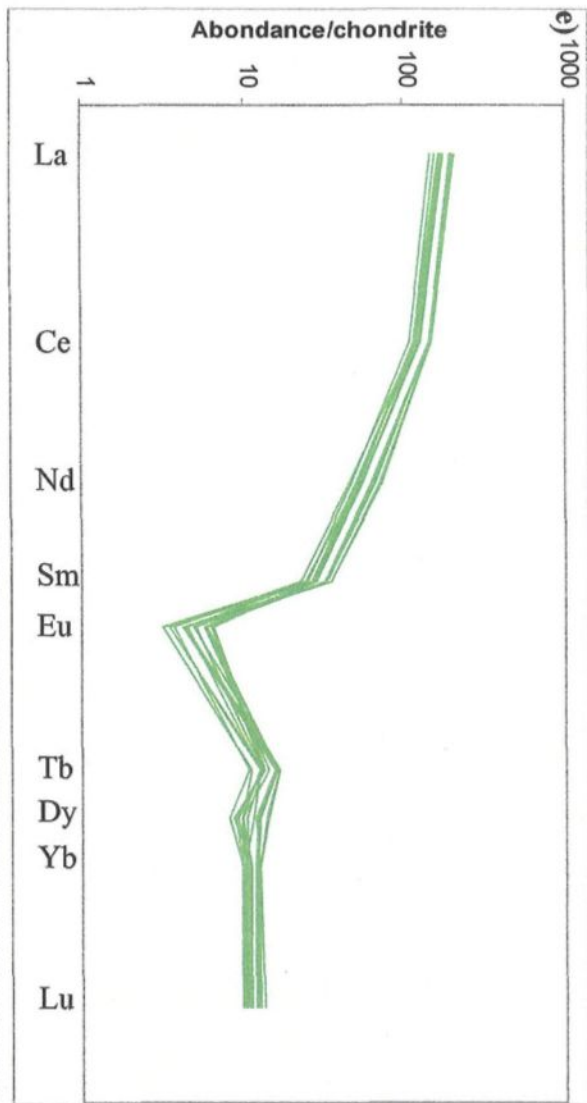
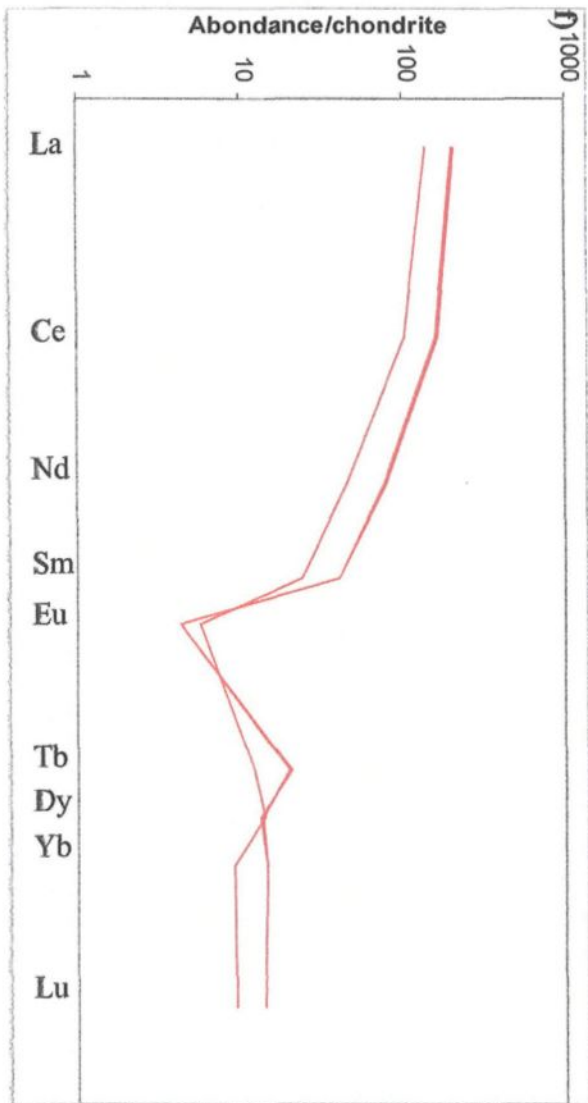
c) Groupe Fp (3) en bleu clair



d) Groupe Cp en rouge

e) Groupe Im en vert

f) Fp anormaux en orange



plagioclase et de la sanidine, est plus importante à l'intérieur de chacun des différents groupes, qu'entre ces derniers.

#### **4.4 Incidences de l'étude géochimique**

##### 4.4.1 Différences entre les groupes texturaux

En observant le diagramme de Sc en fonction de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (figure 4.7), il est possible de constater que les échantillons du groupe Fp forment une tendance qui est parallèle à celle formée par les échantillons des groupes Im et Cp, mais avec une composition en Sc plus grande. Le fait que les deux tendances soient parallèles démontre que les liquides qui composent les échantillons Fp et ensuite ceux Im et Cp sont semblables. Mais que la présence d'une grande quantité de phénocristaux, dans les groupes Im et Cp cause la différence. Un mélange de liquide et de cristaux de plagioclase et de sanidine pourrait permettre d'expliquer le comportement des échantillons Im et Cp.

##### 4.4.2 Processus de cristallisation

Le diagramme de Ba vs Th (figure 4.8) permet d'observer le fractionnement et l'accumulation des feldspaths (plagioclase et sanidine). Pour ce faire, les vecteurs sont calculés pour chacun de ces deux minéraux avec la formule suivante :

$$(4.1) C_L = F^{(D-1)} * C_O$$

où :

C<sub>L</sub> = concentration de l'élément dans le liquide

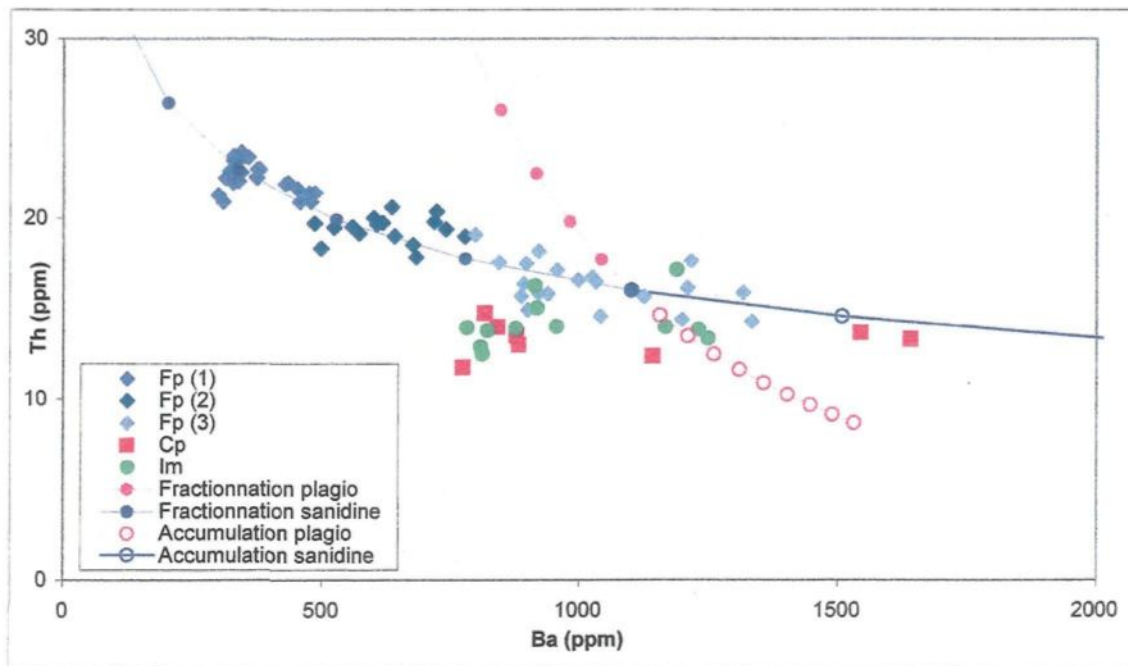
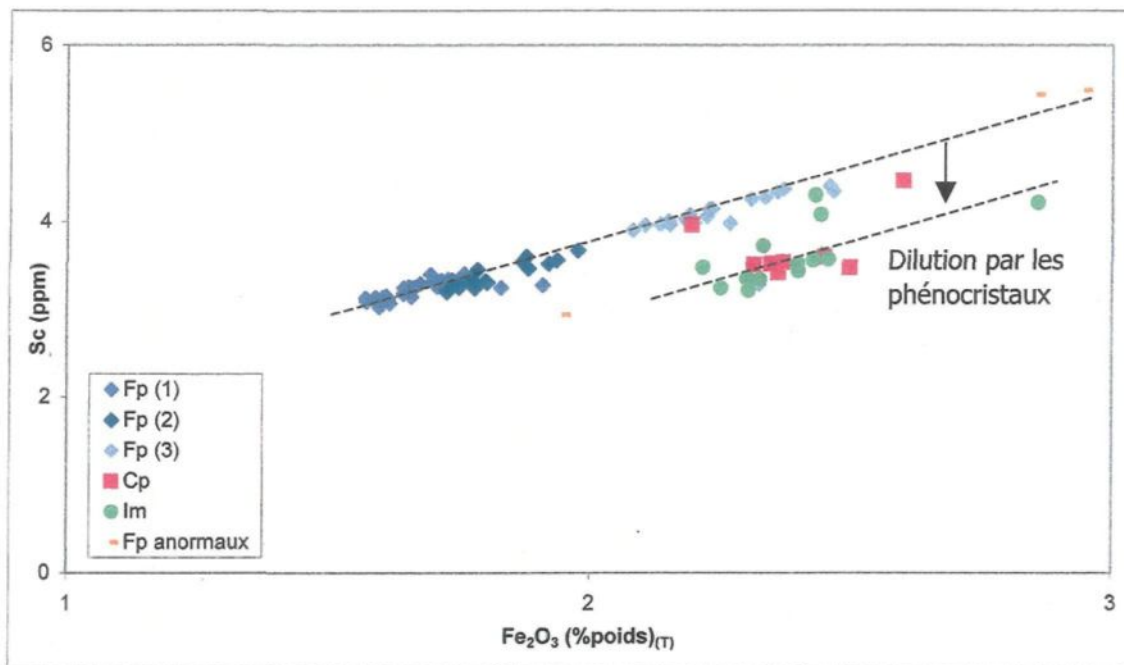
C<sub>O</sub> = concentration de l'élément dans le liquide parental

F = fraction du magma restant

D = coefficient de partition

**Figure 4.7** Diagramme de Sc en fonction de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Les échantillons Fp, en bleu, montrent une tendance bien définie qui est différente de celle formée par les échantillons Im et Cp (respectivement en vert et en rouge).

**Figure 4.8** Fractionnement et accumulation du plagioclase et de la sanidine. Ces processus sont représentés sur le diagramme de Th vs Ba. Le fractionnement est indiqué par les symboles pleins alors que l'accumulation est montrée avec les cercles vides.



Dans le cadre de cette étude, la composition initiale qui a été utilisée pour faire la modélisation de l'accumulation et du fractionnement est la composition fictive d'un échantillon de Fp, donc contenant peu de cristaux. La composition de cet échantillon est faible en Th et élevée en Ba. L'échantillon choisit correspond au groupe Fp (3) et est composé de 1100 ppm de Ba et de 16 ppm de Th. Les observations tirées du diagramme montrent que le fractionnement de sanidine, jumelé à celle du plagioclase mais dans une plus faible proportion, peut expliquer l'évolution des échantillons du groupe Fp.

Ce diagramme suggère donc que les échantillons du groupe Fp ont subi un processus de cristallisation fractionnée (figure 4.8). La division en sous-groupes de Fp permet aussi d'observer que les échantillons de Fp (1) sont les plus fractionnés suivit de ceux de Fp (2) alors que les échantillons de Fp (3) sont les moins fractionnés. Par contre, le diagramme de Th vs Ba ne permet pas d'observer un processus de fractionnement clair quant à l'évolution des échantillons Cp et Im. Un processus d'accumulation de cristaux ne correspond pas non plus à la modélisation effectuée.

Des diagrammes d'oxydes majeurs en fonction de Th (figure 4.9) ont aussi été faits afin de déterminer les processus de cristallisation qui ont été actifs dans le système volcanique de la chaîne *Inyo*. Ceci afin d'obtenir des évidences géochimiques qui vont ensuite pouvoir appuyer les résultats obtenus avec l'étude de la distribution de la taille des cristaux. L'élément Th est utilisé, dans ce cas, vu son caractère incompatible. Il est aussi à noter que, dans ces diagrammes, les échantillons de Fp anormaux n'ont pas été considérés vu leur comportement particulier.

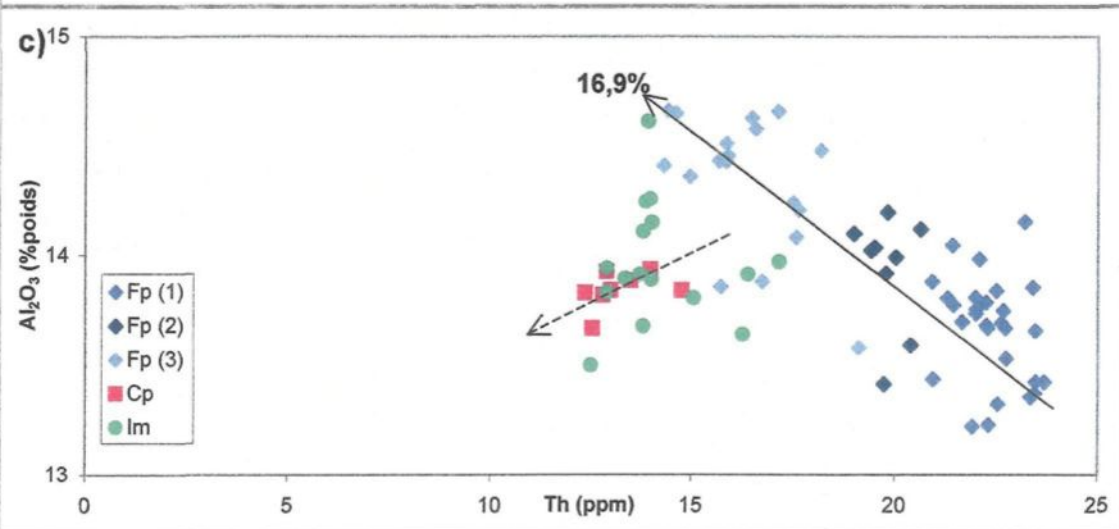
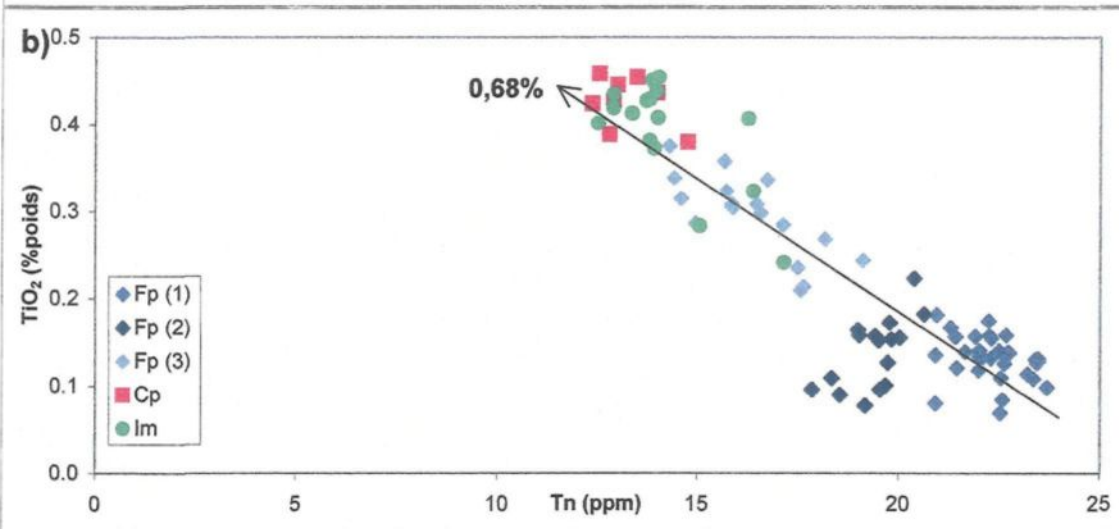
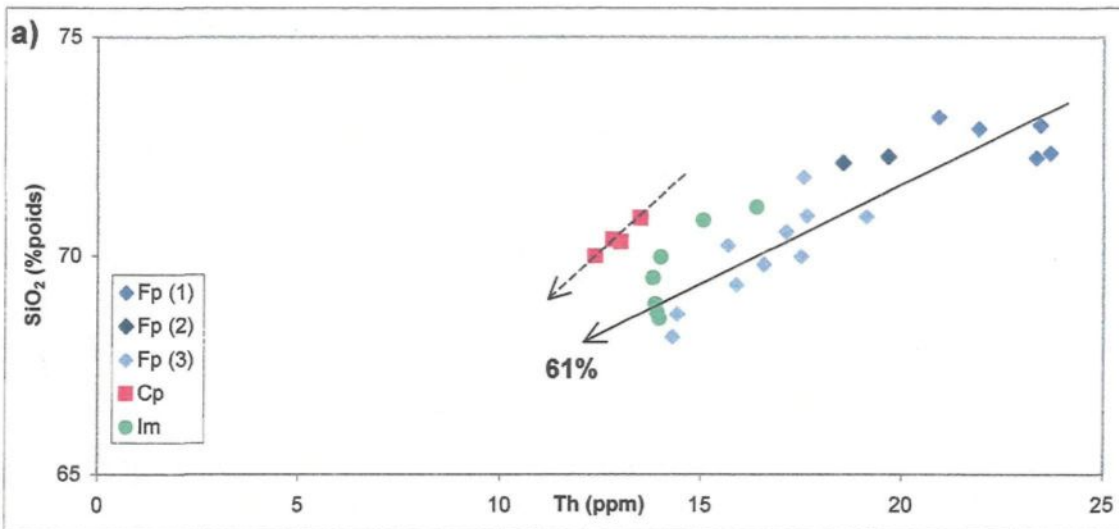


**Figure 4.9** Diagrammes de Th en fonction des oxydes majeurs. La ligne noire pointe vers l'ordonnée à l'origine (Th=0) dont la valeur indique la composition du cumulat (en %poids) pour un élément donné. La flèche pointillée correspond au vecteur des échantillons Cp et Im.

a) Th vs  $\text{SiO}_2$

b) Th vs  $\text{TiO}_2$

c) Th vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$

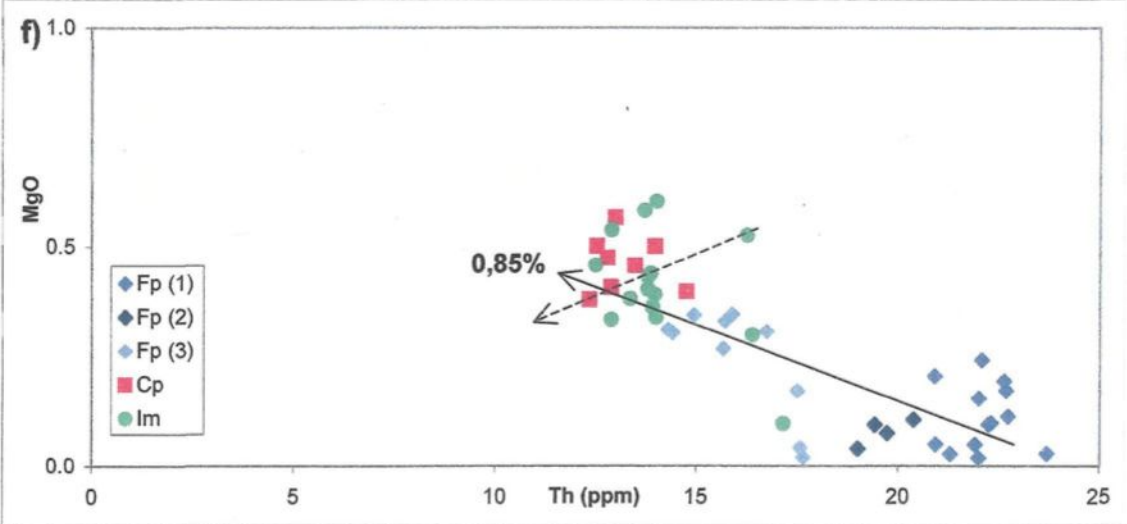
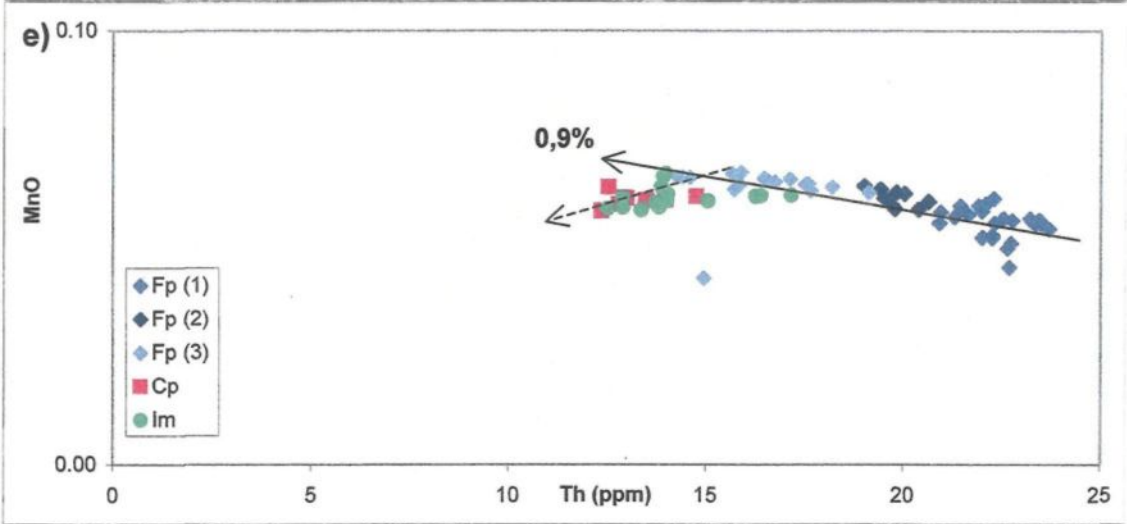
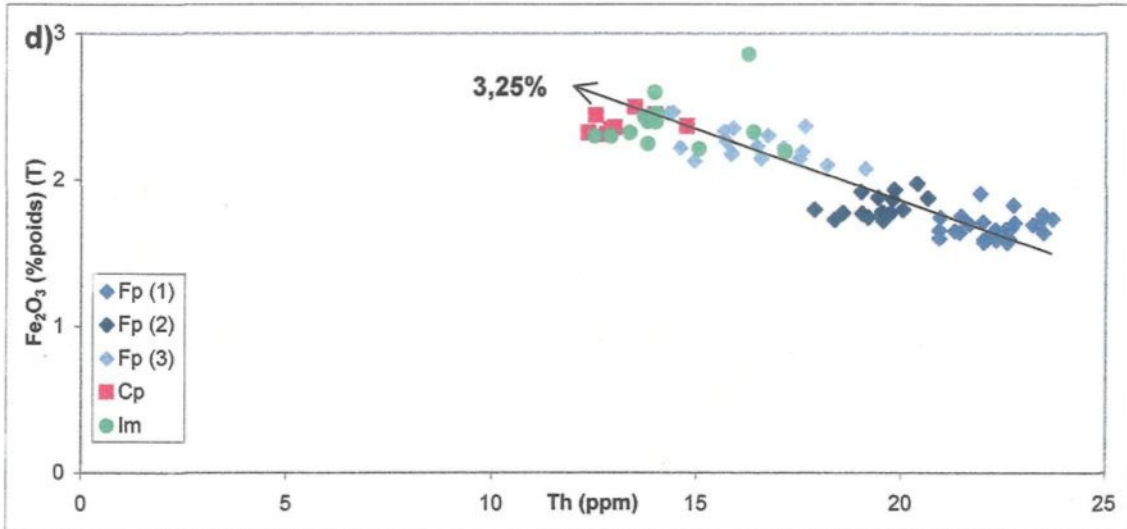


d) Th vs  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

e) Th vs MnO

f) Th vs MgO

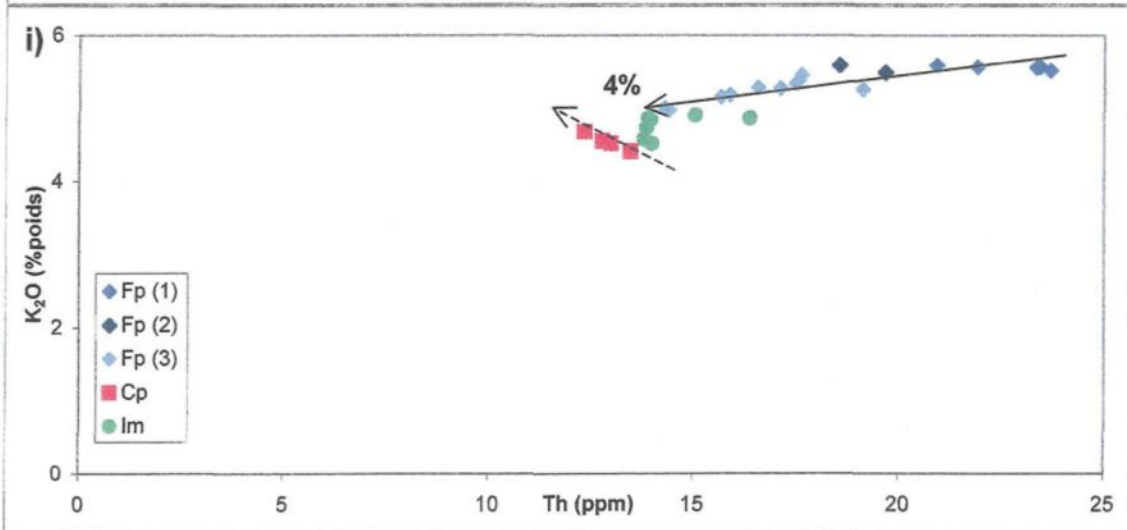
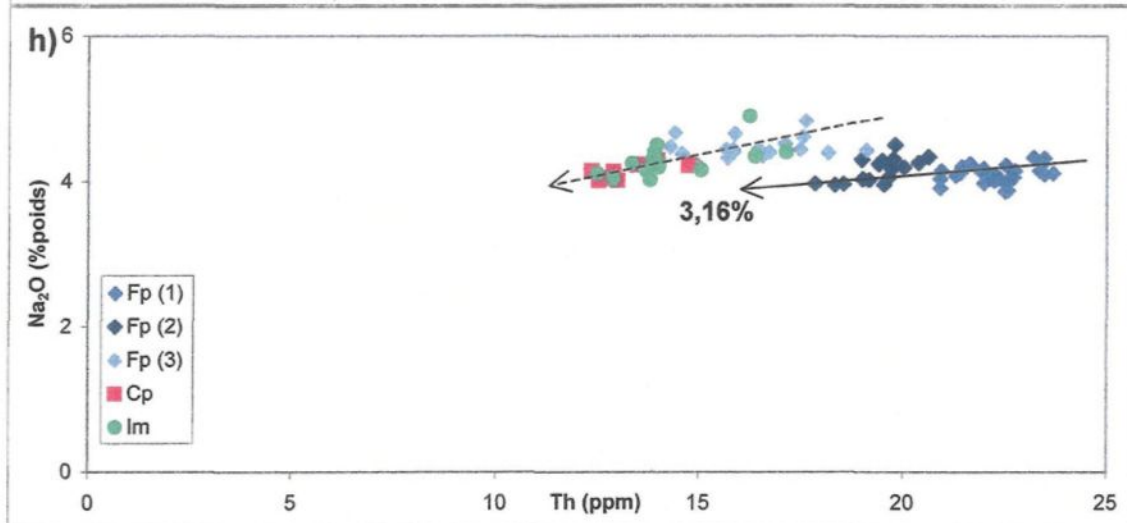
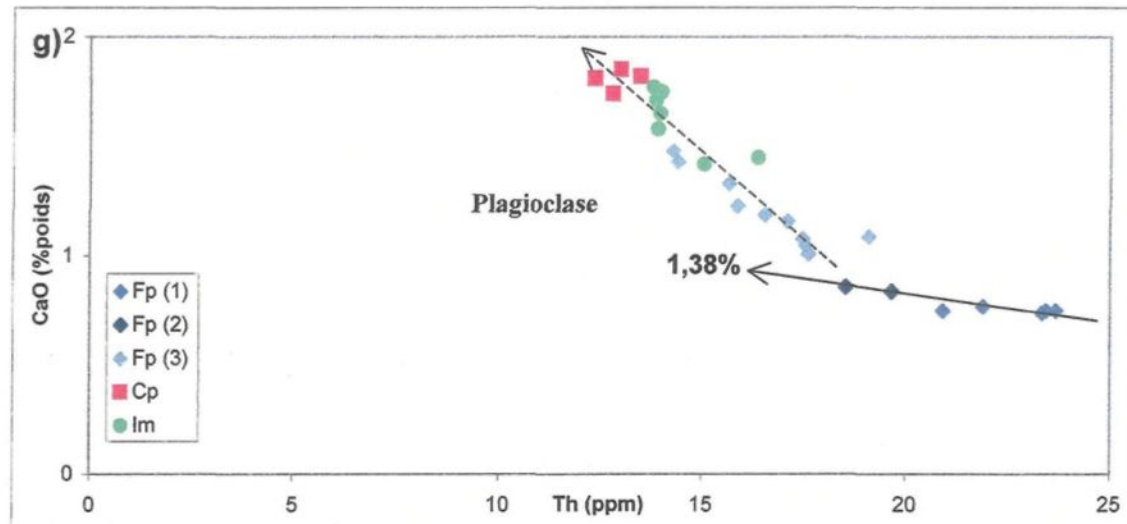
-



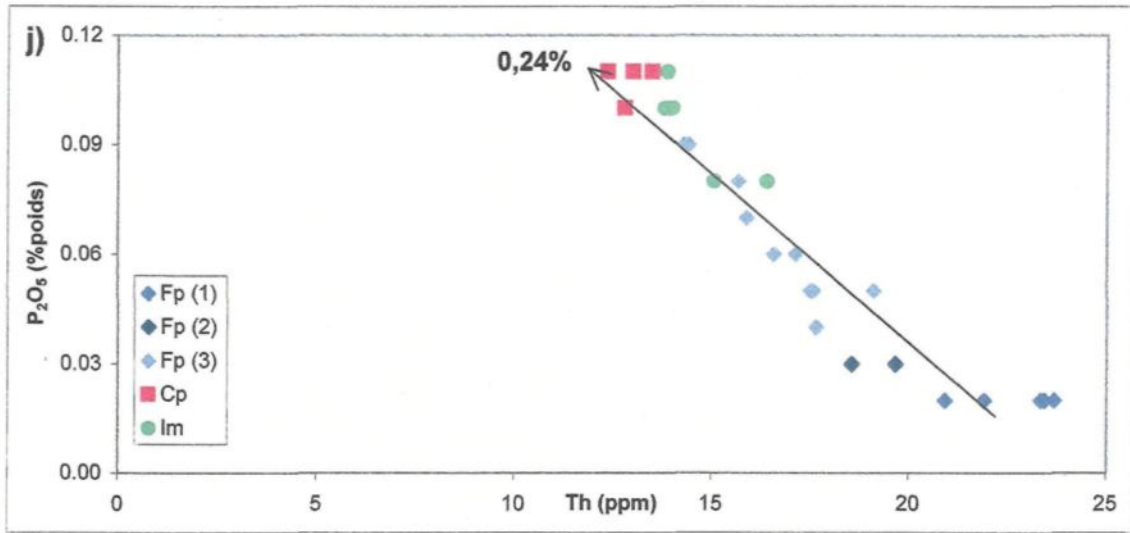
g) Th vs CaO

h) Th vs Na<sub>2</sub>O

i) Th vs K<sub>2</sub>O



j) Th vs  $P_2O_5$





Les diagrammes d'oxydes majeurs en fonction de Th (figure 4.9) ne permettent pas toujours de bien distinguer des corrélations claires entre les échantillons des différents groupes texturaux. Par contre, sur ces diagrammes, il est possible d'observer une association entre les échantillons des groupes Fp (1) et Fp (2) ainsi que ceux des groupes Cp et Im. On note du même fait que la localisation des échantillons du groupe Fp (3) leur confère une composition intermédiaire. Aussi, sur tous les diagrammes observés, il est possible de constater que les échantillons des groupes Fp (1, 2 et 3) forment des corrélations qui indiquent des vecteurs d'évolution de la cristallisation (figure 4.9). Alors que sur ces mêmes diagrammes, les échantillons Cp et Im, et dans certains cas ceux Fp (3) (figure 4.9g et h), se retrouvent tous sur un même vecteur. Ce deuxième vecteur qui est observé dans pratiquement tous les diagrammes ne sera toutefois pas discuté. En effet, seul le vecteur de cristallisation représentant l'évolution des différents échantillons Fp sera discuté parce que c'est à l'intérieur de ce groupe textural que le processus de cristallisation fractionnée est observé (figure 4.8). Comme les échantillons Cp et Im montrent plutôt des évidences de mélange, la composition du cumulat ne sera donc pas déterminée.

Comme noté précédemment sur les diagrammes d'oxydes majeurs vs Th (figure 4.9), les échantillons Fp forment des corrélations qui permettent de distinguer des vecteurs de cristallisation qui serviront ensuite à déterminer la composition du cumulat. Cette dernière est déterminée graphiquement avec les valeurs d'oxydes majeurs données par l'ordonnée à l'origine (figure 4.9). Les vecteurs tracés correspondent à la meilleure ligne représentant l'évolution de tous les échantillons telle qu'identifiée visuellement. Chaque vecteur donne la proportion des oxydes majeurs à l'intérieur des phases minérales qui

cristallisent dans le groupe textural Fp. Donc la composition du cumulat, pour les échantillons Fp, telle que déterminée avec les diagrammes de la figure 4.9, est de 61% de SiO<sub>2</sub>, 0,68% de TiO<sub>2</sub>, 16,9% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3,25% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,9% de MnO, 0,85% de MgO, 1,38% de CaO, 3,16% de Na<sub>2</sub>O, 4% de K<sub>2</sub>O et finalement 0,24% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

À partir des éléments qui indiquent la composition du matériel fractionné il est maintenant possible de poser une hypothèse quant aux phases minérales qui ont cristallisé de façon principale dans les sous-groupes Fp (1, 2 et 3). En effet, la détermination de la composition minéralogique peut être effectuée à l'aide d'un calcul de la balance de masse. Dans le cadre de cette étude, ce calcul a été effectué à l'aide du logiciel *CIPW norm calculation* programmé par Kurt Hollocher de *Union College*. Les résultats obtenus indiquent que le cumulat fractionné pour produire les 3 sous-groupes Fp a une composition minéralogique constituée de 34,77% de plagioclase, de 25,65% de sanidine, de 24,07% pour le quartz, de 6,09% pour le pyroxène, de 1,54% pour la magnétite et de 6,07% pour les autres minéraux mafiques. Suite à l'établissement de la composition minéralogique, il est possible d'observer que le plagioclase et la sanidine sont les phases minérales qui ont principalement cristallisées, ainsi que le quartz et le pyroxène, mais ces derniers de façon beaucoup moins importante. Ce qui met en évidence le fait que le plagioclase et la sanidine soient les phases minérales principales qui contrôlent les échantillons Fp, tel que décrit à la section 4.2.2.

Toujours suite à l'observation de ces diagrammes (figure 4.9), on note, que les échantillons des groupes Im et Cp forment une distribution différente. Ce qui indique que les échantillons Cp et Im ne découlent pas du même processus de cristallisation

fractionnée que celui observé dans le groupe Fp mais d'un processus différent. Il est possible de poser une hypothèse quant à la présence d'un processus de mélange entre Fp (3) qui est le sous-groupe de Fp le moins fractionné et les groupes Cp et Im, riches en cristaux de plagioclase et de sanidine. Cette hypothèse qui tente d'expliquer le comportement des échantillons Cp et Im pourra être vérifiée d'une manière plus appropriée à l'aide de l'étude texturale faite avec la méthode de la DTC au chapitre suivant.

## **CHAPITRE V**

### **DISTRIBUTION DE LA TAILLE DES CRISTAUX**

L'étude de la distribution de la taille des cristaux (DTC) constitue une partie très importante de ce projet car c'est à l'aide de cette méthode que les données quantitatives sur les textures seront obtenues. Ces données, jumelées à l'étude géochimique des échantillons, vont permettre de caractériser les processus actifs dans le système volcanique qui est étudié.

#### ***5.1 Théorie de la DTC***

La base de la théorie de la DTC, appliquée à la géologie, a été instaurée par Marsh (1988) à l'aide d'études portant sur des roches ignées (Cashman et Marsh, 1988) et métamorphiques (Cashman et Ferry, 1988). La théorie de Marsh se base sur un système géologique idéal où la quantité de magma qui entre dans le système va être la même que celle qui sort du système. Évidemment, ce comportement ne se retrouve pas dans les systèmes géologiques naturels mais cela permet de développer une équation (5.1) qui va gouverner la théorie de la DTC. Cette équation va faire la relation entre le nombre de cristaux dans le système depuis leur nucléation jusqu'à leur croissance dans un milieu liquide. Voici l'équation simplifiée représentant la théorie de la DTC :

$$(5.1) \quad n = n^0 \exp (-L/G\tau)$$

où :

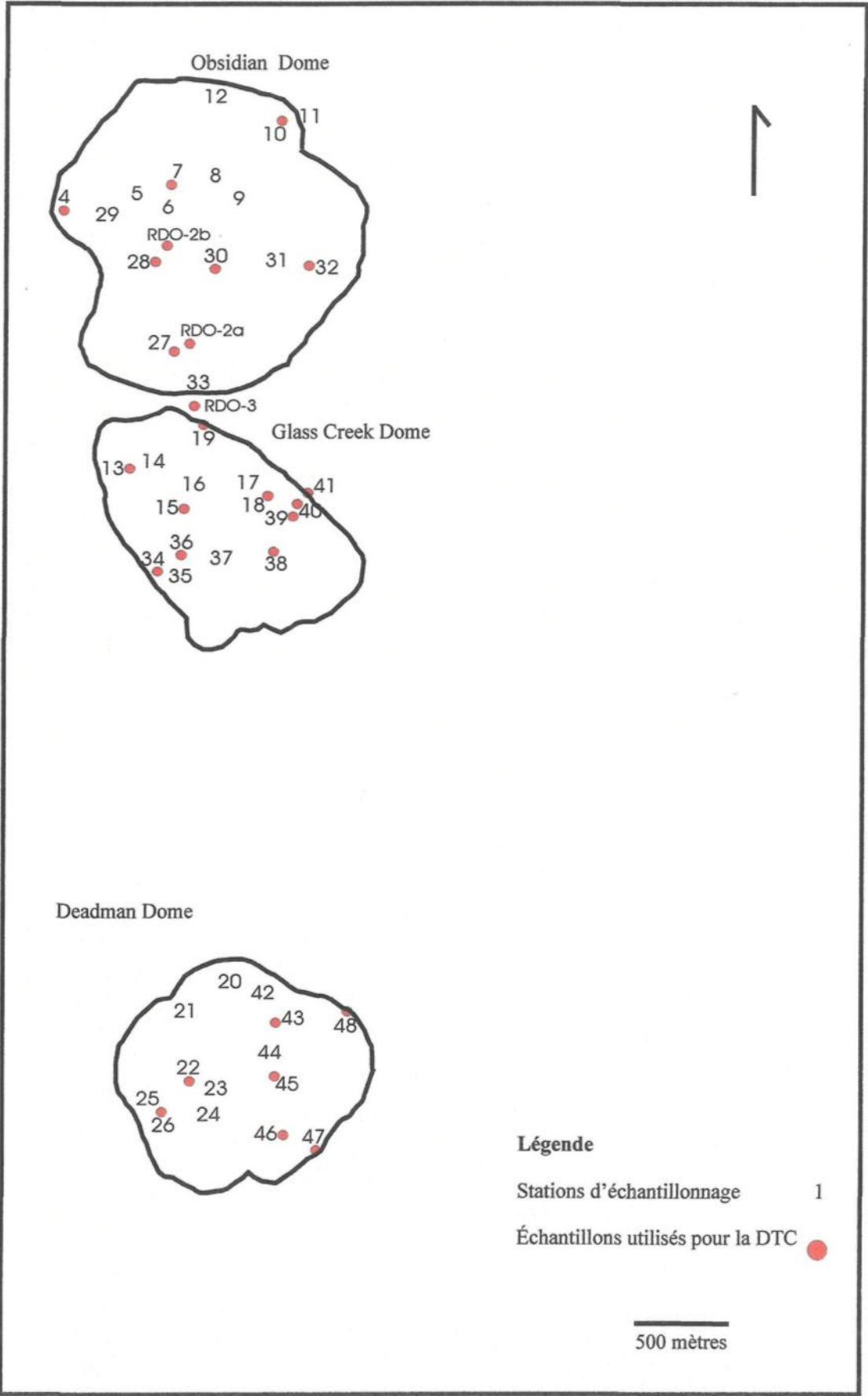
$n$  = densité de population  
 $n^0$  = densité de nucléation  
 $L$  = taille des cristaux  
 $G$  = taux de croissance moyen des cristaux  
 $\tau$  = temps de résidence moyen des cristaux

Cette équation correspond à l'équilibre des populations de cristaux dans un système et tient compte des changements au point de vue du nombre de cristaux et de leur taille en fonction de leur temps de résidence dans le système. Il est toutefois à noter que cette équation représente le comportement idéal d'un système à l'équilibre.

## **5.2 Méthodologie de la DTC**

Bien que tous les échantillons récoltés lors des travaux de terrain ont été analysés par activation neutronique pour de l'étude géochimique, 34 échantillons d'entre eux ont été sélectionnés pour cette partie du projet. Donc, dans le cadre de ce projet, la méthode de la DTC a été effectuée sur 30 échantillons, provenant des travaux de terrain sur les 3 dômes de la chaîne volcanique *Inyo* (*Deadman*, *Obsidian* et *Glass Creek*) et des 3 forages RDO-2a, RDO-2b et RDO-3 (figure 5.1). Il y a aussi 4 échantillons provenant des travaux de Higgins, 1988. Ces 34 échantillons se répartissent ainsi entre les trois groupes texturaux : 21 échantillons Fp (dont 10 des forages) qui sont subdivisés en trois sous-groupes, 9 provenant de Cp et 4 Im ont été analysés par cette méthode.

**Figure 5.1** Localisation des échantillons et des forages utilisés pour la méthode de la DTC. Les points oranges représentent la distribution des échantillons ayant été analysés par la DTC.



L'analyse des échantillons par la méthode de la DTC doit débuter par l'acquisition des données pour ensuite en arriver au traitement des résultats. La méthodologie est expliquée en détail dans les paragraphes suivants.

### 5.2.1 Acquisition des données

L'acquisition des données, pour la méthode de la DTC, s'effectue en deux dimensions parce que, dans le cadre de ce projet, les observations sont faites sur des sections (lames minces). Les données seront ultérieurement transformées pour obtenir des valeurs en trois dimensions qui correspondent au cristal tel que présent dans un échantillon.

Premièrement, certaines lames minces sont sélectionnées suite à leur étude pétrographique (chapitre III). Elle doivent comporter suffisamment de cristaux et contenir le moins de trous ou vésicules possible et ce, afin que la mesure de l'aire de la lame mince soit la plus représentative. Pour chacune des lames minces une mosaïque de photographies (~30 par 45 cm) est prise à l'aide d'un appareil photo adapté sur un microscope optique. Ensuite, à l'aide de la lame mince initiale, les cristaux de sanidine et de plagioclase sont identifiés et numérotés (il est à noter que les minéraux mafiques ne sont pas mesurés). Cette identification s'effectue visuellement à l'aide des caractéristiques optiques des minéraux concernés telles : la couleur, la biréfringence, le clivage et les macles.

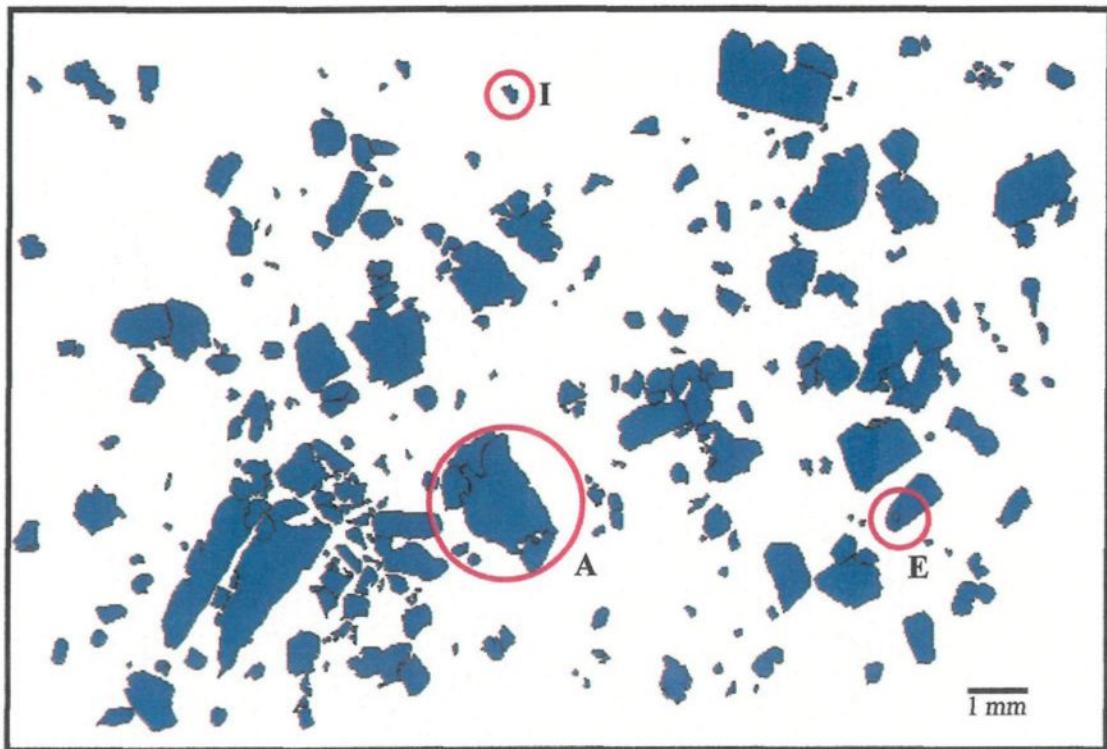
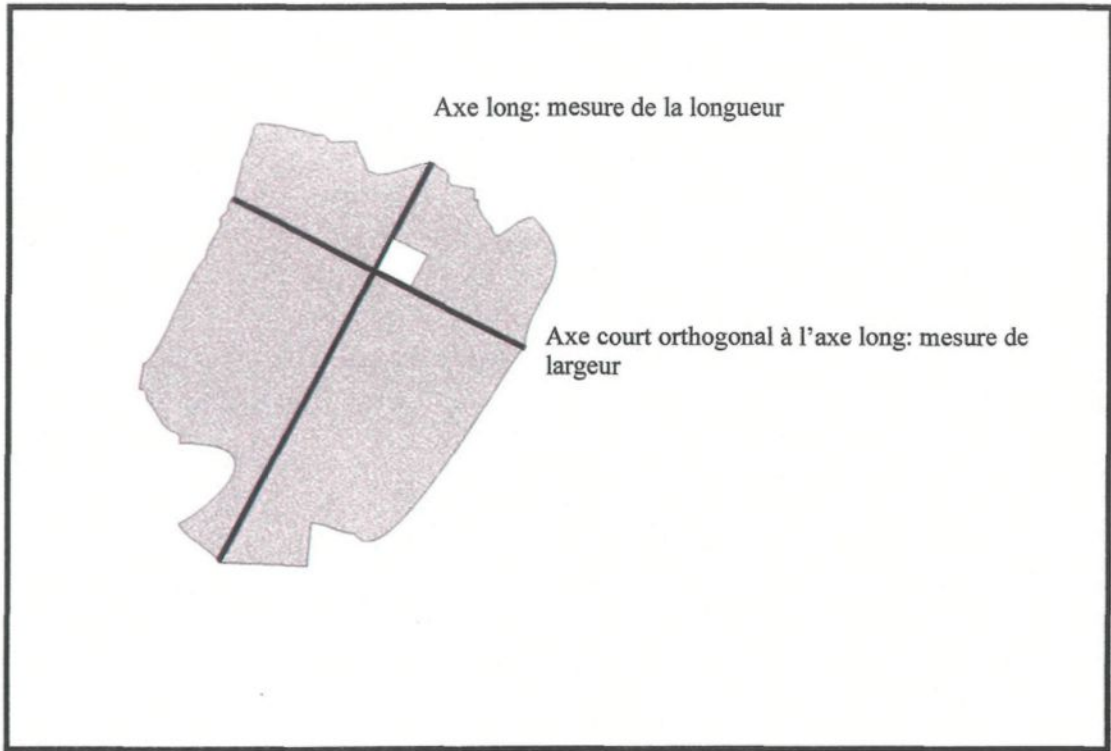


Un critère important à déterminer avant d'entreprendre la numérisation est la taille minimale des cristaux qui, dans le cadre de ce projet, est la limite de mesure imposée par la méthode. Dans ce cas-ci, les cristaux ayant une taille supérieure ou égale à 0,1 mm seront tous pris en considération. Pour les lames minces à l'étude, la plupart des cristaux qui ne sont pas mesurés sont des microlites. La mosaïque peut ensuite être numérisée manuellement sur une table numérisante reliée à un ordinateur. Lors de la numérisation, ce sont les intersections des cristaux avec la surface (plan de la lame mince) qui sont considérées. Ainsi, la longueur, la largeur et le contour de ces intersections sont numérisés. La mesure de longueur et de largeur n'a pas de définition exacte. Il faut donc toujours mesurer les intersections des cristaux selon des critères constants. Pour ce projet, l'axe le plus long a été considéré comme la longueur tandis que l'axe le plus court, orthogonal à la longueur, est la largeur du cristal (figure 5.2). Aussi, il faut prendre en considération que les cristaux qui sont mesurés se trouvent entièrement à l'intérieur de la lame mince ou se trouvent en inclusion dans un cristal plus grand.

À la suite de la numérisation, les résultats sont recueillis dans un fichier qui comprend le numéro du cristal, la largeur, la longueur, l'aire, l'angle, les coordonnées X et Y ainsi que le périmètre de l'intersection de chaque cristal de plagioclase ou de sanidine compris dans chacune des lames minces. Ces résultats peuvent ensuite être traités. Le logiciel *Measure* permet de visualiser l'image de la lame mince ou de faire imprimer sa représentation numérisée sur papier (figure 5.3).

**Figure 5.2** Critères de détermination pour les mesures de longueur et de largeur des cristaux lors de la numérisation. L'axe long correspond à la mesure la plus longue alors que l'axe court est la mesure la plus courte, perpendiculaire à l'axe long.

**Figure 5.3** Exemple de la lame mince de l'échantillon (DM-01-22) numérisée et traitée avec le logiciel *Measure*. Les cristaux sont isolés (I), en amas (A) ou en inclusion (E).

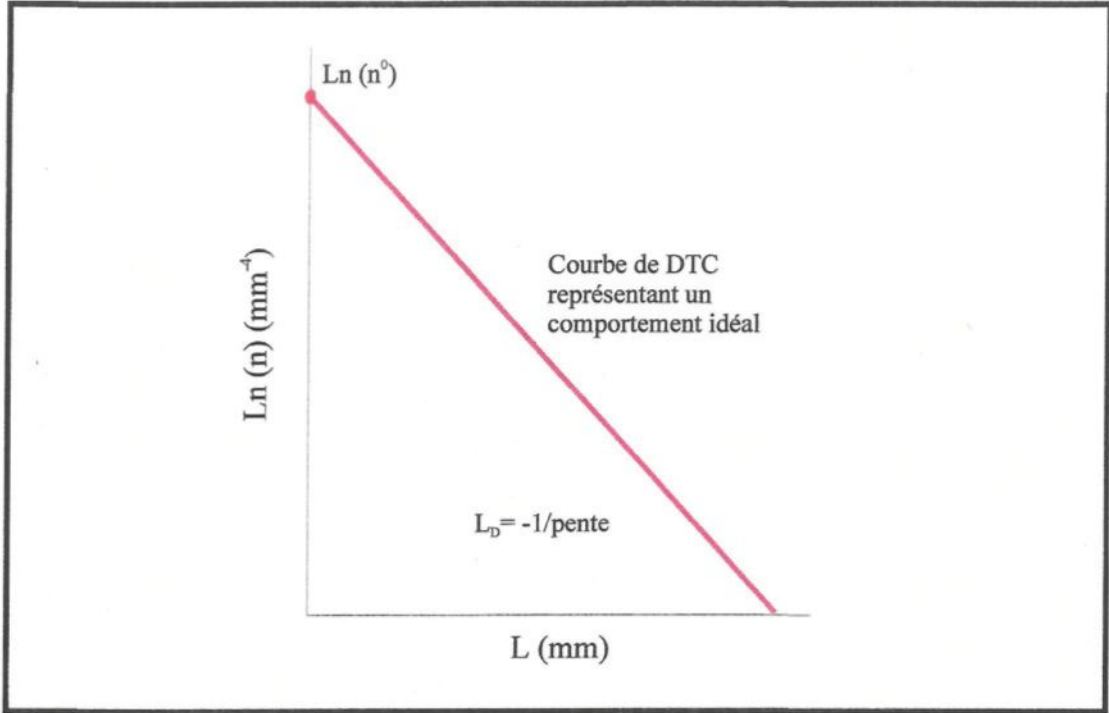


### 5.2.2 Traitement des résultats

Suite à l'obtention du fichier contenant tous les résultats, ces derniers sont transférés dans le chiffrier *Excel* où le traitement des données peut débuter. Il s'agit premièrement d'indiquer le minéral associé à chaque intersection (Sanidine ou Plagioclase), tels qu'ils ont été identifiés visuellement lors de la numérisation, ainsi que leur environnement et caractéristiques principaux (Isolé, Amas, E inclusion, Fracturé) (figure 5.3). Les cristaux isolés ont été numérisés en suivant leur contour, les amas ont été numérisés en suivant le contour de chacun des cristaux qui les composent tandis que les cristaux en inclusion à l'intérieur d'un plus grand cristal ont été considérés alors que les parties d'un cristal fracturé ont été rassemblées pour reformer ce dernier.

Lorsque chaque lame mince a été numérisée et que la liste des paramètres d'intersection de tous les cristaux a été établie, il est ensuite possible de construire les courbes de DTC. Ces courbes sont représentées sur un graphique avec la taille des cristaux ( $L$ ) en abscisse et le logarithme naturel de la densité de population ( $\ln(n)$ ) en ordonnée (figure 5.4). Plus simplement,  $\ln(n)$  représente le nombre de cristaux par taille dans un intervalle donné. L'ordonnée à l'origine correspond à la densité de nucléation ( $\ln(n^0)$ ) alors la longueur caractéristique ( $L_D$ ), dont la signification est expliquée à la section 5.1.2.1, est donnée par :  $-1/\text{pente}$  (figure 5.4).

**Figure 5.4** Graphique représentant une courbe de DTC. La ligne rouge représente une population de cristaux en système idéal (fermé et à l'équilibre).



Les courbes de DTC sont obtenues par le traitement des résultats en 2 dimensions qui sont ensuite convertis en mesures en 3 dimensions à l'aide du logiciel *CSD Corrections 1.3* (Higgins, 2000, 2002a). Cette conversion n'est toutefois pas simple car elle doit prendre en considération deux problèmes importants (figure 5.5) ; l'effet de section coupée (*cut-section effect*) et celui de la probabilité d'intersection (Higgins, 2000). L'effet de section coupée (figure 5.5a) est important car le plan de coupe de l'échantillon passe rarement exactement au centre de chaque cristal. C'est-à-dire que lors de la coupe d'un cristal, la probabilité d'intercepter l'axe intermédiaire (I) est la plus grande. Alors que l'effet de probabilité d'intersection (figure 5.5b) indique que les gros cristaux ont plus de chance d'être intersectés par un plan que les petits cristaux. Il est à noter que cet effet dépend aussi de la forme des cristaux.

Le logiciel *CSD Corrections* utilise donc un algorithme complexe pour résoudre ces problèmes. Il permet aussi de travailler avec des échantillons possédant une fabrique anisotrope si cette dernière est connue ou peut être estimée (Higgins, 2000). Sur l'interface du logiciel (figure 5.6), la fabrique peut être caractérisée comme une foliation, une linéation ou être massive. Il est aussi à noter que tous les paramètres en 3 dimensions ne peuvent être déterminés que si la forme ainsi que l'arrondissement du cristal sont connus. La forme du cristal doit posséder les dimensions ; longue (L), intermédiaire (I) et courte (C), alors que l'arrondissement du cristal reçoit une valeur de 0 pour un cristal anguleux et de 1 pour un cristal arrondi. Dans le cadre de ce projet, le

**Figure 5.5** Problèmes reliés à la conversion 2D à 3D des données (Modifié d'après Higgins, 2000). a) effet de section coupée

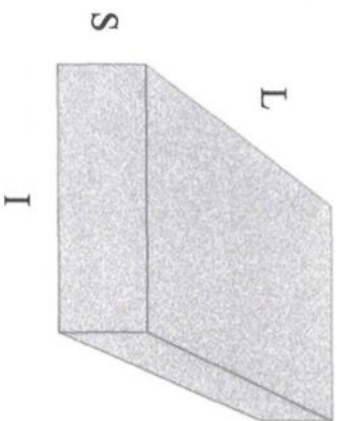
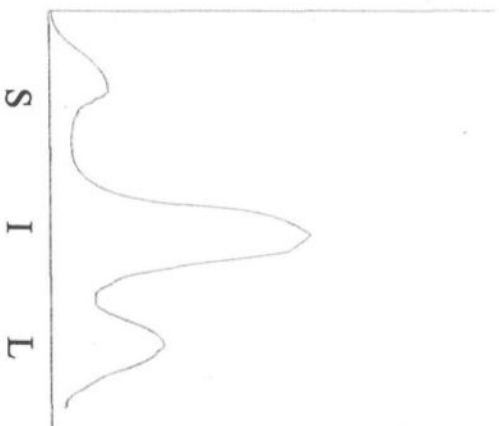
b) effet de probabilité d'intersection



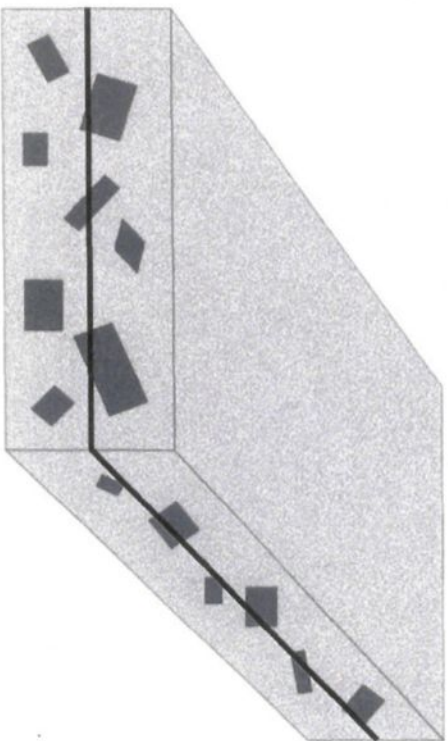
a)

Probabilité d'intersection

Longueur de l'intersection



b)



**Figure 5.6** Interface du logiciel *CSD Corrections* 1.3 , Higgins (2000 ; 2002). La partie du haut correspond aux caractéristiques de la population de cristaux qui est étudiée. La partie du bas indique les résultats obtenus après les corrections et les calculs et ce, de façon numérique et graphique.

Open Save Print Clear Calculate Pop Dens Help A Exit

Parameters and Conversion | Raw Data Entry | Sample Notes

Model Shape:  Block  Ellipsoid 0.0

Shape:  Lengths  Widths

Shape: Short 1.0 Inter Long

Fabric:  Massive  Lineated  Foliated  No Tailing

5000 cycles

3D Data

Mid-Int	Ln(nV)	C-F	Min	Max	Cry num	Vol %	Plot

Total number   Plot line?

Total volume

Regress-intercept

Regress-slope

Regress-volume

Goodness of fit

CSD Diagram

Ln (Population Density)

Corrected Crystal Size

rapport largeur/longueur d'intersection est utilisé afin de déterminer la forme des cristaux, c'est-à-dire les dimensions  $L/I/C$ , pour chaque groupe textural en fonction du minéral (tableau 5.1). Alors que la détermination de l'arrondissement des cristaux est faite visuellement à l'aide des mosaïques de photographies et des lames minces, pour chacun des échantillons analysés.

La méthode utilisée pour obtenir les courbes de DTC peut être résumée avec les étapes suivantes. D'abord, une fois le fichier mis en forme dans *Excel*, les données de longueur pour tous les cristaux de la lame sont copiées et collées dans le logiciel *CSD Corrections* (Higgins, 2000, 2002a). Il est à noter que ce logiciel accepte autant les données de largeur que de longueur. Afin d'obtenir une courbe de DTC, il faut aussi indiquer certains renseignements tels : l'aire de la lame mince numérisée, la forme et l'arrondissement des cristaux ainsi que la fabrique tels qu'expliqués précédemment (figure 5.6). Une fois tous les données et renseignements entrés, ceux-ci vont être transformés de 2 dimensions à 3 dimensions, à l'aide de *CSD Corrections*, pour finalement donner la courbe de DTC.

Toujours dans le logiciel *CSD Corrections*, les courbes de DTC sont faites à partir du nombre de cristaux qui se retrouvent dans chaque classe. Ces classes (en abscisse) correspondent à un intervalle de tailles de cristaux, exprimé en facteur de 10. Elles dépendent de la quantité de données (ou le nombre de cristaux mesurés), de la gamme de tailles de cristaux ainsi que de la méthode de conversion qui est utilisée (Higgins, 2000). Dans ce projet, pour chaque courbe de DTC, quatre classes par facteur de 10 sont utilisées. Il faut aussi porter une attention particulière au nombre de cristaux qu'il y a

**Tableau 5.1**  
Forme des cristaux selon le groupe textural et le type de minéral analysé

Groupes de magma	Minéral		Dimension		
	Plagioclase	Sanidine	Longue	Intermédiaire	Courte
Groupe Fp (1, 2 et 3)	X		1,27	1,14	1
		X	1,42	1,21	1
Groupe Cp	X		1,43	1,2	1
		X	1,51	1,25	1
Groupe Im	X		1,22	1,11	1
		X	1,51	1,26	1

dans chaque classe. En effet, les classes ayant moins de cinq cristaux n'ont pas été considérées car le nombre trop faible de cristaux dans une classe peut influencer le pourcentage volumique qui est calculé par le logiciel.

Finalement, il est à noter que les figures dans lesquelles se trouvent les courbes de DTC sont faites avec le logiciel *Excel*. Les données sont prises dans *CSD Corrections* et ensuite transférées dans *Excel* afin de rendre la manipulation des diagrammes plus facile et d'améliorer la présentation des résultats.

#### 5.2.2.1 Longueur caractéristique

Comme il a été mentionné précédemment, la longueur caractéristique ( $L_D$ ) est un paramètre qui peut être déterminé à partir des courbes de DTC et qui va être utilisé dans la description de ces courbes (section 5.3). La  $L_D$  d'une population de cristaux est la taille de cristaux dominante dans un échantillon. La détermination de la  $L_D$  est faite à l'aide du calcul suivant :  $-1/\text{pente}$ . La pente de la courbe de DTC doit donc être connue. Pour une courbe de DTC droite, qui correspond à un système fermé et à l'équilibre, le calcul de la  $L_D$  est facile car la pente est calculée directement à partir de la courbe de DTC.

Par contre, pour une courbe de DTC concave, qui ne correspond donc plus à un système idéal, une droite qui représente la courbe de DTC doit être définie. Pour ce faire, la pente est donnée par la courbe de tendance, telle que calculée à l'aide du logiciel *Excel*, entre deux limites qui sont caractéristiques pour chaque groupe textural.

Ces limites (inférieures et supérieures) sont déterminées graphiquement à l'aide de deux points qui comprennent toutes les courbes de DTC pour un groupe donné. C'est-à-dire que les valeurs utilisées sont celles entre lesquelles toutes les courbes de DTC (dans chaque groupe) sont comprises (tableau 5.2). Pour ce projet, la pente des courbes de DTC a été déterminée entre les deux mêmes valeurs choisies pour chaque groupe textural (Fp, Cp et Im). Il est à noter que la courbe de tendance qui est utilisée ne représente pas le changement de pente de la courbe réelle de DTC mais plutôt les limites inférieures et supérieures déterminées pour chaque groupe textural (tableau 5.2).

### **5.3 Vérification des mesures de la DTC**

Les courbes de distribution de la taille des cristaux sont effectuées avec les valeurs obtenues avec le logiciel *CSD Corrections*. Il faut toutefois observer les données avec attention afin de ne pas utiliser celles qui ne sont pas représentatives. Pour avoir une idée de la précision des données utilisées, il faut comparer le pourcentage volumique de plagioclase ou de sanidine indiqué par le logiciel *CSD Corrections*, et qui est calculé à partir des données de la DTC, à celui qui est calculé dans le fichier *Excel* de chaque échantillon par sommation des surfaces d'intersection divisée par l'aire totale de la lame mince.

Donc, avant de débiter l'interprétation des courbes de DTC qui ont été établies, une vérification des mesures s'impose afin de contrôler la qualité des résultats avant de

**Tableau 5.2**  
 Limites minimum et  
 maximum pour le calcul de la  
 longueur caractéristique

	Plagioclase (mm)	Sandine (mm)
<b>Fp (1)</b>	0,847 à 0,476	1,59 à 0,501
<b>Fp (2)</b>	0,847 à 0,476	1,59 à 0,501
<b>Fp (3)</b>	0,847 à 0,476	1,59 à 0,501
<b>Cp</b>	2,86 à 0,509	1,63 à 0,29
<b>Im</b>	1,49 à 0,47	2,88 à 0,512

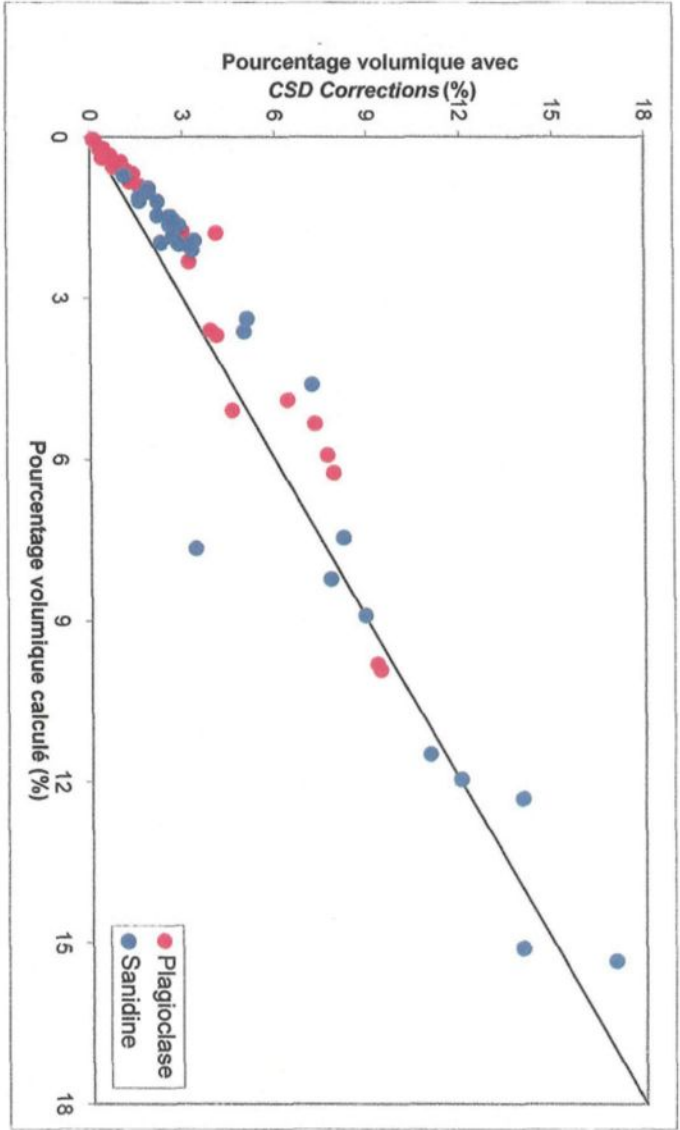


poursuivre l'étude. Pour ce faire, les diagrammes des pourcentages volumiques de la sanidine et du plagioclase calculés dans *Excel* en fonction des pourcentages volumiques de la sanidine et du plagioclase déterminés avec le logiciel *CSD Corrections* sont faits (figure 5.7).

La figure 5.7, permet de visualiser la corrélation entre le pourcentage volumique déterminé avec les données obtenues par numérisation, avec le pourcentage volumique obtenu avec *CSD Corrections*. Ainsi, la corrélation est bonne autant pour le plagioclase que la sanidine et elle est plus forte lorsque les pourcentages volumiques sont plus petits. Donc, il est possible d'observer une meilleure corrélation pour les petits pourcentages volumiques car il y a une moins grande quantité de données pouvant entraîner des erreurs de calcul. Il est à noter que les données, pour la sanidine, sont un peu plus dispersées, de part et d'autre de la ligne de corrélation, que celles du plagioclase. Aussi, il est possible de constater que les pourcentages volumiques déterminés avec *CSD Corrections* sont un peu plus élevés que ceux calculés avec les données de la numérisation.

Suite à l'observation de la figure 5.7, il est possible de constater que, mis à part quelques échantillons faisant exception, tous les autres montrent une bonne corrélation. Ceci indique que les résultats de DTC ont été correctement mesurés (bonne conversion de 2 à 3 dimensions). Donc, les résultats sont prêts pour la description et l'interprétation. Par contre, pour les échantillons montrant des irrégularités, les erreurs dans le pourcentage volumique estimé avec le logiciel peuvent provenir de la grande

**Figure 5.7** Pourcentage volumique déterminé avec le logiciel *CSD Corrections* en fonction de celui calculé à partir des aires totales des intersections des cristaux. Les pourcentages volumiques du plagioclase sont indiqués en rouge et ceux de la sanidine en bleu.



quantité de gros cristaux à l'intérieur de la lame mince, ou d'une erreur dans la première version du logiciel *CSD Corrections* qui a été utilisé.

#### **5.4 Description des courbes de DTC**

Les courbes de DTC de la sanidine et du plagioclase sont semblables bien que le nombre de cristaux de sanidine (moyenne de 140) soit plus élevé que celui de plagioclase (moyenne de 72). Par contre, les courbes montrent des différences lorsqu'elles sont séparées soit par groupes texturaux ou soit par dômes. La description des courbes de DTC est donc faite en suivant la division que celle utilisée au chapitre 4. C'est-à-dire avec les sous-groupes Fp (1, 2 et 3) ainsi qu'avec les groupes Cp et Im. Les principales caractéristiques à observer afin de qualifier les courbes de DTC sont la forme ainsi que la longueur.

##### **5.4.1 Courbes de DTC par groupes texturaux**

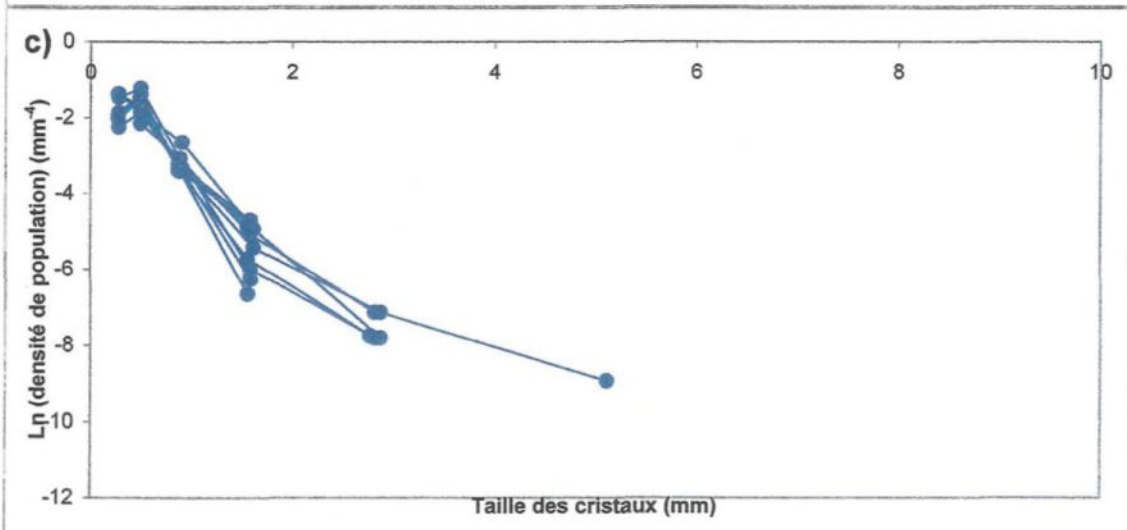
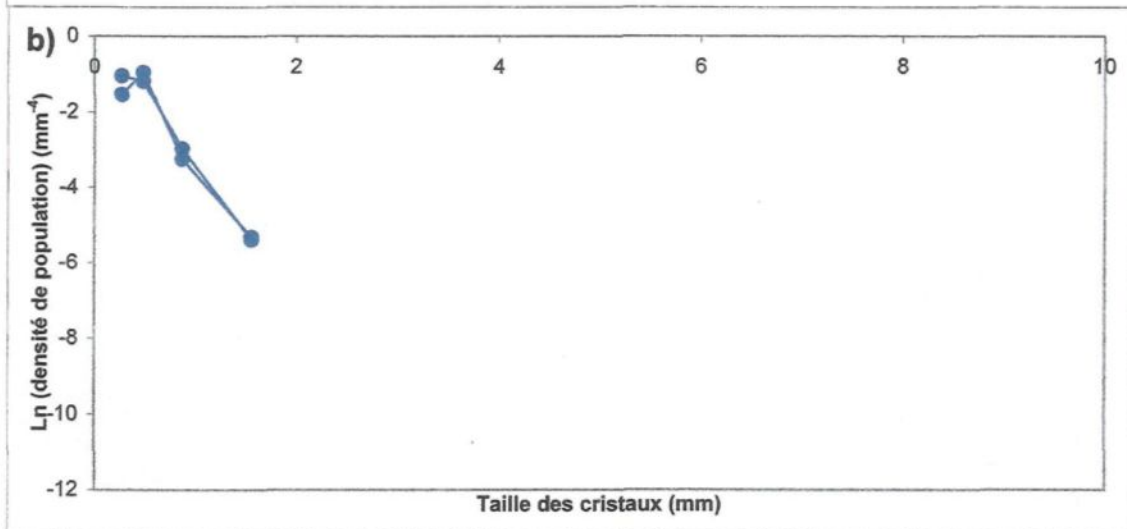
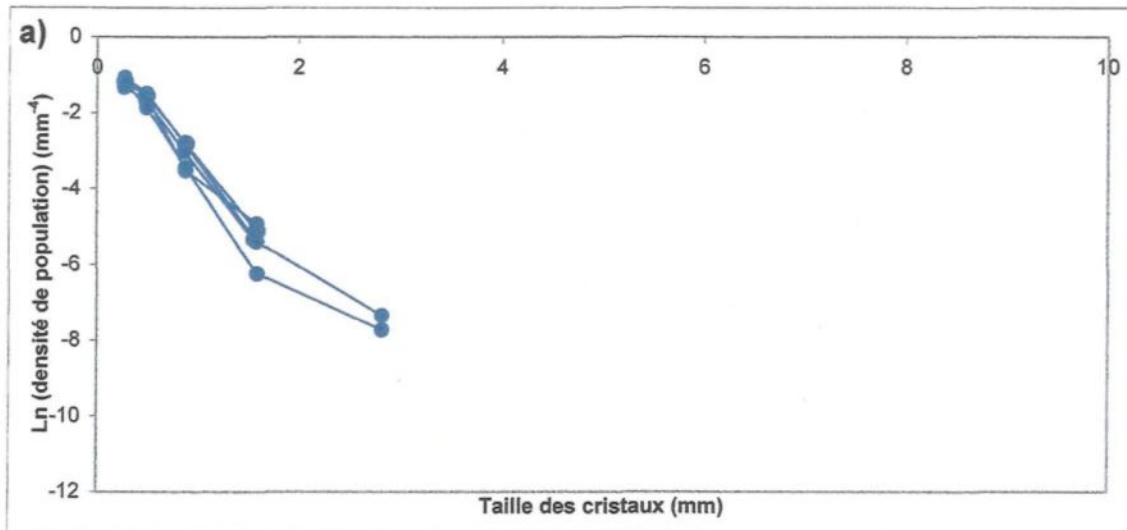
Premièrement, pour Fp (1 et 2) (figures 5.8a, b et 5.9a, b), les courbes sont droites et la longueur des courbes est la plus faible parmi les trois groupes texturaux (Fp, Cp et Im). Pour le Fp (3) (figure 5.8c et 5.9c), les courbes sont droites à concaves et leur longueur est légèrement plus grande que celles de Fp (1 et 2). Les courbes de DTC du groupe Cp (figures 5.8d et 5.9d) ont une forme concave et sont plus longues. Pour le groupe Im (figures 5.8e et 5.9e), les droites de DTC sont concaves et elles ont une

**Figure 5.8** Courbes de DTC de la sanidine (en bleu) pour chaque groupe et sous-groupe texturaux.

a) Fp (1)

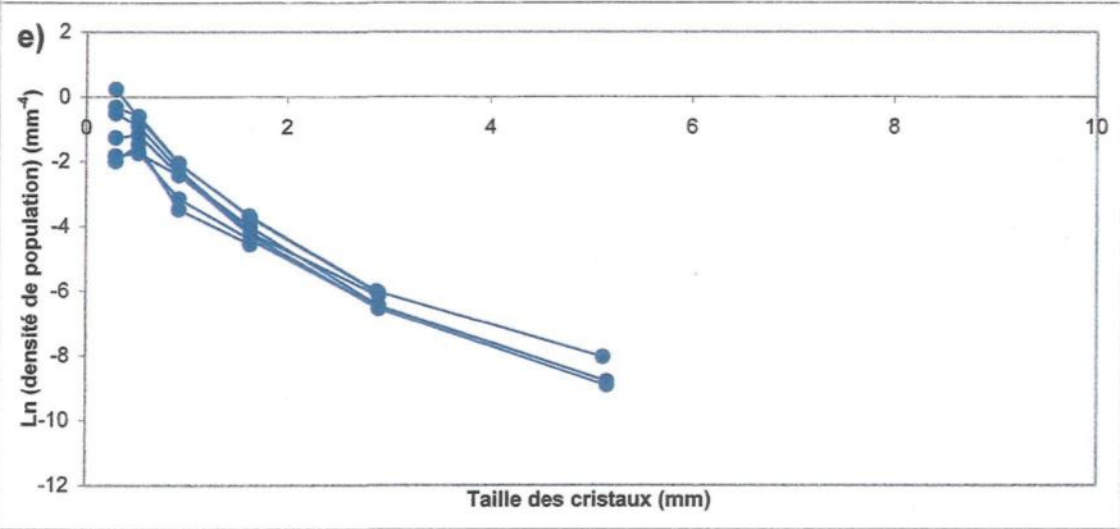
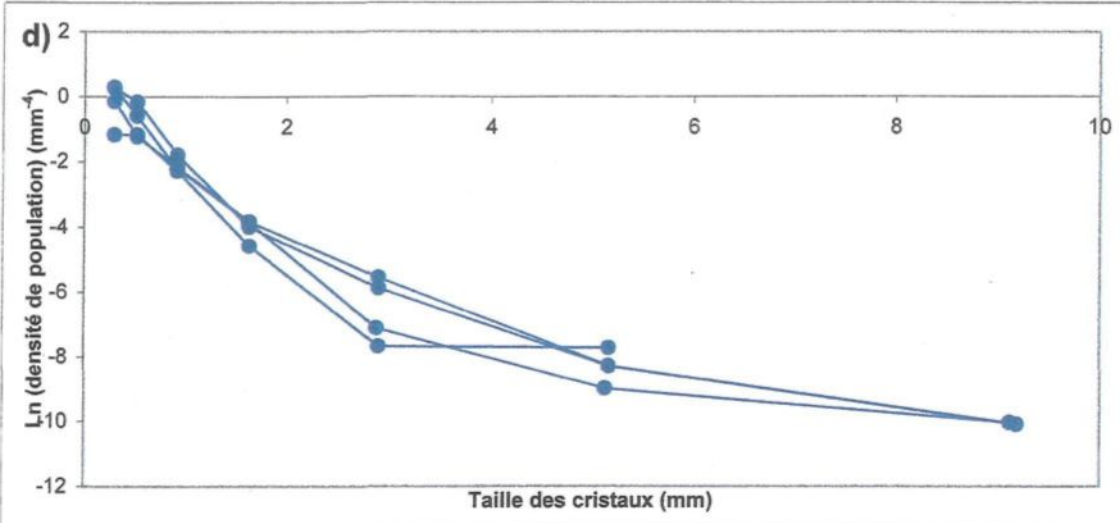
b) Fp (2)

c) Fp (3)



d) Cp

e) Im



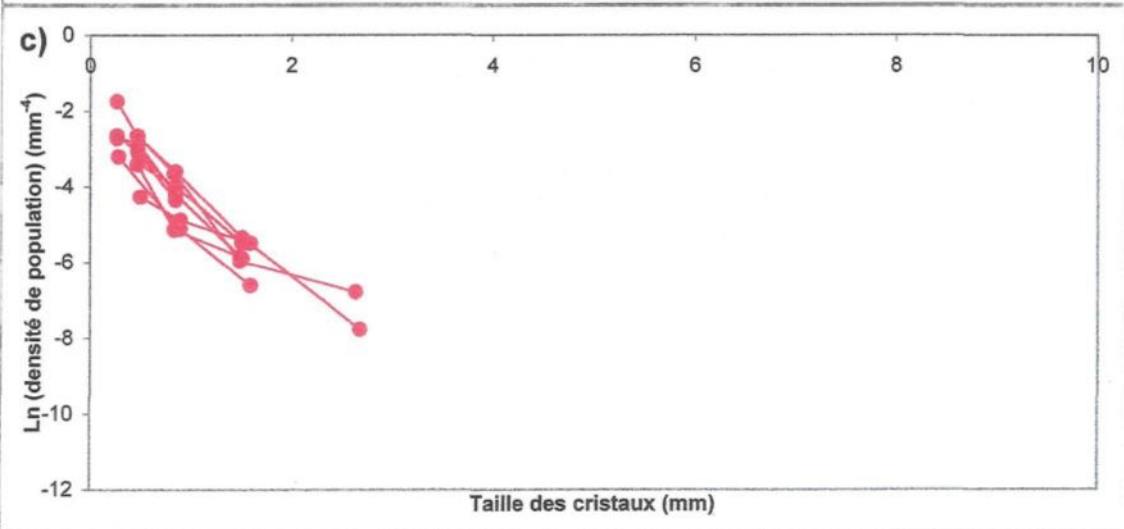
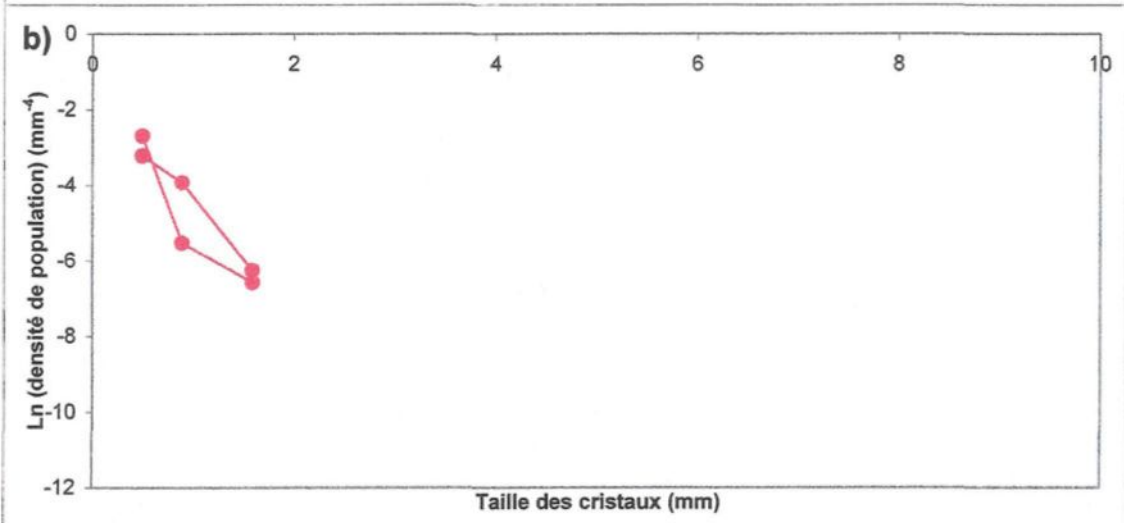
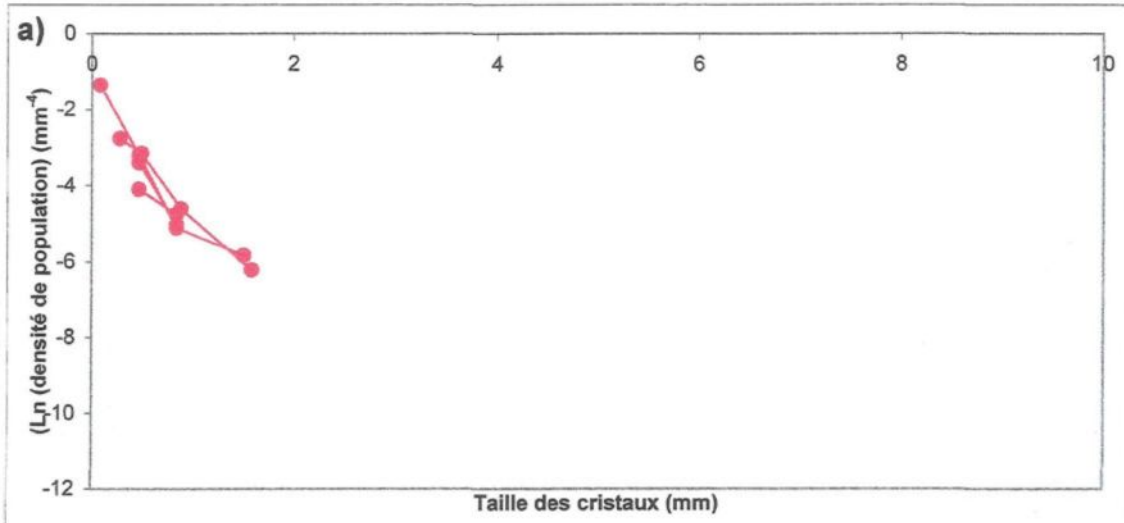


**Figure 5.9** Courbes de DTC du plagioclase (en rouge) pour chaque groupe et sous-groupe texturaux.

a) Fp (1)

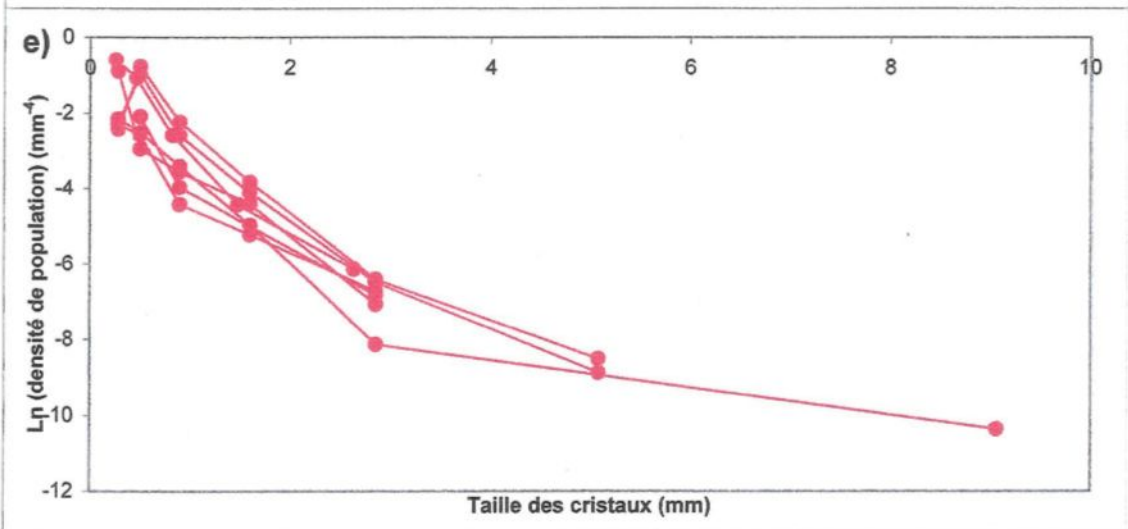
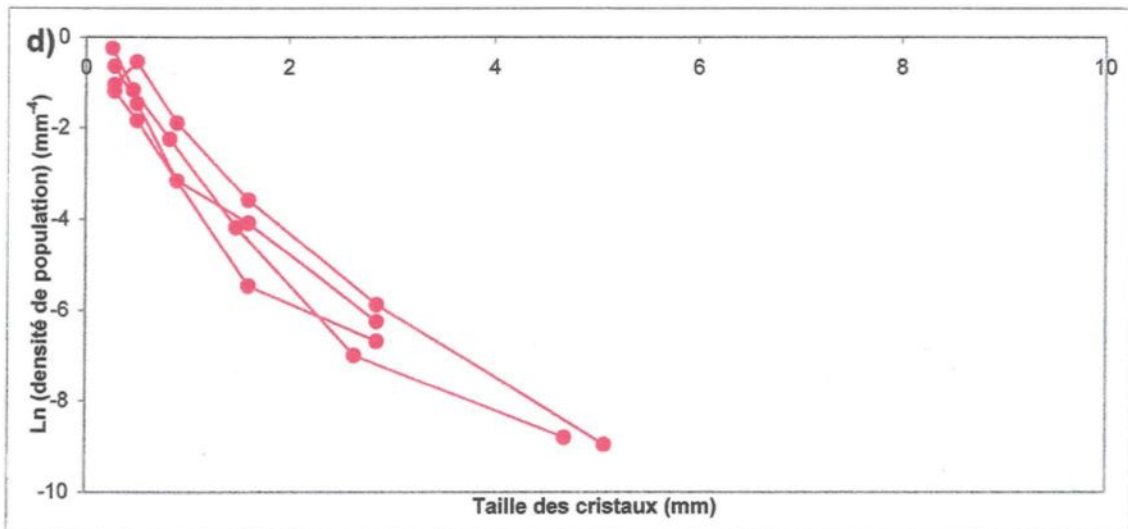
b) Fp (2)

c) Fp (3)



d) Cp

e) Im



longueur moyenne, c'est-à-dire un peu plus courte que celle de Cp (figures 5.8d et 5.9d) et plus grande que celles de Fp (1, 2 et 3) (figures 5.8a, b, c et 5.9a, b, c) . La longueur des courbes de Im est aussi plus grande avec la sanidine (figure 5.8e) qu'avec le plagioclase (figure 5.9e). De plus, comme la densité de population (ordonnée à l'origine) des groupes Cp et Im est plus élevée que celle des trois sous-groupes Fp, ces deux premiers groupes possèdent une plus grande population de cristaux de petite taille.

#### 5.4.2 Courbes de DTC par dômes

Les courbes de DTC des échantillons provenant d'*Obsidian Dome* (figures 5.10a et 5.11a) sont droites à concaves et leur longueur est la plus courte parmi les 3 dômes. Pour *Deadman Dome* (figures 5.10b et 5.11b) et *Glass Creek Dome* (figures 5.10c et 5.11c) les courbes de DTC montrent peu de différences. Elles sont concaves et longues. *Deadman Dome* a tout de même quelques courbes de DTC qui sont plus droites. Il est à noter que, pour les trois dômes, les courbes de DTC sont un peu plus longues pour la sanidine (figure 5.10) que pour le plagioclase (figure 5.11). L'intercepte à l'origine pour les dômes *Deadman* et *Glass Creek* est plus élevée que celle d'*Obsidian Dome*. Ce dernier a donc une plus faible population de petits cristaux.

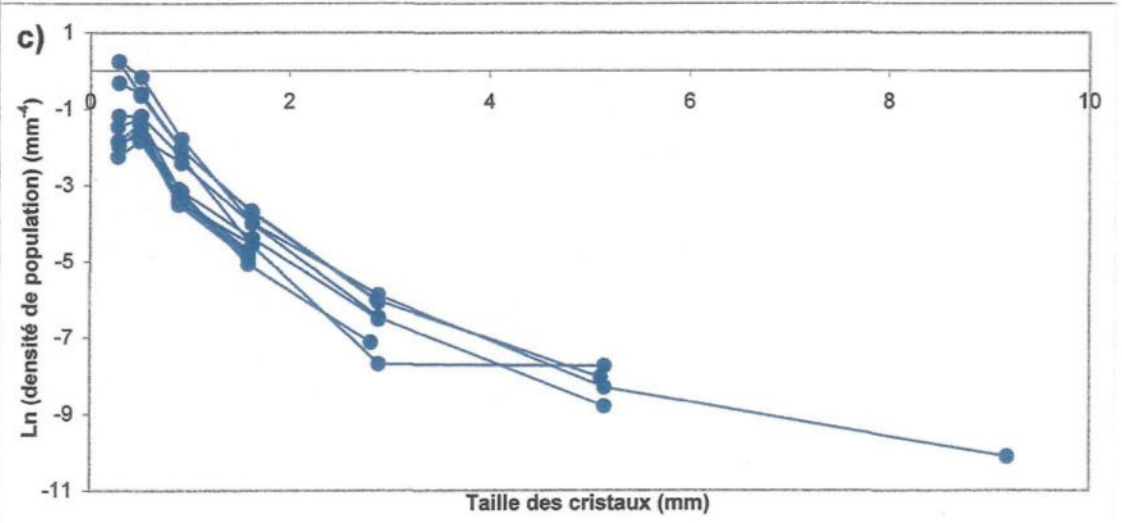
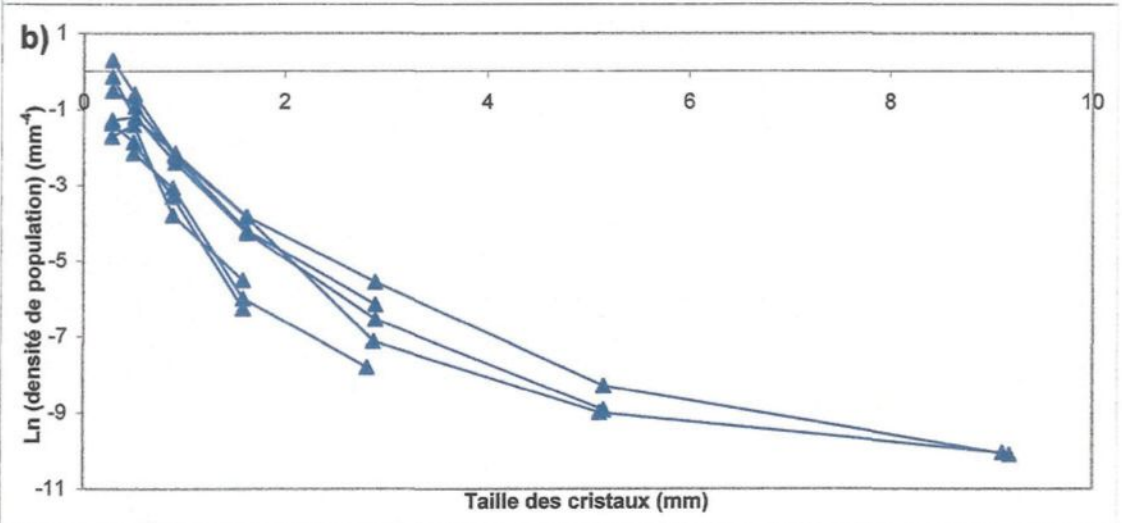
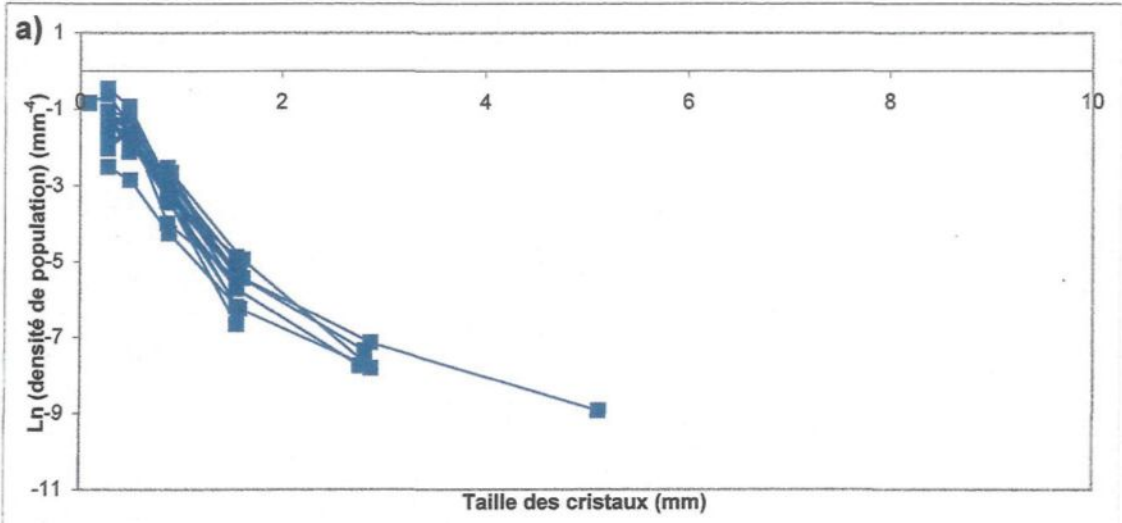
### **5.5 Relation entre le pourcentage volumique et la longueur caractéristique**

La section qui suit va permettre de faire le lien entre le pourcentage volumique et la longueur caractéristique dont les valeurs sont indiquées à l'annexe IV. Il est important de retenir que sur les diagrammes pour les groupes texturaux, quatre échantillons de

**Figure 5.10** Courbes de DTC de la sanidine pour les dômes volcaniques.  
a) *Obsidian Dome* (carrés bleus)

b) *Deadman Dome* (triangles bleus)

c) *Glass Creek Dome* (ronds bleus)

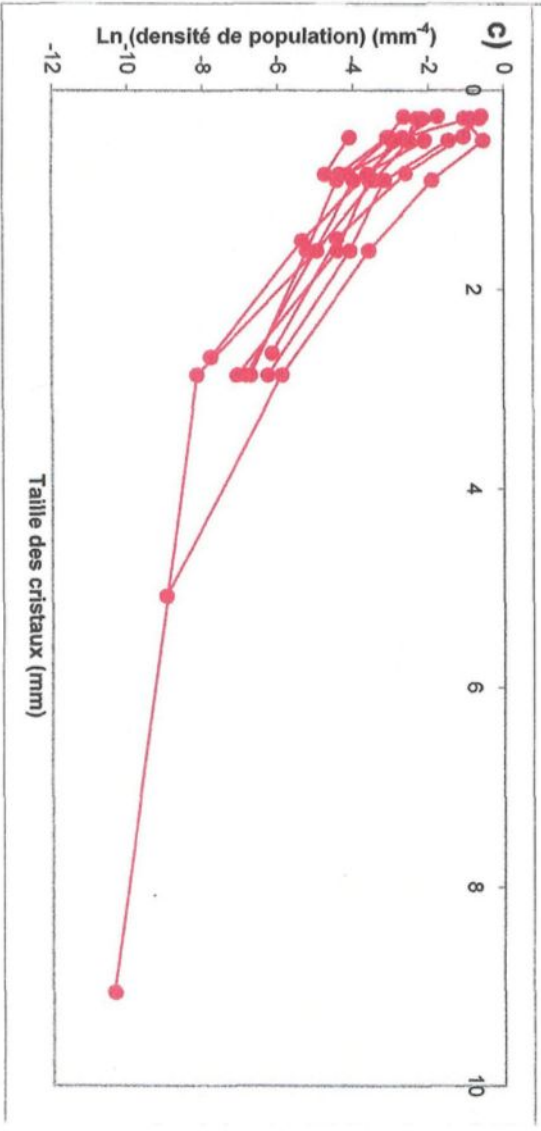
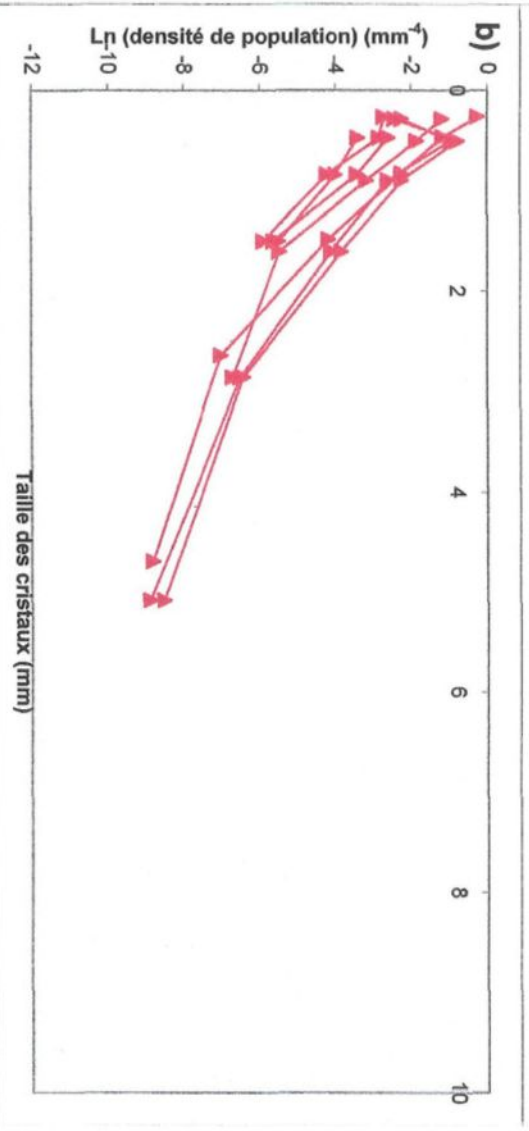
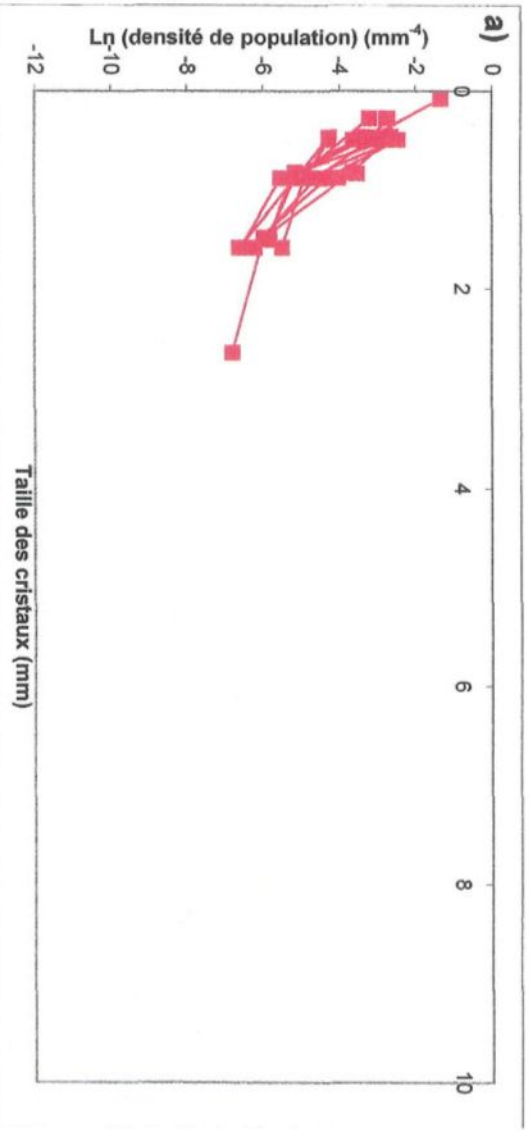


**Figure 5.11** Courbes de DTC du plagioclase pour les dômes volcaniques.  
a) *Obsidian Dome* (carrés rouges)

b) *Deadman Dome* (triangles rouges)

c) *Glass Creek Dome* (ronds rouges)





forage (Fp non-classés dans la figure 5.12) n'ont été placés dans aucun groupe. Et ce, car ces échantillons n'ont pas fait l'objet d'analyses pour le Sc et le Th, qui auraient pu permettre de les classer dans un des 3 sous-groupes Fp.

### 5.5.1 Selon les groupes texturaux

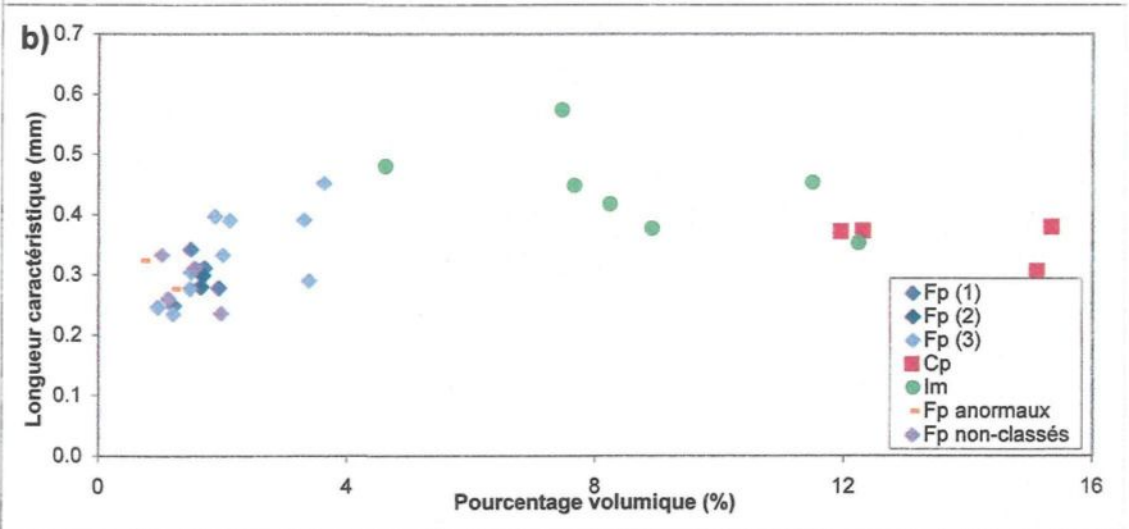
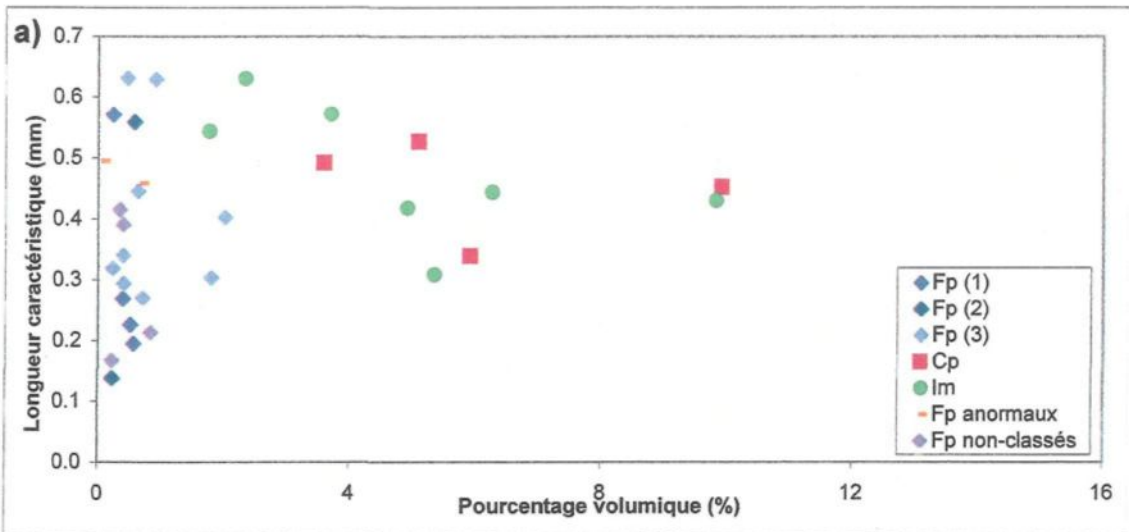
Le graphique du pourcentage volumique de plagioclase en fonction de  $L_D$  (figure 5.12a) indique que pour Fp, le pourcentage volumique est faible et peu variable (0,22 à 2,03%) alors que la  $L_D$  est très variable (0,14 à 0,63 mm). Pour Cp, le pourcentage volumique est élevé (3,61 à 9,92%) et la  $L_D$  passe de moyenne à grande (0,34 à 0,53 mm). Pour Im, le pourcentage volumique est très variable (1,78 à 9,81%) alors que la  $L_D$  est moyenne à élevée (0,31 à 0,63 mm).

Le même graphique avec, cette fois-ci, le pourcentage volumique de sanidine (figure 5.12b) indique que, pour Fp (1 et 2), le pourcentage volumique est faible (1,03 à 1,98%) et la  $L_D$  petite (0,24 à 0,34 mm) et tous les deux sont peu variables. Pour Fp (3), les valeurs du pourcentage volumique et de la  $L_D$  sont plus élevées et plus variables que celles des deux autres sous-groupes de Fp. Ainsi, le pourcentage volumique se situe entre 0,96 et 3,62% alors que la  $L_D$  passe de 0,23 à 0,45 mm. Pour le groupe Cp, le pourcentage volumique est très élevé (11,96 à 15,34%) alors que la  $L_D$  est moyenne et est relativement constante (0,31 à 0,38 mm). Finalement, pour le groupe Im, le pourcentage volumique est assez variable, de moyen à élevé (4,61% à 12,22%) alors que la  $L_D$  est moyenne à élevée (0,35 à 0,57 mm).

**Figure 5.12** Pourcentage volumique en fonction de la longueur caractéristique pour chaque groupe textural selon les deux minéraux étudiés.

a) plagioclase

b) sanidine



Suite à l'analyse des échantillons des dômes *Inyo*, selon la méthode de la DTC, il est possible de constater que les courbes obtenues ne correspondent pas au modèle d'une courbe provenant d'un système idéal à l'équilibre. Certaines modifications ce sont produites afin que les échantillons forment des courbes de DTC qui ne sont pas droites. Les processus qui permettent ces modifications seront donc discutés dans la partie suivante afin de compléter l'étude géochimique dans laquelle un processus de cristallisation fractionnée, présent dans les sous-groupes de Fp, a été identifié.

## CHAPITRE VI

### DISCUSSION

La distribution de la taille des cristaux mise en parallèle avec la géochimie et la pétrologie permettent de dégager les caractéristiques du système volcanique felsique de la chaîne volcanique *Inyo*. Et ce, à l'aide des observations effectuées à l'intérieur de chacun des dômes volcaniques. Les données qui ont été recueillies et traitées peuvent donc maintenant être intégrées afin d'expliquer le comportement du système. Ceci, étant donné la complexité et la diversité du matériel qui constitue le système tant au niveau des différents groupes texturaux présents dans le système ainsi que les relations qui les lient, que des processus qui guident leur comportement.

Comme il a été observé dans les chapitres précédents, trois groupes texturaux ont été distingués à l'aide des observations de terrain et de l'étude pétrologique. Ainsi, les groupes texturaux Fp et Cp, qui avaient déjà été décrits (Bailey, 1984 ; Sampson, 1987) ainsi que le groupe Im (cette étude) ont été identifiés sur le terrain. Afin d'observer les variations spatiales et celles présentes dans les DTC, le groupe Fp a été subdivisé en trois sous-groupes de Fp : (1, 2 et 3).

La localisation des différents groupes texturaux à l'intérieur des trois dômes volcaniques (figure 4.6), qui constituent la chaîne volcanique *Inyo*, sont répartis comme suit : premièrement *Obsidian Dome*, qui se trouve au nord, est uniquement formé par

des échantillons des trois sous-groupes Fp (1, 2 et 3). En effet, tout comme dans les observations de terrain effectuées dans le cadre de ce projet, Sampson (1987) a rapporté l'absence d'échantillons du groupe Cp dans ce dôme. Alors que les deux dômes situés plus au sud, *Glass Creek Dome* et *Deadman Dome*, sont composés principalement d'échantillons des groupes Cp et Im alors que quelques échantillons du groupe Fp (3) se retrouvent à leur périphérie. Il est à noter que leur position par rapport à la caldeira de *Long Valley* n'influence pas leur composition. En effet, *Obsidian Dome* et *Glass Creek Dome* se situent à l'extérieur tandis que *Deadman Dome* est à l'intérieur de la caldeira.

Suite à l'observation et à l'analyse des données qui ont été recueillies tout au long de ce projet, il est possible de constater que deux processus prédominants de cristallisation ont été actifs dans ce système volcanique. Cette discussion permettra donc de dégager les caractéristiques autant du processus de cristallisation fractionnée que celui de mélange, et ce, en s'appuyant sur les données recueillies à partir des échantillons provenant des trois dômes volcaniques.

## **6.1 Cristallisation fractionnée**

### **6.1.1 Processus physique de la cristallisation fractionnée**

La cristallisation fractionnée est un processus qui est produit par un changement de composition d'un liquide. À mesure que les cristaux formés sont enlevés du système, alors des magmas de compositions progressivement différentes seront générés à partir d'un même liquide parental (ou initial). La diminution de la température va être un

facteur menant à la formation de tels types de magma fractionné. Et ce, vu l'augmentation de la cristallisation qui va former des cristaux enrichis en certains éléments et qui va causer un appauvrissement de ces mêmes éléments dans le liquide.

### 6.1.2 Effets minéralogiques

Tout comme pour le processus de mélange, la zonation des cristaux peut être une indication de la cristallisation fractionnée. Dans ce cas, les cristaux de sanidine vont montrer une zonation. En effet, le centre riche en calcium cristallise à haute température alors que la bordure du cristal, riche en Na, va cristalliser lorsque la température va diminuer et que le Ca présent dans le système va être épuisé. Pour déterminer quel processus cause la zonation des cristaux, des analyses à la micro-sonde pourraient être effectuées afin d'identifier la composition à l'intérieur des cristaux de feldspath. Chose qui n'a pas été faite dans le cadre de cette étude.

### 6.1.3 Effets chimiques

Dans une chambre magmatique, la cristallisation fractionnée va aider à la ré-équilibration du magma lors de son ascension jusqu'à la surface. Sur un diagramme de variation X/Y, la cristallisation fractionnée va être montrée par un vecteur d'évolution de la composition formé par une distribution linéaire des échantillons. Les diagrammes montrant un élément majeur (compatible) en fonction d'un élément incompatible, dans ce cas-ci le Th (figure 4.10), vont aussi permettre d'identifier la composition du matériel fractionné (cumulat) et ainsi d'identifier les phases minérales qui ont cristallisées.



#### 6.1.4 Effets sur les courbes de DTC

Comme la distribution de la taille des cristaux se base sur une équation qui permet d'obtenir une courbe de DTC droite représentant un système idéal, le changement dans la forme de cette courbe va provenir de certains processus qui vont modifier l'équilibre du système (figure 6.1). Ce sont les différents processus de cristallisation. Afin de déterminer quels processus ont agi sur les groupes texturaux en présence dans le système, il faut modéliser les courbes de DTC qui ont été obtenues. La forme des courbes de DTC permet ainsi d'identifier les caractéristiques propres à chaque processus. Les principales formes observées ainsi que leurs caractéristiques principales sont indiquées à la figure 6.1.

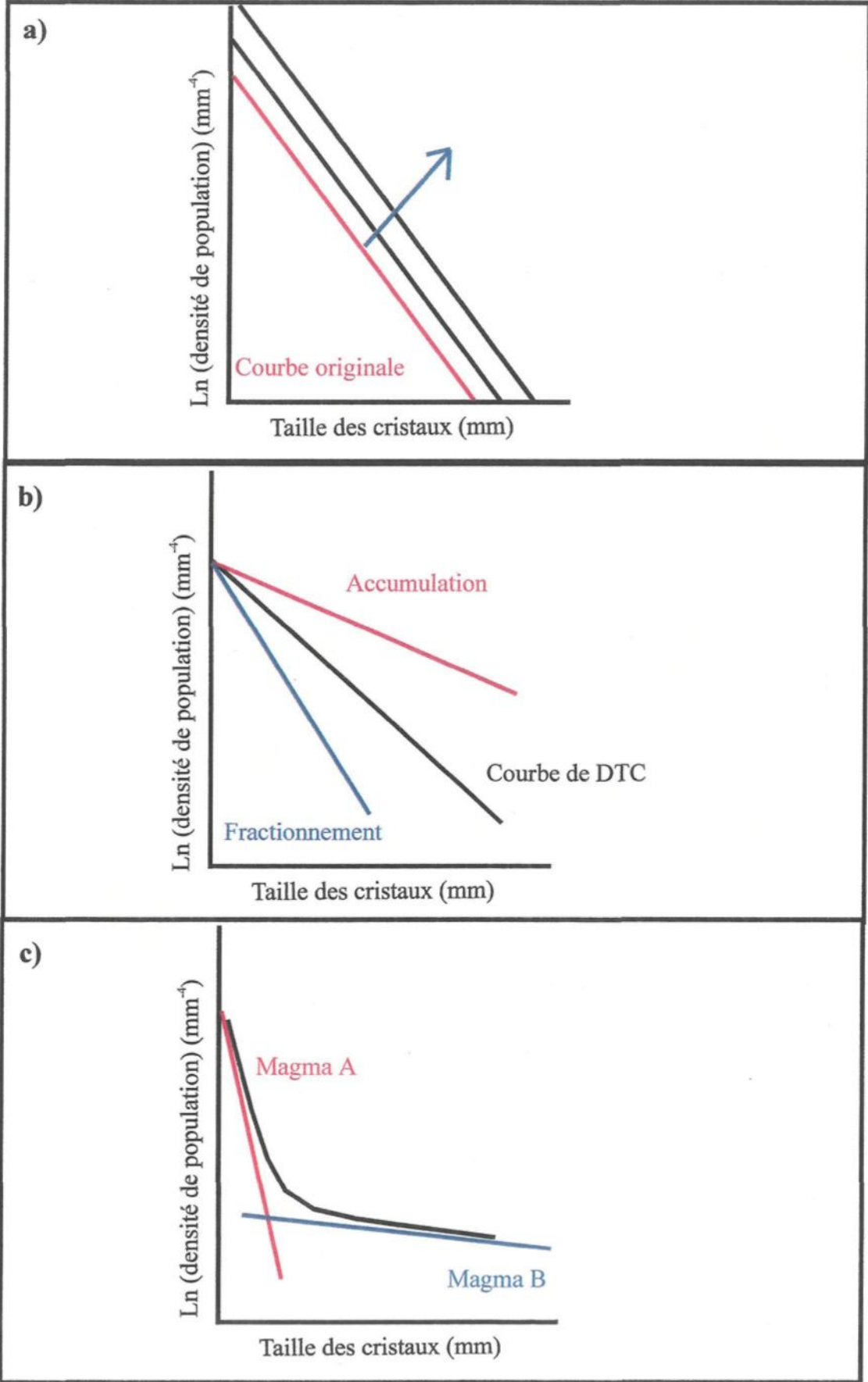
Suite au développement de la théorie de la DTC, Marsh (1998, 1988) a été en mesure d'observer les relations des courbes de DTC pour des roches volcaniques ayant subi un processus de fractionnement. Ainsi, contrairement à des courbes linéaires qui demeurent parallèles (aucun changement de pente) et qui représentent un processus simple de nucléation et de croissance (en système idéal) (figure 6.1a), le processus de fractionnement est représenté par un changement de pente de la courbe de DTC. Il est à noter que la présence d'une courbe de référence, représentant un matériel n'ayant subi l'effet d'aucun processus, n'est pas toujours présente dans un diagramme de DTC. Ainsi, une courbe de référence peut être déterminée si les paramètres correspondants au matériel initial sont identifiés (ce qui n'est pas toujours possible). Toutefois, la courbe de référence peut aussi provenir d'un échantillon qui a subi un minimum de transformation relativement au processus qui affecte le système.

**Figure 6.1** Modèles des courbes de DTC pour différents processus qui modifient le système (Modifié de Higgins, 2002b).

a) croissance de cristaux

b) fractionnement et accumulation

c) mélange



Sur un diagramme de DTC, le fractionnement et l'accumulation s'observent par une rotation de la courbe de DTC autour d'un même point (point de rencontre de toutes les courbes de DTC sur un même diagramme), c'est-à-dire que la pente va être modifiée (figure 6.1b) (Higgins, 2000 ; Marsh, 1998). Une augmentation de la pente suggère un fractionnement (moins de gros cristaux) alors qu'une diminution de la pente indique plutôt une accumulation de cristaux de grande taille. Le processus de mélange de magma (figure 6.1c) va être expliqué à la section 6.2.4.

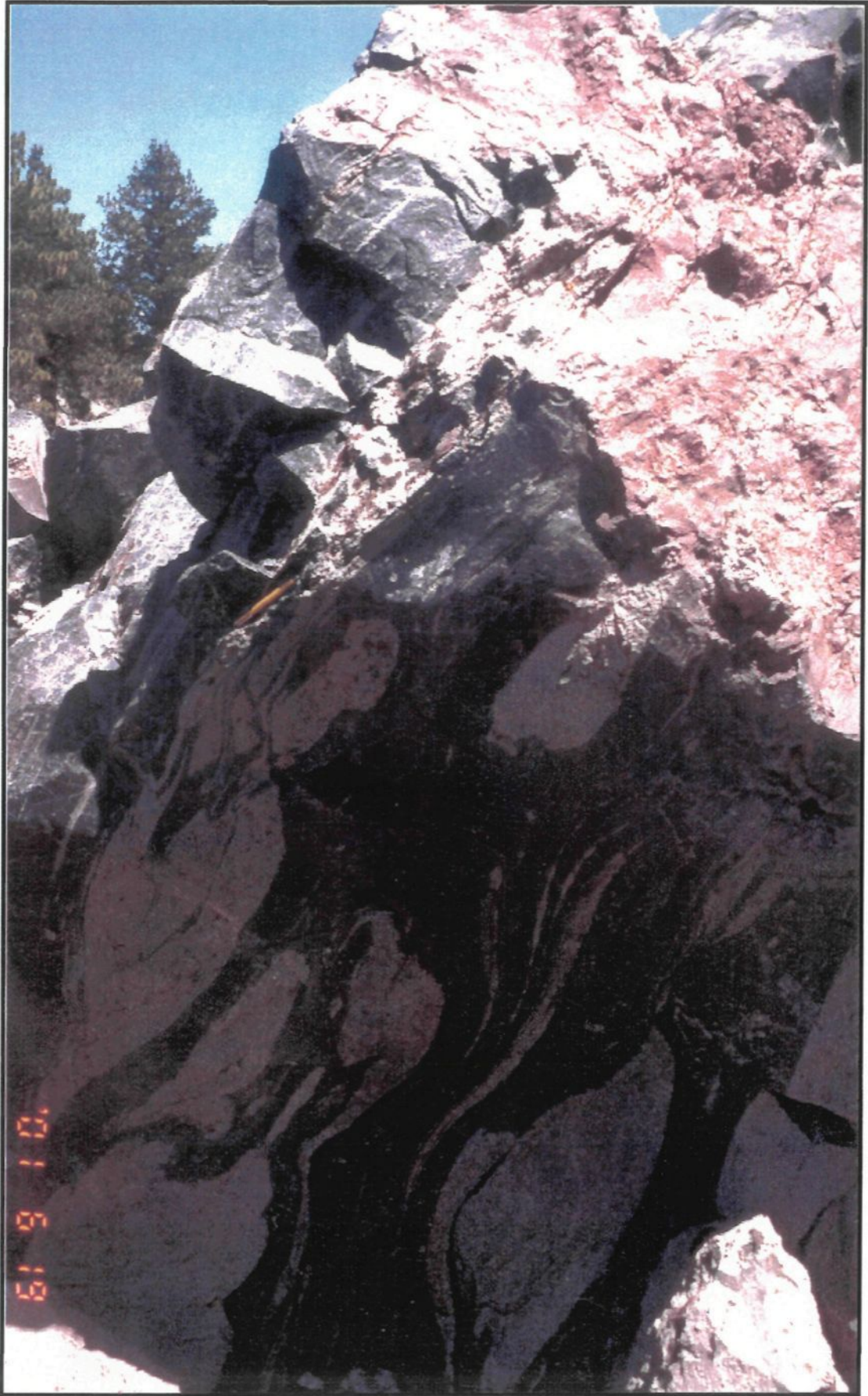
## **6.2 Mélange**

### **6.2.1 Processus physique de mélange**

Le mélange de magmas dépend des propriétés physiques tels : la viscosité, la densité, température, la composition et le contenu en volatiles. Donc, moins il y a de différences entre la composition chimique des magmas moins le contraste des propriétés physiques est important. Dans le cas du mélange de deux ou plusieurs magmas rhyolitiques, il faut s'attarder à la viscosité qui est très élevée (entre  $10^8$  et  $10^{14}$  Pa·s). De plus, un mélange de magmas rhyolitiques qui proviennent de sources différentes ne peut s'effectuer directement dans la chambre magmatique. Le conduit qui emmène le matériel près de la surface est donc un lieu favorable au mélange de différents magmas qui utilisent ce même conduit simultanément pour se mettre en place à la surface.

Le processus de mélange de rhyolite ayant des textures différentes peut être observé sur les affleurements (figure 6.2). Il faut par contre faire attention à l'échelle

**Figure 6.2** Mélange entre le matériel Cp et celui Fp. Affleurement DM-01-19 qui se retrouve dans Glass Creek Dome, mélange de Cp plus visqueux et plus vésiculaire (rose) dans Fp (noir).



d'observation qui est utilisée. En effet, la conception peut être fautive tout dépendant si l'échelle est centimétrique ou métrique. À petite échelle, il est possible d'observer l'homogénéité à l'intérieur d'un même groupe textural et ce, malgré que la distribution des cristaux à l'intérieur de ce dernier peut causer une hétérogénéité. À plus grande échelle (dans un dôme en entier), l'hétérogénéité provient de la juxtaposition de matériel provenant de groupes texturaux différents.

### 6.2.2 Effets minéralogiques

Comme il a été noté précédemment, le processus de mélange peut être observé à l'échelle de l'affleurement ou de l'échantillon. Mais lorsque les observations permettent de déterminer les effets qu'il va produire sur les différents minéraux présents dans les échantillons, l'échelle d'observation devient petite (microscopique). Un effet important est la présence d'une texture de zonation visible sur les cristaux ainsi que la résorption à l'intérieur de phénocristaux, ce qui indique que le système n'est pas en équilibre. La zonation des cristaux, causée par le mélange, va être indiquée par des bandes de différentes compositions qui vont se succéder et ainsi refléter les différentes compositions des liquides qui ont été mélangés. Une autre évidence importante est la présence de populations de cristaux de tailles différentes, pour certains minéraux qui se retrouvent dans un échantillon. Ces populations différentes peuvent être visibles sur l'échantillon macroscopique et aussi lors de l'étude pétrographique.

### 6.2.3 Effets chimiques

Le processus de mélange de magmas peut être observé, au point de vue géochimique (à l'échelle des éléments qui constituent la roche) sur des diagrammes de variation X/Y. Dans ces diagrammes un élément compatible est placé contre un élément incompatible. Le mélange sera donc indiqué par une ligne courbe qui relie les échantillons entre eux et qui va représenter un étalement des échantillons selon deux vecteurs de composition (qui représentent les 2 liquides mélangés) qui vont former une distribution courbe.

### 6.2.4 Effets sur les courbes de DTC

Le processus de mélange a été identifié par Higgins (1996b), suite à des observations effectuées sur des échantillons provenant du volcan Kameni en Grèce. Des courbes de DTC qui représentent le processus de mélange devront donc montrer une forme fortement concave. Ce processus sera alors visible si une courbe de DTC montre un changement de pente et que la modélisation peut être faite avec deux droites consécutives (représentant les populations de cristaux deux magmas distincts) ayant des pentes différentes (figure 6.1c).

## **6.3 Discussion des données selon les deux processus de cristallisation**

La discussion des données est effectuée pour le processus de cristallisation fractionnée et ensuite pour celui de mélange. En premier lieu, pour chacun de ces



processus, les trois sous-groupes Fp (1, 2 et 3) seront discutés. Suivra la discussion pour les trois groupes texturaux (Fp, Im et Cp).

### 6.3.1 Sous-groupes Fp

#### 6.3.1.1 Cristallisation fractionnée

Premièrement, au point de vue des effets minéralogiques, la zonation des cristaux peut être un effet de la cristallisation fractionnée. Donc, comme noté précédemment (chapitre 3), les sous-groupes Fp (1, 2 et 3) montrent une zonation plus ou moins forte des cristaux de feldspath dans certains ou plusieurs de leurs échantillons. Comme l'analyse pour déterminer la composition à l'intérieur des minéraux n'a pas été effectuée, il faut utiliser les effets chimiques ainsi que la DTC pour extrapoler le processus qui est dominant pour chaque groupe.

Les effets chimiques de la cristallisation fractionnée sont visibles sur les diagrammes de géochimie qui ont été fait au chapitre 4. Premièrement, il est possible de constater que les trois sous-groupes Fp montrent des évidences de cristallisation fractionnée (figure 4.8). En effet, la modélisation du fractionnement indique que les échantillons de Fp (1) sont les plus fractionnés suivit de ceux de Fp (2) alors que les échantillons de Fp (3) montrent le moins de fractionnement. Les diagrammes d'oxydes majeurs en fonction de Th (figure 4.9) permettent aussi de constater que le processus de cristallisation fractionnée est présent pour les sous-groupes de Fp. En effet, il est possible d'observer que les échantillons de Fp (1, 2 et 3) forment des corrélations qui permettent de

déterminer des vecteurs de cristallisation. La composition du cumulat, provenant du fractionnement du magma Fp, indique principalement une séparation du plagioclase et de la sanidine. Ce qui correspond aux phases minérales étudiées lors de ce projet. Le fractionnement de ces deux minéraux est donc une évidence que ce processus a bien été actif dans les échantillons Fp du système volcanique *Inyo*. Aussi, la composition minéralogique des principales phases observées a été déterminée à l'aide de l'étude pétrographique où la sanidine, le plagioclase et le pyroxène sont les principales phases identifiées.

Pour ce qui est de la DTC, les évidences de la cristallisation fractionnée peuvent être observées plus particulièrement dans Fp (1). La figure 5.8a montre les courbes de DTC de la sanidine de Fp (1) qui subissent une rotation autour d'un même point et par le même fait, un changement de pente. Pour Fp (2) (figure 5.8b, pour la sanidine et figure 5.9b pour le plagioclase), la faible quantité de cristaux ne permet pas d'établir clairement le processus de cristallisation. En effet, l'étude de la DTC demande une certaine quantité de cristaux afin d'obtenir des courbes représentatives et utilisables. Ceci a été difficile pour les échantillons Fp comme ce dernier a été déterminé avec une quantité de phénocristaux inférieure à 5%.

#### 6.3.1.2 Mélange

Comme il a été mentionné précédemment, certaines évidences minéralogiques permettent de déterminer si le processus de mélange a été actif dans des échantillons donnés. Ainsi, dans les sous-groupes Fp, Fp (1) possède quelques échantillons montrant

des cristaux de feldspath zonés tout comme dans Fp (2). Pour ce qui est de Fp (3), la majorité des échantillons possèdent des cristaux zonés en plus d'une texture graphique. Alors que cette dernière est beaucoup moins fréquente dans les deux premiers groupes. Toujours au niveau minéralogique, il est à noter que parmi les sous-groupes Fp, seul Fp (3) possède du quartz. Chose à considérer car ce minéral n'a pas été observé dans les échantillons du groupe textural Fp tels que définis par Sampson (1987). Finalement, il est possible d'observer que les échantillons des sous-groupes Fp ne montrent généralement qu'une seule population de cristaux.

Dans le chapitre portant sur la géochimie, aucune évidence de mélange, pour les échantillons des trois sous-groupes Fp, n'a été observée. En effet, les échantillons de ces trois groupes montrent bien une relation, mais cette dernière n'indique pas que le processus de mélange ait été un facteur important dans leur évolution.

Les courbes de DTC effectuées sur les échantillons Fp ne permettent d'identifier le processus de mélange qu'à l'intérieur de Fp (3). En effet, dans les groupes Fp (1 et 2), les courbes de DTC sont droites et montrent, par le même fait, qu'une seule population de cristaux (figures 5.8a, b et 5.9a et b). Cette dernière est constituée de cristaux de petite taille et d'une quasi-absence de cristaux de grande taille. Il est aussi à noter que leur longueur caractéristique est courte et assez variable (entre 0,14 et 0,63 mm). Pour ce qui est de Fp (3), les courbes de DTC ont une forme faiblement à moyennement concave qui suggère le mélange de deux populations de cristaux (figures 5.8c et 5.9c).

En somme, il est maintenant possible d'établir que dans les trois sous-groupes du Fp, il y a plusieurs évidences indiquant que le processus de cristallisation fractionnée a opéré. Ces évidences proviennent principalement de l'étude géochimique. Il n'y a donc pas de différence entre les sous-groupes Fp au point de vue de la géochimie. Par contre, il est possible d'observer une différence entre Fp (1 et 2) comparativement avec Fp (3), au niveau de la DTC. En effet, cette dernière montre des indications d'un mélange à l'intérieur du sous-groupe Fp (3).

### 6.3.2 Groupes texturaux Fp, Im et Cp

#### 6.3.2.1 Cristallisation fractionnée

Tout d'abord, pour les effets minéralogiques de la cristallisation fractionnée, il est encore une fois à noter la présence de zonation des cristaux de feldspaths, à l'intérieur des échantillons des trois groupes texturaux. Aussi, l'étude pétrologique des échantillons permet de distinguer une minéralogie propre à chacun de ces trois groupes. Ainsi, ils contiennent des cristaux de sanidine, plagioclase et biotite. Par contre, Fp contient aussi du pyroxène,  $\pm$  hornblende et des traces de quartz, alors que Cp contient de la hornblende et de traces de quartz et que Im contient du quartz et des traces de pyroxènes.

L'étude géochimique permet d'identifier la cristallisation fractionnée à l'intérieur du groupe Fp (section 6.3.1.1). Par contre, les groupes Cp et Im ne montrent pas d'évidences de fractionnement ou d'accumulation. L'utilisation de la DTC peut donc aider à déterminer si ce processus a joué un rôle important.

Donc, pour ce qui est des évidences du fractionnement du plagioclase et de la sanidine dans les courbes de DTC, il faut noter qu'elles sont peu visibles. La présence d'un tel processus serait indiqué par un changement de pente ainsi qu'une rotation des courbes de DTC autour d'un même point. Ce changement de pente peut être observé dans les courbes de la sanidine, à la figure 5.8c et d, mais de façon peu convaincante. Alors qu'il est absent des courbes de DTC du plagioclase (figure 5.9c et d). Les évidences de DTC pour la cristallisation fractionnée dans les groupes Cp et Im peuvent avoir été oblitérées par un autre processus comme le mélange (discuté à la section suivante).

#### 6.3.2.2 Mélange

Les effets minéralogiques du mélange sont différents de ceux observés précédemment, dans les échantillons du groupe Fp. En effet, tout comme il a été observé dans les échantillons Fp, ceux des groupes Cp et Im montrent une zonation des feldspaths. Par contre, il est aussi à noter la présence d'une texture de résorption qui est seulement présente dans les échantillons de Im et Cp. De plus, autant pour Im que Cp, il est possible d'observer en lame mince ou en macroscopie des populations de cristaux de différentes grosseurs.

Les évidences géochimiques de mélange à l'intérieur des trois groupes texturaux (Fp (3), Im et Cp) sont indiquées à la figure 4.7. Les trois groupes texturaux montrent un liquide initial similaire mais l'ajout d'un autre liquide très riche en cristaux de

plagioclase, et de sanidine pour les groupes Cp et Im peut expliquer la différence entre les échantillons de ces différents groupes.

Les évidences de la DTC comme appui à la présence du processus de mélange à l'intérieur des trois groupes texturaux sont importantes et plus concluantes que celles obtenues avec l'étude géochimique. En effet, en observant les courbes de DTC des groupes Fp (3), Cp et Im (figures 5.8c, d, e et 5.9c, d, e), il est possible de constater qu'elles ont toutes une forme concave. C'est-à-dire qu'elles sont composées de deux populations de cristaux ayant des tailles différentes. Comme noté suite à l'étude géochimique, une population semble provenir d'un liquide initial (Fp (3)) auquel est ajouté un autre liquide riche en cristaux de plagioclase et de sanidine (Cp et Im)).

Aussi, la longueur caractéristique de Fp (3), Cp et Im est plus élevée que celle observée dans les sous-groupes Fp (1 et 2), c'est-à-dire entre 0,31 et 0,57 mm. La densité de population, donnée par l'ordonnée à l'origine, permet de constater que les groupes Fp (1, 2 et 3) (figures 5.8a, b, c et 5.9a, b, c) ont des populations de cristaux de taille inférieure à celles des groupes Cp et Im (figures 5.8d, e et 5.9d, e). En effet, la densité de population de Fp est plus petite d'une à deux unités logarithmiques que celle de Im et Cp.

La modélisation du processus de mélange, pour la sanidine ainsi que pour le plagioclase est présente à la figure 6.3. Cette modélisation a été effectuée avec une moyenne des courbes de DTC pour les groupes Fp (3), Cp et Im, et en utilisant 2 magmas hypothétique A et B et ce pour chacun des deux minéraux étudiés soit la

sanidine et le plagioclase. La courbe utilisée pour la modélisation du magma A, pour la sanidine, a une pente de  $-2,75$  et un intercepte à  $-0,25$ . Alors que pour le magma B la pente est de  $-0,60$  et l'intercepte à  $-5$ . Pour ce qui est de la modélisation pour le plagioclase, le magma A a une pente de  $-2,50$  et un intercepte à  $-2$ . Tandis que le magma B à une pente de  $-0,45$  et un intercepte à  $-6,25$ .

La courbe modèle calculée est juxtaposée avec les courbes de DTC observées dans chaque groupe (figure 6.4). Ceci, afin de vérifier la validité de la modélisation du processus de mélange (figure 6.4). Suite à l'observation des courbes de DTC mises en parallèle avec les courbes modèles, il est possible de constater que les courbes de DTC appuient encore une fois le processus de mélange. En effet, les courbes modèles ont une courbure semblable à celle des courbes de DTC observées pour les cristaux de plagioclase et de sanidine provenant des échantillons du système *Inyo*.

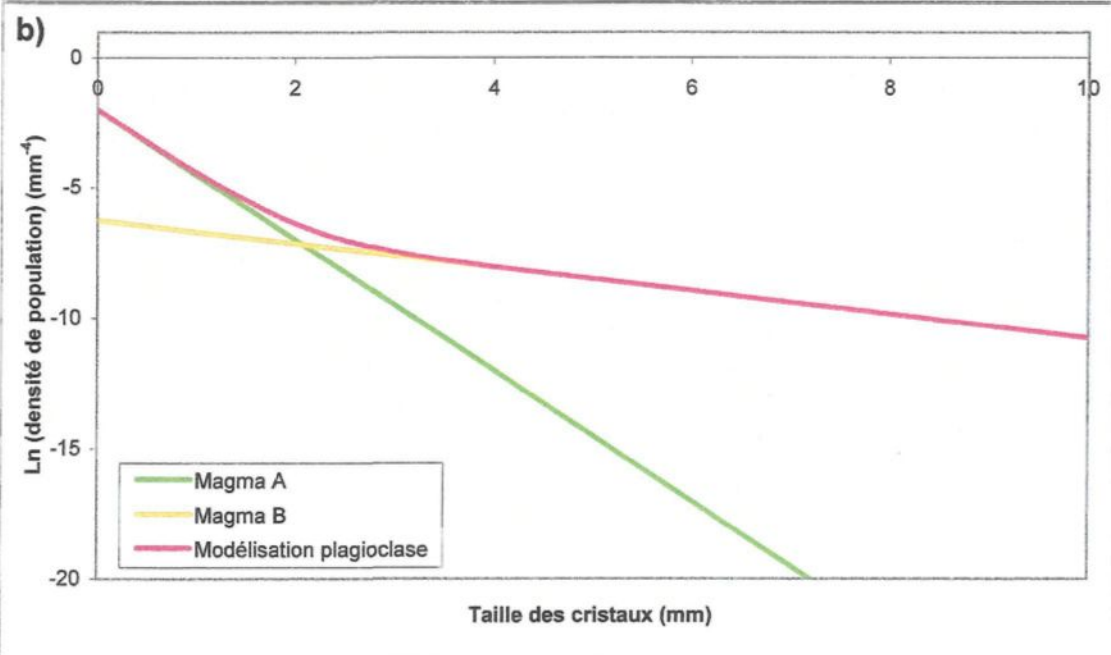
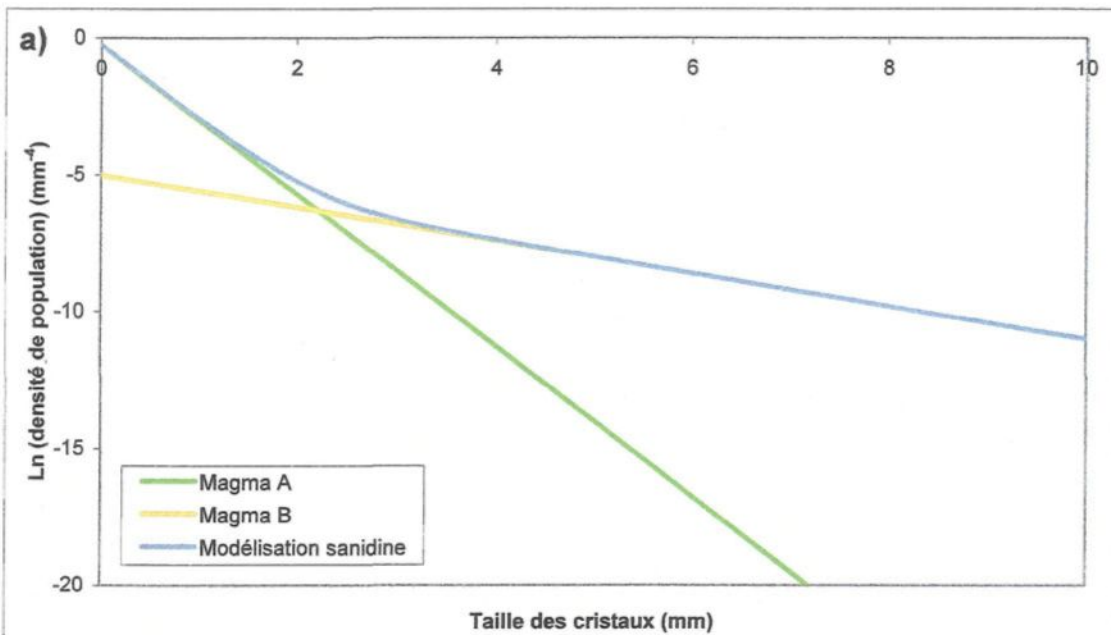
Il est aussi possible d'observer que les courbes de DTC des sous-groupes Fp (1 et 2) correspondent à la partie de la courbe modèle produite par le magma A (figure 6.4a et b). Il est donc permis de supposer que le magma A correspond au liquide initial qui se trouve dans les échantillons de tous les groupes texturaux (partie gauche des courbes de DTC). Le magma B, semble quant à lui correspondre au liquide riche en cristaux de

**Figure 6.3** Courbes obtenues par la modélisation du processus de mélange. Le magma A est indiqué en vert et le magma B en orange.

a) Pour la sanidine (courbe bleu pâle)

b) Pour le plagioclase (courbe rose)



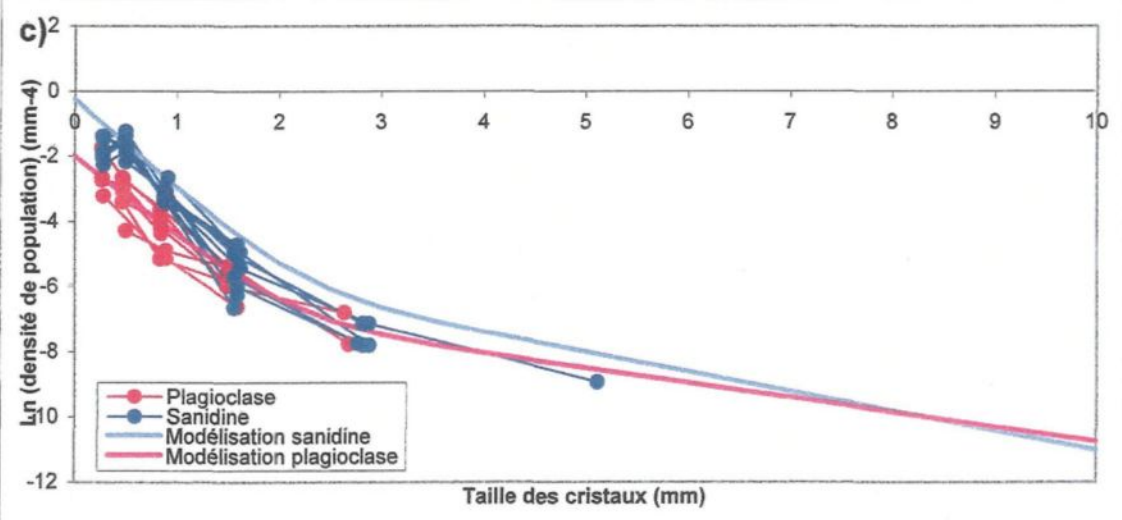
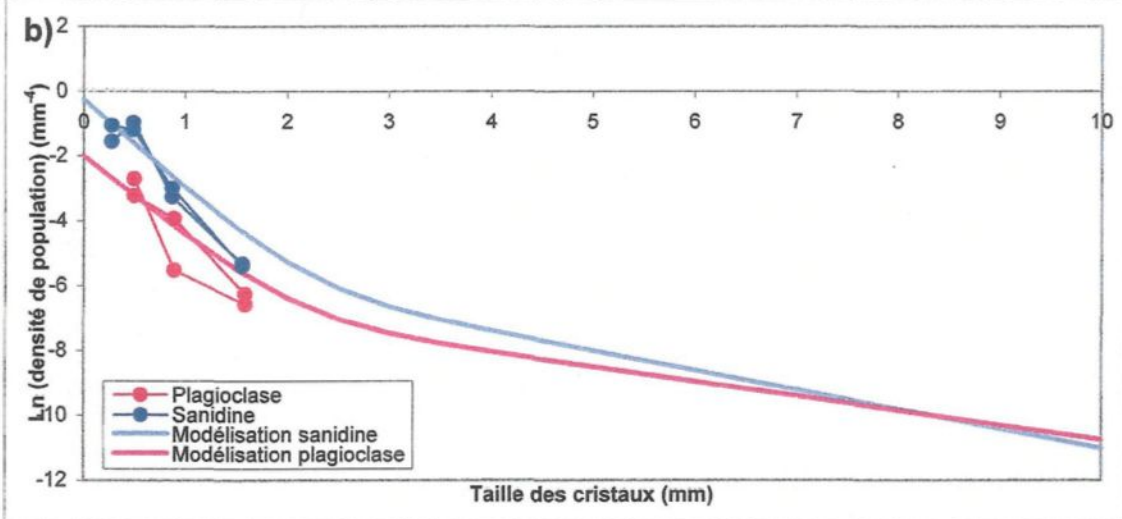
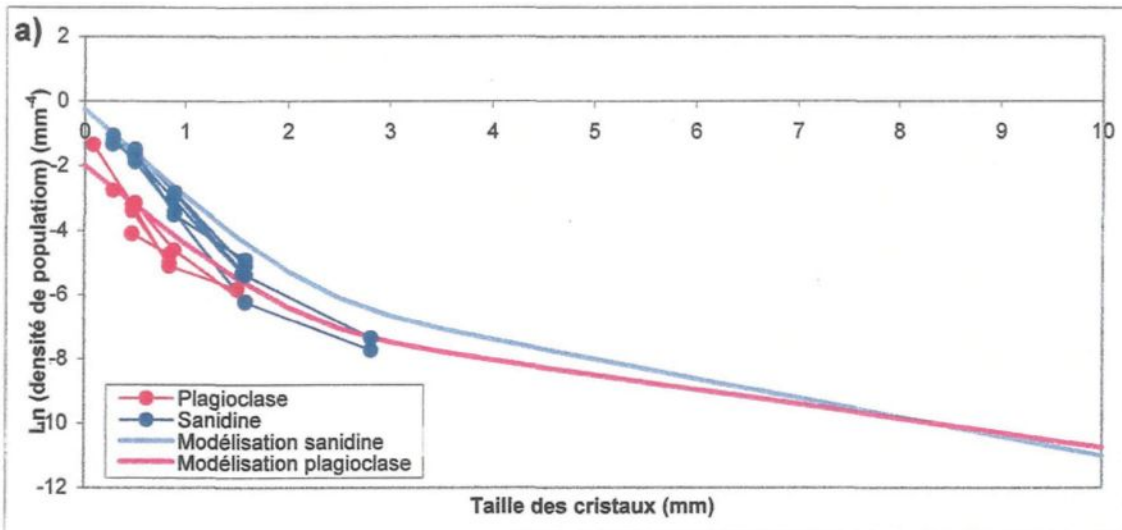


**Figure 6.4** Juxtaposition des courbes modèles avec les courbes de DTC pour les groupes texturaux. Les courbes de DTC pour la sanidine sont en bleu et celles pour le plagioclase sont en rouge. La courbe modèle de la sanidine est indiquée en bleu pâle alors que celle pour le plagioclase est en rose.

a) Fp (1)

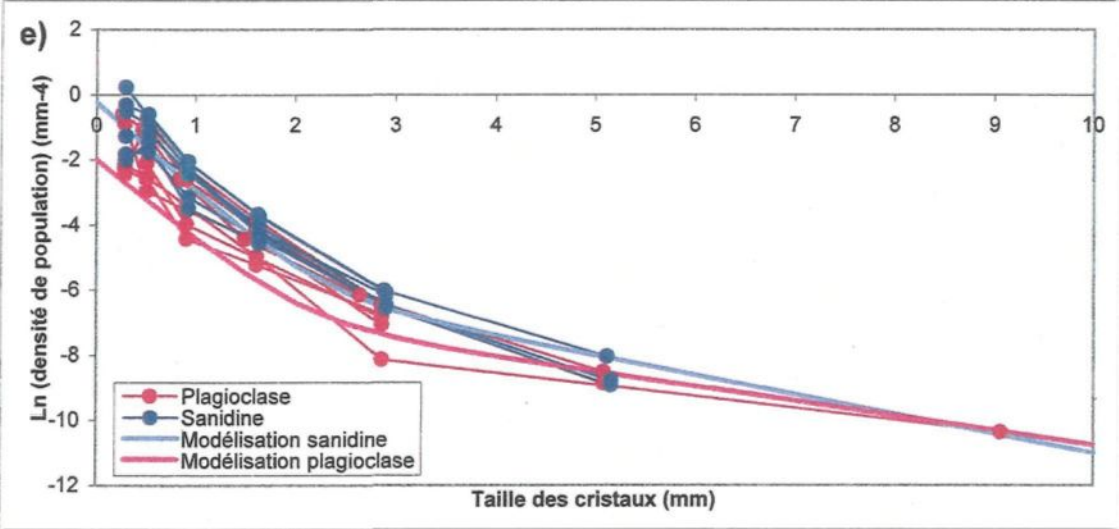
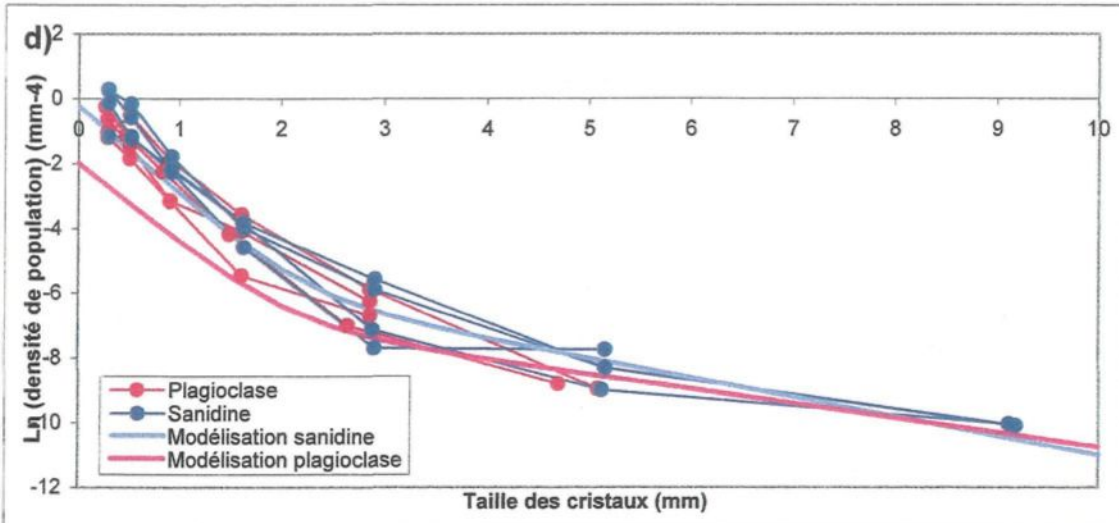
b) Fp (2)

c) Fp (3)



d) Cp

e) Im



sanidine et de plagioclase ajouté au magma A et qui est uniquement observé dans la partie droite des courbes de DTC pour Fp (3), Cp et Im (figure 6.4c, d et e).

En bref, les observations tirées de la géochimie ainsi que de l'étude de la DTC permettent de constater que le comportement des échantillons des groupes Fp (3), Im et Cp peuvent être expliquées principalement grâce au processus de mélange. Ce dernier étant mieux défini avec l'étude de la DTC qu'avec la géochimie. En effet, la DTC permet d'observer, à l'aide de la forme concave des courbes, que le mélange occupe une place importante dans l'évolution des échantillons des groupes Fp (3), Cp et Im.

## CHAPITRE VII

### CONCLUSION

L'interprétation ainsi que la synthèse des données obtenues au cours de ce projet ont permis de caractériser le matériel rhyolitique provenant du système volcanique *Inyo* et plus précisément des trois dômes qui le composent. Ainsi, des échantillons provenant de *Obsidian Dome*, *Glass Creek Dome* et de *Deadman Dome* ont permis d'effectuer une étude pétrologique, géochimique ainsi que d'utiliser la technique de la DTC afin de caractériser les échantillons et de déterminer les processus de cristallisation ayant été actifs lors de la mise en place de ces dômes volcaniques.

Premièrement, les études de terrain et de pétrographie ont permis de reconnaître trois groupes texturaux sur la base de leur contenu en phénocristaux de plagioclase et de sanidine. Ceci constitue un raffinement par rapport aux travaux antérieurs où seulement 2 types avaient été reconnus. Ainsi, le groupe Fp est formé des échantillons contenant moins de 5% de phénocristaux. Le groupe Im en contient entre 5 et 25% alors que le groupe Cp contient plus de 25% de ces mêmes cristaux.

De plus, compte tenu des variations spatiales et de celles observées dans les DTC, le groupe textural Fp a été divisé en trois sous-groupes de Fp (1, 2 et 3). Cette division est donc un outil qui permet d'observer les caractéristiques particulières à chaque

échantillon. Les limites de chacun de ces sous-groupes ont été exprimées selon leur composition en Th, Sc et Ba afin de les distinguer les uns des autres.

La correspondance spatiale des échantillons de chaque groupe et sous-groupe a permis d'établir qu'*Obsidian Dome*, qui est situé au nord de la chaîne volcanique, est entièrement formé par du matériel provenant du groupe Fp, principalement des sous-groupes Fp (1 et 2). Alors que dans les deux autres dômes, *Deadman* et *Glass Creek*, se retrouvent les groupes Fp (3), Cp et Im.

La géochimie montre que les échantillons Fp (1, 2 et 3) qui constituent principalement *Obsidian Dome*, ont subi un processus de cristallisation fractionnée où le groupe Fp (1) est le plus fractionné alors que Fp (3) a subi le moins de fractionnement. Toujours au point de vue de la géochimie, les observations indiquent que les échantillons de Cp et Im ont été formés avec un liquide semblable à celui de Fp (3) auquel a été ajouté un autre liquide mais celui-ci riche en cristaux de sanidine et de plagioclase.

Les courbes de DTC, pour les différents groupes texturaux, ont aussi permis de constater des différences entre ces derniers. Ainsi, les courbes de Fp (1 et 2) provenant des échantillons de *Obsidian Dome*, sont droites et assez courtes. Ce qui indique la présence d'un processus de fractionnement. Celles de Fp (3), qui proviennent des trois dômes *Inyo*, sont concaves et courtes alors que celles des groupes Cp et Im, qui représentent les échantillons de *Deadman Dome* et de *Glass Creek Dome* sont concaves et longues. La forme concave des courbes de DTC de Fp (3), Cp et Im indique pour sa



part qu'un processus de mélange a été actif. Ce qui est appuyé par les observations géochimiques.

La distinction entre le matériel rhyolitique ayant formé Fp (1, 2 et 3) et celui de Cp et Im tant au niveau de la DTC que de la géochimie, permet d'affirmer que *Obsidian Dome* est différents des deux autres dômes plus au sud. Cette différence peut provenir du fait que la source de magma pour les dômes est une même chambre magmatique mais que le magma provient de différents niveaux. Ou alors que deux systèmes, un au nord et un autre au sud, sont la source des dômes. De plus, il faut considérer la présence d'un dyke entre *Obsidian Dome* et *Glass Creek Dome* qui permet la mise en place de magmas ayant pu être mélangés ensemble pour former le matériel rhyolitique différent qui se retrouve dans *Glass Creek Dome* et *Deadman Dome*. Par contre, l'explication plus détaillée des différentes sources de ce système pourrait être présomptueuse de par la quantité assez limitée de données utilisées.

Si l'hypothèse des deux sources, situées au sud et au nord de la chaîne volcanique *Inyo* est retenue, il serait intéressant de comparer les données géochimiques avec celles des *Mono Craters* qui se situent au nord de la chaîne *Inyo*. Dans ce cas, il serait aussi envisageable d'effectuer des mesures de DTC afin de les comparer avec celles obtenues lors de cette présente étude et ce, afin de déterminer si la source au nord peut être reliée aux deux chaînes volcaniques.

Il est aussi à considérer le rôle de la chambre magmatique, située sous la caldeira de *Long Valley*. En effet, cette chambre magmatique qui est toujours active peut

certainement avoir joué un rôle dans la réactivation ou comme moteur thermique de la ou des sources de magma de la chaîne volcanique *Inyo*.

Au point de vue de la technique de la DTC, comme des mesures sur du matériel felsique n'avaient jamais été effectuées, il est possible d'affirmer que la méthode s'y prête bien et que les résultats obtenus sont aussi valables que les mesures prises sur du matériel mafique à intermédiaire. Les processus de cristallisation sont indiqués par des courbes de DTC ayant les mêmes formes que celles obtenues dans d'autres études sur la DTC et effectuées sur du matériel mafique à intermédiaire.

Comme la méthode de la DTC est assez jeune, certains ajustements pourraient permettre une amélioration de celle-ci. En effet, dans le cadre de ce projet, les cristaux situés au pourtour des lames minces n'ont pas été considérés. Ils ont donc été inclus dans l'aire totale de la lame mince alors qu'ils auraient pu être mesurés et soustraits de l'aire totale de la lame mince. Enfin, comme les petits cristaux situés à l'intérieur des plus grands ont aussi été mesurés, l'aire a été calculée deux fois. Il faudrait donc prendre en considération l'aire de ces petits cristaux et la soustraire de l'aire totale. Comme les mesures ont été faites de manière constante, l'erreur se retrouve de la même façon dans chacun des échantillon mesurés.

Aussi, le développement de ce projet n'est qu'une première étape dans ce qui pourrait être une étude beaucoup plus importante. En effet, bien que cinq différents groupes et sous-groupes texturaux aient été observés, il ne faut pas oublier que des échantillons anormaux ont aussi été identifiés. Ces derniers, pouvant peut être

représenter des groupes différents qui n'ont pas été clairement identifiés dans cette étude.

De toute évidence, suite à la synthèse et à l'interprétation des données recueillies au cours de ce projet, il est maintenant possible de constater que deux principaux processus de cristallisation ont contribué à la formation des échantillons qui constituent la chaîne volcanique *Inyo*. En effet, suite à l'étude pétrologique, géochimique et à la DTC, il est possible de constater que la cristallisation fractionnée ainsi que le mélange ont agi, d'une manière ou d'une autre, dans développement de ce système volcanique.

## RÉFÉRENCES

- Bailey, R.A. 1984. Chemical evolution and current state of the Long Valley magma chamber. U.S. Geological Survey Open File Report. **84-939**: 24-40
- Bailey, R.A. 1983. Postcaldera evolutions of the Long Valley caldera magma chamber, eastern California. EOS (Transactions, American Geophysical Union). **64**: 889
- Bailey, R.A. 1982. Other potential eruption centers in California: Long Valley, Mono Lake, Coso and Clear Lake volcanic fields. California division of Mines and Geology Special publication. **63**: 17-28
- Bailey, R.A., Koeppen, R.P. 1977. Preliminary geological map of Long Valley caldera, Mono County, California scale 1: 62 500. U.S. Geological Survey Open-File. **77-468**: 20p.
- Bailey, R.A., MacDonald, R.A., Thomas, J.E. 1983. The Mono-Inyo Craters: Products of an actively differentiating rhyolite magma chamber, eastern California. EOS (Transactions, American Geophysical Union). **64**: 336
- Bailey, R.A., Dalrymple, G.B., Lanphere, M.A. 1976. Volcanism, structure, and geochronology of Long Valley Caldera, Mono County, California. Journal of Geophysical Research. **81** : 725-744
- Bédard, L.P. 2002. Cahier de laboratoire Principes de géochimie : Des analyses en or. Université du Québec à Chicoutimi, 82p.
- Bédard, L.P., Barnes, S.-J. 2002. A comparison of N-type semi-planar and coaxial INAA detectors for 33 geochemical reference samples. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. **254**: 485-497.
- Cashman, K.V. 1993. Relationship between plagioclase crystallization and cooling rate in basaltic melts. Contributions to Mineralogy and Petrology. **113** : 126-142.
- Cashman, K.V. 1988. Crystallization of Mount St. Helens 1980-1986 dacite : A quantitative textural approach. Bulletin of Volcanology. **50** : 194-209.
- Cashman, K.V., Ferry, J.M. 1988. Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization III. Metamorphic crystallization. Makaopuhi lava lake. Contributions to Mineralogy and Petrology. **99** : 401-415
- Cashman, K.V., Marsh, B.D. 1988. Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization II : Makaopuhi lava lake. Contributions to Mineralogy and Petrology. **99** : 292-305.

- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1962. Rock forming mineral. Longmans, Green and Co Ltd, London. Vol. 2: 379p., vol. 3: 270p., vol. 4: 435p.
- Eichelberger, J.C., Vogel, T.A., Younker, L.W., Miller, C.D., Heiken, G.H., Wohletz, K.H. 1988. Structure and stratigraphy beneath a young phreatic vent: South Inyo Crater, Long Valley caldera, California. *Journal of Geophysical Research*. **93**: 13 208-13 220
- Eichelberger, J.C., Lysne, P.C., Miller, C.D., Younker, L.W. 1985. Research drilling at Inyo Domes, California : 1984 results. *EOS (Transactions, American Geophysical Union)*. **66** : 186-187.
- Eichelberger, J.C., Lysne, P.C., Younker, L.W. 1984. Research at Inyo Domes, Long Valley caldera, California. *EOS (Transactions, American Geophysical Union)*. **65** : 721; 723-725.
- Evensen, N.M., Hamilton, P.J., O’Nions, R.K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, **42** : 1199-1212.
- Fink, J.H. 1985. Geometry of silicic dikes beneath the Inyo domes, California. *Journal of Geophysical Research*. **90**: 11 127-11 134
- Higgins, M.D. 2002a. Closure in crystal size distributions (CSD), verification of CSD calculations, and the significance of CSD fans. *American Mineralogist*. **87**: 171-175.
- Higgins, M.D. 2002b. The role of textural coarsening in the developpement of the Kiglapait layered mafic intrusion, Labrador, Canada: A crystal size distribution study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **144**: 314-330.
- Higgins, M.D. 2000. Measurement of crystal size distributions. *Americain Mineralogist*. **85**: 1105-1116.
- Higgins, M.D. 1998. Origin of anorthosite by textural coarsening: Quantitative measurements of a natural sequence of textural developpement. *Journal of Petrology*. **39**: 1307-1325.
- Higgins, M.D. 1996a. Crystal size distributions and other quantitative textural measurements in lavas and tuff from Egmont volcano (Mt. Taranaki), New Zeland. *Bulletin of Volcanology*. **58** : 194-204.
- Higgins, M.D. 1996b. Magma dynamics beneath Kameni volcano, Thera, Greece, as revealed by crystal size and shape measurements. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. **70** : 37-48.
- Higgins, M.D. 1988. Trace element geochemistry of the Inyo Volcanic chain, California : Evidence for multiple magma sources, magma mixing and post-eruption loss of boron. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. **35** : 97-110.

- Hill, D.P. 1976 Structure of Long Valley Caldera, California, from a seismic refraction experiment. *Journal of Geophysical research*. **81**: 745-753
- Hill, D.P., Bailey, R.A., Ryall, A.S. 1985. Active tectonic and magmatic processes beneath Long valley Caldera. Eastern California: an overview. *Journal of Geophysical Research*. **90**: 11 111-11 120
- Huber, N.K., Rinehart, C.D. 1967. Cenozoic volcanic rocks of the Devil's Postpile quadrangle, eastern Sierra Nevada, California. U.S. Geological Survey Professional Paper. **554-D**: D1-D21
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanics rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*. **8**: 523-548.
- LeMaitre, R.W. 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell, Oxford. 193 p.
- Lofgren, G. 1971. Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glass. *Geological Society of America Bulletin*. **82**: 111-124.
- Mangan, M.T. 1990. Crystal size distribution systematics and the determination of magma storage times : The 1959 eruption of Kilauea volcano, Hawaii. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. **44** : 295-302.
- Mankinen, E.A., Grommé, C.S., Dalrymple, G.B., Lanphere, M.A., Bailey, R.A. 1986 Paleomagnetism and K-Ar ages of volcanics rocks from Long Valley Caldera, California. *Journal of Geophysical Research*. **91** : 633-652.
- Marsh, B.D. 1998. On the interpretation of crystal size distributions in magmatic systems. *Journal of Petrology*. **39** : 553-599.
- Marsh, B.D. 1988. Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallisation I. Theory. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **99** : 277-291.
- Marsh, B.D. 1984 Crystal-size spectra and kinetics of crystal growth in magma : I Theory. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*. **16** : 585.
- Mayo, E.B., Conant, L.C., Chelikowsky, J.R. 1936. Southern extension of the Mono Craters, California. *American Journal of Science*. **32**: 81-91.
- Metz, J.M., Mahood, G.A. 1984. Eruptive history of Glass Mountain, Long Valley, California : Precursor to a large explosive eruption. U.S. Geological Survey Open File. **84-939**: 41-62.

- Miller, C.D. 1985. Holocene eruptions at the Inyo volcanic chain, California : Implications for possible eruptions in Long Valley caldera. *Geology*. **13** : 14-17
- Miller, C.D. 1983. Chronology of Holocen eruptions at the Inyo volcanic chain, California. *EOS (Transactions, American Geophysical Union)*. **64**: 900
- Pearce, J.A. Norry, M.J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanics rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **69**: 33-47
- Randolph, A.D., Larson, M.A. 1971. *Theory of particulate processes*. Academic Press, New York. 251p.
- Rundle, J.B., Carrigan, C.R., Hardee, H.C., Luth, W.C. 1986. Deep drilling to the magmatic environment in Long Valley Caldera. *EOS (Transactions, American Geophysical Union)*.**67**: 490
- Sampson, D.E. 1987. Textural heterogeneities and vent area structures in the 600-year-old lavas of the Inyo volcanic chain, Eastern California. *Geological Society of America Special Paper*. **212**: 89-101
- Sampson, D.E., Cameron, K.L. 1987. The geochemistry of the Inyo volcanic chain : Multiple magma systems in the Long Valley region, eastern California. *Journal of Geophysical Research*. **92**: 10 403-10 421
- Sampson, D.E., Cameron, K.L. 1984. Geochemistry of the most recent eruptive event in the Inyo volcanic chain, eastern California: The intersection of two magmatic systems. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*. **16**: 643
- Sampson, D.E., Williams, R.W., Gill, J.B. 1985.  $^{238}\text{U}$  series disequilibria in the Inyo drill core and surface samples. *EOS (Transactions, American Geophysical Union)*. **66**: 388
- Sampson, D.E., Williams, R.W., Robin, M., Gill, J.B. 1984. The age of rhyolite magma at eruption: Inyo volcanic chain, eastern California. *EOS (Transactions, American Geophysical Union)*. **65**: 1 128
- Sampson, D.E., Ardito, C.P., Kelleher, P.C., Cameron, K.L., Bullen, T.D. 1983. The geochemistry of Quaternary lavas from the Mono-Inyo chain: Evidence for several magma types. *EOS (Transactions, American Geophysical Union)*. **64**: 889
- Sieh, K. 1984. Most recent eruptions of the Mono Craters, eastern central California. *U.S. Geological Survey Open-File Report*. **84-939**: 96-129
- Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. 2000. *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press, London. 1417p.

- Smith, R.L., Bailey, R.A. 1968. Resurgent cauldrons. Geological Society of America. **116**: 613-662
- Swanson, S.E., Naney, M.T., Westrich, H.R., Eichelberger, J.C. 1989. Crystallization history of Obsidian Dome, Inyo Domes, California. *Bulletin of Volcanology*. **51** : 161-176.
- Vogel, T.A, Younker L.W. 1985. Emplacement history of the magmas at Obsidian Dome, California, based on geochemistry of the conduit, dike and lava. EOS (Transactions, American Geophysical Union). **66**: 1125
- Vogel, T.A, Younker L.W., Schuraytz, B.C. 1987. Constraints on magma ascent, emplacement, and eruption : Geochemical and mineralogical data from drill-core samples at Obsidian dome, Inyo chain, California. *Geology*. **15** : 405-408.
- Whittaker, E.J.W., Muntus, R. 1970. Ionic radii for use in geochemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **34** : 945-956.
- Wood, S.H. 1983. Chronology of late Pleistocene and Holocene volcanics, Long Valley and Mono basin geothermal areas, eastern California. U.S. Geological Survey Open-File Report. **83-0747**: 55p.
- Wood, S.H. 1977. Distribution, correlation, and radiocarbon dating of late Holocene tephra, Mono and Inyo craters, eastern California. *Geological Society of America Bulletin*. **88**: 89-95



**Annexe I**  
**Sommaire des caractéristiques macroscopiques des échantillons**  
**des dômes *Inyo* et des forages**

<b>Échantillons</b>	<b>Provenance</b>	<b>Couleur</b>	<b>%phénocx</b>	<b>Taille des cx</b>
DM-01-04A	Obsidian Dome	Gris foncé	3%	<6mm
DM-01-04B	Obsidian Dome	Gris moyen	3-4%	<6mm
DM-01-05	Obsidian Dome	Gris beige moyen	3-4%	<13mm
DM-01-06	Obsidian Dome	Gris foncé	3%	<8mm
DM-01-07	Obsidian Dome	Gris moyen	2%	2-3mm
DM-01-08	Obsidian Dome	Gris foncé	3-4%	1-3mm
DM-01-09A	Obsidian Dome	Gris moyen	1%	1-2mm
DM-01-09B	Obsidian Dome	Noire	4-5%	<4mm
DM-01-10	Obsidian Dome	Noire	4%	<3mm
DM-01-11	Obsidian Dome	Gris moyen	5%	<10mm
DM-01-12	Obsidian Dome	Gris très foncé	4%	2-3mm
DM-01-13A	Glass Creek Dome	Gris pâle	<1%	1-2mm
DM-01-13B	Glass Creek Dome	Gris brunâtre moyen	15%	<20mm
DM-01-14	Glass Creek Dome	Gris très pâle	10%	<12mm
DM-01-15	Glass Creek Dome	Gris pâle	25%	<10mm
DM-01-16	Glass Creek Dome	Gris pâle	9%	<15mm
DM-01-17	Glass Creek Dome	Gris beige pâle	2-3%	<10mm
DM-01-18	Glass Creek Dome	Gris très foncé	4%	<7-8mm
DM-01-19A	Glass Creek Dome	Gris très pâle	25%	<6-7mm
DM-01-19B	Glass Creek Dome	Gris très foncé	3%	1-4mm
DM-01-19C	Glass Creek Dome	Gris moyen	20%	<12mm
DM-01-20	Deadman Dome	Gris pâle	5-6%	<7mm
DM-01-21	Deadman Dome	Gris moyen pâle	30%	<17mm
DM-01-22	Deadman Dome	Gris moyen pâle	25%	<20mm
DM-01-23	Deadman Dome	Gris moyen pâle	7-8%	<13mm
DM-01-24	Deadman Dome	Gris pâle	9-10%	<7-8mm
DM-01-25	Deadman Dome	Gris foncé	2-3%	1-5mm
DM-01-26	Deadman Dome	Noire	1%	1-3mm
DM-01-27A	Obsidian Dome	Noire	2-3%	1-2mm
DM-01-27B	Obsidian Dome	Gris foncé	1%	1-2mm
DM-01-28	Obsidian Dome	Gris moyen foncé	2%	6-7mm
DM-01-29A	Obsidian Dome	Gris foncé	1%	1-2mm
DM-01-29B	Obsidian Dome	Noire	2-3%	1-3mm
DM-01-30	Obsidian Dome	Gris moyen	3%	<9mm
DM-01-31A	Obsidian Dome	Gris très pâle	<1%	1mm
DM-01-31B	Obsidian Dome	Gris foncé	1-2%	1-3mm
DM-01-32	Obsidian Dome	Noire	1%	1-2mm
DM-01-33	Obsidian Dome	Noire	2-3%	1-2mm
DM-01-34	Glass Creek Dome	Noire	3%	1-4mm
DM-01-35	Glass Creek Dome	Gris très pâle	25%	<8mm
DM-01-36	Glass Creek Dome	Gris moyen foncé	20%	<10mm
DM-01-37	Glass Creek Dome	Gris pâle	7-8%	<7-8mm
DM-01-38	Glass Creek Dome	Gris moyen foncé	15%	<13-14mm
DM-01-39	Glass Creek Dome	Gris pâle	35%	<10mm
DM-01-40	Glass Creek Dome	Gris moyen	1%	1-2mm
DM-01-41	Glass Creek Dome	Gris pâle	20%	<7-8mm
DM-01-42	Deadman Dome	Gris pâle	8-9%	7-8mm
DM-01-43-	Deadman Dome	Gris moyen pâle	20%	<10mm

Echantillons	Texture	Photo	Coord. N/E	LM
DM-01-04A	Début de dévitrification	X	4181241/321482	X
DM-01-04B	Dévitriifiée + très vésiculaire	X	4181241/321482	
DM-01-05	Parties vitreuses + foliées	X		
DM-01-06	Foliée	X		GLM
DM-01-07	Parties + vitreuses			X
DM-01-08	Parties très vitreuses + foliées			
DM-01-09A	Très vésiculaire (40% vésicules)		4181094/322362	
DM-01-09B	Homogène		4181094/322632	
DM-01-10	Homogène		4181348/322584	X
DM-01-11	Parties vitreuses			
DM-01-12	Parties dévitriifiées + foliation		4181800/322010	
DM-01-13A	Vésiculaire	X	4179311/321846	
DM-01-13B	Homogène	X	4179311/321846	X
DM-01-14	Massive		4179202/322005	
DM-01-15	Cristallisée		4179181/322078	X
DM-01-16	Cristallisée		4179236/322375	
DM-01-17	Cristallisée et massive		4179293/322465	
DM-01-18	Massive + matériel vitreux		à 20 m de 01-17	X
DM-01-19A	Fibreux + vésiculaire	X	4179582/322216	GLM
DM-01-19B	Massive	X	4179582/322216	X
DM-01-19C	Massive	X	4179582/322216	X
DM-01-20	Massive + Cristallisée		4176296/322114	
DM-01-21	Massive + Cristallisée		4176105/322133	GLM
DM-01-22	Massive		4175743/322167	X
DM-01-23	Foliée + Cristallisée		4175659/322113	
DM-01-24	Massive		4175589/322043	
DM-01-25	Foliée + vésiculaire		4175470/321811	
DM-01-26	Massive		à 20 m de 01-25	X
DM-01-27A	Massive + foliée		4180148/322023	
DM-01-27B	Foliée + très vésiculaire		4180148/322023	
DM-01-28	Massive		4180589/321850	X
DM-01-29A	Foliée + très vésiculaire		4180932/321641	
DM-01-29B	Foliée		4180932/321641	
DM-01-30	Massive		4180570/322156	X
DM-01-31A	Vésiculaire	X	4180564/322633	
DM-01-31B	Massive		4180564/322633	
DM-01-32	Foliée		4180547/322744	X
DM-01-33	Foliée		4179974/321913	
DM-01-34	Foliée		4178600/322051	X
DM-01-35	Massive	X	4178652/322074	GLM
DM-01-36	Massive	X	4178693/322104	X
DM-01-37	Cristallisée + massive		4178758/322286	
DM-01-38	Faible foliation		4178806/322508	X
DM-01-39	Cristallisée par endroits		4178968/322655	X
DM-01-40	Légèrement vésiculaire		4179012/322670	X
DM-01-41	Cristallisée		4179102/322776	X
DM-01-42	Cristallisée		4176193/322523	
DM-01-43	Cristallisée + foliée		4175855/322538	X

<b>Échantillons</b>	<b>Provenance</b>	<b>Couleur</b>	<b>%phénocx</b>	<b>Taille des cx</b>
DM-01-44	Deadman Dome	Gris moyen	25%	<13mm
DM-01-45	Deadman Dome	Gris pâle	25%	<8mm
DM-01-46	Deadman Dome	Gris foncé	20%	<8-9mm
DM-01-47A	Deadman Dome	Gris pâle	6-7%	<5-6mm
DM-01-47B	Deadman Dome	Noire	2%	<6mm
DM-01-48	Deadman Dome	Noire	1%	1-3mm
DM-01-49	DC	Beige moyen pâle	1-2%	1-3mm
DM-01-50	Deadman Dome	Beige moyen	3-4%	<7mm
DM-01-51	Obsidian Dome	Beige griseâtre	<1%	1-2mm
DM-01-52	Obsidian Dome	Beige moyen	1%	2-3mm
RDO-2A-10	Obsidian Dome	Gris pâle	<1%	1-2mm
RDO-2A-25	Obsidian Dome	Gris pâle	1%	1-3mm
RDO-2A-42	Obsidian Dome	Noire	1%	1-3mm
RDO-2A-57	Obsidian Dome	Gris très foncé	1%	1-3mm
RDO-2A-62	Obsidian Dome	Gris moyen foncé	1%	1-3mm
RDO-2A-74.5	Obsidian Dome	Gris très foncé à rose saumon	1%	1-2mm
RDO-2A-85	Obsidian Dome	Gris très foncé à rose saumon	3%	1-5mm
RDO-2A-111.6	Obsidian Dome	Gris très foncé	2%	1-3mm
RDO-2A-117	Obsidian Dome	Gris pâle à beige rosé	1%	1-2mm
RDO-2A-135	Obsidian Dome	Noire	1-2%	1-2mm
RDO-2A-143	Obsidian Dome	Noire	2-3%	1-3mm
RDO-2A-157	Obsidian Dome	Noire	2%	1-2mm
RDO-2B-14.5	Obsidian Dome	Gris très foncé à gris pâle	1-2%	1-3mm
RDO-2B-23	Obsidian Dome	Gris très foncé à gris pâle	1-2%	1-3mm
RDO-2B-60	Obsidian Dome	Noire	1%	1-2mm
RDO-2B-80	Obsidian Dome	Gris moyen à beige rosé	1%	1-2mm
RDO-2B-93	Obsidian Dome	Gris moyen à beige rosé	2%	1-2mm
RDO-2B-108	Obsidian Dome	Gris foncé à beige rosé	<1%	1-2mm
RDO-2B-120	Obsidian Dome	Gris foncé à beige rosé foncé	2-3%	1-3mm
RDO-2B-130	Obsidian Dome	Gris foncé à rose saumon	1-2%	1-5mm
RDO-2B-148	Obsidian Dome	Noire à beige orangé	1%	1-2mm
RDO-2B-150	Obsidian Dome	Noire	1%	1-3mm
RDO-2B-170	Obsidian Dome	Noire	1%	1-3mm
RDO-2B-172	Obsidian Dome	Noire	1%	1-4mm
RDO-2B-208	Obsidian Dome	Gris très foncé	1%	1-5mm
RDO-2B-1600	Obsidian Dome	Gris moyen à beige	1-2%	<6mm
RDO-2B-1643	Obsidian Dome	Gris pâle	2%	<20mm
RDO-2B-1645	Obsidian Dome	Gris pâle	1-2%	1-3mm
RDO-2B-1680	Obsidian Dome	Gris pâle	1%	<10mm
RDO-2B-1713	Obsidian Dome	Gris pâle	1-2%	<14mm
RDO-2B-1743	Obsidian Dome	Gris pâle	1%	1-3mm
RDO-2B-1773	Obsidian Dome	Gris pâle	1%	<16mm
RDO-2B-1839	Obsidian Dome	Gris moyen	2-3%	<8mm
RDO-2B-1858	Obsidian Dome	Gris foncé	1-2%	1-2mm
RDO-2B-1877	Obsidian Dome	Gris moyen	1%	1-3mm
RDO-3-2266	Conduit	Gris moyen pâle	1%	1-2mm
RDO-3-2282	Conduit	Gris pâle	1%	1-4mm
RDO-3-2301	Conduit	Gris pâle	<1%	1-2mm
RDO-3-2325	Conduit	Gris pâle	3%	1-3mm
RDO-3-2337	Conduit	Gris pâle	1%	1-3mm
RDO-3-2342	Conduit	Gris pâle	1%	1-2mm
RDO-3-2347	Conduit	Gris foncé	1%	1-2mm

Échantillons	Texture	Photo	Coord. N/E	LM
DM-01-44	Cristallisée + foliée		4175662/322501	GLM
DM-01-45	Cristallisée + foliée	X	4175630/322535	X
DM-01-46	Foliée	X	4175369/322586	X
DM-01-47A	Cristallisée par endroits		4175327/322671	
DM-01-47B	Foliée		4175327/322671	X
DM-01-48	Foliée		4176174/322805	X
DM-01-49	Cristallisée + très vésiculaire			
DM-01-50	Très vésiculaire			
DM-01-51	Très vésiculaire			
DM-01-52	Très vésiculaire			
RDO-2A-10	Cristallisée			
RDO-2A-25	Cristallisée			
RDO-2A-42	Foliée			X
RDO-2A-57	Foliée + très vésiculaire			
RDO-2A-62	Foliée + vésiculaire			
RDO-2A-74.5	Fo + sphérolites (10%) remplies par mat. beige rosé			
RDO-2A-85	Fo + vitreuse contient 15% de sphérolites arrondies			X
RDO-2A-111.6	Foliée + vitreuse			
RDO-2A-117	Très foliée + sphérolites très aplaties			
RDO-2A-135	Homogène			
RDO-2A-143	Homogène			
RDO-2A-157	Homogène			X
RDO-2B-14.5	Dévitriifiée et vésiculaire (75%) + mat. vitrophyre (25%)			
RDO-2B-23	Dévitriifiée et vésiculaire (85%) + mat. vitrophyre (15%)			
RDO-2B-60	Matériel très vésiculaire + dévitriifié par endroits			
RDO-2B-80	Mat. complètement dévitriifié + vésiculaire par endroits			
RDO-2B-93	Matériel dévitriifié + vésiculaire à certains endroits			
RDO-2B-108	Matériel dévitriifié + vésiculaire à certains endroits			
RDO-2B-120	Matériel dévitriifié + vésiculaire à certains endroits			
RDO-2B-130	Matériel à vésicules très aplaties			
RDO-2B-148	Brèchique			X
RDO-2B-150	Homogène + brèchique contact net et mat. dévitriifié			
RDO-2B-170	Parties dévitriifiées + foliées			
RDO-2B-172	Parties dévitriifiées + foliées			
RDO-2B-208	Foliée + dévitriifiée			X
RDO-2B-1600	Foliée + dévitriifiée			
RDO-2B-1643	Foliée			
RDO-2B-1645	Foliée			
RDO-2B-1680	Foliée			
RDO-2B-1713	Foliée			
RDO-2B-1743	Foliée			
RDO-2B-1773	Foliée			
RDO-2B-1839	Forte foliation			
RDO-2B-1858	Forte foliation			
RDO-2B-1877	Foliée			
RDO-3-2266	Bonne foliation			
RDO-3-2282	Foliée			
RDO-3-2301	Foliée			
RDO-3-2325	Foliée			X
RDO-3-2337	Foliée			
RDO-3-2342	Foliée			
RDO-3-2347	Forte foliation + matériel + vitreux			X

**Annexe II**  
**Sommaire des observations microscopiques des échantillons des dômes *Inyo* et des forages**

<b>Échantillons</b>	<b>Provenance</b>	<b>Type</b>	<b>%phénoex</b>	<b>Taille des cx</b>	<b>% de vésicules</b>	<b>Matrice</b>
DM-01-04A	Obsidian Dome	Fp	3%	<4mm	5% +/- allongés	Dévitriifiée
DM-01-06	Obsidian Dome	Fp				
DM-01-07	Obsidian Dome	Fp	2%	<2mm	35% allongés+irréguliers	Dévitriifiée
DM-01-10	Obsidian Dome	Fp	4%	<2mm	~1%	Bandes vitreuses+dévitriifiées
DM-01-13B	Glass Creek Dome	Cp	10%	<6mm	30-35%	Dévitriifiée
DM-01-15	Glass Creek Dome	Cp	25%	<7mm	35% allongés-arrondis	Vitreuse
DM-01-18	Glass Creek Dome	Fp	4%	<5mm	10%	Bandes vitreuses+dévitriifiées
DM-01-19A	Glass Creek Dome	Im	25%	<6mm		Vitreuse
DM-01-19B	Glass Creek Dome	Fp	3%	<2mm	10% arrondis	Bandes vitreuses+dévitriifiées
DM-01-19C	Glass Creek Dome	Cp	20%			Dévitriifiée
DM-01-21	Deadman Dome	Cp	30%	<1cm	30% allongés+orientés	Dévitriifiée
DM-01-22	Deadman Dome	Cp	25%	1cm	35% allongés	Début de dévitrification
DM-01-26	Deadman Dome	Fp	1%	<2mm		Dévitriifiée
DM-01-28	Obsidian Dome	Im	2%	<6mm	40% irréguliers	Dévitriifiée
DM-01-30	Obsidian Dome	Im	3%			Dévitriifiée
DM-01-32	Obsidian Dome	Fp	1%	<3mm	1-2% allongés	Dévitriifiée
DM-01-34	Glass Creek Dome	Fp	3%	<2mm	5%	Bandes vitreuses+dévitriifiées
DM-01-35	Glass Creek Dome	Im	25%	1cm	40% allongés-irréguliers	Vitreuse
DM-01-36	Glass Creek Dome	Cp	20%		40% arrondis-irréguliers	Dévitriifiée
DM-01-38	Glass Creek Dome	Cp	15%	<8mm	45% irréguliers	Dévitriifiée
DM-01-39	Glass Creek Dome	Cp	35%		25% allongés	Dévitriifiée
DM-01-40	Glass Creek Dome	Fp	1%	<2mm	35% allongés	Dévitriifiée
DM-01-41	Glass Creek Dome	Im	20%			Vitreuse
DM-01-43	Deadman Dome	Cp	20%	<3mm	20% allongés-irréguliers	Dévitriifiée
DM-01-44	Deadman Dome	Cp	25%	1,5cm	35% allongés-arrondis	Dévitriifiée
DM-01-45	Deadman Dome	Im	25%	<7mm	35% allongés	Bandes vitreuses+dévitriifiées
DM-01-46	Deadman Dome	Cp	20%	<9mm	20% allongés	Bandes vitreuses+dévitriifiées
DM-01-47B	Deadman Dome	Fp	2%	<2mm	5% arrondis	Vitreuse
DM-01-48	Deadman Dome	Fp	1%	<2mm	5% allongés	Bandes vitreuses+dévitriifiées
RDO-2A-42	Obsidian Dome	Fp (forage)	1%	<2mm		Bandes vitreuses+dévitriifiées
RDO-2A-70.2	Obsidian Dome	Fp (forage)	2%	<2mm		Bandes vitreuses+dévitriifiées
RDO-2A-85	Obsidian Dome	Fp (forage)	3%	<2mm	Non-visibles	Bandes vitreuses+dévitriifiées
RDO-2A-157	Obsidian Dome	Fp (forage)	2%	<2mm	Non-visibles	Bandes vitreuses+dévitriifiées
RDO-2B-148	Obsidian Dome	Fp (forage)				Bandes vitreuses+dévitriifiées
RDO-2B-208	Obsidian Dome	Fp (forage)	1%	<1,5mm	1% arrondis	Vitreuse
RDO-2B-161	Obsidian Dome	Fp (forage)	2%	<1,5mm		Dévitriifiée
RDO-3-2325	Conduit	Fp (forage)	3%	<2mm	5% irréguliers	Dévitriifiée/altérée
RDO-3-2344	Conduit	Fp (forage)	2%	<1,5mm		Dévitriifiée
RDO-3-2347	Conduit	Fp (forage)	1%	<1,5mm	10% allongés	Bandes vitreuses+dévitriifiées

<b>Échantillons</b>	<b>Zonation des feldspaths/texture</b>	<b>Textures</b>	<b>LM numérisé</b>
DM-01-04A	Forte	Dist. hétérogène des cx;écoulement +/- net contourne les cx	X
DM-01-06		Contact Fp+Im	
DM-01-07		Dist, homogène des cx, microlites +/- alignés, contournent les phénocx	X
DM-01-10		Texture d'écoulement contourne les phénocx	X
DM-01-13B	Texture résorbée	Pas d'orientation des microlites; altération en carbonates localement	X
DM-01-15	Très forte	Dist. Homogène des cx	X
DM-01-18	Oui	Écoulement contourne les phénocx; plagio dans même direction que l'écoulemen	X
DM-01-19A	Texture graphique	Foliation avec l'allongement des vésicules; alignement des phénocx	
DM-01-19B	Oui/texture graphique	Écoulement contourne les phénocx; bte dans même direction; bandes +/- argiliti	X
DM-01-19C	Oui/texture résorbée	Beaucoup gros microlites; massif, dist. Homogène des phénocx	X
DM-01-21	Oui/texture graphique	Microlites très fins; dist. homogène des cx	
DM-01-22	Oui/texture graphique	Microlites peu nombreux et très fins; dist. Homogène des cx	X
DM-01-26	Oui/texture graphique	Gros microlites; foliation avec microlites et cx de bte; dist. homogène des cx	X
DM-01-28	Oui/texture graphique	Dist. Homogène des cx	X
DM-01-30	Oui	Aucune orientation des microlites; dist. hétérogène des cx	X
DM-01-32	Oui/texture graphique	Forte texture d'écoulement	X
DM-01-34	Oui/texture graphique	Bandes interdigitées, argilitisées; contournent les phénocx	X
DM-01-35	Texture graphique	Massive; quelques microlites	
DM-01-36	Texture résorbée	Microlites fins et non-orientés; dist. Homogène des cx	X
DM-01-38	Oui/ texture résorbée	Massive	X
DM-01-39	Oui/texture graphique	Écoulement +/- net contourne les cx; dist. Homogène des cx	X
DM-01-40		Massive; dist. Hétérogène des cx	X
DM-01-41	Oui	Massive; peu de microlites	X
DM-01-43	Oui/texture graphique+résorbée	Écoulement contourne les cx; dist. Homogène des cx	X
DM-01-44	Oui/texture graphique	2 pop. De microlites; dist. Homogène des cx	
DM-01-45	Oui	Écoulement contourne les cx; dist. Homogène des cx	X
DM-01-46	Texture graphique	Écoulement; alternance des bandes; dist. homogène des cx	X
DM-01-47B	Forte	Massive; dist. homogène des cx	X
DM-01-48	Texture graphique	Écoulement contourne les cx avec cx de bte dans même dir.; dist. Homogène des	X
RDO-2A-42	Faible	Bandes contournent les phénocx	X
RDO-2A-70.2		Qlqs microlites contournent les cx; dist. Homogène des cx	X
RDO-2A-85	Texture graphique	Alternance de bandes contournent les cx; dist. Homogène des cx	X
RDO-2A-157	Oui/texture graphique	Alternance de bandes contournent les cx	X
RDO-2B-148	Texture graphique	Partie vitreuse-partie bréchique	X
RDO-2B-208	Oui/texture graphique	Peu de microlites alignés	X
RDO-2B-1616		Massive; beaucoup de gros microlites; dist. Homogène des cx, altération en carb	X
RDO-3-2325		Gros microlites; dist. Homogène des cx	X
RDO-3-2344		Orientation des microlites +/- nette, dist. Hétérogène des cx	X
RDO-3-2347		Contact conduit/encaissant	X

**Annexe III**  
**Résultats des analyses géochimiques pour les éléments majeurs et les éléments**  
**traces des échantillons provenant des trois dômes volcaniques Inyo**

Échantillon	Dôme	Groupe textural	*SiO <sub>2</sub>	*TiO <sub>2</sub>	*Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	*Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	*MnO	*MgO	*CaO	*Na <sub>2</sub> O	*K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	*PAF	Total	La	Ce	Nd	Sm	Eu
dm-01-21	Deadman Dome	Cp		0,44	13,93	2,45	0,06	0,50		4,29					41,4	77	23,5	4,16	0,27
dm-01-22	Deadman Dome	Cp	70,85	0,45	13,88	2,50	0,06	0,46	1,82	4,23	4,41	0,11	0,36	99,1	38,0	72	23,1	4,07	0,27
dm-01-44	Deadman Dome	Cp		0,38	13,84	2,37	0,06	0,40		4,22					51,4	94	29,2	4,57	0,34
dm-01-45	Deadman Dome	Cp	70,37	0,39	13,82	2,31	0,06	0,47	1,74	4,04	4,55	0,10	0,71	98,6	44,5	82	25,5	3,96	0,28
dm-01-25	Deadman Dome	Fp		0,16	14,02	1,88	0,06	0,10		4,24					67,2	127	39,5	6,34	0,41
dm-01-26	Deadman Dome	Fp	69,34	0,30	14,46	2,36	0,07	0,35	1,23	4,66	5,19	0,07	0,18	98,2	56,8	109	36,9	6,22	0,29
dm-01-47b	Deadman Dome	Fp	70,45	0,24	13,97	1,95	0,06	0,20	1,10	3,46	5,30	0,05	0,25	97,0	34,9	65	21,7	3,67	0,33
dm-01-48	Deadman Dome	Fp	70,92	0,21	14,21	2,37	0,06	0,02	1,01	4,84	5,46	0,04	0,38	99,5	63,3	120	40,3	6,35	0,36
dm-01-20	Deadman Dome	Im		0,45	14,15	2,46	0,06	0,60		4,25					40,6	77	23,6	4,33	0,30
dm-01-23	Deadman Dome	Im		0,41	13,89	2,32	0,06	0,38		4,25					36,8	70	22,2	3,90	0,26
dm-01-24	Deadman Dome	Im		0,42	13,83	2,30	0,06	0,33		4,06					41,3	75	21,5	3,48	0,21
dm-01-42	Deadman Dome	Im		0,43	13,91	2,43	0,06	0,58		4,15					41,9	78	23,7	4,16	0,36
dm-01-43	Deadman Dome	Im	69,96	0,41	13,89	2,40	0,06	0,34	1,75	4,20	4,52	0,10	0,33	98,0	44,4	82	26,1	4,36	0,33
dm-01-46	Deadman Dome	Im	70,81	0,28	13,81	2,21	0,06		1,42	4,16	4,91	0,08	0,28	98,0	48,8	90	28,9	4,91	0,34
dm-01-47a	Deadman Dome	Im		0,37	14,06		0,06	0,39		0,02					0,2	0			0,01
dm-01-15	Glass Creek Dome	Cp	69,99	0,42	13,83	2,32	0,06	0,38	1,81	4,14	4,68	0,11	0,56	98,3	37,4	69	23,0	3,76	0,19
dm-01-19a	Glass Creek Dome	Cp		0,46	13,67	2,44	0,06	0,50		4,01					35,7	68	24,9	4,01	0,17
dm-01-35	Glass Creek Dome	Cp		0,43	13,92	2,35	0,06	0,41		4,14					45,4	86	28,6	4,06	0,24
dm-01-39	Glass Creek Dome	Cp	70,31	0,45	13,84	2,36	0,06	0,57	1,85	4,02	4,52	0,11	0,37	98,5	37,1	71	24,8	4,02	0,25
dm-01-13a	Glass Creek Dome	Fp		0,32	13,86	2,27	0,06	0,33		4,33					58,7	109	38,5	5,52	0,20
dm-01-17	Glass Creek Dome	Fp		0,43	13,68	2,25	0,06	0,40		4,03					43,2	79	25,6	4,21	0,20
dm-01-18	Glass Creek Dome	Fp	70,24	0,36	14,43	2,33	0,07	0,27	1,33	4,44	5,16	0,08	0,19	98,9	58,1	108	37,7	5,95	0,23
dm-01-19b	Glass Creek Dome	Fp	71,80	0,21	14,08	2,20	0,06	0,04	1,05	4,61	5,39	0,05	0,20	99,7	67,7	124	42,4	6,09	0,22
dm-01-34	Glass Creek Dome	Fp	69,98	0,24	14,24	2,15	0,06	0,17	1,08	4,44	5,34	0,05	0,20	98,0	64,1	122	41,7	6,07	0,36
dm-01-40	Glass Creek Dome	Fp	72,35	0,10	13,43	1,74	0,05	0,03	0,75	4,12	5,52	0,02	0,90	99,0	79,6	146	42,0	6,91	0,54
dm-01-13b	Glass Creek Dome	Im	68,56	0,44	14,26	2,60	0,07	0,39	1,65	4,50	4,85	0,10	0,50	97,9	49,1	93	33,6	5,45	0,25
dm-01-14	Glass Creek Dome	Im		0,41	13,64	2,86	0,06	0,53		4,90					49,4	91	30,4	5,06	0,25
dm-01-16	Glass Creek Dome	Im		0,40	13,50	2,30	0,06	0,46		4,11					41,2	74	24,4	3,78	0,19
dm-01-19c	Glass Creek Dome	Im	71,11	0,32	13,91	2,33	0,06	0,30	1,45	4,35	4,87	0,08	0,28	99,1	50,8	95	29,0	4,95	0,33
dm-01-36	Glass Creek Dome	Im	68,90	0,45	14,25	2,44	0,06	0,44	1,71	4,31	4,74	0,11	0,50	97,9	47,5	91	31,5	5,04	0,25

Échantillon	Dôme	Groupe textural	Tb	Yb	Lu	As	Ba	Co	Cr	Cs	Hf	Ni	Rb	Sb	Sc	Ta	Th	U	W	Zr	Cl	Dy	In	V
dm-01-21	Deadman Dome	Cp	0,48	1,74	0,26	4,97	840	3,87	4	2,86	5,93	47	121	0,82	3,60	1,56	14,0	3,89	1	232	255	2,68	0,01	27,15
dm-01-22	Deadman Dome	Cp	0,48	1,69	0,26	5,30	877	4,07	4	2,81	5,89	40	123	0,83	3,48	1,55	13,5	3,91	1	201	301	2,74	0,02	28,17
dm-01-44	Deadman Dome	Cp	0,53	1,86	0,27	4,52	815	3,35	5	2,82	6,06	53	123	0,77	3,54	1,52	14,7	4,00	1	222	328	3,05	0,01	22,92
dm-01-45	Deadman Dome	Cp	0,45	1,71	0,26	4,08	810	3,53	5	2,57	5,92	69	104	0,69	3,51	1,34	12,8	3,39	1	200	306	2,77	0,03	25,83
dm-01-25	Deadman Dome	Fp	0,76	2,46	0,36	3,68	740	1,04	2	3,43	7,42	39	146	0,75	3,47	1,50	19,4	5,18	1	235	370	4,05	0,03	2,25
dm-01-26	Deadman Dome	Fp	0,68	2,42	0,37	3,22	1315	1,12	1	2,90	9,11	28	138	0,66	4,34	1,46	15,9	4,71	1	300	332	3,83	0,02	1,58
dm-01-47b	Deadman Dome	Fp	0,46	1,51	0,24	3,78	773	2,96	4	2,56	5,20	24	105	0,66	2,94	1,30	11,7	3,33	1	182	361	3,57	0,02	1,20
dm-01-48	Deadman Dome	Fp	0,74	2,62	0,40	3,60	1214	1,33	4	3,28	9,68	48	149	0,74	4,37	1,57	17,6	4,92	1	390	339	3,68	0,02	0,87
dm-01-20	Deadman Dome	Im	0,49	1,75	0,27	4,75	1022	3,83	4	3,08	6,09	58	127	0,83	3,58	1,55	14,0	4,04	1	171	336	2,66	0,03	26,82
dm-01-23	Deadman Dome	Im	0,48	1,73	0,26	6,01	875	3,51	4	2,97	5,73	55	123	0,77	3,35	1,48	13,3	3,80	1	198	315	2,46	0,00	23,30
dm-01-24	Deadman Dome	Im	0,41	1,64	0,25	4,87	846	3,60	3	2,55	5,59	47	107	0,73	3,34	1,40	12,9	3,30	1	217	274	2,08	0,01	27,77
dm-01-42	Deadman Dome	Im	0,49	1,72	0,26	4,70	920	3,80	5	2,80	5,77	54	123	0,80	3,57	1,54	13,7	3,83	1	243	324	2,36		27,10
dm-01-43	Deadman Dome	Im	0,54	1,82	0,28	4,49	820	3,71	4	2,80	6,34	35	118	0,78	3,53	1,52	14,0	3,97	1	231	314	2,46		24,61
dm-01-46	Deadman Dome	Im	0,61	1,98	0,30	4,25	954	2,38	4	3,20	6,77	32	130	0,77	3,48	1,50	15,0	4,33	1	225	299	3,14	0,02	14,60
dm-01-47a	Deadman Dome	Im	0,01	0,00	0,00		3	0,55	0	0,09		59		0,00	0,00	0,00		0,01			335	3,03	0,00	23,23
dm-01-15	Glass Creek Dome	Cp	0,45	1,59	0,24	5,96	1142	3,69	4	2,65	5,53	68	110	0,75	3,29	1,26	12,3	3,52	1	121	315	2,54	0,01	27,08
dm-01-19a	Glass Creek Dome	Cp	0,47	1,71	0,27	4,55	912	4,30	5	2,85	6,05	80	110	0,76	3,64	1,31	12,5	3,62	1	171	299	2,68	0,02	27,81
dm-01-35	Glass Creek Dome	Cp	0,45	1,76	0,27	4,20	780	3,96	4	2,60	5,96	79	108	0,71	3,52	1,28	12,9	3,35	1	131	298	2,63	0,02	25,80
dm-01-39	Glass Creek Dome	Cp	0,48	1,67	0,26	4,55	881	3,63	2	2,92	5,90	53	116	0,79	3,42	1,41	13,0	3,76	1	179	312	3,14	0,02	27,07
dm-01-13a	Glass Creek Dome	Fp	0,65	2,24	0,35	3,18	886	4,29	4	2,98	7,41	91	122	0,67	3,99	1,18	15,7	4,12	2	225	243	3,54	0,04	8,90
dm-01-17	Glass Creek Dome	Fp	0,47	1,69	0,26	5,29	867	3,76	4	2,97	5,85	80	120	0,80	3,25	1,35	13,8	3,94	2	202	310	2,94	0,00	23,83
dm-01-18	Glass Creek Dome	Fp	0,70	2,27	0,35	3,22	1124	1,35	4	2,94	8,24	57	131	0,67	4,28	1,23	15,7	4,51	1	233	323	3,58	0,03	3,80
dm-01-19b	Glass Creek Dome	Fp	0,67	2,48	0,38	3,88	842	1,60	3	3,16	8,16	87	134	0,68	4,00	1,22	17,6	4,44	1	265	392	3,65	0,03	1,02
dm-01-34	Glass Creek Dome	Fp	0,74	2,49	0,37	3,28	896	1,30	3	3,34	8,09	46	143	0,70	4,01	1,35	17,5	4,68	1	309	361	4,23	0,02	1,05
dm-01-40	Glass Creek Dome	Fp	0,83	2,68	0,39	3,88	345	1,32	5	4,23	6,94	68	176	0,77	3,35	1,72	23,7	6,03	1	179	392	4,52	0,02	
dm-01-13b	Glass Creek Dome	Im	0,63	2,08	0,32	3,50	1229	2,85	4	2,74	7,76	63	121	0,71	4,47	1,27	14,0	4,12	2	253	165	3,61	0,03	12,69
dm-01-14	Glass Creek Dome	Im	0,58	2,06	0,32	5,49	1247	5,37	4	3,52	6,99	72	145	0,97	4,22	1,66	16,2	4,73	2	190	299	2,96	0,03	25,90
dm-01-16	Glass Creek Dome	Im	0,41	1,63	0,26	4,48	807	3,74	4	2,76	5,91	66	106	0,73	3,22	1,21	12,5	3,38	1	156	320	2,50	0,01	27,26
dm-01-19c	Glass Creek Dome	Im	0,61	2,02	0,31	4,27	891	2,37	3	2,93	6,57	37	127	0,82	3,73	1,50	16,4	4,46	1	234	305	3,22	0,05	17,48
dm-01-36	Glass Creek Dome	Im	0,61	1,96	0,30	3,54	1165	2,88	2	2,83	7,11	57	121	0,74	4,09	1,41	13,9	4,04	1	202	229	3,12	0,02	16,81



Échantillon	Dôme	Groupe textural	*SiO <sub>2</sub>	*TiO <sub>2</sub>	*Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	*Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	*MnO	*MgO	*CaO	*Na <sub>2</sub> O	*K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	*PAF	Total	La	Ce	Nd	Sm	Eu
dm-01-37	Glass Creek Dome	Im		0,43	13,94	2,30	0,06	0,54		4,04					38,6	73	25,3	4,07	0,21
dm-01-38	Glass Creek Dome	Im	68,71	0,37	14,61	2,43	0,07	0,36	1,58	4,41	4,87	0,10	0,49	98,0	48,0	94	34,8	5,37	0,29
dm-01-41	Glass Creek Dome	Im	69,49	0,38	14,11	2,40	0,06	0,43	1,77	4,18	4,58	0,10	0,71	98,2	41,4	77	23,9	4,24	0,38
dm-01-04a	Obsidian Dome	Fp	72,98	0,13	13,37	1,77	0,06		0,75	4,26	5,57	0,02	0,22	99,1	78,8	145	45,5	6,84	0,10
dm-01-04b	Obsidian Dome	Fp		0,13	13,42	1,76	0,06			4,32					79,0	147	48,1	6,89	0,47
dm-01-05a	Obsidian Dome	Fp		0,24	13,97	2,19	0,06	0,10		4,41					63,7	120	39,2	5,83	0,27
dm-01-06	Obsidian Dome	Fp		0,22	13,59	1,98	0,06	0,11		4,26					68,1	127	42,3	6,54	0,35
dm-01-07	Obsidian Dome	Fp	72,24	0,11	13,36	1,71	0,06		0,74	4,15	5,56	0,02	0,60	98,5	77,6	143	47,6	6,91	0,36
dm-01-08	Obsidian Dome	Fp		0,14	13,53	1,71	0,06			4,16					76,0	138	47,2	6,77	0,34
dm-01-09a	Obsidian Dome	Fp		0,18	13,44	1,75	0,06	0,05		4,15					72,8	133	44,2	6,36	0,30
dm-01-09b	Obsidian Dome	Fp		0,13	13,42	1,78	0,06	0,08		4,18					71,8	131	43,6	6,05	0,28
dm-01-10	Obsidian Dome	Fp	72,90	0,16	13,22	1,91	0,06	0,05	0,77	4,16	5,57	0,02	0,23	99,0	74,5	135	46,0	6,64	0,30
dm-01-11	Obsidian Dome	Fp		0,34	13,88	2,31	0,07	0,31		4,40					60,2	113	39,5	6,19	0,29
dm-01-12	Obsidian Dome	Fp		0,11	13,33	1,67	0,06			4,23					77,0	141	46,9	6,72	0,31
dm-01-27a	Obsidian Dome	Fp		0,12	13,78	1,75	0,06			4,21					72,6	136	42,7	6,61	0,32
dm-01-27b	Obsidian Dome	Fp		0,16	13,99	1,80	0,06			4,20					69,9	131	42,3	6,40	0,37
dm-01-28	Obsidian Dome	Fp	68,66	0,34	14,66	2,46	0,07	0,30	1,43	4,67	4,98	0,09	0,59	98,3	54,7	106	35,9	5,61	0,27
dm-01-29a	Obsidian Dome	Fp		0,17	13,81	1,65	0,06	0,03		4,09					74,8	142	44,8	6,25	0,37
dm-01-29b	Obsidian Dome	Fp		0,13	13,66	1,64	0,06			4,10					76,1	143	47,4	6,86	0,40
dm-01-30	Obsidian Dome	Fp	68,14	0,38	14,41	2,46	0,07	0,31	1,48	4,48	5,01	0,09	0,56	97,4	51,8	100	35,8	5,72	0,26
dm-01-31a	Obsidian Dome	Fp		0,16	14,10	1,92	0,06	0,04		4,31					67,0	129	41,3	6,24	0,41
dm-01-31b	Obsidian Dome	Fp		0,48	15,15	2,95	0,07			4,77					50,1	102	37,4	6,17	0,25
dm-01-32	Obsidian Dome	Fp	67,20	0,47	14,98	2,86	0,07		1,70	4,81	4,87	0,12	0,48	97,6	52,1	104	38,2	6,16	0,25
dm-01-33	Obsidian Dome	Fp		0,12	13,81	1,72	0,06			4,18					74,7	141	47,3	6,57	0,40
rdo-2a 10	Obsidian Dome	Fp		0,07		1,60				3,87					72,7	136	45,0	6,76	0,30
rdo-2a 25	Obsidian Dome	Fp		0,08		1,57				3,88					72,9	135	45,3	6,74	0,27
rdo-2a 42	Obsidian Dome	Fp	72,27	0,10		1,77			0,84	4,07	5,49	0,03	0,20	84,8	68,5	126	43,5	6,29	0,24
rdo-2a 57	Obsidian Dome	Fp		0,16		1,77				4,04					66,0	122	41,5	6,14	0,22
rdo-2a 62	Obsidian Dome	Fp		0,08		1,75				4,03					67,9	127	43,3	6,14	0,22
rdo-2a 74	Obsidian Dome	Fp		0,11		1,73				3,96					66,9	125	41,9	5,76	0,20
rdo-2a 85	Obsidian Dome	Fp	72,13	0,09		1,78			0,86	3,97	5,59	0,03	0,26	84,7	64,3	119	40,6	6,08	0,24
rdo-2a 111	Obsidian Dome	Fp		0,08		1,66				3,91					69,6	127	42,5	6,43	0,22
rdo-2a 117	Obsidian Dome	Fp		0,10		1,80				3,98					63,8	117	40,1	5,92	0,19
rdo-2a 135	Obsidian Dome	Fp		0,10		1,73				3,96					66,9	124	42,9	6,20	0,20
rdo-2a 143	Obsidian Dome	Fp		0,15	14,20	1,94	0,06			4,51					73,4	134	43,8	6,30	0,43

Échantillon	Dôme	Groupe textural	Tb	Yb	Lu	As	Ba	Co	Cr	Cs	Hf	Ni	Rb	Sb	Sc	Ta	Th	U	W	Zr	Cl	Dy	In	V
dm-01-37	Glass Creek Dome	Im	0,48	1,62	0,26	4,60	917	3,68	3	2,89	5,58	42	119	0,94	3,36	1,40	12,9	3,78	1	140	271	2,24	0,00	28,03
dm-01-38	Glass Creek Dome	Im	0,63	2,07	0,34	3,60	1186	2,32	1	2,84	7,76	62	126	0,69	4,30	1,35	13,9	4,20	1	299	341	3,52	0,03	11,82
dm-01-41	Glass Creek Dome	Im	0,50	1,81	0,27	4,64	942	3,97	5	2,94	5,99	62	121	0,76	3,45	1,53	13,8	4,02	1	236	193	2,19	0,01	24,55
dm-01-04a	Obsidian Dome	Fp	0,77	2,66	0,39	3,95	351	0,44	4	3,03	7,13	73	169	0,80	3,33	1,45	23,4	5,82	1	163	460	3,66		0,15
dm-01-04b	Obsidian Dome	Fp	0,81	2,69	0,40	3,63	330	0,49	3	4,03	6,96	99	162	0,78	3,41	1,45	23,5	5,83	2	144	437	4,32	0,01	
dm-01-05a	Obsidian Dome	Fp	0,67	2,40	0,37	3,44	806	0,82	4	3,21	7,74	94	132	0,64	3,97	1,19	17,1	4,38	1	165	325	4,46	0,02	2,89
dm-01-06	Obsidian Dome	Fp	0,78	2,50	0,38	4,81	722	0,98	3	3,64	7,40	76	152	0,77	3,68	1,41	20,4	5,45	1	199	322	3,59	0,03	2,24
dm-01-07	Obsidian Dome	Fp	0,80	2,65	0,40	4,13	342	0,79	2	4,15	7,02	71	168	0,78	3,30	1,47	23,3	5,81	2	200	450	4,09	0,02	
dm-01-08	Obsidian Dome	Fp	0,80	2,58	0,39	4,13	379	0,73	3	4,00	7,00	69	158	0,80	3,27	1,45	22,7	5,67	2	203	443	4,50	0,01	
dm-01-09a	Obsidian Dome	Fp	0,71	2,50	0,37	4,94	479	8,82	3	3,74	7,20	82	155	0,91	3,34	1,36	20,9	5,21	2	131	434	4,03	0,01	1,22
dm-01-09b	Obsidian Dome	Fp	0,67	2,51	0,38	3,68	485	1,32	4	3,52	7,03	75	142	0,70	3,32	1,24	19,7	4,76	1	187	450	4,09	0,02	
dm-01-10	Obsidian Dome	Fp	0,78	2,55	0,38	4,12	429	1,03	4	3,94	6,94	63	162	0,81	3,28	1,44	21,9	5,54	2	158	441	4,23	0,03	0,50
dm-01-11	Obsidian Dome	Fp	0,71	2,32	0,36	2,91	1024	1,69	3	3,00	8,02	66	138	0,67	4,26	1,30	16,7	4,61	1	241	328	3,82	0,03	3,97
dm-01-12	Obsidian Dome	Fp	0,75	2,57	0,39	3,92	341	1,04	3	4,20	6,84	76	161	0,78	3,26	1,43	22,5	5,59	2	167	436	3,98	0,02	0,42
dm-01-27a	Obsidian Dome	Fp	0,77	2,54	0,38	3,63	486	0,82	2	3,67	7,09	43	155	0,79	3,30	1,58	21,4	5,46	2	262	427	4,20	0,01	
dm-01-27b	Obsidian Dome	Fp	0,76	2,48	0,38	3,78	599	2,50	2	3,53	7,26	52	155	0,76	3,33	1,53	20,0	5,17	1	145	425	3,85		0,47
dm-01-28	Obsidian Dome	Fp	0,68	2,28	0,35	3,24	1197	1,98	3	2,84	8,16	67	126	0,66	4,35	1,30	14,4	4,16	1	390	268	3,79	0,03	4,31
dm-01-29a	Obsidian Dome	Fp	0,71	2,56	0,39	3,65	300	8,47	3	3,75	6,65	65	145	0,70	3,26	1,40	21,3	5,00	1	238	395	4,19		0,08
dm-01-29b	Obsidian Dome	Fp	0,78	2,61	0,40	3,84	348	0,91	3	4,21	6,83	52	169	0,83	3,26	1,61	23,5	5,95	1	256	432	4,01	0,03	
dm-01-30	Obsidian Dome	Fp	0,69	2,26	0,33	3,40	1332	2,04	2	2,93	8,28	45	126	0,69	4,41	1,35	14,3	4,30	1	340	283	3,30	0,02	5,97
dm-01-31a	Obsidian Dome	Fp	0,71	2,45	0,37	3,84	776	1,31	3	3,46	7,78	56	147	0,75	3,53	1,46	19,0	5,08	1	241	390	3,89		0,25
dm-01-31b	Obsidian Dome	Fp	0,75	2,43	0,36	3,02	1640	2,00	4	2,67	9,06	67	124	0,61	5,49	1,33	13,3	4,20	0	418	306	3,34	0,02	3,72
dm-01-32	Obsidian Dome	Fp	0,74	2,39	0,36	2,83	1543	2,09	2	2,58	9,02	59	128	0,59	5,44	1,33	13,6	4,17	1	402	329	3,49	0,02	2,99
dm-01-33	Obsidian Dome	Fp	0,79	2,53	0,38	3,83	435	0,91	3	3,72	7,14	68	160	0,78	3,34	1,52	22,0	5,57	1	233	457	4,05		
rdo-2a 10	Obsidian Dome	Fp	0,73	2,42	0,37	3,58	332	1,11	5	3,94	6,63	56	161	0,77	3,12	1,54	22,5	5,72	1	199	290	2,77	0,01	0,30
rdo-2a 25	Obsidian Dome	Fp	0,79	2,40	0,38	3,41	345	1,12	5	3,92	6,71	58	160	0,79	3,14	1,51	22,6	5,70	1	202	308	2,74	0,02	0,16
rdo-2a 42	Obsidian Dome	Fp	0,74	2,40	0,37	3,38	606	0,86	4	3,48	7,20	45	151	0,75	3,32	1,43	19,7	5,01	1	257	263	2,46	0,01	
rdo-2a 57	Obsidian Dome	Fp	0,71	2,35	0,35	3,15	640	1,08	5	3,29	7,18	23	142	0,74	3,29	1,42	19,0	4,88	2	189	273	2,63	0,02	0,47
rdo-2a 62	Obsidian Dome	Fp	0,71	2,38	0,37	3,00	571	1,05	5	3,30	7,23	49	140	0,75	3,26	1,39	19,2	4,86	0	221	262	2,87	0,01	
rdo-2a 74	Obsidian Dome	Fp	0,67	2,37	0,36	2,98	498	0,97	5	3,26	7,02	47	131	0,82	3,27	1,26	18,3	4,39	1	204	290	2,79	0,00	0,42
rdo-2a 85	Obsidian Dome	Fp	0,72	2,28	0,35	3,06	676	1,09	3	3,34	7,29	45	145	0,76	3,25	1,40	18,5	4,89	1	257	232	2,57	0,02	0,31
rdo-2a 111	Obsidian Dome	Fp	0,74	2,38	0,37	3,36	457	0,75	3	3,68	6,91	39	157	0,80	3,15	1,47	20,9	5,38	1	261	265	2,92	0,01	0,12
rdo-2a 117	Obsidian Dome	Fp	0,68	2,25	0,35	2,38	682	0,86	3	3,16	7,16	47	142	0,72	3,31	1,34	17,8	4,67	1	227	160	2,44	0,01	0,22
rdo-2a 135	Obsidian Dome	Fp	0,72	2,35	0,37	2,99	558	0,83	3	3,47	7,04	20	147	0,77	3,21	1,43	19,5	4,98	1	220	283	2,95	0,01	0,04
rdo-2a 143	Obsidian Dome	Fp	0,76	2,52	0,38	3,70	717	0,57	3	3,48	7,60	62	157	0,76	3,56	1,37	19,8	5,19	1	244	444	3,54	0,02	0,03

Échantillon	Dôme	Groupe textural	*SiO <sub>2</sub>	*TiO <sub>2</sub>	*Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	*Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	*MnO	*MgO	*CaO	*Na <sub>2</sub> O	*K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	*PAF	Total	La	Ce	Nd	Sm	Eu
rdo-2b 14	Obsidian Dome	Fp		0,13	13,85	1,73	0,06				4,29				80,4	145	45,4	6,83	0,46
rdo-2b 23	Obsidian Dome	Fp		0,11	14,15	1,70	0,06				4,33				81,2	150	48,1	6,88	0,51
rdo-2b 80	Obsidian Dome	Fp		0,15	14,04	1,78	0,06				4,29				73,6	135	42,5	5,97	0,42
rdo-2b 93	Obsidian Dome	Fp		0,18	14,12	1,88	0,06				4,34				73,2	134	42,3	6,46	0,43
rdo-2b 108	Obsidian Dome	Fp		0,14	13,70	1,70	0,06				4,25				75,8	138	43,7	6,57	0,44
rdo-2b 120	Obsidian Dome	Fp		0,17	13,92	1,87	0,06				4,31				71,7	130	42,9	6,26	0,39
rdo-2b 130	Obsidian Dome	Fp		0,31	14,43	2,18	0,06				4,44				62,3	114	39,5	5,72	0,34
rdo-2b 148	Obsidian Dome	Fp	70,90	0,24	13,58	2,08	0,06		1,09	4,43	5,26	0,05	0,22	97,9	67,4	124	42,3	6,40	0,42
rdo-2b 150	Obsidian Dome	Fp		0,27	14,48	2,10	0,06				4,40				65,2	120	41,5	6,35	0,42
rdo-2b 157	Obsidian Dome	Fp	70,55	0,29	14,66	2,23	0,07		1,16	4,52	5,28	0,06	0,24	99,0	64,1	119	43,3	6,23	0,37
rdo-2b 170	Obsidian Dome	Fp		0,31	14,51	2,19	0,06				4,41				61,9	113	40,0	5,78	0,31
rdo-2b 172	Obsidian Dome	Fp		0,31	14,63	2,23	0,07				4,45				61,4	112	40,2	6,14	0,33
rdo-2b 208	Obsidian Dome	Fp	69,80	0,30	14,58	2,15	0,07		1,19	4,36	5,29	0,06	0,28	98,1	61,4	113	40,0	6,11	0,31
rdo-2b 1600	Obsidian Dome	Fp		0,29	14,36	2,13	0,04	0,34			4,25				58,6	109	38,5	5,50	0,27
rdo-2b 1643	Obsidian Dome	Fp		0,14	13,67	1,83	0,05	0,11			4,07				76,3	140	45,1	6,77	0,43
rdo-2b 1645	Obsidian Dome	Fp		0,16	13,75	1,68	0,05	0,17			4,07				76,9	140	46,0	6,79	0,40
rdo-2b 1713	Obsidian Dome	Fp		0,13	13,67	1,66	0,06				4,10				76,1	138	45,6	6,67	0,40
rdo-2b 1743	Obsidian Dome	Fp		0,16	13,68	1,65	0,05				4,07				75,6	138	45,4	6,65	0,37
rdo-2b 1773	Obsidian Dome	Fp		0,16	14,05	1,64	0,06				4,13				74,8	137	44,5	6,46	0,34
rdo-2b 1839	Obsidian Dome	Fp		0,31	14,65	2,22	0,07				4,38				57,8	107	37,7	5,48	0,27
rdo-2b 1858	Obsidian Dome	Fp		0,14	13,84	1,62	0,06				3,99				75,4	138	46,6	6,72	0,34
rdo-2b 1877	Obsidian Dome	Fp		0,13	13,69	1,60	0,05	0,19			4,01				75,6	136	46,5	6,71	0,36
rdo-3 2266	Obsidian Dome	Fp		0,18	13,79	1,61	0,05	0,10			4,01				74,8	134	45,3	6,61	0,22
rdo-3 2282	Obsidian Dome	Fp		0,15	13,23	1,59	0,06	0,10			4,03				74,7	135	46,0	6,68	0,23
rdo-3 2301	Obsidian Dome	Fp		0,13	13,98	1,61	0,06	0,24			4,06				75,6	136	46,6	6,62	0,22
rdo-3 2325	Obsidian Dome	Fp	73,17	0,14	13,88	1,60	0,06	0,21	0,75	4,04	5,59	0,02	0,09	99,5	74,1	132	45,2	6,19	0,20
rdo-3 2337	Obsidian Dome	Fp		0,14	13,76	1,57	0,05	0,16			3,99				74,1	132	44,5	6,53	0,22
rdo-3 2342	Obsidian Dome	Fp		0,13	13,74	1,59	0,05	0,02			3,98				73,7	131	45,3	6,55	0,21

Échantillon	Dôme	Groupe textural	Tb	Yb	Lu	As	Ba	Co	Cr	Cs	Hf	Ni	Rb	Sb	Sc	Ta	Th	U	W	Zr	Cl	Dy	In	V
rdo-2b 14	Obsidian Dome	Fp	0,79	2,69	0,40	4,02	358	0,41	3	3,97	6,79	42	166	0,80	3,35	1,51	23,4	5,92	1	239	463	4,09	0,01	
rdo-2b 23	Obsidian Dome	Fp	0,81	2,69	0,41	3,84	330	0,54	0	3,95	7,05	67	163	0,78	3,40	1,53	23,2	5,79	1	211	505	4,34	0,01	0,19
rdo-2b 80	Obsidian Dome	Fp	0,68	2,49	0,37	2,95	522	1,00	1	3,15	6,94	59	141	0,67	3,46	1,28	19,5	4,73	1	196	117	4,11	0,01	0,17
rdo-2b 93	Obsidian Dome	Fp	0,77	2,52	0,39	2,89	635	0,98	4	3,73	7,40	59	153	0,68	3,61	1,45	20,6	5,37	1	268	103	4,10	0,01	1,75
rdo-2b 108	Obsidian Dome	Fp	0,75	2,53	0,39	3,36	453	0,71	2	3,51	6,95	41	159	0,72	3,33	1,47	21,6	5,48	1	209	156	3,71	0,02	0,32
rdo-2b 120	Obsidian Dome	Fp	0,74	2,51	0,38	3,19	617	0,46	2	3,34	7,39	44	148	0,68	3,55	1,37	19,8	5,03	1	237	137	3,32	0,02	0,62
rdo-2b 130	Obsidian Dome	Fp	0,67	2,39	0,36	2,74	937	0,51	2	2,83	7,72	71	130	0,57	4,03	1,20	15,8	4,05	1	244	241	4,13	0,01	1,55
rdo-2b 148	Obsidian Dome	Fp	0,75	2,50	0,37	4,02	797	0,95	3	3,50	7,53	56	145	0,72	3,91	1,37	19,1	5,25	1	307	280	4,45	0,01	1,89
rdo-2b 150	Obsidian Dome	Fp	0,74	2,43	0,37	3,45	920	1,14	9	3,27	7,99	50	145	0,69	3,97	1,34	18,2	5,02	1	291	228	3,68	0,03	1,26
rdo-2b 157	Obsidian Dome	Fp	0,76	2,40	0,38	3,37	956	1,24	5	3,01	8,05	66	138	0,68	4,15	1,32	17,1	4,69	1	261	382	4,56	0,02	0,61
rdo-2b 170	Obsidian Dome	Fp	0,71	2,40	0,37	2,91	920	0,98	3	2,85	7,82	60	127	0,59	4,08	1,18	15,8	4,13	1	304	366	3,99	0,02	1,77
rdo-2b 172	Obsidian Dome	Fp	0,71	2,35	0,37	2,79	1031	1,32	14	3,04	7,94	39	135	0,67	4,15	1,31	16,5	4,59	1	242	377	4,11	0,02	2,16
rdo-2b 208	Obsidian Dome	Fp	0,70	2,37	0,36	3,00	997	1,10	4	3,16	7,83	36	136	0,65	3,97	1,30	16,6	4,64	1	189	405	3,81	0,03	1,15
rdo-2b 1600	Obsidian Dome	Fp	0,66	2,28	0,34	10,64	899	1,09	4	3,19	7,54	35	123	0,92	3,98	1,12	14,9	3,91	1	285	174	3,89	0,05	2,65
rdo-2b 1643	Obsidian Dome	Fp	0,77	2,52	0,38	8,22	376	0,64	4	3,90	6,85	35	169	1,29	3,25	1,52	22,7	5,86	1	162	310	4,53	0,03	0,04
rdo-2b 1645	Obsidian Dome	Fp	0,81	2,53	0,39	4,82	379	0,61	4	3,51	6,86	37	171	1,37	3,30	1,54	22,7	5,91	1	201	148	4,01	0,02	0,85
rdo-2b 1713	Obsidian Dome	Fp	0,78	2,56	0,39	2,66	374	0,46	3	3,43	6,85	20	167	1,07	3,26	1,49	22,3	5,70	1	196	22	4,16	0,02	0,35
rdo-2b 1743	Obsidian Dome	Fp	0,76	2,51	0,38	3,63	375	0,69	5	3,25	6,81	37	164	0,65	3,21	1,49	22,2	5,62	1	194	40	3,63	0,02	
rdo-2b 1773	Obsidian Dome	Fp	0,75	2,45	0,38	2,19	475	0,66	5	2,95	6,71	44	155	0,79	3,19	1,56	21,4	5,32	1	191	44	3,60	0,03	
rdo-2b 1839	Obsidian Dome	Fp	0,63	2,27	0,34	4,51	1040	1,42	4	3,35	7,62	44	124	1,03	4,06	1,25	14,6	3,91	1	275	277	3,95	0,03	2,72
rdo-2b 1858	Obsidian Dome	Fp	0,77	2,51	0,38	3,36	331	0,87	5	3,86	6,66	45	158	1,01	3,08	1,61	22,5	5,71	1	172	208	4,36	0,03	0,09
rdo-2b 1877	Obsidian Dome	Fp	0,79	2,48	0,38	2,86	322	0,79	5	3,66	6,74	42	160	0,89	3,03	1,60	22,6	5,89	1	178	133	4,23	0,01	0,09
rdo-3 2266	Obsidian Dome	Fp	0,77	2,50	0,38	3,49	315	1,12	5	3,91	6,61	31	163	0,82	3,13	1,56	22,2	5,64	2	235	209	4,77		
rdo-3 2282	Obsidian Dome	Fp	0,76	2,51	0,37	1,27	333	0,99	4	3,19	6,72	41	159	0,42	3,14	1,58	22,3	5,55	2	201		3,90	0,01	
rdo-3 2301	Obsidian Dome	Fp	0,76	2,50	0,40	1,74	340	1,06	5	3,32	6,72	48	156	0,45	3,16	1,57	22,1	5,48	3	204	17	4,26	0,05	0,89
rdo-3 2325	Obsidian Dome	Fp	0,72	2,47	0,38	2,05	310	0,98	5	2,79	6,44	62	148	0,54	3,15	1,44	20,9	4,91	2	222	20	4,57	0,02	0,94
rdo-3 2337	Obsidian Dome	Fp	0,76	2,51	0,38	2,53	330	0,84	5	3,56	6,59	41	157	0,76	3,10	1,57	22,0	5,60	3	201	71	4,06	0,01	
rdo-3 2342	Obsidian Dome	Fp	0,75	2,44	0,37	2,75	329	0,93	6	3,20	6,61	35	160	0,77	3,08	1,57	22,0	5,55	3	170	72	4,49	0,01	

\* Les oxydes majeurs sont exprimés en %poids d'oxydes. Tous les autres éléments traces sont exprimés en ppm.

## Annexe IV

pourcentages volumiques et longueurs caractéristiques calculés pour la sanidine et le plagioclase dans chaque échantillon

Échantillons	Plagioclase			Sanidine		
	Pente	L <sub>D</sub>	% volumique	Pente	L <sub>D</sub>	% volumique
Dm-01-04a	-4,4205	0,2262	0,522	-3,2542	0,3073	1,65
DM-01-07	X	X	X	-4,0127	0,2492	1,21
Dm-01-10	-5,1213	0,1953	0,573	-3,5897	0,2786	1,94
DM-01-13b	-1,8393	0,5437	1,775	-2,0806	0,4806	4,607
DM-01-15	-1,8978	0,5269	5,103	-3,2676	0,3060	15,109
DM-01-18	-2,4798	0,4033	2,031	-3,4453	0,2903	3,38
DM-01-19b	-3,3962	0,2944	0,410	-3,004	0,3329	2,01
DM-01-19c	-1,7494	0,5716	3,695	-2,6474	0,3777	8,895
DM-01-22	-2,0329	0,4919	3,605	-2,6299	0,3802	15,341
DM-01-26	-1,5903	0,6288	0,927	-3,6033	0,2775	1,47
DM-01-28	-2,2457	0,4453	0,64	-2,5555	0,3913	3,3
DM-01-30	-3,2889	0,3041	1,81	-2,2142	0,4516	3,62
DM-01-32	-2,0216	0,4947	0,070	-3,092	0,3234	0,72
DM-01-34	-2,938	0,3404	0,403	-2,5602	0,3906	2,11
DM-01-36	-2,3917	0,4181	4,912	-1,7406	0,5745	7,448
DM-01-38	-1,5865	0,6303	2,343	-2,2285	0,4487	7,648
DM-01-39	-2,2155	0,4514	9,916	-2,6854	0,3724	11,956
DM-01-40	-1,752	0,5708	0,235	-2,9182	0,3427	1,49
DM-01-41	-3,2366	0,3090	5,34	-2,2029	0,4539	11,48
DM-01-43	-2,3273	0,4297	9,809	-2,3945	0,4176	8,222
DM-01-45	-2,9505	0,3389	5,92	-2,6777	0,3735	12,31
DM-01-46	-2,2515	0,4441	6,247	-2,8229	0,3542	12,223
DM-01-47b	-2,1833	0,4580	0,7	-3,6123	0,2768	1,21
DM-01-48	-3,6927	0,2708	0,72	-4,0541	0,2467	0,96
RDO 2344	-2,4103	0,4149	0,35	-3,0022	0,3331	1,03
RDO-2a 42	-7,2123	0,1387	0,23	-3,3362	0,2997	1,68
RDO-2a 70.2	-4,6803	0,2137	0,85	-3,8362	0,2607	1,13
RDO-2a 85	-1,7903	0,5586	0,58	-3,5662	0,2804	1,65
RDO-2b 148	-3,1311	0,3194	0,23	-2,5183	0,3971	1,88
RDO-2b 1616	-5,9591	0,1678	0,22	-3,211	0,3114	1,56
RDO-2b 208	-1,5857	0,6306	0,47	-3,2856	0,3044	1,49
RDO-2b 208	X	X	X	-4,2488	0,2354	1,2
RDO-3 2325	-3,7084	0,2697	0,4	-3,2139	0,3111	1,71
RDO-3 2347	-2,5575	0,3910	0,41	-4,2277	0,2365	1,98